

Caracterización física y química de lodos residuales de la cantera El Cacao: propuesta de uso industrial

Physical and chemical characterization of residual sludge from El Cacao quarry: proposal for industrial use

Yaritza Cabrales-Clapé¹, Mayda Ulloa-Carcassés¹, Roger Samuel Almenares-Reyes¹

¹Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Holguín, Cuba.

Resumen

A fin de proponer posibles destinos para los lodos de la planta procesadora de áridos El Cacao, muestras tomadas en la descarga de la conductora hacia la laguna de sedimentación se caracterizaron en cuanto a composición química, granulometría, reactividad, densidad, peso volumétrico y humedad. Se encontró que el principal constituyente de estos lodos es el óxido de calcio, lo que, unido a un diámetro medio de partículas de 0,037 mm y a una reactividad superior al 95 %, los hacen prospectivos para ser usados como materia prima en la elaboración de cal, como neutralizante en la industria del níquel y como materia prima de diversas aplicaciones en la industria de la construcción. Ello contribuye, además, a mitigar el impacto negativo que el vertimiento de este residual provoca sobre el medio ambiente.

Palabras clave: lodos residuales; áridos; cantera El Cacao; protección ambiental.

Abstract

Samples taken at the discharge of the conductive line to the sedimentation lagoon were characterized in terms of chemical composition, grading, reactivity, density, volumetric weight and humidity in order to propose possible destinations for sludge from "El Cacao" aggregate processing plant. It was determined that oxide calcium is the main constituent of these sludges; which make them perspective to be used as a raw material in the manufacture of lime with a particle diameter of 0.037 mm and a reactivity

higher than 95%, as a neutralizer in the nickel industry and as a raw material for several applications in the construction industry, which would also contribute to mitigate the negative impact dumping this waste causes on the environment.

Keywords: residual sludge; aggregate; El Cacao quarry; environmental protection.

1. INTRODUCCIÓN

La producción de los materiales de construcción requiere cada vez más de la extracción y procesamiento de materias primas naturales, lo cual conduce a un aumento de la contaminación por las emisiones de efluentes de esta industria (Hernández *et al.* 2018; Hasimbuli 2012). Este impacto tiene su origen en la extracción de los recursos naturales para su elaboración, incluyendo el proceso de fabricación y el consumo de energía (Casado 1996). Dentro de los residuales de mayor impacto se encuentran los lodos producidos durante el proceso de lavado de áridos.

Varias alternativas han sido desarrolladas para la utilización de los referidos residuos industriales (Crespo y Jiménez 2012; Tay y Show 1997; Amin *et al.* 2017; González *et al.* 2016; Galetakis, Alevizos y Leventakis 2012; Sort y Alcañiz 1996). En general, las investigaciones desarrolladas se basan en que los lodos generados en el proceso de lavado de áridos se emplean como relleno en las fases de restauración minera y la recuperación de arcillas, como materiales de construcción, pero aún se considera que no se ha logrado potenciar el uso y que la contaminación ambiental generada por el proceso de lavado de áridos se ha resuelto parcialmente al aplicar el sistema de almacenamiento de los residuos y la reutilización del agua de proceso a través de sistemas de decantación y deshidratación.

En la planta de producción de áridos El Cacao (objeto de estudio), en la provincia de Granma, se acrecientan los problemas ambientales que generan los lodos depositados en lagunas de sedimentación, las cuales sobrepasaron la capacidad para la cual fueron diseñadas, y como consecuencia de esto, gran parte de este material se traslada directamente hasta el río Cautillo, provocando su contaminación (Hasimbuli 2012). A pesar de que, en ocasiones, los lodos se utilizan como relleno de caminos, su uso, en general, es inestable y solo se emplean pequeñas cantidades, y otra parte importante se acumula en grandes volúmenes que afectan el ecosistema, lo cual está determinado en mayor medida porque se desconocen sus posibles usos.

