

GRUPO DE INVESTIGACIÓN



POLITÉCNICO COLOMBIANO
Jaime Isaza Cadavid

VALORIZACIÓN DE LOS RESIDUOS DE BAUXITA

BOLETÍN CAMER · SEPTIEMBRE DE 2024

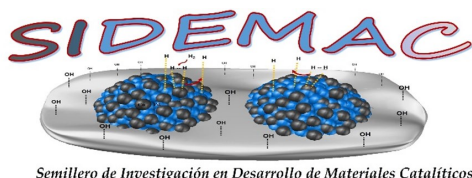


AUTORES

Juan David Valencia González
Hegnny Estefanía González Guerrero
Erasmus Arriola Villaseñor
Alba Nelly Ardila Arias*

*Email de contacto: anardila@elpoli.edu.co

Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid



Semillero de Investigación en Desarrollo de Materiales Catalíticos




Semillero de Investigación en Valorización de Residuos



CONTENIDO

Un reto ambiental.....	Pág. 03
Problemáticas ambientales.....	Pág. 03
Composición de los residuos de bauxita.....	Pág. 04
Importancia de la valorización de los residuos de bauxita.....	Pág. 05
Ejemplos de valorización de los residuos de bauxita.....	Pág. 06
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: Obtención de “Hidrógeno Verde”	Pág. 07
¿Cuál es el aporte del grupo CAMER en el proyecto?.....	Pág. 07
¿Por qué emplear técnicas de ultrasonido?.....	Pág. 08
Alianzas.....	Pág. 09
Conclusión.....	Pág. 09
Agradecimientos.....	Pág. 10
Referencias.....	Pág. 10



UN RETO AMBIENTAL

Los residuos de bauxita, también conocidos como lodos rojos (Red Mud), son un subproducto de la extracción de aluminio a partir de la bauxita mediante el proceso Bayer. Estos residuos presentan un desafío ambiental significativo debido a su elevado volumen, composición química y las dificultades asociadas con su manejo y almacenamiento. Cada año, cientos de miles de toneladas de residuos de bauxita son generados y almacenados en extensas áreas de terreno, ocasionando perjuicios ambientales y pérdidas económicas de gran relevancia [1].

Los residuos de bauxita han despertado gran interés en la industria y la investigación debido a su composición química. Esta característica los convierte en una fuente potencial para la obtención de

diversos materiales de gran aplicación en la actualidad como adsorbentes, catalizadores, soportes catalíticos, etc.

Su alta estabilidad térmica y química, junto con la posibilidad de modificar la superficie mediante tratamientos químicos y/o térmicos, permite emplearlo como soporte para catalizadores metálicos. Este enfoque no solo ofrece una ruta para la valorización de un residuo industrial, sino que también abre nuevas oportunidades para la obtención de materiales de alto valor añadido.



PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES

La principal problemática asociada a los residuos de bauxita corresponde al almacenamiento y gestión de los mismos. A continuación se detallan algunos de los impactos ambientales ocasionados por el almacenamiento de los residuos de bauxita.

Extensas áreas de almacenamiento

Las inmensas cantidades de residuos generados requieren extensas áreas de almacenamiento, creando desafíos logísticos y económicos para las empresas encargadas de su manejo [2].

Dispersión de lodo seco

El polvo seco de los residuos puede provocar afecciones a la salud, debido a la generación de material particulado [3] y la presencia de metales pesados en forma de trazas.

Residuos alcalinos

Los residuos de bauxita presentan un pH entre 11 a 13 unidades de pH. Lo que lo convierte en un potencial peligro no solo para el ecosistema sino también para las personas [4].

Contaminación del suelo y del agua

La disposición inadecuada de los residuos de bauxita puede degradar de forma irremediable los suelos y contaminar fuentes de agua superficial por escorrentía o subterránea por lixiviación [4].

COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS DE BAUXITA

La composición de los residuos de bauxita puede variar significativamente dependiendo del lugar de extracción del mineral. No obstante, la composición que se reporta con mayor frecuencia en la literatura corresponde a Fe_2O_3 : 23.79%, Al_2O_3 : 26.24%, TiO_2 : 7.50%, CaO : 4.90%, Na_2O : 10.83%, y SiO_2 : 17.90% [5].

