



Evaluación de la estabilidad del cianuro en soluciones acuosas: efecto del pH, aireación y nutrientes

Evaluation of cyanide stability in aqueous solutions: effect of pH, aeration, and nutrients

Presentación: 16/10/2024

Aprobación: 28/02/2025

Publicación: 13/03/2025

Elisabet G. Robert

0009-0006-0513-4253

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Centro de Investigación y Transferencia en Ingeniería Química Ambiental (CIQA), Argentina.
elisabet.robert@gmail.com

María J. Pascualone

0000-0001-5495-393X

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Centro de Investigación y Transferencia en Ingeniería Química Ambiental (CIQA), Argentina.
mariapascualone@gmail.com

Resumen

Se evaluó la estabilidad del cianuro en solución de NaOH en función del pH, la aireación y la adición de nutrientes. Los resultados indicaron que la aireación y el pH son factores críticos para la estabilidad del mismo; se observó una disminución significativa en la concentración de cianuro especialmente a pH 11 con aireación. La adición de nutrientes, como glucosa y sales inorgánicas, influyó en la estabilidad, sugiriendo que podrían ocurrir reacciones químicas relacionadas a la formación de cianhidrinas que afectan la concentración de cianuro. Para abordar dicha inestabilidad, se convirtió el cianuro libre en complejos de hierro, lo que resultó en una mejora notable de la estabilidad de la solución. Estos hallazgos resaltan el potencial de los complejos cianometálicos como una estrategia efectiva para el manejo seguro del cianuro en aplicaciones ambientales, contribuyendo a prácticas más seguras en su utilización y tratamiento.

Palabras claves: Estabilidad del cianuro, Cianuro libre, Complejos cianometálicos, Cianhidrinas.

Abstract

The stability of cyanide in NaOH solution was evaluated as a function of pH, aeration, and nutrient addition. The results indicated that aeration and pH are critical factors for its stability; a significant decrease in cyanide concentration was observed especially at pH 11 with aeration. The addition of nutrients, such as glucose and inorganic salts, influenced the stability, suggesting that chemical reactions related to the formation of cyanohydrins that affect the cyanide concentration could occur. To address this instability, free cyanide was converted into iron complexes, resulting in a significant improvement in solution stability. These findings highlight the potential of cyanometallic complexes as an effective strategy for the safe management of cyanide in environmental applications, contributing to safer practices in its use and treatment.

Keywords: Cyanide stability, Free cyanide, Cyanometallic complexes, Cyanohydrins.

Introducción

La gestión de desechos mineros que contienen cianuro es un tema de creciente preocupación debido a sus implicaciones para la salud pública y el ambiente (Welman-Purchase et al., 2024). El cianuro es un compuesto químico ampliamente utilizado en la extracción de oro, sin embargo, los desechos generados, frecuentemente ricos en metales pesados, son altamente tóxicos y requieren un manejo cuidadoso para mitigar sus impactos ambientales (Huertas et al., 2010).

Los compuestos de cianuro se clasifican en tres categorías principales: i) cianuro libre, que incluye el ion cianuro (CN^-) y el gas cianuro de hidrógeno (HCN); ii) complejos débiles y moderadamente fuertes con metales como Zn, Ni, Ag, Cd y Hg; y iii) complejos fuertes con el ion cianuro y el hierro (Razanamahandry et al., 2017; Kumar et al., 2023). Durante el proceso de lixiviación, el cianuro reacciona con los metales presentes en los minerales, formando complejos cianometálicos que pueden persistir en el ambiente (Johnson, 2015). Aunque el cianuro libre tiene una vida útil relativamente corta en condiciones ambientales, su capacidad para formar complejos estables plantea riesgos, ya que éstos pueden formar cianuro libre nuevamente bajo ciertas condiciones, lo que representa una amenaza potencial para la salud y los ecosistemas (Mekuto et al., 2016).

La disposición de los desechos sólidos en pilas o depósitos de relaves es un método común que requiere estrategias de gestión efectivas para evitar la liberación de cianuro en el ambiente. Las reacciones predominantes incluyen la formación de ferricianuro ($\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$) y ferrocianuro ($\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$), dado que el hierro es un metal de transición común en estos entornos (Johnson, 2015). Además, se ha observado que el cianuro puede experimentar atenuación natural a través de diversos procesos, como la volatilización, biodegradación, oxidación y precipitación (Botz et al., 2016; Razanamahandry et al., 2017). Sin embargo, la velocidad de estos procesos depende de factores como el pH, la temperatura, las condiciones redox, la actividad microbiana y la exposición a la luz solar (Johnson, 2015).