Existe una estrategia general para el manejo de lodos, la cual debe contener acciones de reutilización o revalorización adecuada de los mismos. Sin embargo, para conseguir esto es necesario tener el conocimiento de las características químicas y granulométricas, y de las propiedades físicas, como factores determinantes para establecer las posibles aplicaciones de los lodos residuales. Por ello, el objetivo del presente trabajo es caracterizar los lodos generados en la planta procesadora de áridos El Cacao para proponer alternativas de utilización.

1.1. Caracterización de la cantera

La cantera El Cacao es una concesión minera perteneciente a la Empresa de Materiales de la Construcción en la provincia de Granma. Entre sus objetivos fundamentales se encuentra la producción de áridos para la construcción, así como bloques, baldosa terrazo y losas hexagonales.

Se clasifica como un yacimiento de montaña, en rasgos generales, el esquema estratigráfico de la región (Shenguelia 1985) se presenta de la manera siguiente (Figura 1).

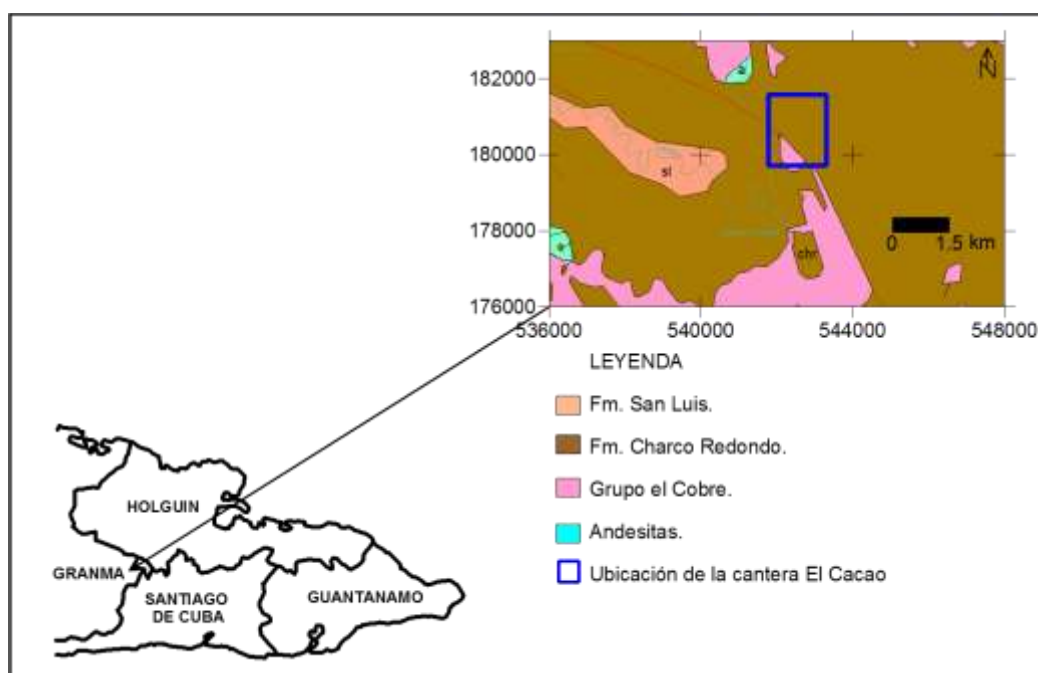


Figura 1. Ubicación geográfica y geológica del área.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización del estudio se determinaron las propiedades químicas y físicas y de los lodos y se obtuvieron los resultados experimentales que confirman las potencialidades que poseen estos.

2.1. Toma y preparación de la muestra de lodos

Se tomaron muestras de 5 kg en la descarga de la línea conductora de lodos hacia el depósito (laguna de sedimentación) durante 20 días. Posteriormente, se sometieron a una sedimentación–clarificación, y luego se trasladaron al laboratorio de Beneficio de Materiales del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Antonio Núñez Jiménez” (ISMMM) para prepararlas y secarlas en la estufa durante 12 horas a temperatura entre $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

En este intervalo fue necesario ir desmenuzando las muestras con el objetivo de eliminar los aglomerados que se forman, producto de la humedad que poseen, luego se homogeneizaron por el método del anillo y el cono. Una vez homogéneas las muestras, se tomaron las porciones para la caracterización.