RESIDUOS DE BAUXITA

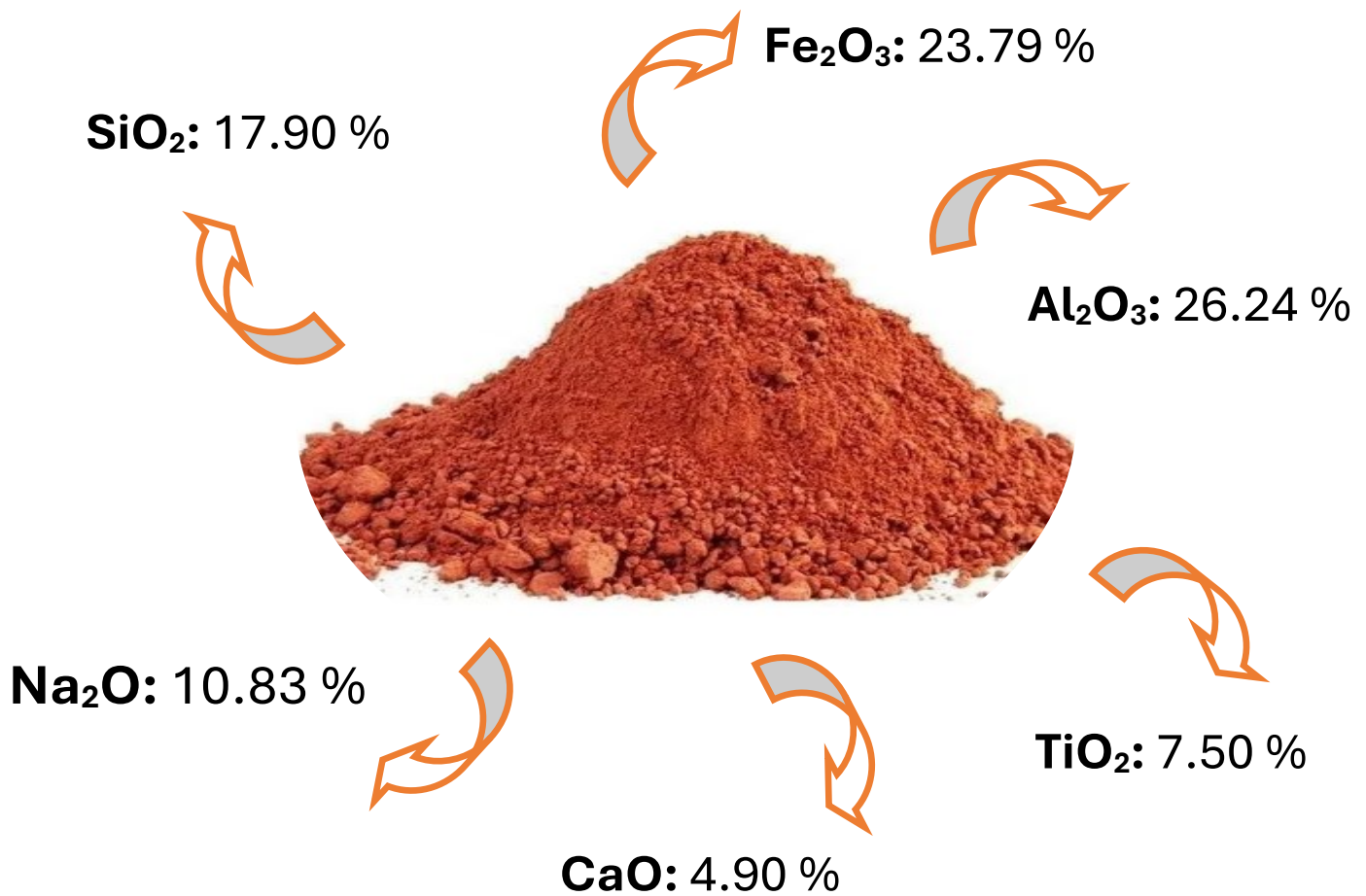


Fig. 1. Composición de los residuos de bauxita reportada típicamente en la literatura.

IMPORTANCIA DE LA VALORIZACIÓN DE LOS RESIDUOS DE BAUXITA

La búsqueda de alternativas para la valorización de los residuos de bauxita se traduce en beneficios económicos, sociales y ambientales. Algunos de los ejemplos son los siguientes.

Reducción del impacto ambiental

- **Minimización de residuos.** La valorización permite convertir los residuos de bauxita en productos útiles, reduciendo la cantidad de residuos que deben ser gestionados y almacenados.
- **Conservación de recursos naturales.** Al reutilizar los residuos de bauxita, se disminuye la necesidad de extraer nuevas materias primas, preservando los recursos naturales.
- **Espacio de almacenamiento.** Al reducirse la cantidad de residuos que deben almacenarse, se disminuye la degradación del suelo, y la contaminación a cuerpos de agua.



