

Evaluación de las regolitas arcillosas del prospecto la Anita para la producción de metacaolín



<https://cu-id.com/2144/v16e08>

Evaluation of clay regoliths from the La Anita prospect for the production of metakaolin

✉ **Marcelino Arce Blanco***, ✉ **Abdiel Díaz Carmona**

RESUMEN: Después del agua, el cemento es uno de los productos más consumidos por los humanos, siendo responsable del 8 % de las emisiones de CO₂. En la actualidad, la reducción de la huella de carbono en la producción de cemento se logra mediante la disminución del factor clinker, utilizando materiales suplementarios. Con este propósito, se están evaluando las potencialidades de las regolitas arcillosas del prospecto La Anita, ubicado en el municipio La Palma, provincia de Pinar del Río. Geológicamente, este prospecto está vinculado con la corteza de meteorización de los basaltos de la Formación Encrucijada, lo que ha propiciado el desarrollo de minerales arcillosos del grupo de caolinita. Los resultados de la composición química promedio de las muestras tomadas en estado natural cumplen con los criterios empíricos para considerar una arcilla como fuente potencial de materiales cementicios suplementarios. Por otra parte, en las fases cristalinas se ha identificado la caolinita como mineral principal, constituyendo el 62 % del peso total. El contenido de minerales arcillosos contribuye directamente al carácter puzolánico de los productos de la calcinación. Los resultados obtenidos de la composición química y mineralógica están directamente relacionados y ambos sirven como base para los criterios de evaluación, confirmando el alto potencial de las regolitas arcillosas para la producción de metacaolín.

Palabras Clave: regolitas, metacaolín, arcillas caoliniticas, puzolanas, materiales cementicios.

ABSTRACT: After water, cement is one of the products most consumed by humans, being responsible for 8% of CO₂ emissions. Currently, reducing the carbon footprint in cement production is achieved by reducing the clinker factor, using supplementary materials. For this purpose, the potential of the clay regoliths of the La Anita prospect, located in the municipality of La Palma, province of Pinar del Río, is being evaluated. Geologically, this prospect is linked to the weathering crust of the basalts of the Encrucijada Formation, which has led to the development of clay minerals of the kaolinite group. The results of the average chemical composition of the samples taken in their natural state meet the empirical criteria to consider a clay as a potential source of supplementary cementitious materials. On the other hand, in the crystalline phases, kaolinite has been identified as the main mineral, constituting 62% of the total weight. The clay mineral content contributes directly to the pozzolanic character of the calcination products. The results obtained from the chemical and mineralogical composition are directly related and both serve as a basis for the evaluation criteria, confirming the high potential of clayey regoliths for the production of metakaolin.

Keywords: regoliths, metakaolin, kaolinitic clays, pozzolans, cementitious materials.

INTRODUCCIÓN

Un grupo de especialistas del Centro de Investigación y Desarrollo de Estructuras y Materiales (CIDEM), de la Universidad Central "Martha Abreu" de las Villas, de la Universidad de Moa y de la Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Suiza, han desarrollado un nuevo tipo de cemento, conocido como cemento de bajo carbono (LC3) (Almenares-Reyes *et al.* 2016; Almenares-Reyes 2017; en Ribalta *et al.* 2022), una novedosa investigación utilizando arcillas calcinadas provenientes de varios depósitos en Cuba.

Sin embargo, para sostener la industria, es necesario contar con suficientes recursos y materia prima adecuada. Con este propósito, se están evaluando las potencialidades de las regolitas arcillosas del prospecto La Anita, ubicado 10 km al noreste del pueblo La Palma, en el municipio la Palma, provincia de Pinar del Río. Se llevaron a cabo investigaciones a partir de 4 muestras superficiales en los afloramientos de las regolitas arcillosas en estado natural y se caracterizaron química y mineralógicamente, mediante Espectroscopia de Emisión Atómica (ICP-OES) y Difracción de Rayos X (DRX).