Se tomaron 12 muestras por el método de muestreo aleatorio simple, a partir de una población de 20 muestras preparadas, para la determinación de la composición química, reactividad, composición granulométrica, densidad, peso volumétrico, humedad y pérdida por ignición.

Los resultados obtenidos fueron procesados a través del software estadístico STATGRAPHIC Centurion XV 15.2.14 (2007). Para la determinación de diferencias significativas entre las medias se empleó el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) o método de Fisher, para un riesgo del 5,0 %.

2.2. Caracterización de las muestras

La característica de control más significativa y común es el análisis químico y físico de los minerales y los productos. Las técnicas analíticas aplicadas fueron realizadas en el laboratorio analítico de la empresa Moa Nickel S. A. “Comandante Pedro Soto Alba”, el laboratorio de análisis químico y el laboratorio de física de la roca, ambos del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

2.2.1. Determinación de la composición química y las pérdidas por ignición

Las muestras de lodo se caracterizaron mediante espectrometría de absorción atómica (EAA) en un espectrómetro modelo AAFS-240 del laboratorio químico de la empresa Moa Nickel S.A. Comandante Pedro Soto Alba, para determinar la composición química cuantitativa de las muestras de lodo utilizadas en los experimentos. Las pérdidas por ignición (PPI)

fueron determinadas por el método reportado por Dean (1974) y Bengtsson y Enell (1986).

2.2.2. Determinación de la composición granulométrica

El procedimiento se realizó con una velocidad de circulación de 6 mL/s, agitación de 6 rps y forma de distribución estándar.

Se pesaron 35 g de lodo y se transfirieron a un beaker de 1 000 mL que se agitó durante 5 min con el objetivo de homogeneizar la muestra. Con una pipeta se tomaron 2 mL y se vertieron en el pocillo del equipo, donde permanecieron durante 5 min. Los datos se registraron en el sistema instalado en una computadora acoplada al analizador de tamaño de partículas, del cual se obtuvieron las curvas características de tamaño de los lodos. Se realizaron tres réplicas para cada ensayo. El análisis permite obtener la distribución sumaria por clases en las muestras analizadas, el tamaño de partículas predominantes en la muestra y la superficie específica.

2.2.3. Determinación de la reactividad

Este procedimiento se llevó a cabo para las 12 muestras seleccionadas de lodos. Como referencia se empleó una muestra compósito de cieno carbonatado que se emplea en el proceso de neutralización en la empresa Moa Nickel S.A. "Comandante Pedro Soto Alba", lo que permitió, posteriormente, una comparación de la reactividad entre el material a evaluar y el que se utiliza actualmente en la industria.

Se aplicó el método de análisis de neutralización o reactividad con ácidos, para lo cual se utilizaron 3 g de la muestra pulverizada y 0,5 mol/L de ácido sulfúrico. En un beaker de 250 mL se añadieron 40 mL de ácido sulfúrico con agitación constante y 3 g de la muestra previamente pulverizada, y se midió el pH durante cinco minutos, lo que permitió evaluar el material de acuerdo a la clasificación existente de la reactividad de los carbonatos frente al ácido sulfúrico en la planta de neutralización en la empresa Moa Nickel S.A. "Comandante Pedro Soto Alba".

2.2.4. Determinación de la densidad, peso volumétrico, humedad

La determinación de los parámetros que se refieren en el presente acápite fueron ejecutados mediante procedimientos referidos en la literatura especializada. La densidad del lodo carbonatado fue determinada mediante el método del picnómetro, según el protocolo que se presenta en la norma NC 19: 1999. El peso volumétrico se determinó por el método de la pesada hidrostática que se recoge en la norma NC 181: 2002. Para la

determinación de la humedad se empleó el procedimiento de la norma NC-67: 2000.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Caracterización química

La composición química promedio de los lodos empleados se presenta en la Tabla 1. El principal constituyente es el óxido de calcio, junto a las pérdidas por ignición. En las muestras se presentan elevados contenidos de carbonato de calcio.

