

Caracterización de las calizas del yacimiento de arcillas Yaguajay para la producción de cemento de bajo carbono LC³

Luis Alberto Pérez García

lapgarcia@ismm.edu.cu

Liván García Obregón

lgobregon@geologia.ismm.edu.cu

Alfredo Hidalgo Suarez

Carlos Herrera Sánchez

Universidad de Moa (Cuba)

Resumen: Se caracterizó el yacimiento Yaguajay desde la perspectiva de la caracterización por microscopía óptica de las rocas que conforman su basamento e intercalaciones rocosas. Se utilizaron como técnicas analíticas la microscopía de luz reflejada y polarizada. Se concluyó que petrográficamente las rocas analizadas corresponden a calizas micríticas recristalizadas y dolomitizadas, formadas en aguas poco profundas. Desde el punto de vista minerográfico se determinaron los siguientes minerales metálicos presentes en las calizas: hematita, birnessita, coronadita e ilmenita. El aporte de fases minerales metálicas oxidadas al cuerpo arcilloso está dado por la meteorización y desintegración de las calizas que los portan y rodean al cuerpo de arcilla. Las intercalaciones de calizas alteradas en el tipo tecnológico B debe ser un factor a tener en cuenta a la hora de explotar la arcilla para la producción de cemento de bajo carbono.

Palabras clave: calizas micríticas; meteorización; cuerpo arcilloso.

Characterization of the limestones of the Yaguajay clays deposit for the production of low carbon cement LC³

Abstract: The Yaguajay deposit was characterized from the perspective of the optical microscopy characterization of the rocks that make up its basement and rocky intercalations. The microscopy of reflected and polarized light was used as analytical techniques. It was concluded that petrographically the analyzed rocks correspond to recrystallized and dolomitized micritic limestones, formed in shallow waters. From the mineralogical point of view the following metallic minerals present in the limestones were determined: hematite, birnessite, coronadite and ilmenite. The contribution of oxidized metal mineral phases to the clay body is given by the weathering and disintegration of the limestones that carry them and surround the clay body. The intercalations of altered limestones in the technological type B must be a factor to take into account when exploiting clay for the production of low carbon cement.

Key words: micritic limestones; weathering; clay body.

Introducción

El cemento Portland (CPO) se encuentra entre los materiales más empleados y con mayor volumen de producción a nivel mundial. En comparación con otros materiales de la construcción, los costos energéticos y de emisiones de gases de efecto invernadero por unidad de masa del CPO son muy bajos. Sin embargo, por sus altos volúmenes de producción, su elaboración está asociada a un alto consumo energético y a grandes volúmenes de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) a escala global, fundamentalmente durante la producción del clínquer, factores que influyen de forma negativa en sus costos y sostenibilidad ambiental (Duverger, 2017).

Sus demostradas ventajas como material de construcción y su necesaria demanda para el desarrollo socioeconómico contrastan con un negativo impacto medioambiental, en un momento en que el cuidado del entorno y la eficiencia en la utilización de los recursos energéticos deben estar entre las principales prioridades de la humanidad.

Entre las alternativas más empleadas como solución a este problema está la utilización de adiciones de materiales cementicios suplementarios (MCS) al cemento Portland, con lo cual se mantienen o incrementan las propiedades físico-mecánicas y la durabilidad de los productos finales. Al mismo tiempo, se alcanza una disminución de los costos de producción por la sustitución parcial de clínquer en el aglomerante, y de la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

Entre la amplia variedad de materiales cementicios suplementarios que pueden ser empleados para reemplazar parte del clínquer en el aglomerante, existe creciente interés en el empleo de las arcillas activadas térmicamente, especialmente 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, 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, y sus recursos identificados e hipotéticos exceden los miles de millones de toneladas (Almenares, 2017).

Por estas razones, es necesario potenciar el desarrollo de investigaciones destinadas a conocer las características químicas y mineralógicas de las arcillas que estén ubicadas

en yacimientos aún no estudiados o estudiados para otros fines y posean potencialidades para ser empleadas como materia prima en la sustitución de fracciones de clínquer en el cemento Portland y, de este modo, determinar si es posible la utilización de sus productos de calcinación como MCS.

