

Optimización geológica de las calizas en la Formación Cajamarca para la producción de óxido de calcio (cal) en la localidad de Chamis, Cajamarca, Perú

Geological study of limestones in the Cajamarca Formation for the production of calcium oxide (lime) in the Chamis Locality, Cajamarca, Peru

Hugo Mosqueira¹, Alejandro Lagos¹, Eduardo Rodríguez¹, Eduardo Salazar^{1*}

¹Facultad de Educación, Universidad Nacional de Cajamarca, Av. Atahualpa 1070, C.P. 06003, Cajamarca, Perú

* Autor de correspondencia: esalazar@unc.edu.pe

Resumen

La industria de minería de minerales no metálicos desempeña un papel crucial en el desarrollo económico e industrial de Perú. En la región de Cajamarca, la demanda de óxido de calcio es significativa, tanto en la industria agropecuaria como en la minera. En la localidad de Chamis, ubicada al noreste de la ciudad de Cajamarca, se encuentran extensos afloramientos de calizas pertenecientes a la Formación Cajamarca del Cretácico superior. Los resultados químicos y observaciones macroscópicas indican condiciones altamente propicias para la explotación de óxido de calcio en esta área. La proximidad de estos afloramientos a la carretera principal presenta una ventaja logística importante, ya que contribuiría a la reducción de los costos asociados con el transporte del material extraído, su traslado a los hornos de calcinación y la posterior comercialización del producto. Este factor estratégico no solo facilitaría la eficiencia operativa, sino que también potenciaría la competitividad del proyecto, consolidando así la viabilidad económica de la explotación de calizas en la Formación Cajamarca en la localidad de Chamis.

Palabras clave: Cajamarca, explotación de calizas, minería no metálica, óxido de calcio, ventaja logística

Abstract

The non-metallic mining industry plays a crucial role in the economic and industrial development of Peru. In the Cajamarca region, there is significant demand for calcium oxide, both in the agricultural and mining sectors. In the locality of Chamis, located northeast of the city of Cajamarca, extensive outcrops of limestones from the Upper Cretaceous Cajamarca Formation are observed. Chemical results and macroscopic observations indicate highly favorable conditions for the exploitation of calcium oxide in this area. The proximity of these outcrops to the main road presents a significant logistical advantage, as it would contribute to reducing the costs associated with the transportation of extracted material, its transfer to calcination furnaces, and subsequent product marketing. This strategic factor not only enhances operational efficiency but also boosts the project's competitiveness, thereby consolidating the economic viability of limestone exploitation in the Cajamarca Formation in the Chamis locality.

Key words: Cajamarca, calcium oxide, limestone exploitation, logistic advantage, non-metallic mining

Introducción

La investigación geológica dedicada al estudio de las calizas con el propósito de obtener óxido de calcio (cal) es un campo de indagación esencial en la intersección entre la geología aplicada y la industria. La cal, reconocida por sus múltiples aplicaciones en sectores tan diversos como la agricultura, la construcción y la metalurgia, ha desencadenado un interés significativo en la evaluación detallada de los depósitos de calizas que constituyen su fuente primaria. Este estudio geológico se convierte, por tanto, en una empresa de vital importancia, ya que no solo aborda la caracterización de las formaciones geológicas que albergan estos depósitos, sino que también busca comprender la compleja interacción entre las propiedades geológicas y la calidad del óxido de calcio resultante.

En particular, el enfoque de esta investigación se centra en las calizas, cuyas propiedades intrínsecas y distribución geográfica tienen un impacto directo en la viabilidad y eficiencia de la producción de óxido de calcio. Se exploran aspectos geológicos detallados, incluyendo la edad de las formaciones calizas, sus características físicas y químicas, así como la evaluación de la factibilidad económica de su explotación. Este estudio no solo aporta a la comprensión geológica fundamental, sino que también proporciona una base sólida para la optimización de procesos industriales relacionados con la obtención de cal a partir de calizas.

