

Potencialidades de las arcillas del municipio de Guamá, Santiago de Cuba, como material cementicio

Pedro Luis Dunán Ávila¹

pdavila@geologia.ismm.edu.cu

Carlos Alberto Matos Pérez¹

cmperez@geologia.ismm.edu.cu

Luis Alberto Pérez García¹

lapgarcia@ismm.edu.cu

Santiago Cuba Miranda²

santiago.cuba@scgeomin.minem.cu

Carlos Alberto Leyva Rodríguez¹

cleyva@ismm.edu.cu

¹ Universidad de Moa

² Empresa Geominera Oriente

Resumen: Se evaluaron las arcillas del municipio de Guamá, Santiago de Cuba, para su utilización como materiales cementicios suplementarios sobre la base de su composición química y mineralógica. Se seleccionaron cuatro depósitos (Pinar de las Canas, La Anita, Sobicú y Boca de Dos Ríos) con diferentes génesis geológicas. La metodología expuso un procedimiento, basado en la composición química del material ($Al_2O_3 > 18,0 \%$; $Al_2O_3/SiO_2 > 0,3$; $PPI > 7,0 \%$; $CaO < 3,0 \%$; $SO_3 < 2,0 \%$). Las muestras con mejores potencialidades fueron aquellas que presentaban altos contenidos de Al_2O_3 y de pérdida de masa en el intervalo de la deshidroxilación de los minerales arcillosos. Las arcillas del yacimiento Sibacú poseen las mayores potencialidades para que sean utilizadas como material cementicio suplementario; mientras que las presentes en los otros yacimientos estudiados se encuentran por debajo de la norma.

Palabras clave: Arcillas; material cementicio suplementario; caolinita.

Potentialities of clays as supplementary material for cement in Guamá municipality, Santiago de Cuba

Abstract: The potentialities of the clays from Guamá in Santiago de Cuba were evaluated for their use as supplementary materials for cement based on their chemical and mineralogical composition. Four clay deposits were selected (Pinar de las Canas, La Anita, Sábicú and Boca de Dos Ríos) with different geological genesis. The methodology used exposed a procedure, based on the chemical composition of the material ($\text{Al}_2\text{O}_3 > 18,0\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{SiO}_2 > 0,3$, $\text{PPI} > 7,0\%$, $\text{CaO} < 3,0\%$, $\text{SO}_3 < 2,0\%$). The samples with the best potentialities were those with relatively high Al_2O_3 contents and mass loss in the dehydroxylation range of the clay minerals. It is concluded that clays from Sábicú deposit possess the greatest potential to be used as supplementary cement material; while those present in the other deposits studied are below the norm.

Keywords: Clays; supplementary cement material; kaolinite.

Introducción

La arcilla es un tipo de roca natural sedimentaria. Proviene de la descomposición de las rocas ricas en feldspatos aluminicos. Conserva su forma inicial después del secado, adquiriendo a la vez, la suficiente dureza para ser manejada.

Por su flexibilidad, prestaciones en uso, disponibilidad de las materias primas y bajos costos en comparación con otras alternativas, el hormigón es el material más adecuado para satisfacer la creciente demanda constructiva asociada al desarrollo de la sociedad. Sin embargo, la producción de su principal componente, el cemento Pórtland, está asociada a un alto consumo energético, especialmente en la forma de combustibles fósiles, y a grandes volúmenes de emisiones de CO₂; factores que influyen negativamente en sus costos y sostenibilidad ambiental.

Entre la amplia variedad de materiales cementicios suplementarios (MCS) que pueden ser empleados para reemplazar parte del clínquer en el aglomerante, existe creciente interés en el empleo de las arcillas activadas térmicamente, fundamentalmente de los minerales arcillosos del grupo de la caolinita, por la alta reactividad puzolánica de sus productos de calcinación y sus relativamente bajas temperaturas de activación. Esto incluye no solo los yacimientos de arcillas caoliníticas de alta pureza, relativamente escasos y con alta demanda, principalmente por la industria del papel y la cerámica, sino también los depósitos con contenidos moderados de arcillas caoliníticas, muy abundantes en las zonas tropicales y subtropicales, donde se concentra la alta demanda de materiales cementicios. Sus recursos identificados e hipotéticos exceden los miles de millones de toneladas (Almenares, 2017).