En Cuba no existen grandes reservas de arcillas caoliníticas de alta pureza, sin embargo, 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).

El presente trabajo se centra en el yacimiento Yaguajay, en la provincia de Santi Spiritus (anteriormente yacimiento El Yigre) y persigue la caracterización de las rocas que conforman su basamento, así como las intercalaciones de calizas dentro del cuerpo arcilloso.

Si bien es cierto que el yacimiento Yaguajay cuenta con un grado de estudio medianamente alto (Almenares, 2017; Colectivo de Autores, 2018; Duverger, 2017; Siveiro, 2016), también hay que mencionar que todas esas investigaciones se centraron en el estudio de las arcillas y sus productos de calcinación. Es, asimismo, pertinente señalar que el primer paso antes de la diseminación de la tecnología LC3 en el país lo constituye la caracterización de los depósitos minerales arcillosos con perspectivas para estos fines. Eso incluye una caracterización geológica que no se puede restringir al cuerpo arcilloso, sino a todo el depósito, buscando establecer las relaciones de este con el medio geológico donde se ha desarrollado.

Por tanto, es objetivo de este trabajo profundizar en el grado de conocimiento geológico del yacimiento en cuestión, a partir de la caracterización de las fases rocosas que lo rodean y que son la fuente del aporte de óxidos al cuerpo arcilloso.

Geología del área de estudio

El yacimiento seleccionado para este estudio forma parte de la secuencia arcillosa denominada como Arcillas Bamburanao (Peñalver, Lavandero y Berriente, 1997; Siveiro, 2016), que se distribuye en la zona norte de los municipios Remedios, Yaguajay y Chambas. Los primeros estudios que se realizaron de esta secuencia

arcillosa datan de la década de 1980, específicamente entre 1985 y 1990 cuando se realiza el levantamiento geológico 1:50000 Las Villas II y búsquedas acompañantes en coordinación Cuba-Bulgaria, ellos reportaron la presencia de arcillas caoliníticas en una franja de 120 km de largo en la porción norte de las hojas 1:25000 Remedios, Dolores, Yaguajay y Chambas (Siveiro, 2016).

El relieve del área es colinoso, donde se destacan las alturas del Yigre, a unos 500 m, sin embargo, el área del yacimiento en sí es llana.

Los sedimentos pertenecen a la plataforma Neogénico-Cuaternario, clasificados como sedimentos marinos redepositados, que estuvieron en estrecha relación con las transgresiones y regresiones del nivel del mar, formando la Unidad Informal Arcillas Bamburanao, de edad Cuaternario. La geología de este sector está marcada por su ubicación en la porción norte de la región central de Cuba, donde se establecieron lagunas interiores producto de las repetidas transgresiones y regresiones del mar ocasionadas por los períodos de glaciación, depositando grandes volúmenes de sedimentos terrígenos, calcáreos y arcillosos en capas horizontales de espesores hasta las primeras decenas de metros, tal como se observa en la actualidad. Los sedimentos provenientes de una fuente rica en minerales aluminosilicatados formaron las Arcillas Bamburanao (Siveiro, 2016).

La Unidad Informal de Arcilla Bamburanao fue definida por Ducloz y Mac Fall, en 1958 (Peñalver, Lavandero y Berriente, 1997). Se desarrolla en forma de faja al norte de la provincia de Sancti Spiritus, entre los poblados de Yaguajay y Mayajigua. Está formada por arcillas yesíferas con gravas interestratificadas, hay capas finas de calizas y en la parte superior del perfil calizas porosas con fósiles de tipo *Planorbis*.

Yace con discordancia sobre el grupo Remedios y probablemente sobre la formación Chambas. Está cubierta discordantemente por la cobertura aluvial cuaternaria.