El pH es un factor crítico que influye en la distribución de las especies de cianuro en solución, tal como se ilustra en la Figura 1. Por ejemplo, a pH 9,2 se establece un equilibrio entre CN^- y HCN, mientras que a pH 11 más del 99% del cianuro permanece en forma de CN^- . La estabilidad de los complejos cianometálicos también es variable, requiriendo condiciones específicas de pH para su disociación, lo que complica aún más la gestión de este contaminante (Razanamahandry et al., 2017). La Figura 2 muestra la distribución de las especies de complejos de cianuro de hierro

en función del pH. Como se puede observar, a un pH de 5, aproximadamente el 90% de las especies se encuentran en forma de hexacianoferrato (II) ($\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$) (Meeussen, 1992).

Por otro lado, en soluciones que incluyen nutrientes, el cianuro puede interactuar con otros compuestos, como sales inorgánicas y glucosa, lo que puede generar compuestos que influyen en su estabilidad y disponibilidad (Arun et al., 2005; Mekuto et al., 2016). Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar la estabilidad del ion cianuro (CN^-) en soluciones de KCN en NaOH, considerando variables clave como el pH, la aireación, la adición de nutrientes y la conversión a complejos de hierro. Se espera que los resultados obtenidos contribuyan a un manejo más seguro y eficiente del cianuro, mejorando las estrategias de gestión y tratamiento en aplicaciones ambientales.

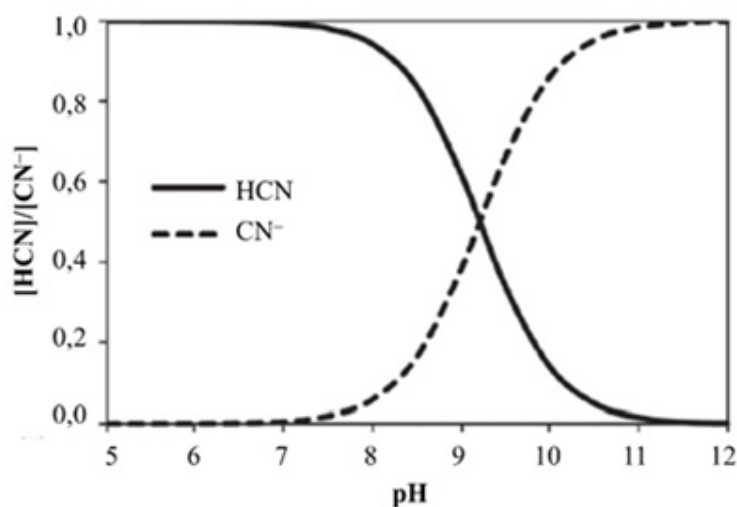


Fig. 1. Distribución de las especies de cianuro en función del pH (adaptado de Kumar et al., 2023).

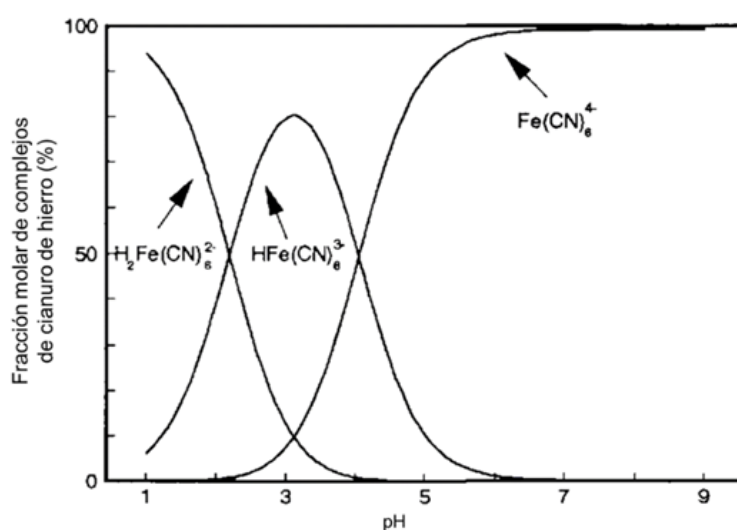


Fig. 2. Distribución de complejos de cianuro de hierro en función del pH (adaptado de Meeussen, 1992).

