

Caracterización química y mineralógica de los residuos arcillosos de la provincia Las Tunas para su empleo como puzolanas

Chemical and mineralogical characterization of clayey waste from the province of Las Tuna for use as pozzolans

Angel Eduardo Espinosa Borges¹ (angeleduardoespinosaborges@gmail.com) (<https://orcid.org/0000-0003-4882-8731>)

Carlos Alberto Leyva Rodríguez² (cleyva@ismm.edu.cu) (<https://orcid.org/0000-0002-9156-5327>)

Roger Samuel Almenares Reyes³ (ralmenares@ismm.edu.cu) (<https://orcid.org/0000-0002-7185-7330>)

Luis Alberto Pérez García⁴ (lapgarcia17@gmail.com) (<https://orcid.org/0000-0003-4465-8675>)

David Secades Habrahm⁵ (dsecades@ismm.edu.cu) (<https://orcid.org/0009-0001-0764-7179>)

Resumen

El presente artículo tiene como objetivo la caracterización química y mineralógica de los residuos arcillosos de la provincia de Las Tunas para su empleo como puzolanas. Las muestras seleccionadas fueron caracterizadas química y mineralógicamente mediante técnicas de Difracción de Rayos X y Espectrometría de Absorción Atómica. Según las características mineralógicas se determinó que los residuos arcillosos presentan una composición polimineral dominada por la presencia de filosilicatos del grupo de la caolinita con la caolinita como su principal representante lo que es beneficioso para su empleo como puzolanas. Desde el punto de vista químico el SiO₂ se presenta como elemento mayoritario acompañado del Al₂O₃ lo que es reflejo del alto contenido en arcillas y propicia una buena disponibilidad química para lograr la reacción puzolánica. Las muestras estudiadas están constituidas por las paragénesis mineral CNL oligoclasa+ cuarzo+ mortmollonita + vermiculita, GHE cuarzo + natroalunita + natrojarosita + dickita + nacrita y DM cuarzo + goethita + hematita + alunita + caolinita. De las muestras estudiadas solo la DM cumplió con criterios límites establecidos por Almenares en el 2017 y la norma cubana NC-TS528 por lo que esta debe de ser tomadas en cuenta para el desarrollo de puzolanas. La muestra GHE

¹ Máster en Ciencias. Profesor Asistente. Ingeniero Geólogo. Unidad de Desarrollo e Innovación CEEPROT. Universidad de Las Tunas. Las Tunas, Cuba.

² Doctor en Ciencias. Profesor Titular. Departamento de Geología. Universidad de Moa Dr. Antonio Núñez Jiménez. Holguín, Cuba.

³ Doctor en Ciencias. Profesor Titular. Ingeniero en Metalurgia. Departamento de Metalurgia. Universidad de Moa Dr. Antonio Núñez Jiménez. Holguín, Cuba.

⁴ Doctor en Ciencias. Profesor Titular. Ingeniero en Geología. Departamento de Geología. Universidad de Moa Dr. Antonio Núñez Jiménez. Holguín, Cuba.

⁵ Ingeniero en Geología. Profesor Instructor. Unidad de Desarrollo e Innovación CEEPROT. Universidad de Las Tunas. Las Tunas, Cuba.

presenta perspectivas prometedoras por lo que se pudiera tomar en cuenta para el desarrollo de puzolanas de menor reactividad. La muestra CNL no debe de ser considerada como puzolana y debe de ser evaluada para el desarrollo de filler.

Palabras clave: arcilla, puzolana, residuo minero.

Abstract

The present work aims at the chemical and mineralogical characterization of clayey waste from the province of Las Tunas for their use as pozzolans. The selected samples were chemically and mineralogically characterized by X-ray diffraction and atomic absorption spectrometry techniques. According to the mineralogical characteristics, it is assumed that the clayey waste has a polymineral composition dominated by the presence of phyllosilicates of the kaolinite group with kaolinite as its main representative, which is beneficial for its use as pozzolans. From a chemical point of view, SiO₂ is present as the majority element accompanied by Al₂O₃, which reflects the high clay content and favors good chemical availability to achieve the pozzolanic reaction. The samples studied are composed of the mineral paragenesis CNL (oligoclase + quartz + mortmollonite + vermiculite), GHE (quartz + natroalunite + natrojarosite + dickite + nacrite), and DM (quartz + goethite + hematite + alunite + kaolinite). Of the samples studied, only DM met the threshold criteria established by Almenares in 2017 and the Cuban standard NC-TS528, so it should be considered for the development of pozzolans. The GHE sample shows promising prospects and could be considered for the development of lower-reactivity pozzolans. The CNL sample should not be considered a pozzolan and should be evaluated for filler development.