En Cuba no existen grandes reservas de arcillas caoliníticas de alta pureza, no obstante, cuenta con numerosos depósitos con diferentes contenidos de caolinita y otras fases arcillosas que podrían ser aprovechadas para la obtención de puzolanas de alta reactividad. Estos depósitos presentan diferentes grados de estudio desde el punto de vista geológico y en la mayoría de los casos no se ha presentado su evaluación como fuente de materia prima (Siveiro, 2016). Se conoce que el uso de MCS mantiene o incrementa la resistencia mecánica y la durabilidad de la matriz cementicia (Sabir, Wild & Bai, 2001; Samet, Mnif & Chaabouni, 2007) y al mismo tiempo favorece la disminución del consumo energético por cantidad de aglomerante (Habert, Lacaillerie & Roussel, 2011; Alujas *et al.*, 2015). Este sistema es denominado cemento de bajo

carbono, mejor conocido por *Limestone Calcined Clay Cement* (LC³, de acuerdo con su designación en idioma inglés) y se presenta como una alternativa para ser producida no solo a escala industrial, sino también a pequeña escala. La evaluación de materias primas para este uso se considera un factor fundamental para potenciar el desarrollo de materiales cementicios suplementarios.

En la provincia de Santiago de Cuba, lugar donde se encuentra ubicada el área de estudio, no se han realizado trabajos relacionados con el tema; las investigaciones solo se han dirigido a la utilización de estas arcillas para cerámica roja, elaboración de pinturas con base de agua y aceite. Entonces, se hace necesario la evaluación preliminar de los yacimientos de la región sobre la base de los trabajos anteriormente realizados para la determinación de las potencialidades existentes, por lo que el presente estudio hace un primer acercamiento a las arcillas del municipio para evaluar las potencialidades las mismas para su utilización como material cementicio suplementario.

Materiales y métodos

Para determinar el potencial de las arcillas como material cementicio suplementario se utilizó la metodología propuesta por Almenares (2017). Es necesario destacar que este trabajo solo abordó los aspectos de la clasificación referentes hasta el paso 3. Dicha clasificación se realizará sobre la base de su composición química y mineralógica y consta de los siguientes pasos:

Paso 1. Toma y preparación de la muestra

Se toma una muestra representativa del depósito de arcilla. Esta se homogeniza y se muele hasta obtener un 100 % pasado por el tamiz 74 μm .

Paso 2. Determinación de la composición química

Se determina la composición química mediante procedimientos normalizados. Los métodos, técnicas y equipos deben estar sustentados bajo requisitos establecidos para el análisis químico de minerales.

Paso 3. Selección preliminar sobre la base de criterios químicos

El material arcilloso con cualidades para ser empleado como fuente de materia prima para la obtención de materiales cementicios suplementarios debe cumplir con los requisitos que se presentan en la Tabla 1. Cuando el material no cumpla con los criterios expuestos en la metodología (Figura 1) se descartará para estas aplicaciones y no se continúa su proceso de evaluación.



Figura 1. Procedimiento para la evaluación preliminar de las potencialidades de los depósitos arcillosos como material cementicio suplementario (Almenares, 2017).