Materiales y Métodos

Para evaluar el efecto del pH sobre la estabilidad del cianuro, se prepararon soluciones de KCN 100 ppm, en NaOH 1 M, y se ajustó el valor de pH deseado (pH 9 y pH 11) mediante la adición de HCl 1 M. Para los ensayos a pH 14 se utilizaron soluciones patrón de 940 mg CN⁻/L. Para los experimentos con adición de nutrientes (sales inorgánicas y glucosa), la solución de KCN en NaOH se formuló de acuerdo con la composición indicada en la Tabla 1.

Nutriente	Concentración (g/L)
Glucosa	1,200
KCN	0,278
MgSO ₄ .7H ₂ O	0,023
FeSO ₄ .7H ₂ O	0,026
KH ₂ PO ₄	0,066
Na ₂ HPO ₄	0,068
CaCl ₂	0,008

Tabla 1. Composición de la solución de cianuro con nutrientes.

Se utilizaron matraces Erlenmeyer de 500 mL que contenían las soluciones mencionadas. Para investigar la influencia de la aireación, se incorporó aire en algunos matraces a un caudal de 0,5 volúmenes de aire por volumen de solución por minuto (v.v.m.). Para investigar posibles pérdidas por volatilización, se experimentó en un matraz sellado con aireación de 0,5 v.v.m., donde el gas de salida burbujeaba a través de un frasco lavador tipo Dreschel con NaOH 1 M.

Posteriormente, se transformó el cianuro libre en complejos de hierro mediante la adición de sulfato de hierro (III), formando hexacianoferrato (II) de hierro (III) de acuerdo a la Tabla 2. Dado que dicho complejo es más estable a pH 5 (Meeussen, 1992; Razanamahandry et al., 2017), este valor se seleccionó como óptimo para los ensayos. Para evitar la fotólisis de los complejos cianometálicos por exposición a la luz solar, todos los experimentos se realizaron en condiciones de oscuridad.

Nutriente	Concentración (g/L)
Glucosa	1,200
$K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$	0,295
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	0,023
$Fe_2(SO_4)_3 \cdot 7H_2O$	0,026
KH_2PO_4	0,897
Na_2HPO_4	0,011
$CaCl_2$	0,008

Tabla 2. Composición de la solución de cianuro con complejos de hierro.

La concentración de cianuro total en todas las muestras se determinó a intervalos regulares de tiempo utilizando el Método 4500-CN⁻D, según procedimientos estandarizados (APHA et al., 2023). Todos los ensayos se llevaron a cabo por triplicado, y los datos obtenidos fueron analizados mediante un ANOVA de dos vías, presentándose como media ± desviación estándar.

Resultados y discusión

Variación de la concentración de cianuro en función del pH y la aireación

Para evaluar la influencia del pH y la aireación sobre la estabilidad del cianuro en solución, se midió la variación de la concentración de cianuro en soluciones de NaOH a valores diferentes de pH durante un periodo de 5 días. También se analizó el efecto de un flujo de aire de 0,5 v.v.m. Los datos fueron sometidos a un análisis ANOVA de dos vías, comparando los valores medios de la concentración relativa de cianuro (con respecto a la concentración inicial, C/Co) entre unidades de tiempo consecutivas para cada condición experimental y evaluando las diferencias entre tratamientos en cada tiempo.

La Figura 3 muestra los valores de concentración relativa de cianuro en función del tiempo para las distintas soluciones. En la solución a pH 9 sin aireación, se observaron diferencias significativas en la concentración entre el día 1 y el día 2, alcanzando un equilibrio de entre 66% y 69% de la concentración inicial al tercer día. Estos resultados son coherentes con informes previos que indican un valor de equilibrio del 63% a pH 9 (Kjeldsen, 1999; Kumar et al., 2023).