Su fauna está representada por el único fósil no redepositado encontrado, un molusco pulmonado del género *Planorbis* afin al *Planorbis* (*Helisoma*) *caribbens*~ especie actual. Se ha considerado su edad como dudosa, Mioceno a Plioceno, pero probablemente es Cuaternaria. El espesor de sus sedimentos es de 70 m o más (Peñalver, Lavandero y Berriente, 1997).

La Arcilla Bamburanao es también conocida indistintamente como Arcilla Mayajigua y como Arcilla Yaguajay.

El cuerpo de arcillas se depositó en un ambiente lacustre con comunicación intermitente o ninguna comunicación con el mar, dado que el yeso pudo ser redepositado en una laguna interior. Las calizas parecen ser de agua dulce. Pueden haber existido, aunque no necesariamente, condiciones de aridización del clima (Colectivo de Autores, 1992).

Sobre la base del quimismo se pueden definir tres tipos tecnológicos de arcillas, los tipos A, B y C (Colectivo de Autores, 2018). Esto está en correspondencia con los tipos tecnológicos YG1, YG2 y YG3 que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición química de los tipos tecnológicos de arcillas del yacimiento Yaguajay. Tomado de Silveiro (2016)

Determinadores	UM	Método	YG-C1	YG-C2	YG-C3
Al ₂ O ₃	%	Volumétrico	23,94	24,24	16,92
Fe ₂ O ₃	%	Ab. Atómica	12,6	12,6	7,6
CaO	%	Volumétrico	4,54	6,94	24,29
MgO	%	Ab. Atómica	0,38	0,38	0,38
Na ₂ O	%	Ab. Atómica	1,3	1,02	1,46
K ₂ O	%	Ab. Atómica	0,54	0,35	0,6
TiO ₂	%	Colorimétrico	1,22	1,18	0,79
MnO	%	Ab. Atómica	0,82	0,88	0,38
P ₂ O ₅	%	Colorimétrico	<0,2	<0,2	<0,2
CaCO ₃	%	Volumétrico	8,1	12,39	43,36

Tabla 2. Composición química de un compuesto (todos los tipos tecnológicos) de arcillas del yacimiento Yaguajay. Tomado de Almenares (2017)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Mn ₂ O ₃	Otros	PPI
YG	46,58	20,06	14,41	2,94	0,74	0,04	0,11	0,06	1,12	0,13	0,73	0,14	12,74

Tipo A (YG1): Las arcillas son muy plásticas y de color amarillento; con perdigones de Fe y Mn de tamaño hasta 5 mm, fragmentos de calizas de color blanco en ocasiones abundantes, nidos de caolín blanco azulado de 3 cm a 5 cm dispersos (Figura 5).

Tipo B (YG2): Las arcillas son de color ocre a pardo hasta rojizo de oxidación, por su abundante contenido de óxido de Fe. Con perdigones de óxido de hierro y de Mn, de diámetro hasta 1 cm. Se observan nidos y lentes de caolín blanco azulado de 5-10 cm, fragmentos aislados de silicita y calizas en toda su masa, plásticas, se disuelven fácilmente en presencia del agua (Figura 5).

Tipo C (YG3): Son arcillas de color amarillento, de estructura muy fina, de estratificación incipiente y en ocasiones bien estratificadas. Con dispersos perdigones óxido de Fe, Mn y fragmentos de CaCO_3 , nidos y lentes de caolín de hasta 15 cm y por toda su masa cristalitas de yeso de 0,5 a 1,5 cm, confirmando su origen marino. Son muy plásticas y se disuelven fácilmente en agua (Figura 1).