La metodología adoptada en este estudio abarca una amplia gama de técnicas geológicas y analíticas, desde la cartografía geológica detallada hasta análisis químicos precisos. Este enfoque multidisciplinario permite una evaluación integral de las condiciones geológicas que afectan la calidad y cantidad de cal que puede ser

obtenida. Además, se abordan consideraciones logísticas y económicas relacionadas con la ubicación de los yacimientos de calizas, destacando la importancia de la accesibilidad y la infraestructura de transporte en la viabilidad comercial de la explotación.

En síntesis, este estudio geológico de las calizas para la obtención de óxido de calcio se presenta como un componente esencial para el avance de la comprensión geológica aplicada y la mejora de las prácticas industriales asociadas. A medida que se profundiza en la complejidad de estas formaciones geológicas, se abre una ventana de oportunidad para optimizar la explotación de recursos naturales, contribuyendo así al desarrollo sostenible y al progreso económico. Por ello, el presente estudio tuvo la finalidad de realizar el estudio geológico en la localidad de Chamis y sus alrededores para identificar los afloramientos de las calizas de la Formación Cajamarca y realizar análisis químicos para determinar si son aptas para su explotación. Esta zona de estudio abarca un área aproximada de 36,9 km².

Materiales y métodos

La investigación se centró prioritariamente en la evaluación de la idoneidad de las rocas calizas pertenecientes a la Formación Cajamarca para la obtención de óxido de calcio, dada la significativa demanda de este material en la región de Cajamarca. El estudio se llevó a cabo en la porción noroeste de la ciudad de Cajamarca y en la dirección oeste de la localidad de Chamis (Figura 1).

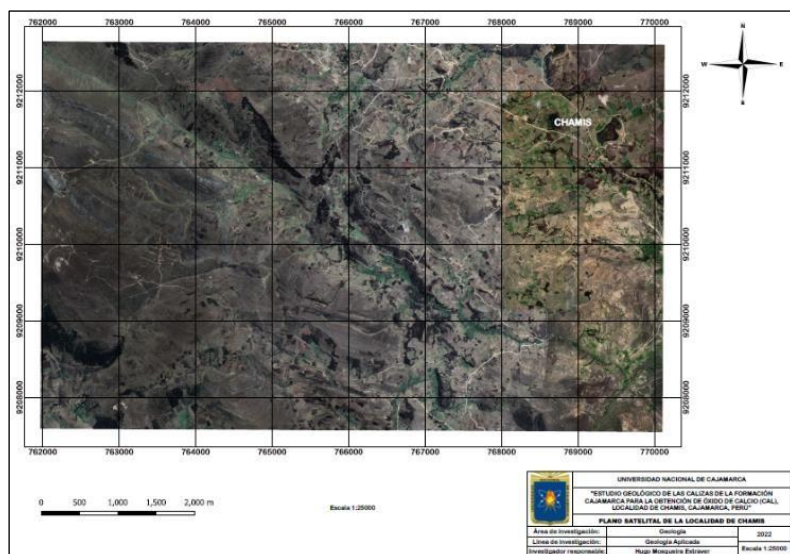


Figura 1. Imagen satelital de la zona de estudio

Como unidad de análisis se seleccionaron los afloramientos de la Formación Cajamarca, compuesta por calizas gris azulas, estratos sólidos y altamente resistentes a la erosión, caracterizadas por su elevada pureza en

carbonato de calcio ($\text{CO}_3 \text{Ca}$). Estos depósitos presentan un espesor de 500 m y datan de la época del Turoniano. La cartografía geológica y el uso de un mapa satelital se llevaron a cabo para contextualizar la disposición de estos afloramientos en la zona de estudio. Todos estos recursos documentales desempeñaron un papel fundamental en la elaboración del informe final, así como en la formulación de conclusiones y recomendaciones derivadas de la investigación.

La zona de estudio se dividió en tres estaciones, donde se recopilaron datos exhaustivos sobre las características de las calizas. Además, se recolectaron muestras con el propósito de realizar los análisis pertinentes, contribuyendo de esta manera a una comprensión más completa de la composición y viabilidad de las rocas calizas de la Formación Cajamarca para la producción de óxido de calcio.

Resultados y discusión

Se construyó el siguiente mapa geológico de la zona a estudiar en Chamis y a partir de ello, se analizaron tres importantes estaciones ricas en el mineral (Figura 2).