En las soluciones a pH 11 sin aireación, se registró una reducción en la concentración de cianuro, con valores entre 87% y 89% de la concentración inicial al tercer día, sin diferencias

significativas entre los días 4 y 5. Estos resultados son ligeramente inferiores a los reportados por Kumar et al. (2023), quienes informan que a pH 10,5 o superior se favorece el desplazamiento del equilibrio hacia CN^- . En soluciones a pH 11 con aireación, se observó una disminución notable de la concentración, alcanzando valores de equilibrio entre 24% y 31% de la concentración inicial al cuarto día, lo que difiere de los valores esperados para este pH. Esta reducción acelerada puede atribuirse a la volatilización del cianuro, facilitada por la disolución de CO_2 del aire que conlleva a la formación de ácido carbónico y un posterior descenso del pH (Johnson, 2015). En línea con Huertas et al. (2010) puede afirmarse que el riesgo de volatilización del HCN se puede minimizar utilizando un pH alto y una baja concentración de oxígeno disuelto.

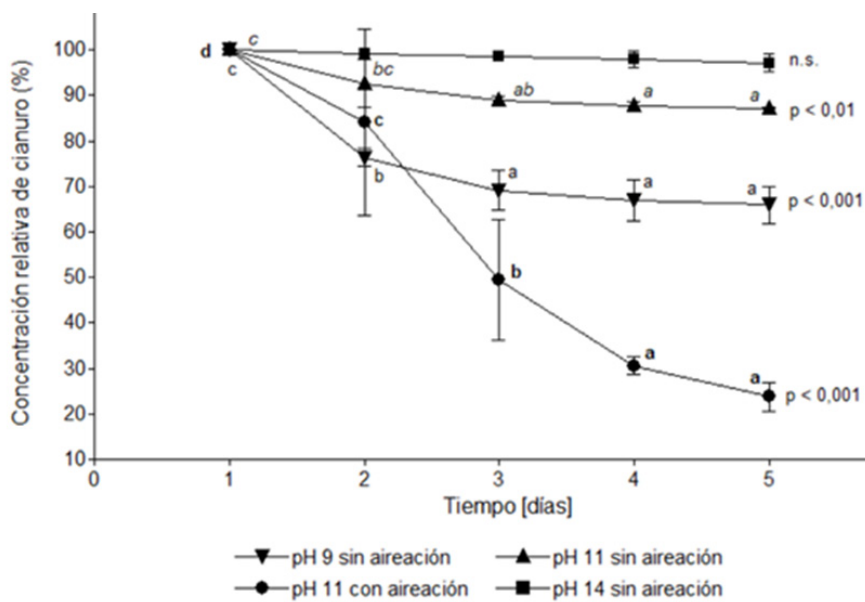


Fig. 3. Concentración relativa de cianuros totales (C/Co), en función del tiempo para soluciones de KCN 100 ppm en solución de NaOH 1 M, sometidas a distintos valores de pH con y sin incorporación de aire (0,5 v.v.m.). Letras diferentes indican diferencias significativas a $p < 0,05$ según ANOVA y test a posteriori LSD; (n.s.) indica diferencias no significativas.

El análisis comparativo de las medias entre las cuatro condiciones a lo largo del tiempo reveló que, en el día 3, la concentración de cianuro en la solución a pH 11 con aireación disminuyó significativamente en comparación con las demás condiciones. Los resultados evidencian que tanto el pH como la aireación son factores críticos en la estabilidad del cianuro libre en solución, lo cual respalda hallazgos anteriores sobre la inestabilidad del mismo (Kjeldsen, 1999).

Adicionalmente, se analizó la variación de la concentración de cianuro en soluciones de KCN (940 ppm en NaOH) almacenadas en oscuridad a 4 °C, pH 14 y sin aireación, durante 26 días, cuyos resultados se presentan en la Figura 4. No se detectaron diferencias significativas entre los días 1 y 7. A partir del día 10, la concentración relativa de cianuro disminuyó a un 99% de la concentración inicial. En los períodos más largos, entre los días 18 y 26, la concentración se mantuvo estable, alcanzando un valor relativo de equilibrio del 97%. Este

comportamiento puede atribuirse a fenómenos descritos por Petrov y Petrov (2007), quien investigó la hidrólisis del cianuro en condiciones alcalinas extremas y bajas temperaturas, observando una disminución gradual en la concentración de cianuros totales debido a la descomposición del cianuro en formiato (HCOO^-). Aunque a bajas temperaturas ($4\text{ }^\circ\text{C}$) la volatilización es menos probable que ocurra, no se descarta por completo, y la hidrólisis puede ser significativa alcanzando pérdidas de hasta un 10% si la solución se mantiene en dichas condiciones durante meses o años (Petrov y Petrov, 2007). Por lo tanto, estos hallazgos también son consistentes con recomendaciones de APHA et al. (2023), que sugiere que las soluciones de cianuro de 1000 ppm utilizadas como soluciones patrón deben ser valoradas semanalmente y que las diluciones deben prepararse al momento de su uso.