Tabla 1. Criterios establecidos para la selección preliminar basado en la composición química, tomado de Almenares (2017)

Al ₂ O ₃	>18,0 %
CaO	<3,0 %
SO ₃	<2,0 %
Al ₂ O ₃ /SiO ₂	>0,3
PPI	>7,0 %

Ubicación geográfica del área de estudio

La región de estudio se encuentra localizada en el litoral oeste de la provincia de Santiago de Cuba, ubicado específicamente en el municipio de Guamá, la cual se sitúa

en las hojas cartográficas 4976-III Matías, 4975-I Punta Moqueque, 4976-II Dos Palmas, del Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía a escala 1:50 000. Las coordenadas según el sistema de Lambert, así como el grado de estudio del área, se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 2. Coordenadas según el sistema de Lambert y grado de estudio de los yacimientos

Yacimientos	Coordenadas		Grado de Estudio
	X	Y	
Boca de Dos Ríos	578050-565800	146900-154300	Exploración detallada
La Anita	557730-558120	149600-150130	Exploración detallada
Sabicú	565700-565800	149600-154330	Exploración detallada
Pinar de las Canas	553400-553650	152700-152950	Exploración orientativa

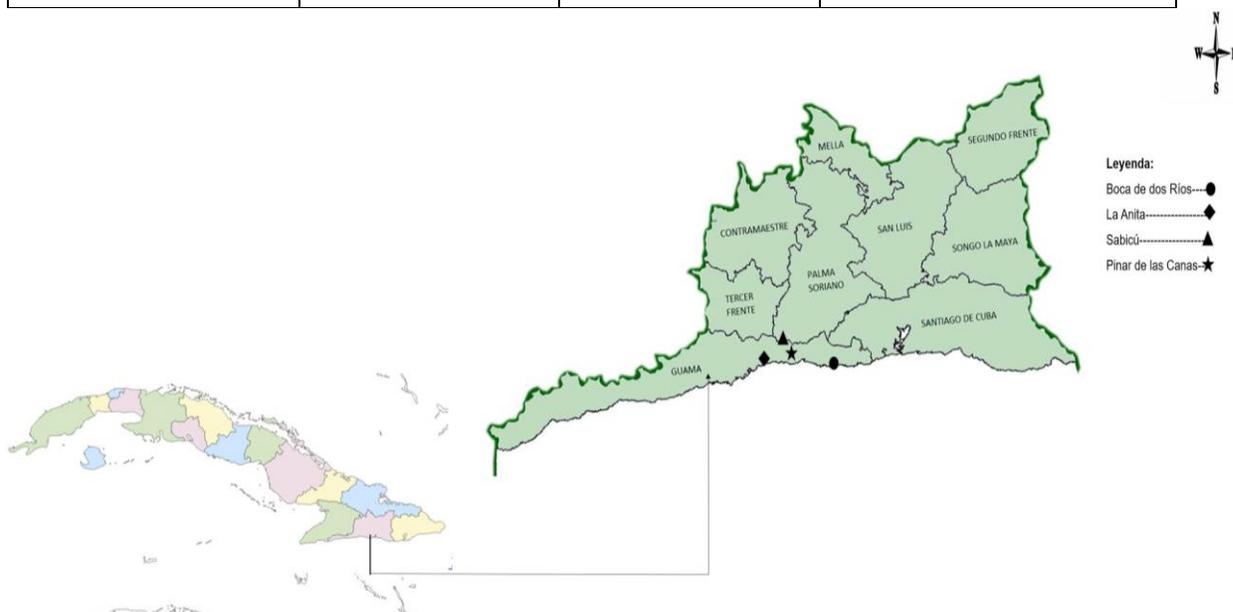


Figura 2. Mapa de ubicación geográfica del área de estudio. Escala 1:50 000 (Empresa Geominera Oriente, 1991).

Discusión de los resultados

Relieve, clima y vía de acceso

El relieve para los sectores de la Anita y Boca de Dos Ríos es llano, mientras que para los yacimientos Pinar de las Canas y Sabicú es montañoso, donde se pueden observar elevaciones hasta de 200 msnm.

El clima para los cuatro sectores se comporta de forma similar que para el resto de la provincia de Santiago de Cuba y está influenciado por su situación geográfica, es decir,

la existencia de grandes barreras hace a la región sumamente calurosa y con frecuentes lluvias. La mayor cantidad de lluvia se observa desde abril a junio y la más seca desde septiembre a noviembre.