Recibido: 05/06/2024

Aprobado en su forma original: 25/10/2024

Empresa Geominera Pinar del Río, Calle Celso Maragoto No. 122 e/ pasaje 236 y 238,
Santa Lucía, Minas de Matahambre, Pinar del Río, Cuba. abdiel.diaz@nauta.cu

*Correo electrónico: Marcelo55.arce@gmail.com

Conflicto de Intereses: Los autores de este trabajo declaran que no existe conflicto de intereses.

Contribución de los autores: **Conceptualización:** Marcelino Arce Blanco. **Análisis formal de datos:** Marcelino Arce Blanco y Abdiel Díaz Carmona. **Investigación:** Marcelino Arce Blanco y Abdiel Díaz Carmona. **Metodología:** Marcelino Arce Blanco. **Redacción-revisión y edición:** Marcelino Arce Blanco.

Artículo bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

El Estudio se enfocó en establecer a partir de la composición química y mineralógica, criterios de evaluación que permita identificar el potencial de las arcillas como fuentes de materia prima para la obtención de materiales cementicios suplementarios (Almenares-Reyes, 2017; Alujas Díaz et al., 2018) para la producción de adiciones minerales activas LC2.

El problema que se aborda en esta investigación tiene sus antecedentes en investigaciones previas realizadas sobre las arcillas del prospecto La Anita y publicadas en la literatura científica. Martínez, D., y Otros (1988), en el Informe del levantamiento geológico a escala 1:50000 en la parte central de Pinar del Río, evaluaron las arcillas del sector La Anita para su uso como cerámica roja, se estiman recursos en el orden de 0.9 Mm³ y se destacan en el reporte los altos contenidos de Al₂O₃ de hasta 25.1 %, elemento indicativo de fases ricas en alúmina. Otras investigaciones, En 2017. Arce, M., y otros (2017) y Núñez, H., & Robaina, A. (2022), tomaron muestras para la caracterización química y mineralógica y los contenidos promedios de óxido de aluminio es de 26, 95 % y el contenido de caolinita es un 65 %, valores que cumplen con los criterios límites establecidos.

En conclusión, las investigaciones demostraron que las regolitas arcillosas del prospecto La Anita tienen un alto potencial como fuentes de materia prima para la producción del metacaolín (obtención de materiales cementicios suplementarios), para ser utilizadas en la producción del aditivo mineral LC2.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características generales del prospecto de arcilla

El prospecto "La Anita ", se localiza a 10 Km al noreste del pueblo La Palma y a 3 Km al noreste del batey cañero "Manuel Sanguily", municipio La Palma, provincia Pinar del Río. Se enmarca dentro de las Hojas Cartográficas a escala 1:50 000, Cayo Levisa 3484 I, La Palma 3484 II, Pan de Guajaibon 3584-III" y La Mulata 3584 IV, (Figura 1). Ocupa un área de 491.25 ha y las coordenadas Lambert (Tabla 1) de los vértices del área de prospección son las siguientes:

Tabla 1. Coordenadas de los vértices del área

VÉRTICE	XESTE	YNORTE
1	242000	336000
2	244000	336000
3	244000	334715
4	243400	334000
5	243400	333090
6	242000	333300
1	242000	336000

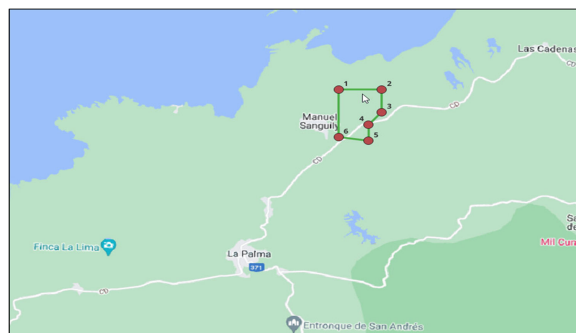


Figura 1. Localización del Área de Estudio

Durante los trabajos de investigación geológica realizados en el prospecto La Anita se tomaron un total de 4 muestras superficiales sobre los afloramientos de las regolitas arcillosas (Figura 2). En la tabla No. 2, se muestra las coordenadas de ubicación de las muestras.

