

Comunicación Corta

**ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL PROCESO DE LIXIVIACIÓN
ÁCIDA DE LA DOLOMITA**

EXPERIMENTAL STUDY OF THE ACID LEACHING PROCESS OF DOLOMITE

Lisandra Guevara Orozco^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-9940-9425>
Mixary Enríquez García¹ <https://orcid.org/0000-0002-0644-1160>
Ángel Mollineda Trujillo² <https://orcid.org/0000-0002-5057-4411>
Suleidys Herrera Álvarez³ <https://orcid.org/0000-0003-3992-6583>
Ronaldo F. Santos Herrero¹ <https://orcid.org/0000-0001-5741-8959>
Néstor Ley Chong¹ <https://orcid.org/0000-0001-5575-246X>

¹ Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Química y Farmacia, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

² Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP), Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

³ Empresa Geominera del Centro, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

Recibido: Septiembre 18, 2025; Revisado: Septiembre 30, 2025; Aceptado: Octubre 6, 2025

RESUMEN

Introducción:

El sulfato de magnesio es crucial para la agricultura e industria farmacéutica cubanas. Su obtención mediante lixiviación ácida de dolomita, recurso abundante en Cuba, requiere evaluar sus parámetros fundamentales.

Objetivo:

Determinar la concentración de magnesio en soluciones de sulfato de magnesio aplicando el diseño de Plackett-Burman.

Materiales y Métodos:

Se procesó dolomita de Villa Clara mediante lixiviación con H₂SO₄, evaluando concentración ácida, temperatura, tiempo y agitación según diseño Plackett-Burman. La concentración de Mg²⁺ se midió por espectrometría de absorción atómica.

Resultados y Discusión:

La concentración de magnesio varió entre 680,5 y 987,5 mg/L. La máxima concentración (987,5 mg/L) se obtuvo con alta concentración de ácido (98%), baja temperatura (30°C)



Este es un artículo de acceso abierto bajo una Licencia *Creative Commons* Atribución-No Comercial 4.0 Internacional, lo que permite copiar, distribuir, exhibir y representar la obra y hacer obras derivadas para fines no comerciales.

* Autor para la correspondencia: Lisandra Guevara, Email: lgorozco@uclv.cu



y alta agitación (400 rpm).

Conclusiones:

La concentración de ácido y la velocidad de agitación son los factores más influyentes en el proceso. El diseño experimental resultó efectivo para identificar las condiciones que maximizan la concentración de magnesio.

Palabras clave: diseño experimental; dolomita; lixiviación ácida; Plackett-Burman; sulfato de magnesio.

ABSTRACT

Introduction:

Magnesium sulfate is crucial for Cuban agriculture and pharmaceutical industry. Its production through acid leaching of dolomite, an abundant resource in Cuba, requires evaluating its fundamental parameters.

Objective:

To determine the magnesium concentration in magnesium sulfate solutions using the Plackett-Burman design.

Materials and Methods:

Dolomite from Villa Clara was processed through leaching with H_2SO_4 , evaluating acid concentration, temperature, time and agitation according to Plackett-Burman design. Mg^{2+} concentration was measured by atomic absorption spectrometry.

Results and Discussion:

The magnesium concentration ranged between 680.5 and 987.5 mg/L. The maximum concentration (987.5 mg/L) was obtained with high acid concentration (98%), low temperature (30°C) and high agitation (400 rpm).

Conclusions:

Acid concentration and agitation speed are the most influential factors in the process. The experimental design proved effective for identifying the conditions that maximize magnesium concentration.

Keywords: experimental design; dolomite; acid leaching; Plackett-Burman; magnesium sulfate.

1. INTRODUCCIÓN

El sulfato de magnesio constituye un insumo fundamental para sectores como el farmacéutico y agrícola (Fernández et al., 2022). Entre las principales rutas de obtención descritas en la literatura científica (García, 2021) destaca para países en desarrollo, la lixiviación ácida de minerales magnésicos, por permitir el aprovechamiento de recursos e infraestructuras locales.

En el caso específico de Cuba, la producción nacional de este compuesto adquiere relevancia estratégica. Su aplicación como fertilizante en cultivos de alto valor y como materia prima farmacéutica, unida a la actual dependencia de importaciones bajo restrictivas condiciones económicas, hace imperioso desarrollar procesos eficientes que

utilicen recursos autóctonos (Fernández, 2020).

Afortunadamente, el país dispone de significativas reservas de dolomita -su principal mineral de magnesio- con yacimientos en las provincias de Villa Clara, Matanzas, Pinar del Río y Artemisa (Alonso et al., 2018), cuyo aprovechamiento representa una alternativa viable para la sustitución de importaciones.