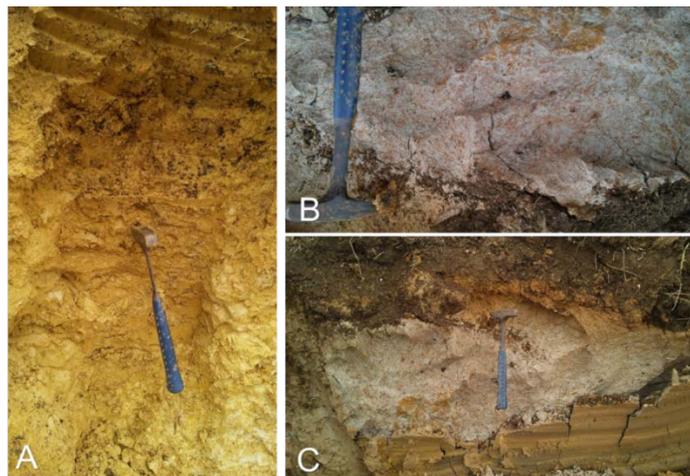


Figura 1. Tipos tecnológicos de arcillas: A: Tipo A (YG1), B: Tipo B (YG2), C: Tipo C (YG3).

En la base de la llanura adyacente se han reportado travertinos laminares conteniendo *Planorbis*. En concordancia con las regulaciones de la versión cubana de la Guía Estratigráfica Internacional, el nombre original de esta unidad, "Yaguajay", fue modificado en el Léxico Estratigráfico de Cuba de 2011 debido a que existe una unidad homónima invalidada (Colectivo de Autores 1992).

En cuanto al basamento rocoso se puede decir que está compuesto por rocas del grupo formacional Remedios, de edad Jurásico Superior (Tithoniano)-Cretácico Superior (Maastrichtiano) (Colectivo de Autores, 2013). Este se desarrolla en forma de bandas discontinuas y alargadas al norte de Cuba, en las provincias de Villa Clara, Sancti Spíritus, Ciego de Ávila, Camagüey y Holguín. Las litologías constituyentes son bioesparitas, micritas y dolomitas. En menor grado, turbiditas calcáreas y, muy

localmente, calizas laminares. A diferentes niveles del corte de sus formaciones se observan espesores, de hasta 30 m, de brechas calcáreas con matriz calcárea. Colores claros, que varían entre blanco y gris claro (Colectivo de Autores, 2013).

En cuanto a las relaciones estratigráficas se desconoce su subyacente. Está cubierto discordantemente por las formaciones Arroyo Blanco, Caibarién, Camacho, El Embarcadero, Grande, Paso Real, Vega, Venero y Villarroja.

En los depósitos que constituyen el grupo Remedios se pueden diferenciar tres ambientes fundamentales: lagunas y bajos retroarrecifales, bancos biostrómicos y ambiente de mar abierto (el menos difundido).

El ambiente tectónico se relaciona con el sustrato plegado cubano. Unidades de naturaleza continental (márgenes continentales pasivos); Plataforma de las Bahamas (zona Remedios). P. J. Bermúdez propuso en 1950 esta unidad como formación Remedios. Consuelo Díaz e Iturralde-Vinent, en 1981, la elevaron a la categoría de grupo (Colectivo de Autores, 2013).

Materiales y métodos

El método de toma de muestras utilizado fue el de fragmento de roca, mediante el uso de una piqueta; el tamaño de las muestras tomadas fue aproximadamente de 10x8x8 cm. Siempre se escogieron las rocas menos afectadas por los procesos de intemperismo, luego de obtenidos los fragmentos rocosos se procedió a enumerar y marcar la muestra utilizando un marcador permanente (Figura 2).



Figura 2. Fotografías de las muestras analizadas, A: muestra de la cantera Yigre, B: muestra de intercalaciones de calizas en el cuerpo de arcillas, C: muestra de basamento.

Los fragmentos rocosos fueron caracterizados macroscópicamente y se seleccionaron muestras de tres sectores (de los testigos de perforación del basamento rocoso, de las

intercalaciones de calizas en el cuerpo de arcillas y de las alturas circundantes al yacimiento).

Para la interpretación de las secciones delgadas se utilizó el manual de Mineralogía Óptica de Paul F. Kerr. Para esta investigación se usó un microscopio de luz polarizada blanca, marca Novel de fabricación china, con cuatro aumentos (4x, 10x, 20x, 40x).