Key words: clay, pozzolan, mining waste.

Introducción

Los materiales cementicios suplementarios (MCS) son aquellos que se emplean como sustitos del cemento y que a través de sus propiedades hidráulicas y/o puzolánicas contribuyen al logro de las propiedades mecánicas del concreto endurecido (Fantilli y Józwiak-Niedźwiedzka, 2021; Xu *et al.*, 2022). La tendencia universal de los últimos años ha sido buscar alternativas con mayor impacto en la disminución de las emisiones de CO₂, la cual consiste en la adición entre el 20% y 30% de materiales cementicios suplementarios (MCS) al cemento (Mostafa y Brown 2005; Sánchez, Palacios y Puertas 2011; Polder 2012). El reemplazo de una porción de clínquer o cemento con MCS (Mangi *et al.*, 2020) está reconocida como la manera más efectiva de mejorar o mantener la resistencia mecánica y la durabilidad del concreto, así como de optimizar el perfil integral de impacto al medio ambiente (Pérez-González *et al.*, 2019).

Los MCS se clasifican en aglomerantes hidráulicos y materiales puzolánicos; estos últimos se pueden clasificar, además, en naturales y artificiales como resultado de la actividad industrial. Los aglomerantes hidráulicos se caracterizan por reaccionar directamente con agua formando productos de hidratación que aportan propiedades cementantes (Hernández Primero *et al.*, 2016). Los materiales cementicios suplementarios más comúnmente

empleados son las cenizas volantes, las escorias granuladas, la micro-sílice, las puzolanas naturales y artificiales, el carbonato de calcio y otros (Hernández Primero *et al.*, 2016; Owaid *et al.*, 2012).

Las puzolanas son materiales silíceos o aluminosilíceos que, por sí mismos, poseen poca o ninguna actividad hidráulica, pero que, finamente molidos y en presencia de agua, reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$ o CH) a temperatura ambiente para formar compuestos con propiedades cementantes (Normalización, 2007).

Las adiciones puzolánicas se utilizan como material cementicio suplementario, siempre que la puzolana sea reactiva. Las características que, actuando de manera combinada, determinan de forma directa la capacidad de reacción puzolánica de un material dado son la presencia de sílice y alúmina (criterio de composición química) y el contenido de fases con un alto grado de desorden estructural (criterio estructural), de forma tal que presenten una elevada superficie específica (criterio morfológico) (Castillo *et al.*, 2010).

La actividad puzolánica se explica en base a la reacción entre los componentes ácidos de los materiales puzolánicos (sílice, alúmina) con los básicos (cal). La reacción entre éstos ocurre cuando las uniones en dichos materiales son metaestables o lábiles. Las reacciones puzolánicas, al igual que los procesos de hidratación del cemento, transcurren de acuerdo con las leyes cinéticas de las reacciones heterogéneas en estado sólido, con presencia de fenómenos difusivos y marcada influencia de factores de tipo interno y externo de las puzolanas (Aguilar Pérez y Seijo Pérez, 2014).

La recuperación de los residuales sólidos industriales que puedan ser modificados para convertirse en materiales cementicios suplementarios (MCS) es fundamental para sustituir materias primas, disminuir el impacto medioambiental y garantizar producciones más económicas y limpias (Pérez-González *et al.*, 2020). La introducción de materiales sustitutos del cemento Pórtland como las puzolanas, brinda la posibilidad de utilizar productivamente un material de desecho y hacer un uso racional de la disponibilidad de cemento (Martínez *et al.*, 2007).

Los subproductos pueden presentar propiedades superiores a las de los materiales tradicionales, o darles a estos un valor agregado como es el caso de las escorias de acerería (Leiva Vidal *et al.*, 2017). En los últimos años ha cobrado relevancia el estudio de residuos arcillosos de los procesos mineros por sus prometedoras potencialidades y su gran disponibilidad (Sgarlata *et al.*, 2022; Abdelaziz *et al.*, 2023; Alujas-Díaz *et al.*, 2022).

En la provincia de Las Tunas la actividad extractiva ha estado enmarcada en tres renglones principales generadores de residuos arcillosos, la explotación de depósitos arcillosos para la industria cerámica (Fernández-Rodríguez, 1990; Cortés *et al.*, 2004; González Jiménez *et al.*, 2022; Espinosa Borges *et al.*, 2024; Leyva Silva *et al.*, 2022; Viltres F. *et al.*, 1990), depósitos hidrotermales para la extracción de oro (La, 2001; Pimentel Olivera y Pérez Acosta, 2015; Arias-del Toro *et al.*, 2022) y el beneficio de cortezas de intemperismo para la producción de arenas (Leyva Silva *et al.*, 2022). Estas explotaciones han generado enormes volúmenes de residuos arcillosos que carecen de estudios por lo que se necesita establecer sus

características químicas y mineralógicas como paso de partida para su empleo como puzolanas.