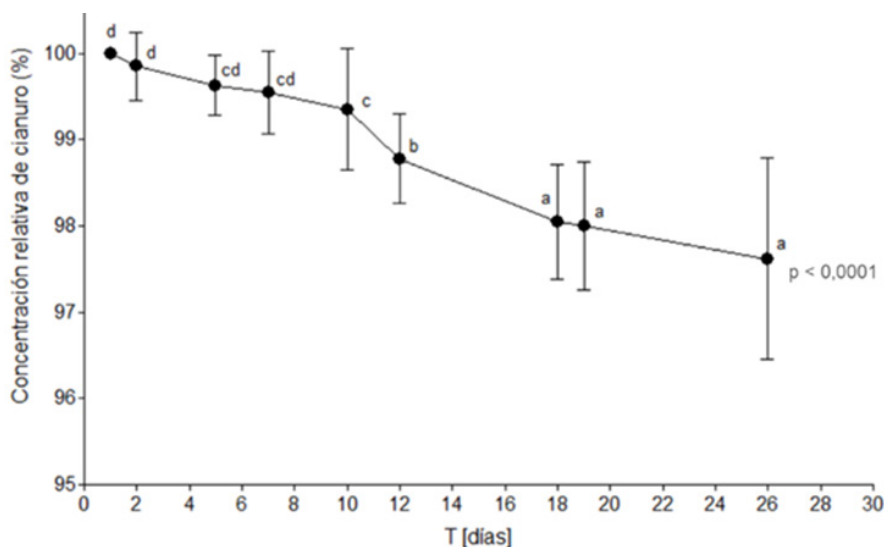


Fig. 4. Concentración relativa de cianuros totales (C/C_0), en función del tiempo para soluciones de KCN 940 ppm de CN^- en solución de NaOH 1 M, a pH 14 y $4\text{ }^\circ\text{C}$. Letras diferentes indican diferencias significativas a $p < 0,05$ según ANOVA y test a posteriori LSD.

Variación de la concentración de cianuro en soluciones con nutrientes

Para evaluar la estabilidad del cianuro en un medio de cultivo potencialmente útil para su biodegradación, se analizó la variación de la concentración de cianuro en soluciones con adición de sales inorgánicas y glucosa. Los resultados, presentados en la Figura 5, indican que, en soluciones a pH 9 sin aireación, la concentración de cianuro disminuyó significativamente a partir del día 2. En contraste, en soluciones a pH 11 sin aireación, la reducción de cianuro fue menor, y no se observaron diferencias significativas entre los días 4 y 5. En condiciones de aireación, la disminución de cianuro fue más pronunciada que en las soluciones sin adición de nutrientes, especialmente entre el día 1 y el día 3.

El análisis de comparación de medias de concentración de cianuro relativa en las soluciones con nutrientes reveló que la adición de sales inorgánicas y glucosa influyó en la estabilidad del cianuro. En el día 2, las concentraciones relativas de cianuro a pH 11, con y sin aireación fueron similares (66% y 56%, respectivamente), y superiores a las observadas a pH 9 sin aireación (34%). En el día 3, no se encontraron diferencias significativas entre las condiciones de pH 11 con aireación y pH 9 sin aireación (22% y 26%, respectivamente),

mientras que la solución a pH 11 sin aireación mostró una concentración relativa mayor (45%). En el día 4, las concentraciones relativas fueron comparables entre pH 9 sin aireación y pH 11 con aireación (15% y 21%, respectivamente), aunque la concentración a pH 11 sin aireación fue más alta (34%). En el día 5, no se observaron diferencias significativas entre todas las condiciones. Particularmente, la disminución del cianuro a pH 11 sin aireación fue notable, dado que a este pH la relación HCN/CN^- debería estar completamente desplazada hacia CN^- (Johnson, 2015).