La interpretación de las secciones pulidas se realizó según las tablas de identificación de minerales metálicos de Uytendogaardt y Burke (1971). Se empleó un microscopio de luz reflejada JENALAB con luz amarilla de sodio (Na).

Resultados y discusión

Análisis por microscopia de luz polarizada

Muestra 1 (Yigre):

La muestra corresponde a una caliza micrítica recristalizada. La mineral calcita está transitando por un proceso de dismicritización. Se observa una zona cubierta por cemento alterado por oxidación. Se perciben, además, cristales de dolomita en las zonas de recristalización. Los cementos precipitados dentro de la zona freática meteórica (por debajo del nivel freático) presentan una textura característica, definida por cristales que aumentan el tamaño desde las zonas periféricas de los poros hacia su interior. Este tipo de textura es la denominada mosaico drúsico y es el resultado de la competencia durante el crecimiento entre los cristales nucleados, conforme la cementación avanza hacia el centro de los poros (Adams, MacKenzie y Guilford 1980). La dolomita permanece sin teñir y se identifican claramente sus cristales idiomorfos con secciones en forma de rombo, que contienen inclusiones, probablemente de calcita y que presentan, por tanto, un aspecto anubarrado (Figura 3).

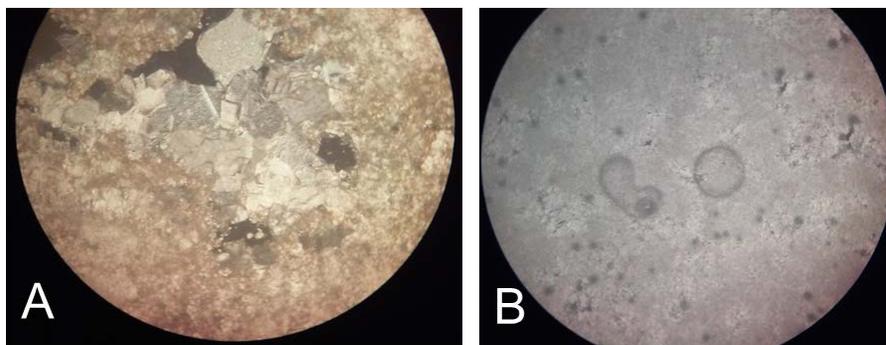


Figura 3. Microfotografía de lámina delgada: Muestra 1 (Yigre), A: se aprecian cristales de dolomita formando la textura del mosaico drúsico. (Nicoles paralelos); B: se aprecia que la micrita ocupa casi la totalidad del campo, de conjunto con zonas de recrystalización. (Nicoles paralelos).

Hay presencia de fósiles, aunque estos no se identificaron. Según la clasificación de Folk (1974) para rocas carbonatadas la muestra corresponde a una biomicrita y de acuerdo con la clasificación de Dunham es una mudstone (Dunham y Pettijohn 1972).

Muestra 2 (PEH 9):

Representa una caliza micrítica recrystalizada con gran porosidad. La calcita microcristalina esta alterada por oxidación. Se observa que han ocurrido recrystalizaciones de agregados de dolomita que se aprecian en forma de cristales idomórficos, con aspecto de rombo (Figura 4). Se observan fósiles que no fueron estudiados a detalle. Según la clasificación de Folk es una biomicrita (Folk 1974) y de acuerdo con Dunham es una mudstone (Dunham y Pettijohn 1972).

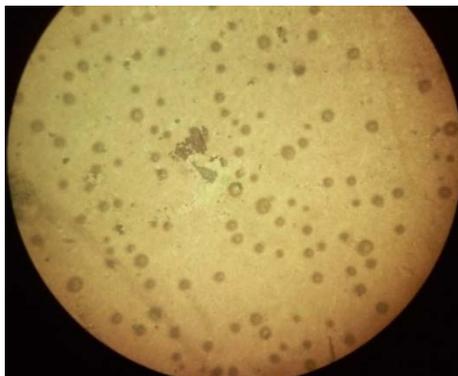


Figura 4. Microfotografía de lámina delgada: Muestra 2 (PEH9), se aprecian recrystalización y cemento micrítico (Nicoles paralelos).