Materiales y métodos

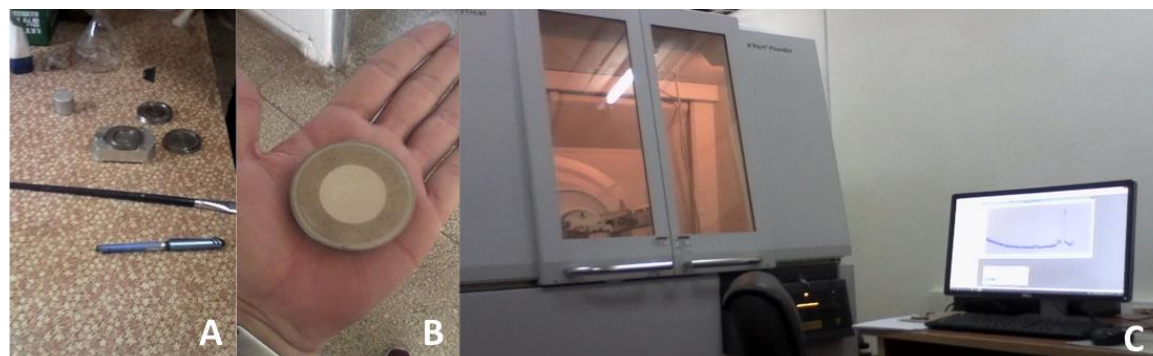
Difracción de Rayos X

Las mediciones se realizaron mediante Difracción de Rayos X (DRX) con un Difractómetro X'Pert³ Powder de Panalytical (

Figura 1) utilizando radiación CuK α y rejilla de divergencia de 0,5 °. Las muestras se analizaron entre 5 y 80 ° (2 θ), con paso angular desde 0,008 °, tiempo por paso de 30 segundos, y sin filtro de níquel Ni.

Figura 1

A: Instrumentos para la preparación de las muestras para la DRX, B: Portamuestra para análisis de DRX, C: Difractómetro X'Pert³.



Fuente: Tomadas del proceso de investigación.

Los difractogramas se procesaron con el software X Pert HighScore Plus (2011). Se aplicó la rutina de refinamiento por Rietveld para desarrollar el análisis semicuantitativo de las fases presentes en las muestras.

Espectrometría de Absorción Atómica

La muestra se descompuso mediante la fusión con un fundente (bórax, metaborato de litio o mezcla de metaborato de litio con tetraborato de litio 1:1). El fundido se lixivió con ácido clorhídrico al 15 % y gotas de peróxido de hidrógeno al 30 % y se llevó a un volumen final de 250 mL.

La medición se realizó en un Espectrómetro Absorción Atómica empleando soluciones de calibración con simulación de las matrices y una correcta dilución de la muestra.

Se empleó la norma NC-TS528 del 2013 (**Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) para evaluar según sus contenidos químicos como aditivos minerales para el cemento.

Tabla 1

Requisitos químicos de la norma NC-TS528 del 2013

	Clase de aditivo mineral		
	N	F	C
Dióxido de Silicio (SiO_2) más Óxido de Aluminio (Al_2O_3) más Óxido de Hierro (Fe_2O_3), min. %	70,0	70,0	50,0
Trióxido de Azufre (SO_3), máx. %	4,0	5,0	5,0
Contenido de Humedad, máx. %	3,0	3,0	3,0
Pérdidas por Ignición, máx. %	10,0 ^a	6,0 ^b	6,0

Nota: ^a Para el caso de puzolanas naturales que contengan en su composición mineralógica contenidos de zeolitas se excluye este requisito, tal es el caso de las tobas zeolitizadas que se emplean como puzolanas y que han demostrado una buena actividad tanto con el cemento como con la cal.

^b El uso de puzolana clase F que contiene una pérdida por ignición mayor que 12,0 % pueden ser aprobadas por el consumidor se los reportes de cumplimiento de aceptación o los resultados de los ensayos de laboratorio la hacen utilizable.

Metodología de evaluación preliminar de materiales arcillosos como fuentes de SCM

Se emplearon los criterios químicos establecidos por Almenares (2017), Almenares *et al.* (2021), para considerar los valores límites permisibles de la composición de las arcillas caoliníticas para la obtención de materiales cementicios suplementarios (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). El procedimiento se presenta de forma esquemática en la

Figura 2.