El acceso para los yacimientos La Anita y Boca de Dos Ríos es bueno, pues, hasta cada uno de ellos llega un terraplén en buenas condiciones que nace en la carretera Santiago-Granma, mientras que para los yacimientos Pinar de las Canas y Sabicú el terraplén es transitable solamente en período de seca.

Estratigrafía de los yacimientos Boca de Dos Ríos, Sabicú, La Anita y Pinar de las Canas

En el yacimiento Boca de Dos Ríos la distribución de las rocas arcillosas está dada de la siguiente forma:

- Las arcillas plásticas y muy plásticas se encuentran en el centro del yacimiento y hacia los flancos disminuye (esto se debe a que el río Boca de Dos Ríos se sitúa hacia los flancos del yacimiento). En dirección norte aparecen arcillas poco plásticas, que aumentan la arenosidad rumbo al río.
- Este yacimiento se halla sobre una terraza del río (Boca de dos Ríos) y los sedimentos que dieron origen a las arcillas fueron depositados formando pequeñas capas.

En el yacimiento Sabicú la distribución de las rocas arcillosas más plásticas se localiza en las partes más elevadas del yacimiento, en la zona media del corte aparecen las rocas plásticas y en la porción más baja se encuentra una arcilla mezclada con fragmentos de andesita-basalto.

En el yacimiento La Anita las arcillas poco plásticas son las más difundidas y se localizan en la parte central. Las arcillas plásticas se ubican en la zona suroeste. En la parte norte del yacimiento las arcillas son arenosas y mientras más distantes se encuentre el material de la parte central del yacimiento, en la dirección norte, su composición es más arenosa.

La secuencia estratigráfica del yacimiento Pinar de las Canas está compuesta por depósitos vulcanógenos-sedimentarios pertenecientes al grupo El Cobre. Esta secuencia mayoritariamente corresponde a tobas de diferentes variedades, las cuales

posibilitaron, a partir de procesos hidrotermales y de meteorización, la formación de arcillas caoliníticas.

Tectónica de los yacimientos Boca de Dos Ríos, Sabcú, La Anita y Pinar de las Canas

En el área existe un sistema de fallas que está dispuesto al SW y SE del yacimiento Sabcú, lo que demuestra que en esta zona el ritmo de alteración y meteorización de la andesitas-basalto dieron origen a las arcillas investigadas. A lo largo de todo el yacimiento Pinar de las Canas se observan huellas de pequeños sistemas de grietas rellenas de caolín y de arcillas caoliníticas, las cuales sirvieron de canales para el paso de las soluciones hidrotermales.

Constitución geológica de los yacimientos Boca de Dos Ríos, Sabcú, La Anita y Pinar de las Canas

Desde el punto de vista geológico, los yacimientos estudiados se encuentran en la zona estructuro facial Caimán.

En la región existen las formaciones siguientes:

- Río Macío: (Holoceno)

Se desarrolla ampliamente en el cauce, las orilla y en la desembocadura de los ríos. En esta formación se distingue una secuencia de sedimentos de tipos aluviales, bloques, gravas, cantos rodados, arenas, aleurolitas y arcillas. La estratificación es cruzada y lenticular, típica de las terrazas y los cauces de los ríos. Esta formación constituye la base de la investigación para los sectores La Anita y Boca de Dos Ríos.

- Formación Jaimanitas: (Cuaternario)

Está formada por calizas biodetríticas, masivas y duras, su extensión es variable; se desarrolla a lo largo de costa sur oriental; se observa gran desarrollo del diente de perro. Esta formación no tiene ningún interés para este tipo de investigación, pero es unas de las más cercanas a los yacimientos objetos de estudios.

- Grupo El Cobre (Cretácico Superior-Eoceno Medio)

Esta formación está ampliamente distribuida a través de toda la Sierra Maestra, ocupando grandes extensiones. Las arcillas presentes en el yacimiento Sibacú fueron originadas debido a la alteración y meteorización de las andesitas existentes en esta formación, mientras que las arcillas del yacimiento Pinar de las Canas se corresponden mayormente a diferentes variedades de tobas de composición media y ácida; además de cuerpos de andesitas, andesito-basaltos, pórfidos-granodiorítico y diorita, las cuales posibilitaron, a partir de procesos hidrotermales, la formación de los depósitos con mineralización caolinítica.