Tabla 1. Composición química promedio de los lodos

Compuestos químicos	Contenido, %
CaO	50,44
Al ₂ O ₃	0,40
Fe ₂ O ₃	0,31
SiO ₂	0,25
MgO	0,13
Na ₂ O	0,03
K ₂ O	0,003
MnO	0,001
ZnO	0,001
CuO	0,001
SO ₃	0,11
CaCO ₃	94,02
PPI	14,56

3.2. Caracterización granulométrica de los lodos

La Figura 2 muestra las características de tamaño de los lodos: poseen distribución granulométrica fina, el 80 % del material cernido se encuentra en el tamiz de diámetro 0,052 mm, con un diámetro medio de partículas de 0,037 mm. La superficie específica que brinda el análisis granulométrico en el analizador de partículas HORIBA LA-910 es de 20545 cm²/cm³. Esta propiedad superficial permite identificar con precisión los usos posibles del lodo objeto de estudio.

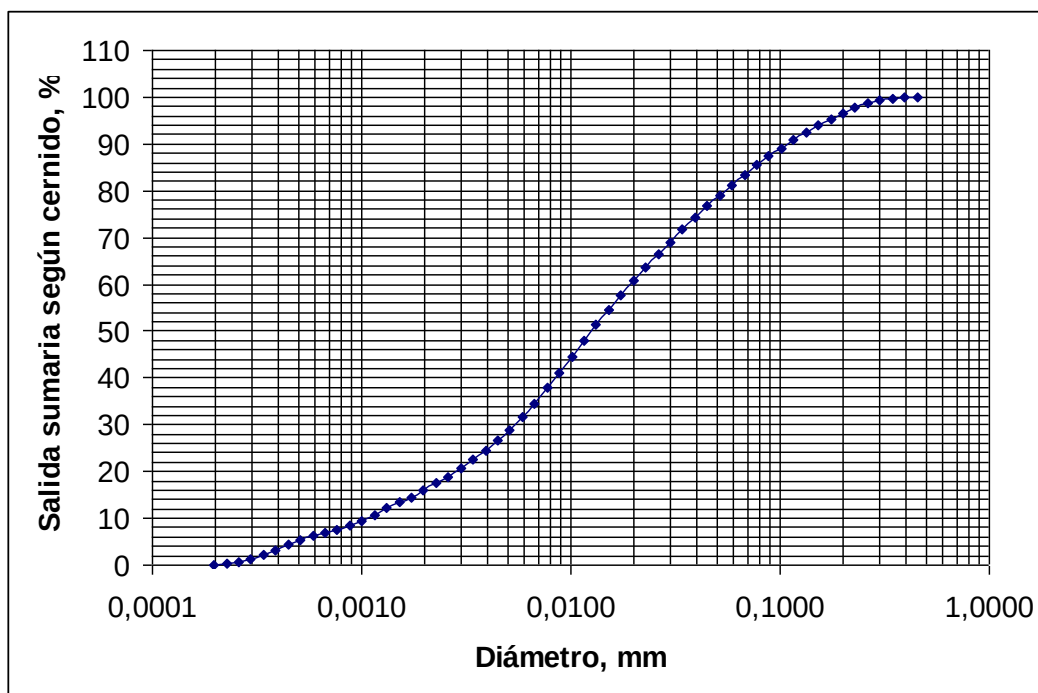


Figura 2. Característica de tamaño de los lodos.

3.3. Reactividad

El comportamiento de las muestras de lodos fue similar para todas las muestras durante cinco minutos. El pH varía de 0,23 hasta 5,44, lo cual muestra la reactividad del material en el proceso de neutralización de ácido sulfúrico. El mejor registro se obtuvo en los primeros dos minutos. La reactividad promedio, en términos porcentuales, es superior al 95 %.

Como se observa en la Figura 3 el lodo supera la reactividad del cieno carbonatado bajo las mismas condiciones de experimentación. Esta consideración le confiere valor para su empleo como neutralizante.