El procedimiento de evaluación preliminar está basado en el contenido de caolinita equivalente en el material arcilloso, pues es el mineral con mayor reactividad en comparación otros minerales arcillosos (Fernandez *et al.*, 2011; He *et al.*, 1995) y que a su vez correlaciona con la resistencia a la compresión de los sistemas binarios y ternarios donde se mezclan (Avet *et al.*, 2016; Almenares Reyes *et al.*, 2018). El procedimiento para la selección de este tipo de material basado en criterios químicos y mineralógicos (Almenares, 2017; Almenares Reyes *et al.*, 2021). y los criterios de selección preliminares se resumen en la tabla 2.1.

Para este estudio se empleó el procedimiento modificado que se presenta en la

*Angel Eduardo Espinosa Borges
Carlos Alberto Leyva Rodríguez
Roger Samuel Almenares Reyes
Luis Alberto Pérez García
David Secades Habrahm*

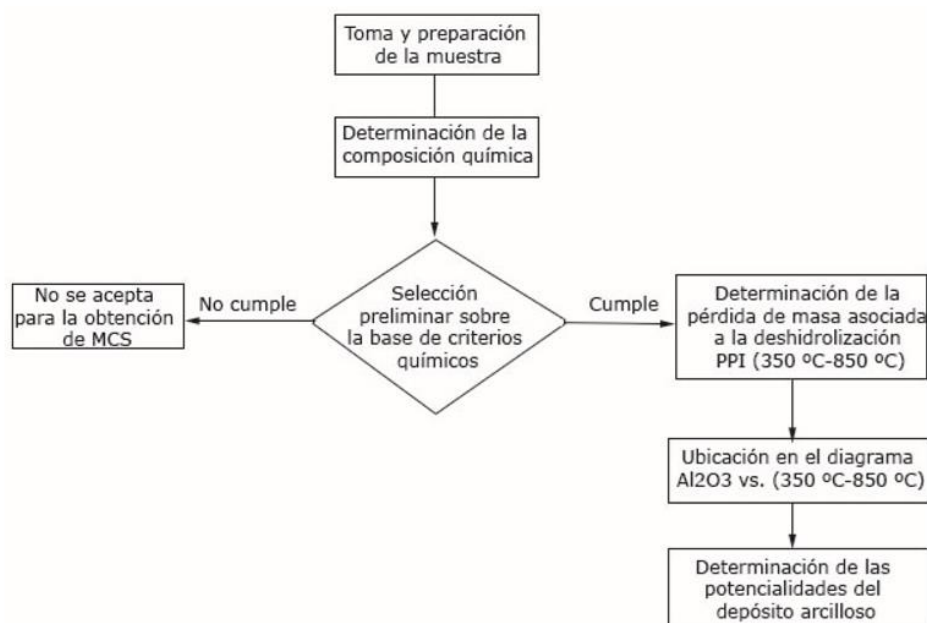
Volumen: 18 Número: 2 Trimestre: abril-junio Año: 2026
Recepción: 02/12/2025 Aprobado: 22/06/2026

Artículo original

Figura 2 el cual permite un aprovechamiento de todo el potencial del material para otras aplicaciones.

Figura 2

Procedimiento para la evaluación preliminar de las potencialidades de los depósitos arcillosos como fuente de MCS.



Fuente: Almenares Reyes *et al.* (2021)

Resultados y discusión

Resultados del análisis químico de los residuos

Mediante espectrometría de absorción atómica se logró establecer que el SiO_2 y el Al_2O_3 sobresalen como elementos mayoritarios destacándose la muestra DM con la mayor disponibilidad química de estos elementos. Los elementos nocivos para el empleo de estos materiales como puzolanas (CaO y SO_3) presentan bajas concentraciones, sobresale el contenido de SO_3 en GHE lo que está relacionado con su génesis hidrotermal que ha posibilitado el desarrollo de minerales sulfurosos. El contenido de CaO sobresale en la muestra CNL donde se reportó la presencia de carbonatos durante los trabajos de campo. Según los criterios establecidos por la norma cubana NC-TS528 el material de mayor potencialidad es DM solo incumpliendo la relación $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SO}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, teniendo en cuenta que no se puede establecer el contenido de Fe_2O_3 y la baja diferencia de este criterio se considera este material como positivo para su empleo como puzolana. Según los criterios límites establecidos por Almenares todos los materiales cumplen con los criterios menos con el contenido de Al_2O_3 . Según los criterios de Almenares coincide la muestra DM como la más potencial y la diferencia en el contenido de Al_2O_3 es mínima por lo que se puede tomar esta como de buen potencial.