Tabla 2. Coordenadas de los puntos de muestreo

Punto	No. Muestra	X	Y	Z
116	MAPCPR-004	243130	333085	18
117	MAPCPR-005	243329	333934	27
118	MAPCPR-006	243284	333877	24
Diagnostico	ANTI	243300	334190	23



Figura 2. Fotografía de los principales afloramientos

Desde el punto de vista geológico el área de estudio se enmarca dentro de la Zona Bahía Honda, representada por la unidad ofiolitas + terrenos de Arcos Volcánicos Cretácicos (O-KVT) (Cobiella-Regeura, 2008) y las arcillas del prospecto La Anita se interpretan como regolitas de composición ferruginosa o ferroaluminica, corteza de intemperismo de perfil completo, vinculadas con los basaltos de la Fm Encrucijada (ecj). las cuales han sufrido una meteorización química muy fuerte. Los afloramientos de arcillas son el resultado de la meteorización de las rocas máficas, formando potentes regolitos arcillosos (entre los 8 y 10 m de potencia), no estructurales, de coloración variada, desde el rosado hasta el rojo intenso y, en ocasiones, abigarrado, de aspecto terroso-arcilloso.

Tabla 3. Composición química de las muestras en estado natural

Puntos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Kmin
116	36.49	28.35	19.17	< 0,1	0.31	< 0,1	< 0,1	< 0,10	69.48
117	36.52	27.51	20.01	< 0,1	0.32	< 0,1	< 0,1	< 0,10	66,40
118	38.89	25.00	18.04	< 0,1	0.57	< 0,1	< 0,1	< 0,10	60.78
ANT-1	37.30	26.95	19.33	0.20					
PROMEDIO	37.70	26.95	19.14	< 0,1	0.40	< 0,1	< 0,1	< 0,10	65.55

Caracterización de las arcillas en estado natural

A las muestras de arcillas en estado natural se les realizó la caracterización química mediante el método espectroscopia de Emisión Atómica (ICP-OES) y también se le realizó la caracterización mineralógica por el método de Difracción de Rayos X (DRX).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados de la caracterización química

Los resultados de la composición química presentados en la **tabla III**, muestran que el contenido de óxidos fundamentales (SiO₂, Al₂O₃ y Fe₂O₃) como promedio es de 83.4 %, lo cual cumple con las recomendaciones y la normativa cubana para las puzolanas naturales sin calcinar y aseguran que estas arcillas tengan un alto potencial reactivo después de la calcinación.

El contenido promedio de Al₂O₃ es 26.95 %, superior al contenido límite de 18 %, lo cual es indicativo de fases ricas en alúmina.

Las muestras presentan relativamente bajos niveles de óxidos alcalinos y alcalinos térreos, lo cual sugiere que estas arcillas no contienen, al menos de manera significativa, minerales arcillosos del grupo 2:1. Los bajos contenidos de óxido de calcio y trióxido de azufre, indican que las muestras no presentan carbonatos o sulfuros y sulfatos respectivamente.

Las características de las regolitas arcillosas producto del intemperismo de los basaltos presenta una relación Al₂O₃/SiO₂ (~ 0.72), cercana a la relación teórica para los minerales del grupo de la caolinita (~0,85) y Que los procesos de producción de caolinita son favorecidos por los bajos contenidos de

los elementos alcalinos y alcalinos térreos los cuales han sido lavados durante el mecanismo de formación de la corteza de intemperismo.

Como se puede observar en la **tabla IV** los valores promedios de las muestras tomadas cumplen con los criterios límites de la composición química.

Resultados de la caracterización mineralógica

El análisis de la composición química se confirma en la caracterización mineralógica que se presenta en la **figura 3**, donde se identifica la presencia de caolinita como fase arcillosa predominante.