El estudio a escala de laboratorio del proceso es crucial para maximizar las concentraciones del producto. En este, variables como la concentración de ácido, la temperatura, el tiempo y la velocidad de agitación son determinantes (Bamdad, 2021). El objetivo del presente trabajo es determinar la concentración de magnesio en soluciones de sulfato de magnesio aplicando el diseño de Plackett-Burman.

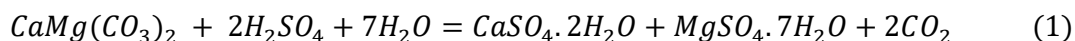
2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para desarrollar las pruebas experimentales se empleó el mineral dolomita perteneciente al municipio de Remedios en la provincia de Villa Clara, Cuba cuya composición química se muestra en la tabla 1 de acuerdo a la información obtenida del trabajo realizado por Alonso et al. (2018).

Tabla 1. Composición del mineral dolomita

Componentes presentes	%
MgO	18,01
CaO	33,98
Fe ₂ O ₃	0,04
Al ₂ O ₃	0,07
SiO ₂	0,24
CO ₂	47,66

Se utilizó además ácido sulfúrico al 98 % y agua destilada. El ácido sulfúrico (H₂SO₄) es el reactivo principal en la obtención de sulfato de magnesio heptahidratado y constituye la principal fuente de azufre. El agua destilada es empleada como medio para mezclar ácido con dolomita facilitando la disolución de sus componentes (Alvites & Cerna, 2013). En todas las pruebas realizadas se emplearon 30 g de dolomita, 90 mL de agua destilada y 20 mL de ácido sulfúrico. La reacción química que se pone de manifiesto se representa en la ecuación 1:



Con la aplicación del diseño de Plackett-Burman (Chávez, 2024) se confeccionó la matriz experimental que permitió desarrollar los experimentos. En la tabla 2 se muestran los niveles seleccionados para las variables a estudiar de acuerdo a las investigaciones desarrolladas por Rashad & Baioumy (2005) y la matriz que resulta de la combinación de estos factores se puede apreciar en la tabla 3.

Para desarrollar cada experiencia, en un vaso de precipitado se vierten el agua destilada, el 20 mL ácido sulfúrico (98 % o 78 %) y se le añade poco a poco la dolomita manteniendo la solución en baño isotérmico para garantizar la temperatura deseada. Con el empleo de un agitador magnético se garantiza la velocidad requerida para cada experiencia y se deja

<i>Variables</i>	<i>Nivel bajo</i>	<i>Nivel alto</i>
X ₁ (Concentración de H ₂ SO ₄) (%)	78	98
X ₂ (Temperatura) (°C)	30	60
X ₄ (Tiempo de reacción) (min)	30	60
X ₆ (Velocidad de agitación) (rpm)	300	400

N	X_1	X_2	$X_3 (X_{f1})$	X_4	$X_5 (X_{f2})$	X_6	$X_7 (X_{f3})$
1	+	+	+	-	+	-	-
2	+	+	-	+	-	-	+
3	+	-	+	-	-	+	+
4	-	+	-	-	+	+	+
5	+	-	-	+	+	+	-
6	-	-	+	+	+	-	+
7	-	+	+	+	-	+	-
8	-	-	-	-	-	-	-

El objetivo de la lixiviación ácida de la dolomita es maximizar la conversión del mineral en sulfato de magnesio. Como la concentración de sulfato de magnesio es proporcional a la concentración de los iones magnesio en la solución, es posible determinar las condiciones que maximicen la concentración del sulfato. Con la prueba de absorción atómica se determinó la concentración de iones magnesio para cada experimento. Estos resultados se muestran en la tabla 4 y en la figura 1.

[illegible]

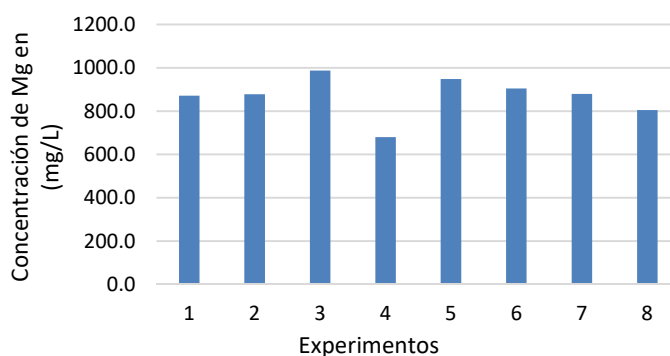


Figura 1. Resultados experimentales

Los resultados del diseño de Plackett-Burman mostraron una amplia variabilidad en la concentración de magnesio (680,5 - 987,5 mg/L), confirmando la alta sensibilidad del proceso de lixiviación a las condiciones operativas.