Recuperación de materiales

- **Materiales de construcción.** Los residuos de bauxita pueden ser utilizados para fabricar ladrillos, cemento, y otros materiales de construcción.
- **Metales de uso industrial.** A través de procesos de recuperación, se pueden extraer metales de uso industrial útiles como el aluminio, el titanio y el hierro.



Beneficios económicos

- **Reducción de costos de disposición.** Gestionar los residuos de manera adecuada puede ser costoso. La valorización puede reducir estos costos al transformar los residuos en productos con valor comercial.
- **Generación de ingresos.** Los productos derivados de los residuos pueden ser comercializados, generando ingresos adicionales.



EJEMPLOS DE VALORIZACIÓN DE LOS RESIDUOS DE BAUXITA

Materiales de Construcción

Los residuos de bauxita se pueden utilizar en la fabricación de materiales de construcción como ladrillos, cemento, cerámica y concreto. Se ha investigado el empleo de residuos de bauxita como sustituto potencial para la producción de concreto [6].



Tratamiento de Aguas Residuales

Los residuos de bauxita tienen propiedades que los hacen útiles en la adsorción de contaminantes y metales pesados en el tratamiento de aguas residuales. Se pueden utilizar como adsorbentes en sistemas de tratamiento de aguas para eliminar impurezas como el fosforo [7].

Mejoramiento del Suelo

En algunas regiones, los residuos de bauxita se han utilizado para mejorar suelos ácidos [8]. Además, se ha estudiado el efecto de los residuos de bauxita para la remoción de Cromo en suelos contaminados [9].



Obtención de materiales catalíticos

Los **residuos** de bauxita también pueden ser fuente principal para la obtención de materiales catalíticos. En estudios recientes se ha evaluado a los óxidos de hierro como **catalizadores** de bajo costo para la obtención de hidrógeno a partir de metano [10].

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: OBTENCIÓN DE “HIDRÓGENO VERDE”



Debido al creciente aumento en las temperatura global a raíz del cambio climático y la escasez de los combustibles fósiles tradicionales, la búsqueda de combustibles alternativos sostenibles y ambientalmente menos contaminantes es fundamental.

Por esta razón, el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación lanzó una propuesta de investigación bajo el modelo de “*Chemical Looping*”. Este modelo busca la obtención de hidrógeno de bajas emisiones a partir de la conversión catalítica del metano en dióxido de carbono e hidrógeno "verde" a partir de biogás residual del tratamiento de aguas residuales.

Código Registro: 93266

Título: Proceso integral para la obtención de hidrógeno de bajas emisiones a partir de biogás producido en plantas de tratamiento de aguas residuales usando transportadores sólidos de oxígeno de bajo costo

¿CUÁL ES EL APOORTE DEL GRUPO CAMER EN EL PROYECTO?

En el grupo de Investigación en Catálisis Ambiental y Energías Renovables, a través de sus semilleros de investigación, nos encontramos evaluando diversos tratamientos fisicoquímicos como la homogeneización asistida por ultrasonido, la coprecipitación-deposición y procesos térmicos como la

calcinación, para la modificación morfológica y estructural de los **residuos de bauxita**, y su posterior **aplicación** como transportador sólido de oxígeno en la reacción de “*Chemical Looping*” para la obtención de hidrógeno de bajas emisiones a partir de biogás.

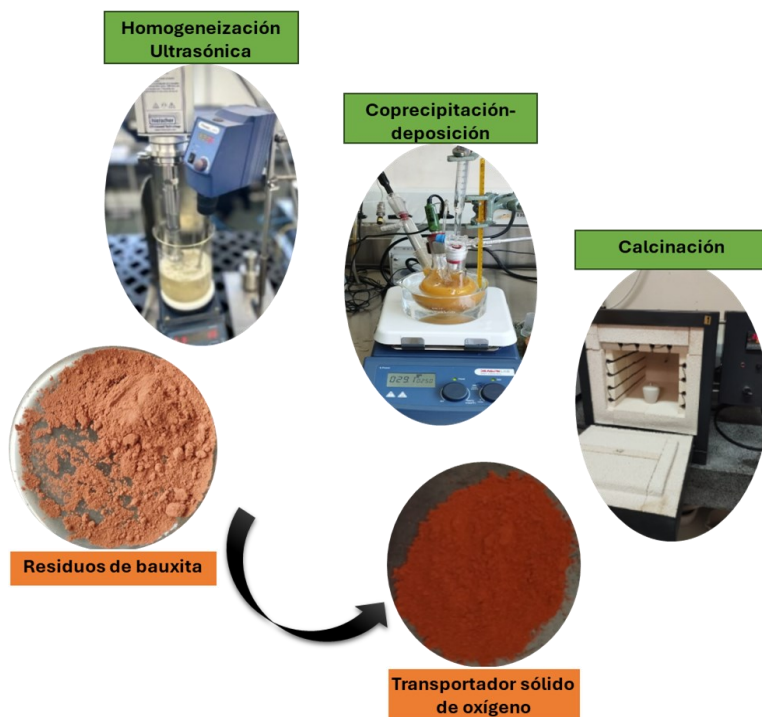
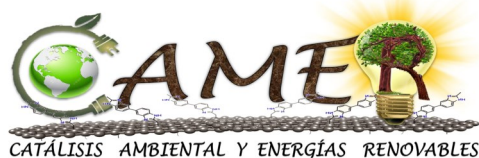