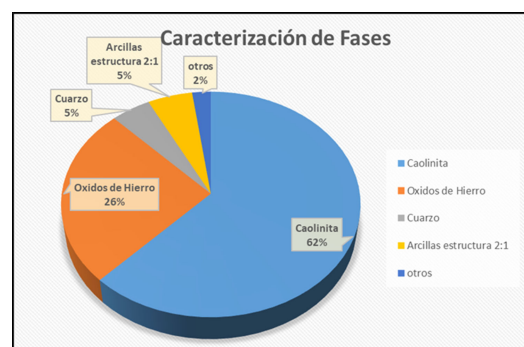


Figura 3. Caracterización de las fases cristalinas (resultados promedios de las muestras)

El depósito producto del intemperismo de rocas básicas, es también rico en óxidos e hidróxidos de hierro, que se forman de conjunto con los minerales arcillosos durante el proceso de meteorización. No se observan de manera significativa, minerales como la montmorillonita, illita y feldespato, lo cual tiene relación con la composición química, que presentan bajos contenidos de óxido de sodio, óxido de potasio y óxido de magnesio.

Tabla 4. Comparación con los criterios límites establecidos

Parámetros	Criterios Límites	Valores promedios
Criterios generales		
% Al ₂ O ₃	>18%	26.95
% SiO ₂	<70%	37.30
% Al ₂ O ₃ / % SiO ₂	> 0.3 %	0.72
(% Al ₂ O ₃ + % SiO ₂ + Fe ₂ O ₃)	> 70 %	83.40
(%Na ₂ O + %K ₂ O)	< 3,0 %	<0,1
Recomendaciones generales		
CaO	< 3.0	<0,1
MgO	< 3.0	<0,1
SO ₃	< 2,0	<0,1

CONCLUSIONES

1. Que la corteza de intemperismo desarrollada en el prospecto es un ambiente favorable para la ocurrencia de los procesos de caolinitización, importante mecanismo para la formación de acillas caolínicas. Los componentes solubles de las rocas son lixiviados, y permanecen los componentes insolubles (resistatos) como los óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio
2. Se cumple con el principal parámetro de evaluación, el contenido de caolinita, el cual se encuentra en un 62 % en estado natural, lo que asegura un alto potencial para ser utilizadas como fuente de MCS y contribuye directamente en el carácter puzolánico de los productos de la calcinación.
3. Las arcillas estudiadas presentan una composición química y mineralógica adecuada para ser consideradas con alto potencial para la producción de metacaolín.