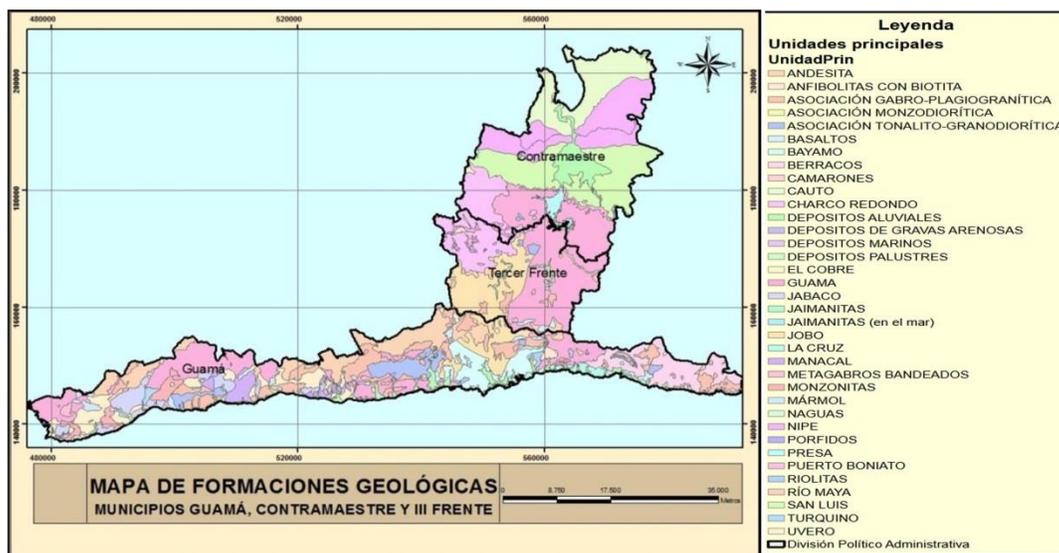


Figura 3. Mapa de formaciones geológicas actualizado de los municipios Guamá, Contramaestre y III Frente.

Génesis de los yacimientos Boca de Dos Ríos, Sabcú, La Anita y Pinar de las Canas

Las arcillas de los yacimientos Boca de Dos Ríos, Sabcú, La Anita y Pinar de las Canas, localizadas en el municipio de Guamá, tienen origen eluvial y aluvial.

Composición mineralógica de los yacimientos Boca de Dos Ríos, Sabcú, La Anita y Pinar de las Canas

El estudio se realizó en los cuatro sectores perspectivas de estos yacimientos por medio del análisis y procesamiento de 33 muestras representativas de toda el área. Al

comparar los resultados de los análisis químicos y el mineralógico se concluye que existe una estrecha relación entre ellas, pues los valores de los elementos químicos que se obtuvieron se pueden corroborar con la composición mineralógica de las arcillas. Los mayores contenidos minerales pertenecen a la sílice (SiO_2) y tienen como promedio general en la Anita (58,1 %), en Boca de Dos Ríos (63,88 %), en Sabcicú (55,19 %) y Pinar de la Canas (66,62%), la cual está asociada a los minerales del grupo de los silicatos y al cuarzo.

Resultados del estudio de la composición química de los yacimientos Boca de Dos Ríos, Sabcicú y La Anita

Las 16 muestras investigadas (Tabla 3) abarcan en su conjunto a todas las variedades de rocas arcillosas existentes en el área de estudio. Los contenidos de los elementos perjudiciales están por debajo de los límites permisibles. En la Tabla 3 se encuentran señalados de color verde los valores que cumplen con los parámetros de la clasificación propuesta por Almenares (2017) para la identificación de arcillas potenciales como MCS, y de color rojo los que incumplen con la metodología.