Fig. 2. Procesos fisicoquímicos evaluados para la obtención del transportador sólido de oxígeno a partir de **residuos de bauxita**

¿POR QUÉ EMPLEAR TÉCNICAS DE ULTRASONIDO?



Fig. 3. Ventajas de la modificación de los residuos de bauxita con homogeneización ultrasónica.

El uso de pretratamientos mediante homogeneización ultrasónica en minerales como la bauxita ofrece varias ventajas significativas para la síntesis de catalizadores, especialmente aquellos que funcionan como transportadores de oxígeno en procesos de producción de hidrógeno a partir de residuos como el metano. La homogeneización ultrasónica facilita una mayor dispersión y reducción de tamaño de las partículas del mineral, lo que aumenta la superficie específica y la disponibilidad de sitios activos. Este pretratamiento mejora la eliminación de impurezas y promueve una distribución más uniforme de los metales en la matriz del material, lo que es crucial para maximizar la eficiencia catalítica y la transferencia de oxígeno durante las reacciones químicas. La homogeneización ultrasónica genera cavitación acústica, lo que produce microburbujas y ondas de choque que facilitan la ruptura de enlaces y la activación de la superficie del mineral. Esto no solo aumenta la accesibilidad de los sitios activos, sino que también puede mejorar la sinterización controlada de los metales, asegurando que se mantengan en formas químicamente activas y disponibles para la reacción.

La disponibilidad superficial de metales específicos en el material final es fundamental para la producción de hidrógeno, ya que determina la eficiencia del catalizador en la transferencia de oxígeno y en la oxidación selectiva de

metano. Un catalizador con una alta disponibilidad de metales activos puede mejorar significativamente la conversión del metano en hidrógeno y productos oxidados de forma más controlada, minimizando la formación de carbono y

otros subproductos no deseados.

Se han reportado diversos estudios en torno a la modificación estructural de transportadores sólidos de oxígeno a base de hierro.

Short Communication



Modification of traditionally impregnated $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ oxygen carriers by ultrasonic method and their performance in chemical looping combustion

Xing Chen, Southeast University, Nanjing, China
 Shuai Zhang, Southeast University, Nanjing, China and Shenhua Guohua (Beijing) Electric Power Research Institute Co. Ltd., Beijing, China
 Rui Xiao and Peng Li, Southeast University, Nanjing, China

“La incorporación de la irradiación ultrasónica al método de impregnación tradicional podría mejorar significativamente las propiedades fisicoquímicas de la muestra de $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ preparada. Una estructura mejor cristalizada con una reducción significativa del tamaño cristalino” [11].

“Los resultados revelaron que la estructura densa de la magnetita original se destruyó después del tratamiento ultrasónico, lo que acortó significativamente el período de inducción para obtener una conversión de metano relativamente alta. En comparación con la magnetita original, el rendimiento de gas de síntesis aumentó de 10,29 a 13,15 mmol/g, y el rendimiento de H_2 aumentó de 4,93 a 5,43 mmol/g debido al tratamiento ultrasónico” [10].



Contents lists available at ScienceDirect

Applied Energy

journal homepage: www.elsevier.com/locate/apenergy



Improved activity of magnetite oxygen carrier for chemical looping steam reforming by ultrasonic treatment

Chunqiang Lu^{a,b}, Kongzhai Li^{a,b,c}, Xing Zhu^a, Yonggang Wei^a, Lei Li^a, Min Zheng^b, Bingbing Fan^c, Fang He^d, Hua Wang^{a,b}

^a State Key Laboratory of Complex Nonferrous Metal Resources Clean Utilization, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China

^b Faculty of Metallurgical and Energy Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China

^c School of Material Science and Engineering, Zhengzhou University, Henan 450001, China

^d College of Chemistry and Bioengineering, Galin University of Technology, Galin 541006, China

ALIANZAS

El grupo CAMER ha establecido alianzas con entidades públicas y privadas para desarrollar a cabalidad los objetivos del proyecto del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, Ministerio de Minas y Energía, y Ecopetrol. Algunas de las entidades implicadas en el proyecto se muestran a continuación.