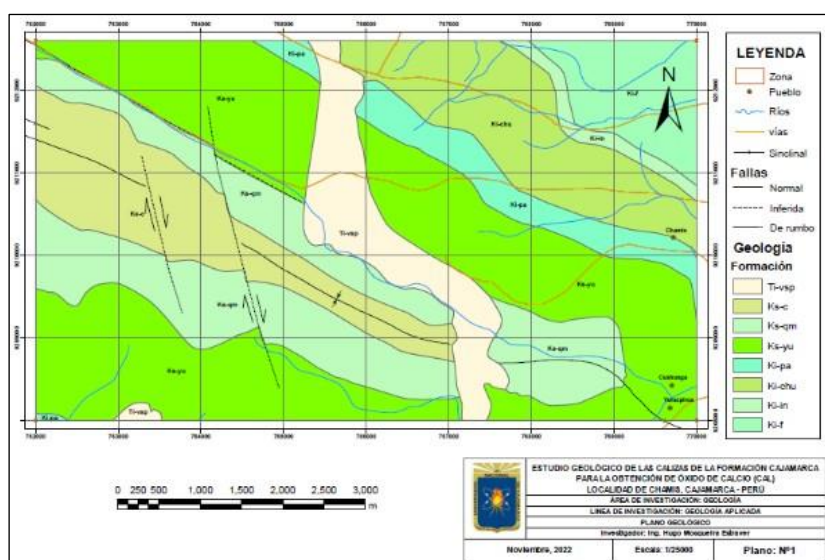


Figura 2. Mapa geológico del área de estudio

Primera estación

En la presente estación, se evidencian afloramientos de calizas con una orientación predominante de noroeste a sureste, integrándose al flanco oriental del sinclinal Urubamba. Estos afloramientos exhiben un buzamiento promedio de 35° a 40° (Figura 3).



Figura 3. Afloramiento que pertenece a la Formación Cajamarca (Estación CHA-01)

La morfología de este afloramiento se caracteriza por estratos de calizas con un espesor de dos metros, presentando una tonalidad gris azulina que distingue su apariencia. Dichas capas se entremezclan con estratos más delgados, con un grosor de 0,5 metros. La exposición de estas calizas revela una serie de fracturas que añaden complejidad a la estructura geológica circundante.

Para obtener una comprensión más detallada de las propiedades fisicoquímicas de la muestra de caliza proveniente de esta estación, se realizó un análisis exhaustivo. Este análisis abordó aspectos clave como la composición mineralógica, la presencia de impurezas, y la determinación de características físicas, proporcionando información crucial para evaluar la idoneidad de estas calizas en la obtención de óxido de calcio (Figura 4 y Tabla 1):

ANÁLISIS QUÍMICO										
Código	Formación	% Material Insoluble	% Cao	% SiO ₂	% Al ₂ O ₃	% Fe ₂ O ₃	% MgO	% SO ₃	% Pérdida por calcinación	% CO ₃ Ca
CHA-01	Fm. Cajamarca	3.80	51.80	2.08	0.55	0.21	0.11	0.18	44.09	88.00

ANÁLISIS FÍSICO	
Determinación física	Resultados
Color	Gris azulino
Dureza	Media a alta
Grado de alteración	Bien conservada
Fractura	Irregular a veces concoidea

NORMAS UTILIZADAS :


ASTM C25-96

NTP 334.13

Figura 4. Análisis químico de la caliza de la estación CHA-01

Tabla 1. Estudio macroscópico de la muestra de la estación CHA-01

Color superficial	Gris oscuro
Color de muestra fresca	Gris azulino
Dureza	Alta
Componente principal	CO ₃ Ca
Arcillas	8%
Fractura	Irregular
Grado de alteración	Incipiente
Reacción al HCL	Fuerte efervescencia
Aspecto superficial	Estructuras de disolución (lapiáz)
<p>Descripción: En la muestra de caliza se observan venillas de calcita. Los afloramientos son muy conspicuos. Las calizas de la Formación Cajamarca se muestran con mayor resistencia a la erosión que las otras formaciones calcáreas.</p>	



Caliza micrítica

Segunda estación

En la presente estación, los afloramientos de calizas exhiben una orientación predominante de NO-SE, formando parte esencial del núcleo del sinclinal Urubamba y presentando un buzamiento promedio de 40°. La composición de este afloramiento incluye estratos de calizas con un espesor de un metro, caracterizadas por su tonalidad gris azulina y su alternancia con estratos más delgados de 0,8 metros (Figura 5).