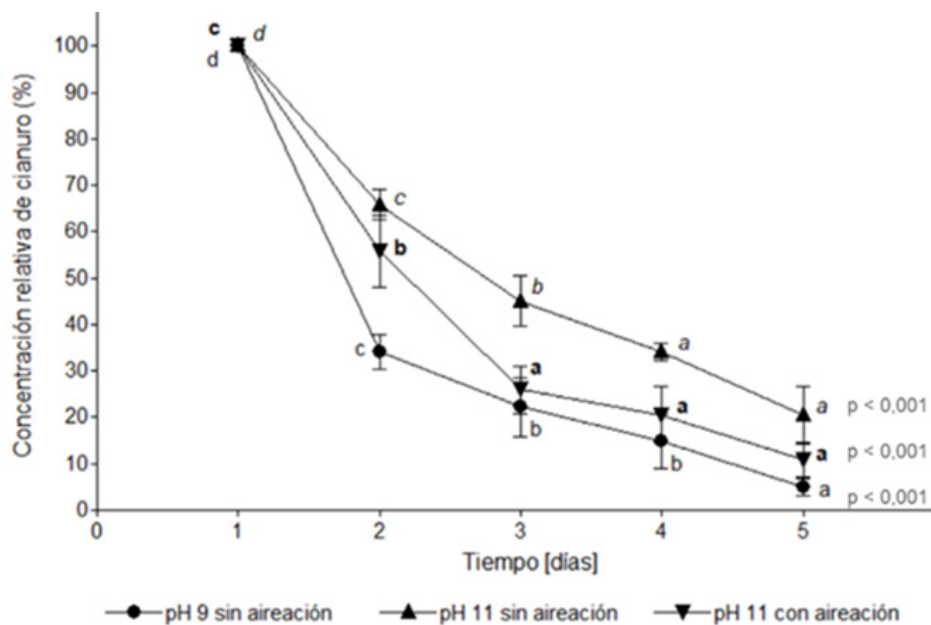


Fig. 5. Concentración relativa de cianuros totales (C/Co), en función del tiempo para soluciones de KCN 100 ppm en solución de NaOH 1 M, con adición de nutrientes a 20 °C, sometidas a distintos valores de pH y aireación (0,5 v.v.m.). Letras diferentes indican diferencias significativas a $p < 0,05$ según ANOVA y test a posteriori LSD.

En los experimentos realizados en un matraz sellado herméticamente para evaluar las pérdidas por volatilización, los resultados indicaron que a pH 11 las pérdidas de cianuro volátil fueron mínimas, mientras que a pH 9 las pérdidas por volatilización a lo largo del tiempo coincidieron con las previstas (se pierde un 30% como HCN) (Kyoseva et al., 2009). Sin embargo, todas las soluciones de cianuro con nutrientes exhibieron una disminución considerablemente mayor en comparación con las soluciones sin nutrientes. El análisis de balance de masas sugiere la posibilidad de reacciones químicas adicionales que podrían estar contribuyendo a las diferencias observadas en la concentración de cianuro. En particular, la presencia de glucosa en soluciones de cianuro libre a pH elevados (11-12) favorece la formación de cianhidrinas (hidroxinitrilos), tal como se describe en el estudio de Mekuto et al. (2016). Este tipo de reacción, en la que el cianuro se une a la glucosa, puede reducir la cantidad de cianuro libre disponible en la solución, lo que explicaría las diferencias observadas entre las concentraciones de cianuro en las corrientes de entrada y salida del matraz. Dado que las cianhidrinas no son detectadas por los métodos estándar de determinación de cianuros totales, esta transformación no se refleja en las mediciones realizadas. Por lo tanto, es posible que el cianuro no solo se pierda por volatilización, sino que también se convierta en una forma no detectable por los métodos convencionales.

Este fenómeno sugiere que la dinámica de las reacciones puede variar de manera significativa según la composición química de la solución, especialmente en presencia de glucosa, lo que resalta la importancia de considerar estos factores en los experimentos y análisis relacionados con las pérdidas de cianuro.