Universidad de Nariño



SUMICOL



CONCLUSIÓN

La valorización de los residuos de bauxita es de suma importancia tanto a nivel ambiental como económico y social, ya que fomenta nuevas formas de ingresos económicos y disminuye los impactos al medioambiente. El explorar los residuos de bauxita como alternativa sostenible para la obtención de un catalizador que sea efectivo y de bajo costo para la reacción de oxidación del metano, brinda nuevas oportunidades resilientes con el clima, bajas en carbono y en concordancia con las políticas internacionales del desarrollo sostenible.



AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (MinCiencias), Ministerio de Minas y Energía (MinEnergía), y Ecopetrol por la financiación con recursos del Patrimonio Autónomo Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación Francisco José de Caldas del proyecto de investigación “Proceso integral para la obtención de hidrógeno de bajas

emisiones a partir de biogás producido en plantas de tratamiento de aguas residuales usando transportadores sólidos de oxígeno de bajo costo.”, código 93266, aprobado en el marco de la Convocatoria No. 929 de 2022 y el convenio 753-2021. Convocatoria para la Medición de captura y secuestro de CO₂ y procesamiento de generación de H₂, temática 2”.



REFERENCIAS

- [1] C. Li *et al.*, “The recycle of red mud as excellent SCR catalyst for removal of NO_x,” *RSC Adv*, vol. 7, no. 84, pp. 53622–53630, 2017, doi: 10.1039/c7ra10348d.
- [2] M. A. Khairul, J. Zanganeh, and B. Moghtaderi, “The composition, recycling and utilisation of Bayer red mud,” Feb. 01, 2019, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.resconrec.2018.11.006.
- [3] S. Qin and B. Wu, “Effect of self-glazing on reducing the radioactivity levels of red mud based ceramic materials,” *J Hazard Mater*, vol. 198, pp. 269–274, Dec. 2011, doi: 10.1016/j.jhazmat.2011.10.039.
- [4] H. Liu, G. Hu, Y. Luo, K. Zhang, S. Chen, and A. Qin, “Red mud-based lithium-ion battery anode material with high electrochemical performance prepared by acid and SDS-assisted hydrothermal method,” *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, vol. 33, no. 9, pp. 6201–6213, Mar. 2022, doi: 10.1007/s10854-022-07795-9.
- [5] M. Damizia, M. P. Bracciale, S. Mousavi, L. Tai, P. De Filippis, and B. Caprariis, “Red mud as hydrogen producer in hydrothermal liquefaction of pinewood: Minimization of process wastes by recycling the water and hydrochar phases,” *Elsevier*, pp. 1–10, 2024. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.121139>.
- [6] V. Singh, S. Bano, V. B. Chauhan, P. Pal, A. Kumar, and J. B. Srivastava, “Red mud as a sustainable road construction material: An experimental investigation,” *Constr Build Mater*, vol. 411, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.134549.
- [7] J. Liu, X. Pan, Y. Guo, Z. Lv, C. Wei, and H. Yu, “Sustainable and efficient removal of phosphorus from wastewater through red mud residue after deep dealkalization,” *Colloids Surf A Physicochem Eng Asp*, vol. 700, Nov. 2024, doi: 10.1016/j.colsurfa.2024.134782.
- [8] J. Qin, X. Wang, M. Deng, H. Li, and C. Lin, “Red mud-biochar composites (co-pyrolyzed red mud-plant materials): Characteristics and improved efficacy on the treatment of acidic mine water and trace element-contaminated soils,” *Science of the Total Environment*, vol. 844, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.157062.
- [9] Q. Liang, M. Zhang, C. Liang, and H. Chen, “Modified red mud tailored to chromium contaminated soil remediation,” *J Environ Chem Eng*, vol. 11, no. 3, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.jece.2023.109720.
- [10] C. Lu *et al.*, “Improved activity of magnetite oxygen carrier for chemical looping steam reforming by ultrasonic treatment,” *Appl Energy*, vol. 261, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.114437.
- [11] X. Chen, S. Zhang, R. Xiao, and P. Li, “Modification of traditionally impregnated Fe₂O₃/Al₂O₃ oxygen carriers by ultrasonic method and their performance in chemical looping combustion,” *Greenhouse Gases: Science and Technology*, vol. 7, no. 1, pp. 65–77, Feb. 2017, doi: 10.1002/ghg.1636.