BIBLIOGRAFÍA

- Almenares Reyes, Roger S. & otros. 2021. "Identificación y evaluación de arcillas caolínicas para la producción de cemento ternario LC3 y adiciones minerales activas LC2." *Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*, vol. 11(No 3).
- Almenares-Reyes, R.S. 2017. Potencialidades de arcillas caolínicas cubanas para la obtención de materiales cementicios suplementarios. Tesis doctoral, Las Villas, Cuba: Universidad Central "Martha Abreu".
- Almenares Reyes, Roger S. & otros. 2016. "Evaluación de arcillas caolínicas de Moa para la producción de cemento de base clínquer-arcilla calcinada-caliza (LC3)". *Minería y Geología*, vol. 32 (No 4):63-76.
- A, A., Fernández, R., Martirena, F., Scrivener, K., & Quintana, R. 2010. "Evaluación del empleo de una roca arcillosa calcinada a diferentes temperaturas como material puzolánico para el reemplazo de altos volúmenes de CPO". *Revista Cubana de Química*, vol. 22 (No. 2): 63-71.
- Alujas, A., Fernández, R., Martirena, J. F. & Quintana, R. (2010). "Empleo de arcillas caolínicas de bajo grado activadas térmicamente como una alternativa para el reemplazo parcial de cemento Portland". *Revista CENIC. Ciencias Químicas*, 41: 1-10.
- Arce, G. A., Alberto, J. A., Gómez, C. V., & Sánchez, M. E. 2015. "Meteorización. Parte II: meteorización química, procesos y formas resultantes". *Geográfica digital*, 12(24): 1-33.
- Arce, M., Pino Torga, R. M. & otros. 2017. Diagnóstico y evaluación de rocas y minerales industriales para la producción local de materiales de construcción, provincia de Pinar del Río. ONRM. Inédito
- Arce-Blanco M., Díaz-Carmona A. & otros. 2022. Informe Prospección y Exploración de Arcilla Caolínica Neptuno, Artemisa. ONRM. Inédito.
- AVET, F. & otros. 2016. Development of a new rapid, relevant and reliable (R3) test method to evaluate the pozzolanic reactivity of calcined kaolinitic clays. *Cement and Concrete Research*, 85: 1-11, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2016.02.015>.
- Bogado, G. O. & Francisca, F. M. 2017. Caracterización geo-mecánica de un perfil de meteorización residual.
- Casabella, D. A. Evaluación parcial de la reactividad puzolánica de arcillas.
- Casales-Hernández, S. 2017. Evaluación de la calcinación semi-industrial de arcilla del yacimiento Neptuno en Artemisa para la producción de una adición mineral activa a base de arcilla calcinada, yeso y caliza (LC2). Tesis de Grado, Las Villas, Cuba: Universidad Central "Martha Abreu", 74p.
- Cobiella-Reguera, J.L. 2008. "Reconstrucción palinspástica del paleomargen mesozoico de América del Norte en Cuba occidental y el sudeste del Golfo de México". *Implicaciones para la evolución del SE del Golfo de México*, 25, (No 3): 382-401.
- Crúz-Gámez, E. M., Simón-Méndez, A. 1997. "Principales rasgos del complejo de basaltos en la región de Bahía Honda, Pinar del Río". *Minería y Geología*, 14(3): 51-57.
- Espinosa-Borges, AE. 2019. Evaluación de las arcillas caolínicas de las escombreras del yacimiento Dumañuecos para la producción de cemento de bajo carbono. Tesis de Grado, Cuba: Universidad de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez", 80 p.
- Fragoso-Bernal, A.D. 2017. Formulación y evaluación de cementos de bajo carbona con arcillas calcinadas del yacimiento Neptuno, Artemisa. Tesis de Grado, Las Villas, Cuba: Universidad Central "Martha Abreu", 70p.
- La Palma <https://www.ecured.cu>, [Consulted: April 9, 2024].
- Lavaut Copa, W. D., Capote Marrero, C. R., Cobiella Reguera, J. L., Alonso Pérez, J. A., Torres Rodríguez, D., Milia González, I., ... & San Jorge, W. A. 2022. "Mapas mineragénicos 1: 250000 de Cuba". *Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*, 12(2).
- Machado, L.I., Herrera, M.I. & Martirena, F. 2020. "Elements for the Design of Experimental Plant for LC3 Cement Production". In: Bishnoi, S. (eds) *Calcined Clays for Sustainable Concrete. RILEM Bookseries*, vol 25. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-2806-4_22

- Martínez de la Cruz, E. 2017: Evaluación de las arcillas rojas de Centeno, para su utilización como material cementicio suplementario. Tesis de Grado, Cuba: Universidad de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”, 70p.
- Martínez, D., Fernández de Lara, R., Peláez, R., Vázquez M., Hernández, J., Chang, J.C., Denis, R., Cofiño & otros. 1988. Informe de Levantamiento Geológico y Búsquedas acompañantes a escala 1: 50 000 en la parte central de la provincia de Pinar del Río, La Habana: ONRM.
- Núñez, H., Robaina, A. 2022. Diagnóstico de las arcillas de la parte central de Pinar del Río para la producción de cemento de bajo carbono. IGP. Inédito.
- Ribalta, J.A. & otros. 2022. Prueba de planta piloto para la obtención de la adición mineral LC2 a partir de las arcillas del Yacimiento Neptuno, Artemisa. Manuscrito no publicado. SICTE SA – CIDEM.
- Scrivener, K. 2018. Calcined clay limestone cements (LC3). *Cement and Concrete Research*, 114: 49-56 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.08.017>.
- Sharma, M. & otros. 2021. “Limestone calcined clay cement and concrete: A state-of-the-art review”. *Cement and Concrete Research*, 149: 106564, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2021.106564>
- Siverio Fernández, S. 2016. Evaluación de arcillas de bajo grado de caolinita del depósito El Yigre para la producción de cemento de bajo carbono. Trabajo de Diploma, Las Villas: Universidad Central “Marta Abreu”, 64p.
- Yanguatin, H., Tobón, J., & Ramírez, J. 2017. “Reactividad puzolánica de arcillas caoliniticas una revisión”. *Revista ingeniería de construcción*, 32(2):13-24.