Mitigación de la inestabilidad del cianuro mediante complejos de hierro

Debido a las dificultades para mantener la estabilidad de las soluciones de cianuro libre en medios con nutrientes, se convirtió el cianuro libre a complejos de hierro mediante la adición de sulfato de hierro (III) y ferrocianuro de potasio, dando lugar a la formación de hexacianoferrato (II) de hierro (III). Esto fue evidenciado por la aparición del característico color azul de dicho compuesto. Los resultados sobre la estabilidad de los complejos ciano-metálicos se presentan en la Figura 6. Los datos indican que la conversión de cianuro a complejos de hierro mejoró significativamente su estabilidad en solución, ya que no se observaron diferencias significativas en la concentración de cianuro a lo largo del tiempo. Como se describe en la sección de Introducción (Fig. 2) y en concordancia con Meeussen (1992), a pH 5, aproximadamente el 90% de las especies complejas de cianuro de hierro se encuentran en forma de hexacianoferrato (II) ($\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$), compuesto utilizado en este estudio, lo cual respalda los resultados obtenidos.

Este hallazgo destaca la utilidad de los complejos cianometálicos como una estrategia efectiva para mitigar la inestabilidad del cianuro en entornos ricos en nutrientes, sugiriendo que esta metodología podría ser clave para el manejo seguro de cianuros en aplicaciones ambientales (Alvillo-Rivera et al., 2021).

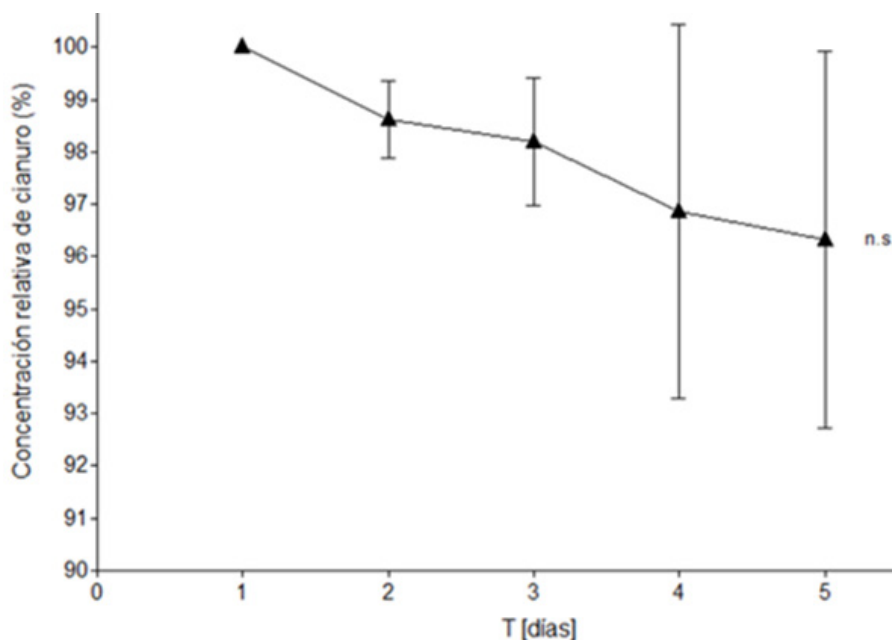


Fig. 6. Concentración relativa de cianuros totales (C/Co), en función del tiempo para soluciones de hexacianoferrato (II) de hierro (III) en solución acuosa, con adición de nutrientes, a pH 5. Letras diferentes indican diferencias significativas a $p < 0,05$ según ANOVA y test a posteriori LSD.

Conclusiones

En este trabajo se evaluó la variación de la concentración de cianuro en soluciones de KCN en NaOH, considerando la influencia del pH, la aireación y la adición de nutrientes. Los resultados evidencian que tanto el pH como la aireación son factores críticos para la estabilidad del cianuro en soluciones acuosas. Se observó una notable reducción en la concentración de cianuro a pH 9 y a pH 11 sin aireación, siendo más pronunciada a pH 11 con incorporación de aire, donde se alcanzó un valor medio de equilibrio del 27% de la concentración inicial luego de cuatro días. Esto puede atribuirse a la volatilización del cianuro, facilitada por la disolución de CO₂ del aire que conlleva a la formación de ácido carbónico y un posterior descenso del pH. Además, la adición de nutrientes afectó la estabilidad del cianuro en solución, lo que sugiere la posibilidad de interacciones químicas adicionales con la glucosa, como la formación de cianhidrinas.