Figura 5. Afloramientos de calizas en la estación CHA-02

La exposición de estas calizas revela una serie de fracturas, cuya génesis se atribuye a la actividad tectónica Incaica. Estas fracturas contribuyen a la complejidad estructural del afloramiento, brindando valiosa información sobre los procesos geodinámicos que han moldeado la región.

A continuación, se presentan los resultados del análisis fisicoquímico correspondientes a la estación 2, proporcionando una visión detallada de las propiedades de las calizas en estudio. Además, se incluyen los hallazgos obtenidos en el marco del estudio general, consolidando así una comprensión integral de las características geológicas y fisicoquímicas de la zona (Figura 6 y Tabla 2).

III. ANÁLISIS QUÍMICO										
Código	Formación	% Material Insoluble	% Cao	% SiO ₂	% Al ₂ O ₃	% Fe ₂ O ₃	% MgO	% SO ₃	% Perdida por calcinación	% CO ₃ Ca
CHA-01	Fm. Cajamarca	3.50	50.60	2.02	0.51	0.22	0.12	0.15	44.09	91.01

IV. ANÁLISIS FÍSICO	
Determinación física	Resultados
Color	Gris azulino
Dureza	Media a alta
Grado de alteración	Bien conservada
Fractura	Irregular a veces concoidea

NORMAS UTILIZADAS:
 ASTM C25-96
 NTP 334.13

Figura 6. Análisis químico de la caliza de la estación CHA-02

Tabla 2. Estudio macroscópico de la muestra de la estación CHA-02

Color superficial	Gris marrón
Color de muestra fresca	Gris azulino
Dureza	Media a alta
Componente principal	CO ₃ Ca
Arcillas	0.5%
Fractura	Irregular
Grado de alteración	Incipiente
Reacción al HCl	Alta efervescencia
Aspecto superficial	Estructuras de disolución (lapiáz)
Descripción: En la muestra de caliza se observan venillas de calcita. Los afloramientos son muy conspicuos. Las calizas de la Formación Cajamarca se muestran con mayor resistencia a la erosión que las otras formaciones de calizas.	



Caliza micrítica, color gris azulada.

Tercera estación

En esta estación, los afloramientos de calizas exhiben una marcada orientación NO-SE y forman parte integral del flanco occidental del sinclinal Urubamba, caracterizándose por un buzamiento promedio de 35°. Este afloramiento se compone de estratos de calizas gruesas, presentando una tonalidad gris azulina en estado fresco. Estos estratos de calizas ocupan la posición superior de la secuencia cretácica, coronando la formación geológica (Figura 7).



Figura 7. Afloramientos de calizas en la estación CHA-03 (flanco del sinclinal Urubamba)

La exposición de estas calizas revela su robustez y presencia distintiva en la secuencia cretácica. A continuación, se presentan los resultados derivados del análisis fisicoquímico y los hallazgos del estudio macroscópico de la muestra recolectada en esta estación. Estos datos contribuirán significativamente a la comprensión detallada de las propiedades geológicas y físicas de las calizas en cuestión, fortaleciendo así la base de conocimientos para futuras investigaciones y aplicaciones industriales (Figura 8 y Tabla 3).

V. ANALISIS QUÍMICO										
Código	Formación	% Material Insoluble	% Cao	% SiO2	% Al2O3	% Fe2O3	% MgO	% SO3	% Perdida por calcinación	% CO3Ca
CHA-01	Fm. Cajamarca	3.45	52.50	2.09	0.52	0.25	0.15	0.14	45.01	89.16

VI. ANÁLISIS FÍSICO	
Determinación física	Resultados
Color	Gris azulino
Dureza	Media a alta
Grado de alteración	Bien conservada
Fractura	Irregular a veces concoidea