Tabla 2

Resultados del análisis químico

Código	Na ₂ O	K ₂ O	SiO ₂	MgO	MnO	TiO ₂	CaO	PPI	SO ₃	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ /SiO ₂	Al ₂ O ₃ +SO ₃ +Fe ₂ O ₃
CNL	0.0047	0.0083	26.85	13.33	0.229	0.057	5.12	14.82	0.223	9.70	0.36	36.55
GHE	0.0032	0.0025	23.23	11.84	0.018	0.038	3.20	8.23	0.305	12.79	0.55	36.02
DM	0.0030	0.0039	49.93	1.52	0.048	0.038	1	22.23	0.080	15.29	0.3	65.22
NC-TS528								10,0	4,0			70
Criterios Almenares 2017							<3,0 %	>7,0	<2,0 %	>18,0 %	>0,3 %	

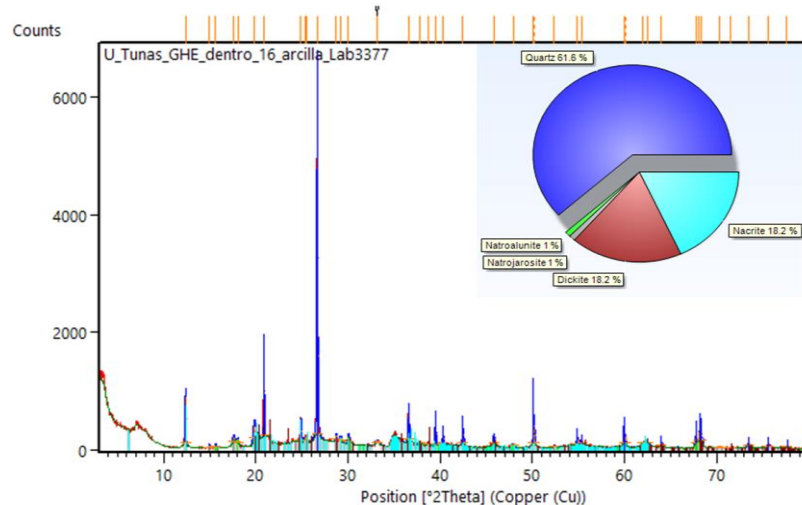
Fuente: Elaboración por los autores a partir de la investigación realizada.

Resultados del análisis mineralógico de los residuos

Mediante difracción de rayos X se pudo establecer que la muestra GHE está constituida por la paragénesis mineral cuarzo, natroalunita, natrojarosita, dickita y nacrita (Figura 3), típica de depósitos hidrotermales. Mediante el análisis semicuantitativo se constató que este material está constituido por minerales arcillosos del grupo de la caolinita representados por Dickita y nacrita en un 18.2 % cada uno lo que es positivo para su empleo como puzolanas.

Figura 3

Difractograma muestra GHE

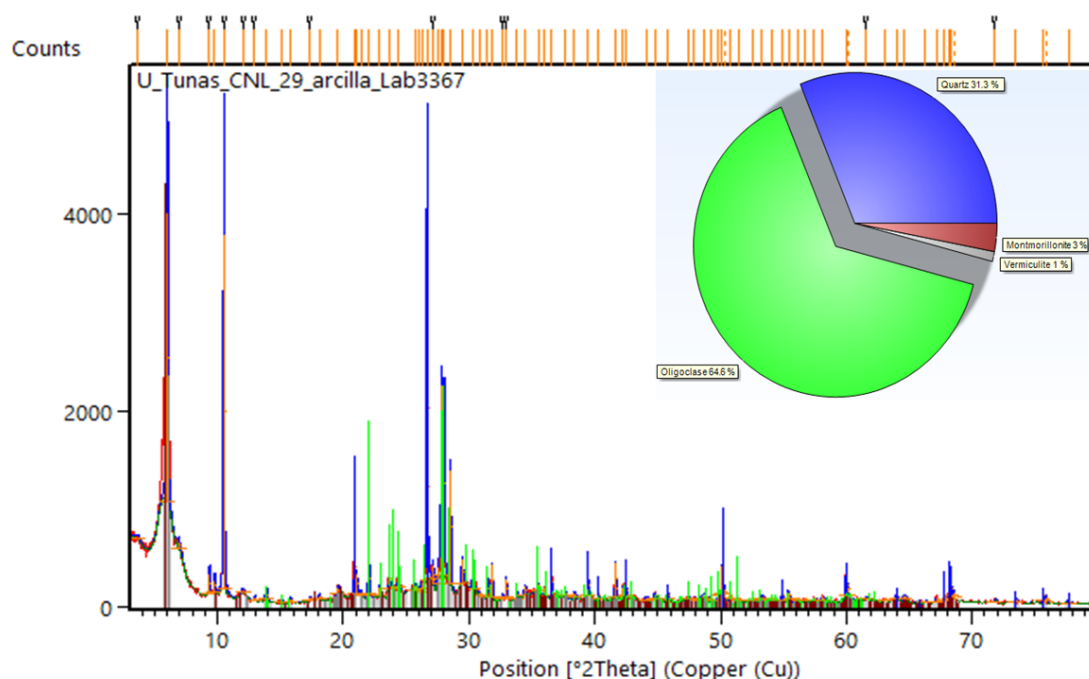


Fuente: Elaboración por los autores a partir de la investigación realizada.