La máxima concentración (987,5 mg/L) se obtuvo en el experimento 3, donde la elevada concentración de ácido y la agitación vigorosa son determinantes para la disolución del magnesio, incluso con parámetros reducidos de tiempo y temperatura. La efectividad de una alta velocidad de agitación concuerda con lo reportado por Bamdad (2021), quien señaló su importancia para mejorar la transferencia de masa y la homogenización del sistema, factores críticos en procesos de lixiviación.

4. CONCLUSIONES

1. El proceso de obtención de sulfato de magnesio es altamente sensible a las condiciones operativas, como lo demuestra la amplia variabilidad en las concentraciones de magnesio obtenidas, las cuales oscilaron entre 680,5 y 987,5 mg/L.
2. El análisis de los resultados determinó que la combinación de factores probada en el experimento 3 genera la máxima concentración de magnesio, alcanzando 987,5 mg/L, valor que constituye el máximo observado en este conjunto de experimentos.
3. Este estudio proporciona una base experimental sólida para optimizar el proceso, señalando la configuración operativa específica que conduce a la máxima eficiencia en la concentración de magnesio.

REFERENCIAS

- Alonso, J. A., Batista, R., Anaya, M., Díaz, A., Hernández, A. N., & Ramírez, Y. (2018). Potencial geotecnológico de menas dolomíticas, aguas madres de salinas y escorias de ferromniquel para su empleo en la industria nacional. *INFOMIN*, 10(1), 72–87. <https://infomin.edicionescervantes.com/index.php/i/article/view/13/17>
- Alvites, J.A., & Cerna, R. (2013). *Optimización del proceso productivo de sulfato de magnesio heptahidratado mediante el diseño e implementación de una planta piloto de producción de fertilizantes solubles*. [Tesis para optar por el título de Ingeniero Químico, Universidad de Trujillo].

<https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/43131bfd-148a-4fb3-8d3a-37914db01e6c/content>

- Bamdad, S. (2021). Optimización de las operaciones de lixiviación de pulpa y ácido en el proceso de producción de lingotes de zinc mediante el enfoque de minería de datos. *SN Applied Sciences*, 3(520), 1-19. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04484-w>
- Chávez, R. (2024). Evaluation of variables through the Plackett-Burman design in the flotation process of copper sulphide minerals from the San Rafael de Belén deposit. *Ciencia Latina*, 7(6), 5945–5954. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9481784>
- Fernández, R. (2020). *Diseño de una Planta Multipropósito de sulfatos en la provincia de Villa Clara*. [Tesis para optar por el título de Ingeniero Químico, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas]. <https://dspace.uclv.edu.cu/server/api/core/bitstreams/b530bcd1-e332-479f-8a9b-89df77e51802/content>
- Fernández, R., Serrano, J., Ley, N., González, E., & Guevara, L. (2022). Evaluar la factibilidad económica de una planta multipropósito para la producción de sulfatos. *Tecnología Química*, 42(3), 474-486. <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v42n3/2224-6185-rtq-42-03-474.pdf>
- García, V. (2021). *Diseño de una planta de producción de $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ mediante cristalización*. [Tesis para optar por el título de Ingeniero Químico, Universidad de Sevilla, Sevilla]. <https://idus.us.es/server/api/core/bitstreams/05b0668a-31df-43bf-9dd3-155802e72f15/content>
- Rashad, M. M., & Baioumy, H. M. (2005). Chemical processing of dolomite associated with the phosphorites for production of magnesium sulfate heptahydrate. *The European Journal of Mineral Processing and Environmental Protection*, 5(2), 174–183. <https://www.911metallurgist.com/wp-content/uploads/2015/12/Chemical-processing-of-dolomite-associated-with-the-phosphorites-for-production-of-magnesium-sulfate-heptahydrate.pdf>

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- Ing. Lisandra Guevara Orozco. Redacción-primera redacción, investigación,
 - M.Sc. Suleidys Herrera Álvarez. Redacción - revisión y edición.
 - Téc. Mixary Enríquez García. Conservación de datos.
 - Téc. Angel Mollineda Trujillo. Conservación de datos.
 - Dr.C. Ronaldo F. Santos Herrero. Conceptualización, análisis formal.
 - Dr.C. Néstor Ley Chong. Análisis formal.
-