NORMAS UTILIZADAS:
ASTM C25-96
NTP 334.13

Figura 8. Análisis químico de la caliza de la estación CHA-03

Tabla 3. Estudio macroscópico de la muestra de la estación CHA-03

Color superficial	Gris oscuro
Color de muestra fresca	Gris azulino
Dureza	Alta
Componente principal	CO ₃ Ca
Arcillas	0.5%
Fractura	Irregular a concoidea
Peso específico	2.6 TM/m ³ (teórico)
Grado de alteración	Incipiente
Reacción al HCL	Fuerte efervescencia
Aspecto superficial	Estructuras de disolución (lapiáz)
Descripción: En la muestra de caliza se observan venillas de calcita. Los afloramientos son muy conspicuos. Las calizas de la Formación Cajamarca se muestran con mayor resistencia a la erosión que las otras formaciones de calizas. Muestra pequeños fragmentos de conchas de fósiles.	



CHA-03

Caliza micrítica

Conclusiones

En la localidad de Chamis, se destacan extensos afloramientos de la Formación Cajamarca, los cuales emergen hacia el noroeste y constituyen el núcleo del Sinclinal Urubamba, con una orientación predominante de noroeste a sureste. Estos afloramientos están compuestos por estratos robustos de calizas gris azulinas, demostrando una notable resistencia a la erosión. Los análisis químicos realizados por el laboratorio INGEOCONSULT & LAB S.R.L revelan elevados contenidos de carbonato de calcio (CO₃Ca) y óxido de calcio (CaO), indicando que estas calizas son altamente adecuadas para la producción de cal. Además, los estudios petrográficos macroscópicos señalan que estas calizas presentan características micríticas, con fractura irregular a concoidea, dureza media a alta, fuerte reacción al HCl, bajo contenido de arcillas, escasa alteración y marcas de disolución (lapiáz). La inclinación promedio de los estratos de calizas, 35°, sugiere que el método de explotación por bancos sería apropiado, y la escasa presencia de material cuaternario en los afloramientos respalda la factibilidad de la explotación sin dilución significativa de la ley.

Con base en los hallazgos, se recomienda a las empresas dedicadas a la explotación de calizas llevar a cabo trabajos en esta localidad, aprovechando las condiciones propicias identificadas en los análisis. Se sugiere la colaboración con un geólogo especializado para la elección del método óptimo de explotación, con el objetivo de maximizar la eficiencia productiva. Asimismo, se hace hincapié en la importancia de realizar la exploración geológica con un enfoque ambientalmente consciente, asegurando prácticas sostenibles durante el proceso de explotación.

Referencias

- Billings, P. (1974). *Structural Geology*. Editorial Universitaria de Buenos Aires. Rivadavia, Argentina.
- Carrasco, D. (2006). *Metodología de la Investigación Científica*. Editorial San Marcos. Perú.
- Davis, M. R., & Thompson, L. J. (2017). Geological and Geochemical Characteristics of Gold Deposits in the Andean Belt. *Ore Geology Reviews*, 80, 876-892. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.10.020>
- García, M. A., & López, R. S. (2019). Environmental Impacts of Mining Activities: A Comprehensive Review. *Journal of Environmental Management*, 248, 109227. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.07.052>
- García-Castro, R., & Martínez, L. E. (2016). Assessment of Water Quality in Rivers Affected by Mining Activities: A Case Study in Northern Peru. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(2), 88. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5133-z>
- Lagos, A., & Quispe, Z. (2006). Aportes al Análisis de Cuencas Sedimentarias en los alrededores de las localidades de los Baños del Inca, Cruz Blanca, Otuzco, distrito de Cajamarca. *Boletín del XIII Congreso Peruano de Geología. Publicación Especial N° 7*. Lima, Perú.
- Lahee, F. H. (1970). *Geología Práctica* (3a ed.). Omega S.A. Barcelona, España.
- Reyes Rivera, L. (1980). *Boletín N° 31 - Estudio por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Serie A – Carta Geológica Nacional Lima – Perú*.
- Rodríguez, P., & Fernández, S. (2020). Sustainable Quarrying Practices: A Case Study in the Cajamarca Region. *Journal of Sustainable Mining*, 19(2), 86-97. <https://doi.org/10.1016/j.jsm.2020.04.002>
- Smith, J. A., & Johnson, R. B. (2018). *Qualitative Research Methods*. Sage Publications.