En la muestra CNL se detectó la paragénesis mineral oligoclasa, cuarzo, mortmollinonita y vermiculita (Figura 4), reflejo del intemperismo sobre rocas volcánica acidas en una corteza poco madura con un gran contenido de plagioclasas. Los minerales arcillosos están representados por la mortmollinonita en un 3 %, por lo que este material no debe de ser considerado como puzolana.

Figura 4

Difractograma muestra CNL

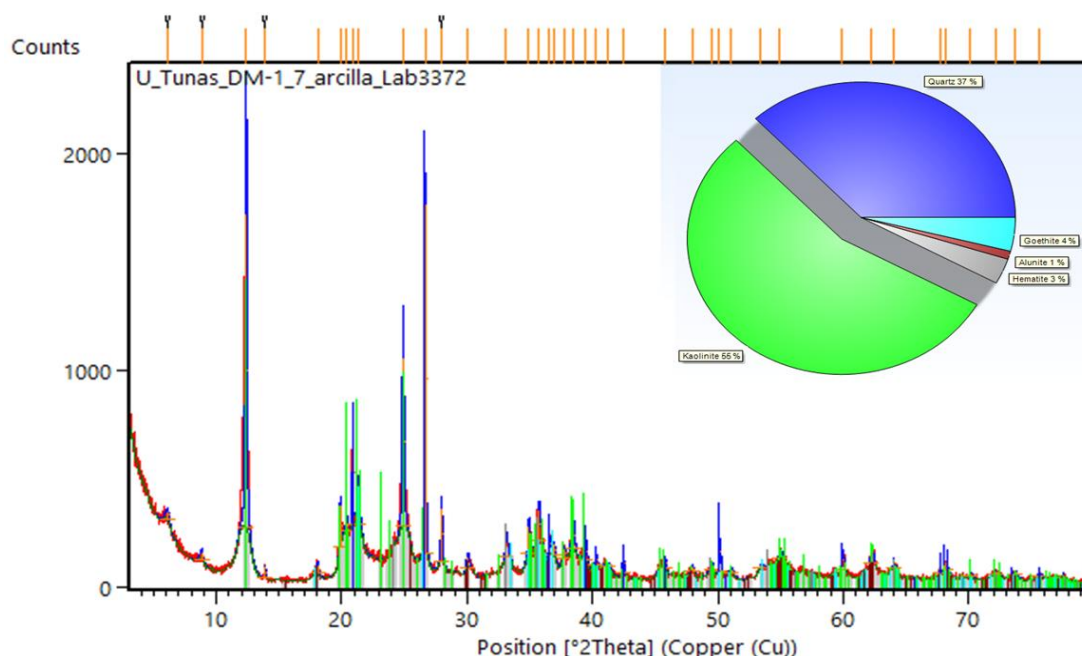


Fuente: Elaboración por los autores a partir de la investigación realizada.

En la muestra DM se detectó la paragénesis mineral cuarzo, goethita, hematita, alunita y caolinita (Figura 5), típica de depósitos hidrotermales con influencia de procesos hipergénicos. Los minerales arcillosos están representados por la caolinita en un 55 %, este material debe ser considerado como muy potencial para su uso como puzolanas.

Figura 5

Difractograma muestra DM



Fuente: Elaboración por los autores a partir de la investigación realizada.

Conclusiones

De las muestras estudiadas solo la DM cumplió con criterios límites establecidos por Almenares en el 2017 y la norma cubana NC-TS528 por lo que esta debe de ser tomadas en cuenta para el desarrollo de puzolanas. La muestra GHE presenta perspectivas prometedoras por lo que se pudiera tomar en cuenta para el desarrollo de puzolanas de menor reactividad. La muestra CNL no debe de ser considerada como puzolana y debe de ser evaluada para el desarrollo de filler.

Las muestras estudiadas están constituidas por las paragénesis mineral CNL oligoclasa+ cuarzo+ mortmollinonita + vermiculita, GHE cuarzo + natroalunita + natrojarosita + dickita + nacrita y DM cuarzo + goethita + hematita + alunita + caolinita.