Las arcillas de los sectores Boca de Dos Ríos y La Anita no cumplen con los valores establecidos por la metodología propuesta, pues para Boca de Dos Ríos los resultados de Al_2O_3 se encuentra por debajo del valor normado en un 2,76 %; la pérdida por ignición (PPI) no alcanza los valores estándares en un 1,5 % y la relación $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ es inferior a la norma en un 0,07.

Para el sector La Anita la Al_2O_3 no cumple con el valor total establecido en un 1,76 %; la PPI es inferior a los datos propuestos por la metodología en un 1,02 % y los resultados de la composición química de la relación $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ no alcanza los estándares promedios planteados en un 0,07.

Las arcillas del sector Sabcicú cumplen con las normas necesarias para que sean utilizadas como material cementicio suplementario. Los niveles de Al_2O_3 se encuentran por encima del valor establecido en un 6,02 %; la PPI sobrepasa los niveles normados en un 3,35 % y la relación $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ en un 0,04 %.

Este yacimiento no presenta gran extensión, por lo que se propone realizar un estudio más detallado y valorar si, añadiendo estas arcillas con las de los otros dos yacimientos del área en cuestión (Boca de Dos Ríos y La Anita), pueden llegar estos a

la norma necesaria, ya que se encuentran en el radio de los 100 km² a la fábrica de cementos de Santiago de Cuba.

Tabla 3. Resultados de los análisis químicos de los yacimientos La Anita, Boca de Dos Ríos y Sabcú. Resaltado en verde los valores que cumplen con las normas, según Almenares (2017).

En gris los valores que no cumplen con las normas.

Sector	Muestra	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	TiO ₂ %	CaO%	MgO%	Fe ₂ O ₃ %	Na ₂ O%	K ₂ O%	MnO%	PPI%	SO ₃ %	Al ₂ O ₃ /SiO ₂
L A N I T A	801	59,22	15,68	0,74	3,99	1,36	9,15	2,47	0,97	0,40	6,29	<0,1	0,26
	1001	61,75	14,70	0,73	3,56	1,51	9,19	2,67	1,08	0,40	5,15	<0,10	0,002
	1201	57,95	17,90	0,70	2,23	1,31	9,55	1,97	1,39	0,48	6,89	<0,10	0,30
	1301	59,88	16,12	0,68	2,46	1,57	8,68	2,36	1,42	0,52	6,63	<0,10	0,26
	1401	60,70	15,95	0,68	2,23	1,64	9,09	2,36	1,37	0,50	5,75	<0,10	0,26
	2101	60,30	16,80	0,68	1,95	1,19	8,88	2,28	1,85	0,80	6,06	<0,10	0,27
	Promedio	59,96	16,19	0,70	2,74	1,43	9,09	2,35	1,34	0,51	6,16	<0,10	0,27
	403	59,06	16,83	0,75	2,28	1,21	8,44	1,85	1,54	0,74	6,31	<0,10	0,28
	503	57,14	16,48	0,70	3,24	1,87	8,15	2,16	1,08	0,44	7,53	<0,10	0,28
	602	63,82	15,10	0,78	3,00	0,77	8,50	3,00	0,7	0,42	4,70	<0,10	0,23
	603	60,61	16,57	0,69	1,95	1,12	8,24	2,01	1,77	0,64	5,38	<0,10	0,27
Promedio	60,16	16,24	0,73	2,61	1,24	7,67	2,25	1,27	0,56	5,98	<0,10	0,26	
B O C A D E D O S R Í O S	701	63,88	15,24	0,75	2,91	0,87	6,98	2,79	0,66	0,39	5,50	<0,10	0,23
	Promedio	63,88	15,24	0,75	2,91	0,87	6,98	2,79	0,66	0,39	5,50	<0,10	0,23
	41	60,89	19,50	0,84	0,47	0,14	8,15	0,62	0,38	0,06	7,98	<0,10	0,32
	51	49,50	24,20	1,07	0,03	0,15	13,44	0,03	0,30	0,10	10,45	<0,10	0,48
Promedio	55,19	21,84	0,95	0,25	0,14	10,79	0,32	0,34	0,08	9,21	<0,10	0,39	
S A B Í C Ú	71	48,25	23,94	1,90	0,10	0,20	14,8	0,15	0,18	0,09	10,73	0,19	0,49
	82	51,69	22,94	1,09	0,56	0,36	13,05	0,31	0,35	0,16	9,77	0,22	0,44
	91	46,07	25,17	0,99	0,95	0,71	13,44	0,72	0,54	0,30	10,53	0,16	0,54
	Promedio	48,66	24,02	1,09	0,54	0,42	13,76	0,39	0,18	0,18	10,35	0,19	0,49