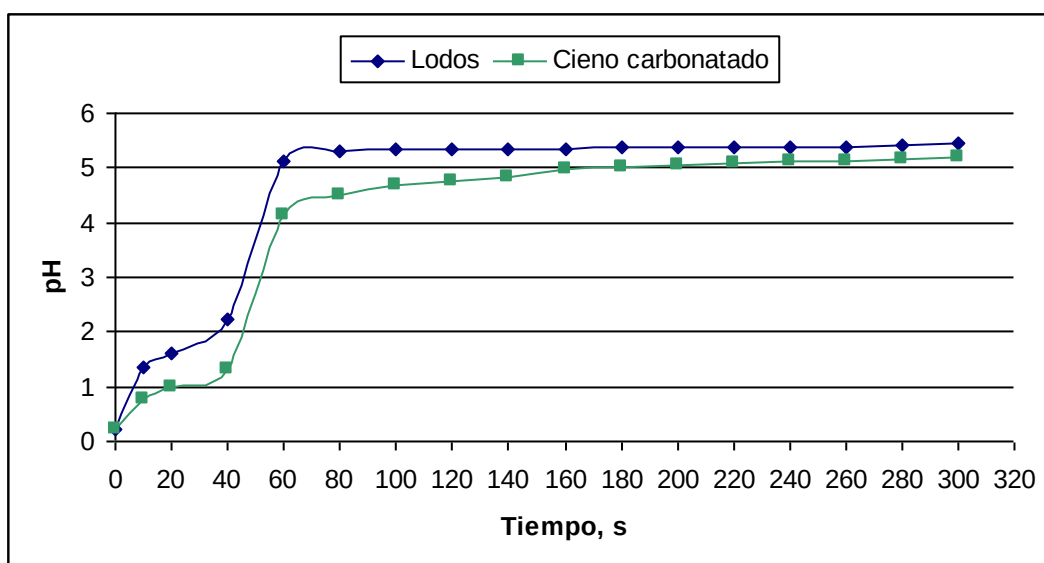


Figura 3. Variación del pH en función del tiempo.

3.4. Características físicas de los lodos

Se determinaron las características físicas fundamentales de acuerdo con las posibles aplicaciones. En la Tabla 2 se muestran los resultados promedios de los ensayos que realizaron.

Tabla 2. Propiedades físicas de los lodos

Propiedades	Unidad de medida	Valor promedio
Densidad	g/cm ³	3,16
Peso volumétrico	g/cm ³	2,47
Humedad	%	19,38

3.5. Valoración sobre posible uso

Los lodos residuales de la planta procesadora de árido están constituidos básicamente por carbonato cálcico. Comprobado por las propiedades físicas y químicas, carecen de elementos tóxicos o nocivos. Desde el punto de vista químico, la aplicación en las industrias referentes es factible, siempre que se rijan por las características técnicas de cada producto o uso industrial.

3.5.1. Como materia prima para la producción de cal

Los requisitos para los sectores tradicionales de consumo de cal, como el acero y la metalurgia, el tratamiento del agua y la protección del medio ambiente, son rigurosos en términos de alta reactividad; posteriormente, siempre se requiere alta pureza de la materia prima (PPI > 42 %; CaCO₃ > 98 %; SiO₂ < 1 %) (Vola *et al.* 2013). Sin embargo, se

ha mostrado en investigaciones que los materiales carbonatados que cumplen con estos requerimientos químicos que se presentan en la Tabla 3 pueden ser empleados en el tratamiento de aguas (suavización y la purificación del agua, en la neutralización de aguas ácidas y en el tratamiento de aguas residuales); así como en el tratamiento de desechos industriales en plantas de acero como neutralizante de los desechos de ácido sulfúrico base, proveniente del baño químico (Rivera *et al.* 2007).

Por otro lado, la construcción de productos de cal, utilizados en la construcción e ingeniería civil, puede presentar un mayor contenido de impurezas (Vola *et al.* 2013) y, generalmente, las especificaciones no son definidas (Montserrat 2004), es por ello que materiales con contenidos de carbonato de calcio (CaCO_3) de 80 % (Rivera *et al.* 2007), y bajos contenidos de óxidos de silicio, aluminio, hierro, magnesio y de impurezas como azufre y fósforo, pueden ser empleados como materia prima para la producción de cal en general; características que presentan los lodos analizados.