Referencias bibliográficas

- Abdelaziz, G.E., Shoukry, H., Selim, A.A. Y Saif, M.S. (2023). Recent Progress In Limestone-Calcined Clay Cement (Lc3): A Review. *Materials Science Forum*, 1089, 165-174. <https://doi.org/10.4028/P-74p7so>.
- Aguiar Pérez, A. y Seijo Pérez, P. (2014). *Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de morteros de albañilería y prefabricados de pequeño formato a base de Cemento de Bajo Carbono* [Trabajo de Diploma. Trabajo de Diploma. Santa Clara, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas].

- Almenares-Reyes, R. S. (2017). *Potencialidades de arcillas caoliníticas cubanas para la obtención de materiales cementicios suplementarios*. [Tesis Doctoral. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas].
- Almenares Reyes, R. S., Díaz, A. A., Rodríguez, S. B., Rodríguez, C. A. L. y Hernández, J. F. M. (2018). Assessment Of Cuban Kaolinitic Clays As Source Of Supplementary Cementitious Materials To Production Of Cement Based On Clinker Calcined Clay Limestone. En F. Martirena, A. Favier Y K. Scrivener (Eds.), *Calcined Clays For Sustainable Concrete* (21-28). Springer.
- Almenares Reyes, R. S., Martirena Hernández, J. F., Leyva Rodríguez, C. A., Betancourt Rodríguez, S. y Arcial Carratalá, F. (2021). Identificación y evaluación de arcillas caoliníticas para la producción de cemento ternario Lc3 y adiciones minerales activas Ic2. *Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*, 11(3), 1-9. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2304-01062021000300006&script=sci_arttext
- Alujas-Díaz, A., Almenares-Reyes, R.S., Hanein, T., Irassar, E.F., Juenger, M., Kanavaris, F., Maier, M., Marsh, A.T.M., Sui, T., Thienel, K.-C., Valentini, L., Wang, B., Zunino, F. y Snellings, R. (2022). Properties and occurrence of clay resources for use as supplementary cementitious materials: a paper of rilem Tc 282-ccl. *Materials And Structures*, 2. <https://doi.org/10.1617/S11527-022-01972-2>
- Arias-Del Toro, J.A., Carballo-Peña, A. y Estévez-Cruz, E. (2022). Validación de los modelos de estimación de la ley de oro en el sector Three Hills del yacimiento. *Minería y Geología*, 38, 99-115. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1993-80122022000200099&script=sci_arttext
- Avet, F., Snellings, R., Alujas, A., Ben, M. y Scrivener, K. (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. <https://doi.org/10.1016/J.Cemconres.2016.02.015>
- Castillo, R., Fernández, R., Antoni, M., Scrivener, K., Alujas, A. y Martirena, J. F. (2010). Activación de arcillas de bajo grado a altas temperaturas. *Revista Ingeniería de Construcción*, 25(3), 329-352. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732010000300001>
- Cortés, G. R. M., Kozievitch, V.F.J., Xavier, C., Hennies, W. T. y Valenzuela, F. R. (2004). *Propiedades cerámicas de caulins da República de Cuba* (1-8). Parte Iii. Caulim Dumañuecos.
- Espinosa Borges, A. E., Leyva Rodríguez, C. A., Almenares Reyes, R. S., Alarcón Pérez, L. R. y Perez García, L. A. (2024). Potencialidades de las características mineralógicas de los residuos rojos del yacimiento Dumañuecos para el desarrollo de materiales cementicios. S.L.: Universidad De Moa «Dr. Antonio Núñez Jiménez».
- Fantilli, A. P. y Józwiak-Niedzwiedzka, D. (2021). *Supplementary cementitious materials in concrete* <https://www.Mdpi.Com/Journal/Materials>