Resultados del estudio de la composición química del yacimiento Pinar de las Canas

En total fueron analizadas 17 muestras, las cuales abarcan en su conjunto a todas las tonalidades existentes en el área de estudio (Tabla 4). Para este yacimiento los contenidos de los elementos perjudiciales están por debajo de los límites permisibles. La presencia de altos valores de SiO₂ le corresponde a las arcillas no coloreadas, descritas como arcillas caoliníticas de colores claros.

En general, la suma de la sílice y el aluminio arroja valores altos y al intervenir el hierro en esa composición los valores sobrepasan el 90 %. Es bueno destacar que existe una gran correspondencia entre los porcentajes de hierro y las descripciones por coloraciones de las diferentes muestras.

La pérdida de masa por ignición es bajo, oscilando entre 4,19 % y 8,69 %, con un valor anómalo de 10,27 %.

Cabe señalar que algunas muestras, por su contenido químico, sobre todo hierro, menor de 3 %, pudieran ser utilizadas en la jabonería, perfumería y en la industria del papel.

Tabla 4. Resultados de los análisis químicos del yacimiento Pinar de las Canas

Resultado de los Análisis Químicos																
No. TR	Intervalo	No. Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	MnO	NaO	KO	SO	PO	PPI	RI	Al ₂ O ₃ /SiO ₂
TR-1	0,1-1,60	M-1	58,35	17,67	0,56	-0,10	0,25	12,71	-0,05	0,64	1,38	0,14	0,10	6,99	69,66	0,30
	0,60-1,00	M-3	72,28	13,89	0,13	-0,10	0,10	3,42	-0,05	0,25	0,41	-0,10	0,04	6,38	81,96	0,19
	1,00-1,50	M-5	53,80	21,57	0,93	-0,10	0,35	10,96	-0,05	0,71	1,38	0,14	0,13	8,67	66,53	0,40
TR-2	0,30-1,00	M-30	59,36	16,40	0,41	-0,10	0,17	14,89	-0,05	0,25	0,68	0,10	0,09	7,30	68,36	0,27
TR-6	0,20-1,00	M-9	65,02	17,30	0,15	-0,10	0,17	8,70	-0,05	0,41	0,91	-0,10	0,07	6,70	75,12	0,26
	1,10-1,50	M-12	69,53	17,23	0,18	-0,10	0,15	5,23	-0,05	0,41	0,92	-0,10	0,05	6,40	81,78	0,24
	1,00-1,50	M-1A-2	71,90	16,31	0,14	-0,10	0,15	4,63	-0,05	0,41	1,03	-0,10	0,04	5,74	83,78	0,22
	0,00-1,00	M-1A-3	71,13	16,47	0,14	-0,10	0,15	4,98	-0,05	0,48	0,94	-0,10	0,04	5,81	83,60	0,23
TR-3	0,00-1,00	M-18	50,61	22,10	1,00	-0,10	0,15	15,59	0,10	0,10	0,31	0,17	0,18	10,27	56,02	0,43
	1,00-1,50	M-301	57,96	18,55	0,84	-0,10	0,20	11,76	0,09	0,11	0,22	0,14	0,14	8,43	62,41	0,32
TR-4	0,80-1,30	M-26	74,56	14,20	0,12	-0,10	0,20	4,12	0,06	0,69	1,47	-0,10	0,05	4,19	87,63	0,19
	0,15-0,80	M-28	71,37	16,35	0,15	-0,10	0,15	3,67	-0,05	0,46	0,89	-0,10	0,05	5,61	87,24	0,22
	0,80-1,20	M-402	73,06	16,15	0,12	-0,10	0,18	3,27	-0,05	0,46	0,87	-0,10	0,04	5,55	88,20	0,22
	1,30-1,50	M-404	73,26	15,89	0,12	-0,10	0,18	3,82	0,06	0,38	0,72	0,13	0,05	5,75	86,49	0,21
	Piso	M-4P	73,72	16,68	0,13	-0,10	0,18	2,92	-0,05	0,27	0,39	-0,10	0,04	6,06	86,80	0,22
TR-5	0,10-1,50	M-51	61,65	16,26	0,54	-0,10	0,15	11,72	0,08	0,15	0,24	0,12	0,22	7,62	68,94	0,26
Aflora miento		M-P1	75,13	15,54	0,13	-0,10	0,10	2,77	-0,05	0,23	0,30	-0,10	0,03	5,38	86,05	0,20
Pro medio			66,62	16,97	0,34	-0,10	0,18	7,36	-0,01	0,37	0,76	-0,003	0,08	6,63	77,68	0,25