Tabla 3. Comparación de los requisitos exigidos para la producción de cal para tratamiento de aguas

Requisitos químicos	Valor exigido, %	Resultados para los lodos
Carbonato de calcio (CaCO_3)	>90	94,02
Sílice (SiO_2)	<2	0,255
Hierro y Aluminio) (Fe_2O_3 y Al_2O_3)	<1	0,717
Magnesia (MgO)	<1,75	0,133
Azufre(S)	<0,20	0,01
Fósforo (P_2O_5)	<0,05	0,001

3.5.2. Como neutralizante en la producción de níquel por la tecnología ácida a presión

En la actualidad, la tecnología ácida a presión de la empresa Moa Nickel S.A. "Comandante Pedro Soto Alba", emplea como agente neutralizante del ácido en exceso producto del proceso de lixiviación y lavado, el cieno carbonatado de la bahía de Moa, lo cual provoca afectaciones al ecosistema marino. Teniendo en cuenta la elevada reactividad del lodo carbonatado de la cantera El Cacao frente al ácido sulfúrico, superior al 95 %, puede ser empleado como neutralizante en la referida industria, lo cual contribuye a la mitigación de los efectos negativos que trae consigo la explotación del cieno.

De acuerdo con los datos que se muestran en la Tabla 4 se puede decir que los lodos carbonatados de la cantera El Cacao presentan propiedades y características que aceptan su uso como neutralizante.

El contenido de arena en el cieno carbonatado es un problema que tiene hoy la industria del níquel, con aproximadamente un 40 % distribuido en las fracciones -0,84 mm + 0,15 mm (30 %) y -0,15 mm + 0,044 mm (10 %) y el nivel deseado es de 21 %, con 10 % y 11 %, de las fracciones anteriores, respectivamente (Breff, Falcón y Góngora 2014). Esta dificultad tiende a incrementarse debido a que se están agotando los depósitos de cienos con granulometría más fina y se comienza a explotar material con mayor contenido de arena cada vez (Campos 2001; Caballero 2008), lo cual implica efectos nocivos para el proceso. La variante de utilizar estos lodos como neutralizante puede dar solución a parte de este problema, pues presentan un contenido de arena de 23 %, en su estado natural sin proceso de beneficio alguno.

Tabla 4. Comparación de los requisitos exigidos para su utilización como neutralizante: Elaborada a partir de Caballero (2008) y Breff, Falcón y Góngora (2014)

	Cieno carbonatado, valor en %	Lodo carbonatado, valor en %
Carbonato de calcio (CaCO_3)	>87	94,02
Reactividad en H_2SO_4	>95	>95
Fracción - 0,044 mm	<76	<77

3.5.3. Como materia prima en la industria de materiales de la construcción

Una de las aplicaciones encontradas hace varias décadas para algunos lodos es su utilización como material cementante (Tay y Show 1997). Los lodos evaluados presentan un alto contenido de óxido de calcio (50,44 %) y elevado contenido de partículas finas (90 % < 0,09 mm), características adecuadas para ser empleado como adición en la producción de cementos mezclados según las normas NC 1208: 2017 y NC 95: 2011). Esta industria puede constituir una de las principales consumidoras potencial de los lodos residuales de la planta procesadora de árido El Cacao, incluso en la producción local de materiales.

Los lodos objeto de estudio poseen características granulométricas y químicas apropiadas para ser empleados como adiciones a la masa de arcilla para producción de ladrillos cerámicos (Tay y Show 1997; Betancourt

et al. 2007; Díaz, Betancourt y Martirena 2011). Su adición mejora la resistencia a compresión de los ladrillos (Betancourt *et al.* 2007), disminuye el consumo energético en su producción (Díaz, Betancourt y Martirena 2011; Betancourt *et al.* 2007; Cultrone *et al.* 2000). Por otra parte, contribuye a la reducción de la plasticidad y facilita el secado del ladrillo.

Otras aplicaciones potenciales que pueden encontrar estos lodos en la industria de materiales de la construcción está en su utilización como áridos ligeros finos (González, Alonso y Rodasb 2009; González *et al.* 2010, 2011, 2016; Hameed y Sekar 2009), en morteros de albañilería (Crespo y Jiménez 2012; Crespo 2015; Amin *et al.* 2017) y en la producción de prefabricados (Galetakis, Alevizos y Leventakis 2012).