- Fernandez, R., Martirena, F. y Scrivener, K. L. (2011). The origin of the pozzolanic activity of calcined clay minerals: a comparison between kaolinite, illite and montmorillonite. *Cement and Concrete Research*, 41(1), 113-122. <https://doi.org/10.1016/J.Cemconres.2010.09.013>
- González Jiménez, H. A., Pérez García, L. A. y Espinosa Borges, A. E. (2022). Análisis de similitudes geoquímicas de manifestaciones de arcillas caoliníticas en Cuba oriental relacionadas genéticamente con la formación caobilla. S.L.: Universidad De Moa.
- He, C., Osbaeck, B. y Makovicky, E. (1995). Pozzolanic reactions of six principal clay minerals: activation, reactivity assessments and technological effects. *Cement And Concrete Research*, 25, 1691-1702. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0008884695001654>
- Hernández Primero, Y., Leyva Rodríguez, C. A., Guerra González, Y., Almenares Reyes, R. S., Silega Martínez, D. y Jiménez Mejías, D. (2016). Potencialidades de las tobas zeolitizadas del yacimiento San Andrés y los productos de su calcinación para la obtención de aglomerantes ternarios. S.L.: Instituto Superior Minero Metalúrgico De Moa Dr. Antonio Núñez Jiménez.
- Leiva Vidal, D., Montenegro Cooper, J. y Ponce Abarca, R. (2017). *Caracterización de un suelo arcilloso y su mezcla con escoria blanca proveniente de la siderurgia integral*. Simposio de Habilitación Profesional Departamento de Ingeniería Civil (1-22).
- Leyva Silva, Y., Leyva Rodríguez, C. A. y Espinosa Borges, A. E. (2022). Perspectivas de mezclas de arcillas Caoliníticas de alto grado de Dumañuecos y arena del Rincón como material Puzolánico. S.L.: Universidad De Moa.
- Mangi, S. A., Memon, Z. A., Khahro, S. H., Memon, R. A., & Memon, A. H. (2020). Potentiality of industrial waste as supplementary cementitious material in concrete production. *International Review of Civil Engineering (IRECE)*, 11(5), 214-221. <https://doi.org/10.15866/Irece.V11i5.18779>
- Martínez Fernández, L., Quintana Puchol, R. & Martirena Hernández, J. F. (2007). Aglomerante puzolánico formado por cal y ceniza de paja de caña de azúcar: la influencia granulométrica de sus componentes en la actividad aglomerante. *Revista ingeniería de construcción*, 22(2), 113-122. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-50732007000200005&script=sci_arttext&lng=pt
- Normalización, N. N. 22cement. C. T. De, (2007). *Nc-Ts 528: 2007 Cemento Hidráulico-Puzolana-Especificaciones*, p. 10.
- Owaid, H. M., Hamid, R. B. Y Taha, M. R. (2012). A review of sustainable supplementary Cementitious Materials as an alternative to All-Portland Cement Mortar and Concrete. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 6(9), 287-303. https://www.researchgate.net/publication/233202495_Australian_Journal_of_Basic_and_Applied_Sciences

- Pérez-González, L. L., Quintana-Puchol, R., Perdomo-González, L., y Alujas-Díaz, A. (2019). Potencialidad de la mezcla escoria de cubilote-cascarilla de laminación-viruta de aluminio para obtener un material puzolánico mediante aluminotermia. *Minería y Geología*, 35(4), 464-479. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1993-80122019000400464&script=sci_arttext
- Pérez-González, L. L., Quintana-Puchol, R., Alujas-Díaz, A., y Alejo-Sánchez, D. (2020). Valoración química, física y calorimétrica de un material puzolánico obtenido mediante aluminotermia asistida por arco eléctrico utilizando escoria de cubilote. *Minería y Geología*, 36(2), 234-252. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1993-80122020000200234&script=sci_arttext
- Pimentel Olivera, H. y Pérez Acosta, J. (2015). *Importancia de la evaluación expedita de pequeños cuerpos de Mineral Aurífero Oxidado en zonas cercanas a Golden Hill*. XI Congreso Cubano de Geología Taller Prospección, Explotación y Procesamiento de Oro. S.L.: S.N., 1-7.
- Sgarlata, C., Formia, A., Siligardi, C., Ferrari, F. y Leonelli, C. (2022). Mine Clay Washing Residues as a Source for Alkali-Activated Binders. *Materials*, 15(1), 1-14. <https://doi.org/10.3390/Ma15010083>.
- Viltres, F. J., Valle, M. C., Cascaret, M. A. y Molina R. R. (1990). *Exploración Orientativa De Arcillas Para Cerámica Roja*. Zonas Iii, Iv, Vii, X. 1990. Las Tunas: S.N.
- Xu, X., Wang, F., Gu, X. y Zhao, Y. (2022). Mechanism of different mechanically activated procedures on the pozzolanic reactivity of binary supplementary cementitious materials. *Minerals*, 12(11), 1365. <https://doi.org/10.3390/Min12111365>.

Agradecimientos

Este trabajo se desarrolló gracias al financiamiento del proyecto nacional PN211LH 012-037 del Programa Nacional de Desarrollo Local

Declaración de conflictos de interés:

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

Declaración de autoría:

Que cada una de las personas que en el mismo constan como autor o autora ha contribuido directamente al contenido intelectual del trabajo, aprueba los contenidos del manuscrito que se somete a proceso editorial y da su conformidad para que su nombre figure en la autoría del mismo.

Que la petición no ha sido publicada previamente, no se encuentra en proceso de revisión en otra revista, ni figura en otro trabajo aceptado para publicación por otra editorial.

Universidad de Las Tunas en <https://ror.org/05fj29j73>