Particularmente relevante fue la conversión del cianuro libre en complejos de hierro, que mejoró notablemente su estabilidad en solución. Esto resalta la utilidad de los complejos cianometálicos como una alternativa prometedora para el tratamiento de cianuros en medios acuosos ricos en nutrientes, lo que podría tener importantes implicaciones en el desarrollo de estrategias de biodegradación y manejo de efluentes contaminados.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero del CIQA-UTN, Córdoba, Argentina.

Referencias

- Alvillo-Rivera, A., Garrido-Hoyos, S., Buitrón, G., Thangarasu-Sarasvathi, P., & Rosano-Ortega, G. (2021). Biological treatment for the degradation of cyanide: A review. *Journal of Materials Research and Technology*, 12, 1418-1433. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.03.030>
- APHA, AWWA, WEF. (2023). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 24th ed. Washington, USA: American Public Health Association.
- Arun, P., Moffett, J. R., Ives, J. A., Todorov, T. I., Centeno, J. A., Namboodiri, M. A., & Jonas, W. B. (2005). Rapid sodium cyanide depletion in cell culture media: Outgassing of hydrogen cyanide at physiological pH. *Analytical Biochemistry*, 339(2), 282-289. <https://doi.org/10.1016/j.ab.2005.01.015>
- Botz, M., Mudder, T., & Akcil, A. (2016). Cyanide treatment. En *Elsevier eBooks* (pp. 619-645). <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-63658-4.00035-9>
- Huertas, M., Sáez, L., Roldán, M., Luque-Almagro, V., Martínez-Luque, M., Blasco, R., Castillo, F., Moreno-Vivián, C., & García-García, I. (2010). Alkaline cyanide degradation by *Pseudomonas pseudoalcaligenes* CECT5344 in a batch reactor. Influence of pH. *Journal of Hazardous Materials*, 179 (1-3), 72-78. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.02.059>
- Johnson, C. A. (2015). The fate of cyanide in leach wastes at gold mines: An environmental perspective. *Applied Geochemistry*, 57, 194-205. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2014.05.023>
- Kjeldsen, P. (1999). Behaviour of cyanides in soil and groundwater: A review. *Water Air & Soil Pollution*, 115, 279-308. <https://doi.org/10.1023/a:1005145324157>
- Kumar, A., Shemi, A., Chipise, L., Moodley, S., Yah, C. S., & Ndlovu, S. (2023). Can microbial Bio-CN be a sustainable alternative to the chemical cyanidation of precious metals? An update and way forward. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 188, 113892. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113892>
- Kyoseva, V., Todorova, E. & Dombalov, I. (2009). Comparative assessment of the methods for destruction of cyanides used in gold mining industry. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*, 44, 403-408.
- Mekuto, L., Ntwampe, S., & Akcil, A. (2016). An integrated biological approach for treatment of cyanidation wastewater. *The Science of the Total Environment*, 571, 711-720. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.040>
- Meeussen, J.C.L. (1992). Chemical speciation and behaviour of cyanide in contaminated soils. [internal PhD, WU]. Landbouwniversiteit Wageningen. <https://doi.org/10.18174/202990>
- Petrov, S.V., & Petrov, V.F. (2007). Hydrolysis of cyanides in aqueous solutions. *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, 52, 793-795. <https://doi.org/10.1134/S0036023607050245>
- Razanamahandry, L. C., Andrianisa, H. A., Karoui, H., Podgorski, J., & Yacouba, H. (2017). Prediction model for cyanide soil pollution in artisanal gold mining area by using logistic regression. *CATENA*, 162, 40-50. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.11.018>

Welman-Purchase, M. D., Castillo, J., Gomez-Arias, A., Matu, A., & Hansen, R. N. (2024). First insight into the natural biodegradation of cyanide in a gold tailings environment enriched in cyanide compounds. *The Science of the Total Environment*, 906, 167174. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167174>

Contribución de los Autores

Nombres y Apellidos del autor	Colaboración Académica													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Elisabet G. Robert	x	x	x	x	x		x	x	x	x		x		
María J. Pascualone						x				x		x	x	x

1-Administración del proyecto, 2-Adquisición de fondos, 3-Análisis formal, 4-Conceptualización, 5-Curaduría de datos, 6-Escritura - revisión y edición, 7-Investigación, 8-Metodología, 9-Recursos, 10-Redacción - borrador original, 11-Software, 12-Supervisión, 13-Validación, 14-Visualización.