4. CONCLUSIONES

- Las propiedades químicas y físicas de los lodos de la cantera El Cacao demostraron que estos poseen perspectivas de uso como neutralizantes en la producción de cal, en la industria del níquel y como materia prima para la industria de materiales de construcción.
- La utilización de los lodos residuales de la planta procesadora de áridos El Cacao contribuiría a la mitigación del impacto negativo que esta provoca sobre el medio ambiente y el ecosistema de la región.
- El proceso de tratamiento y reutilización de los lodos generados en la elaboración de áridos es viable técnicamente, en este sentido se requiere diseñar procedimientos para realizar las acciones necesarias en busca de un mercado de productos específicos para este tipo de residuos.

5. REFERENCIAS

- Amin, M. N.; Khan, K.; Saleem, M. U.; Khurram, N. y Niazi, M. U. K. 2017: Aging and curing temperature effects on compressive strength of mortar containing lime stone quarry dust and industrial granite sludge. *Materials*, 10(6): 1-22. DOI 10.3390/ma10060642.
- Bengtsson, L. y Enell, M. 1986: Chemical analysis. En: B. Berglund (ed.). *Handbook of Holocene palaeoecology and palaeohydrology*. Chichester: John Wiley, p. 423–51.
- Betancourt, D.; Martirena, F.; Day, R. y Diaz, Y. 2007: Influencia de la adición de carbonato de calcio en la eficiencia energética de la producción de ladrillos de cerámica roja. *Revista Ingeniería de Construcción*, 22(3): 187-196. DOI 10.4067/S0718-50732007000300005.

- Breff, A.; Falcón, J. y Góngora, N. 2014: Evaluación de trabajo de un hidrociclón para la clasificación de la pulpa de cienos carbonatados. *Tecnología Química*, 34(2): 152-162. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543782008>.
- Caballero, Y. 2008: Caracterización de las pulpas de Cienos Carbonatados para su utilización como neutralizante. Informe inédito. Moa, Cuba: 28-31.
- Campos, G. M. 2001: Nuevos datos acerca de la naturaleza y génesis de los sedimentos del yacimiento de Cieno Carbonatado en la bahía de Cayo Moa Grande. Informe inédito. Moa, Cuba: 8-15.
- Casado, N. 1996: Edificios de alta calidad ambiental. *Ibérica, Alta Tecnología*. ISSN 0211-0776.
- Crespo, R. 2015: Uso productivo de los finos residuales de la planta de tratamiento de áridos La Victoria en la producción de morteros de albañilería. Sexta Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, GEOCIENCIAS '2015. La Habana: Red de Ciencias, p. 1-8.
- Crespo, R. y Jiménez, R. 2012: Caracterización mineralógica y aplicaciones en la construcción de los lodos procedentes del lavado de áridos naturales. XXXIII Convención Panamericana de Ingenierías. La Habana: UPADI.
- Cultrone, G.; De La Torre, M. J.; Sebastián, E. M.; Cazalla, O. y Rodríguez, C. 2000: Behavior of Brick Samples in Aggressive Environments. *Water, Air & Soil Pollution*, 119(1-4): 191-207. DOI 10.1023/A:1005142612180.
- Dean, W. E. 1974: Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition; comparison with other methods. *Journal of Sedimentary Research*, 44(1): 242-248.
- Díaz, Y.; Betancourt, D. y Martirena, F. 2011: Influencia de la finura de molido del carbonato de calcio en las propiedades físico mecánicas y de durabilidad de los ladrillos de cerámica roja. *Revista Ingeniería de Construcción*, 26(3): 269-283. DOI 10.4067/S0718-50732011000300002.
- Galetakis, M.; Alevizos, G. y Leventakis, K. 2012: Evaluation of fine limestone quarry by-products, for the production of building elements - An experimental approach. *Construction and Building Materials*, 26(1): 122-130. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2011.05.011.
- González, B.; Alonso, J.; Rodas, M.; Barrenechea, J. F. y Luque, F. J. 2011: Microstructure and mineralogy of lightweight aggregates manufactured from mining and industrial wastes. *Construction and Building Materials*, 25(8): 3591-3602. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.03.053>.