Conclusiones

Se evalúan las potencialidades de las arcillas del municipio de Guamá para su posible utilización como material cementicio suplementario sobre la base de su composición química y mineralógica, donde las arcillas del yacimiento Sabcú cumplen con las normas propuestas por la metodología de Almenares (2017).

Los yacimientos Pinar de las Canas, La Anita y Boca de Dos Ríos no cumplen con los requisitos necesarios para que sus arcillas sean utilizadas como material cementicio suplementario.

Referencias bibliográficas

ALMENARES, R. 2017. *Potencialidades de arcillas caoliníticas cubanas para la obtención de materiales cementicios suplementarios*. Tesis doctoral. Universidad Central Martha Abreu de Las Villas.

ALMENARES, R. S.; ALUJAS-DÍAZ, A.; POLL, L.; BASSAS, P. R.; BETANCOURT, S.; MARTIRENA, J. F. & LEYVA, C. A. 2016. Evaluación de arcillas caoliníticas de Moa para la producción de cemento de base clínquer-arcilla calcinada-caliza (LC3). *Minería y Geología* 32(4): 63-76.

ALUJAS, A.; FERNÁNDEZ, R.; QUINTANA, R.; SCRIVENER, K. L. & MARTIRENA, F. 2015. Pozzolanic reactivity of low grade kaolinitic clays: Influence of calcination temperature and impact of calcination products on OPC hydration. *Applied Clay Science* 108: 94-101.

EMPRESA GEOMINERA ORIENTE. 1991. Informe Final de Exploración Orientativa y Detallada de arcilla para cerámica roja, Guamá, Santiago de Cuba. Santiago de Cuba.

HABERT, G.; DE LACAILLERIE, J. D. E. & ROUSSEL, N. 2011. An environmental evaluation of geopolymer based concrete production: reviewing current research trends. *Journal of cleaner production* 19(11): 1229-1238.

SABIR, B. B.; WILD, S. & BAI, J. 2001. Metakaolin and calcined clays as pozzolans for concrete: a review. *Cement and concrete composites* 23(6): 441-454.

SAMET, B.; MNIF, T. & CHAABOUNI, M. 2007. Use of a kaolinitic clay as a pozzolanic material for cements: Formulation of blended cement. *Cement and Concrete Composites* 29(10): 741-749.

SIVEIRO-FERNÁNDEZ, S. 2016. *Evaluación de arcillas de bajo grado de caolinita del depósito El Yigre para la producción de cemento de bajo carbono*. Tesis doctoral. Universidad Central "Martha Abreu" de Las Villas.