- González, B.; Alonso, J.; Rodas, M.; Luque, F. J. y Barrenechea, J. F. 2010: Microstructure and mineralogy of lightweight aggregates produced from washing aggregate sludge, fly ash and used motor oil. *Cement & Concrete Composites*, 32(9): 694-707. DOI 10.1016/j.cemconcomp.2010.07.014.
- González, B.; Alonso, J.; Rodríguez, L.; Pérez, A.; Fernández, M.; Tejado, J. J.; Corvinos, M. D. y Muro, C. 2016: Valorization of washing aggregate sludge and sewage sludge for lightweight aggregates production. *Construction and Building Materials*, 116: 252-262.
- González, B.; Alonso, J. y Rodasb, M. 2009: Characterization of lightweight aggregates manufactured from washing aggregate sludge and fly ash. *Resources, Conservation and Recycling*, 53(10): 571-581. DOI 10.1016/j.resconrec.2009.04.008.
- Hameed, M. S. y Sekar, A. S. S. 2009: Properties of green concrete containing quarry rock dust and marble sludge powder as fine aggregate. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 4(4): 83-89.
- Hasimbuli, J. H. 2012: Estudio minero-ambiental de la cantera El Cacao. *Ciencia & Futuro*, 2(4): 49-58.
- Hernández, C. M.; Savón, Y.; Almenares, R. S.; Montero, J. y Gómez, R. 2018: Diagnóstico ambiental de la Unidad Empresarial Básica procesadora de áridos Molino 200 mil en Holguín. *Ciencia & Futuro*, 8(2): 18-32.
- Montserrat, M. M. 2004: Posibles aplicaciones de los residuos generados en el proceso de corte y elaboración de la piedra natural, para su utilización como materia prima en procesos industriales diversos. Consulta: 5 feb 2012. Disponible en: www.gencat.cat.
- NC 1208, 2017: Cemento Ternario - Especificaciones. La Habana, Cuba.
- NC 181, 2002: Áridos. Determinación del peso volumétrico. Método de ensayo. La Habana, Cuba.
- NC 19, 1999: Geotecnia. Determinación del peso específico de los suelos. La Habana, Cuba.
- NC 67, 2000. Geotecnia: Determinación del contenido de humedad de los suelos y rocas en el laboratorio. La Habana, Cuba.
- NC 95, 2011: Cemento Portland. Especificaciones. La Habana, Cuba.
- Rivera, P. S.; Asela, J. E.; Suárez, S. Y. y Zúñiga, A. C. 2007: Evaluación de calizas para la obtención de una cal para el suavizamiento de aguas subterráneas a nivel de laboratorio, utilizadas para consumo humano en el municipio de Villa del Rosario, departamento Norte de Santander. *Respuestas*, 12(1): 46-52.
- Shenguelia, V. V. 1985: Mapa topográfico de escala 1:50,000 del I.C.G.C Hoja Baire 4976-IV. La Habana: ONRM.

- Sort, X. y Alcañiz, J. M. 1996: Contribution of sewage sludge to erosion control in the rehabilitation of limestone quarries. *Land Degradation and Development*, 7(1): 69-76. DOI 10.1002/(SICI)1099-145X(199603)7:1<69::AID-LDR217>3.0.CO;2-2.
- Tay, J. H. y Show, K. Y. 1997: Resource recovery of sludge as a building and construction material - A future trend in sludge management. *Water Science and Technology*, 36(11): 259-266. DOI 10.1016/S0273-1223(97)00692-6.
- Vola, G.; Christiansen, T.; Sarandrea, L. y Ferri, V. 2013: Carbonate rocks characterization for the industrial lime manufacturing: worldwide case-studies. 14th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials. Helsingør, Denmark: EMABM.

Recibido: 25/10/17

Aceptado: 19/03/18

Yaritza Cabrales-Clapé, Departamento de Minería. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Holguín, Cuba ycabrales@ismm.edu.cu