Muestra 3 (PE 40):

La muestra corresponde a una caliza micrítica recristalizada. El mineral calcita está en muchos casos alterado por oxidación, al igual que partes del cemento que posee la muestra. Se observa la presencia de menas metálicas oxidadas. Debido a la oxidación es probable que los fósiles hayan sido descompuestos pues son pocos los que se pueden observar (Figura 5). Según la clasificación de Folk es una micrita (Folk 1974) y de acuerdo con Dunham es una wakestone (Dunham y Pettijohn 1972).

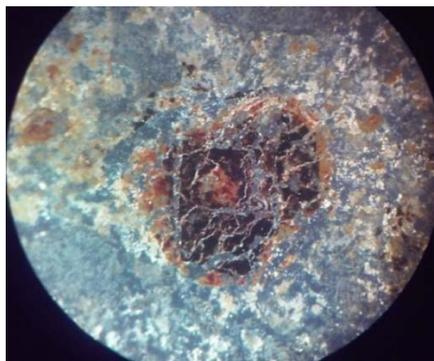


Figura 5. Microfotografía de lámina delgada: Muestra 3 (PE 40), se aprecian menas metálicas, cemento micrítico y menas oxidadas (Nicoles cruzados).

Análisis con microscopia de luz reflejada**Muestra 1 (Yigre):**

Las muestras que afloran en las alturas el Yigre que corresponden a las calizas micríticas descritas anteriormente son portadoras de minerales metálicos (óxidos de hierro y de manganeso) que fueron analizados mediante microscopia de luz reflejada.

En la muestra 1 se determinó que las dendritas están compuestas por birnessita ($(\text{Na}, \text{Ca}, \text{K})_{0.6} (\text{Mn}^{4+}, \text{Mn}^{3+})_2\text{O}_4 \cdot 1.5\text{H}_2\text{O}$). De color gris con birreflectancia observable, anisotropía débil con tonos grises (Figura 6). Las muestras rocosas de la cantera Yigre son poco productivas para las mineralizaciones metálicas.

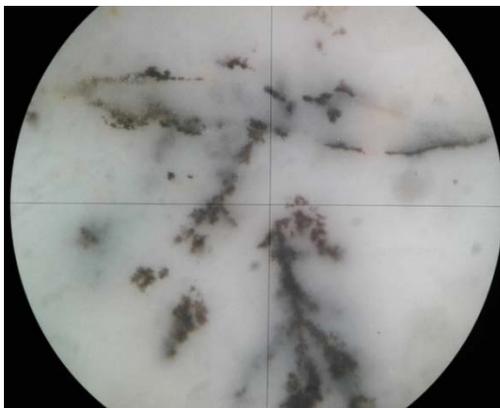


Figura 6. Microfotografía de lámina pulida: Muestra 1 (Yigre), se aprecian dendritas de birnessita opacas y reflejos internos de la calcita (analizadores cruzados).

Muestra 2 (PEH 9):

En la muestra se observan grietas rellenas con mineralizaciones metálicas de birnessita y coronadita $Pb(Mn^{4+}, Mn^{2+})_8O_{16}$. Esta última con color blanco que transiciona al gris, anisotropía fuerte pasando de blanco a gris, gris oscuro y marrón. No presenta reflejos internos. Según Uytembogaardt y Burke (1971) la coronadita se puede confundir con galena, sin embargo, las condiciones geológicas de formación permiten hacer una clara diferenciación en este caso de ambos minerales.



Figura 7. Microfotografía de lámina pulida: Muestra 2 (PEH 9), se aprecia grieta rellena con mineralizaciones metálicas, probablemente birnessita. Se observan los reflejos internos de la calcita (analizadores cruzados).

Muestra 3 (PE 40):

Se logró identificar en este caso birnessita que rellena las cavidades, coronadita que parece a manera de sustitución o alteración en los bordes de los granos de la primera. Se pudo identificar ilmenita (TiFeO_3) con color marrón oscuro característico, con anisotropía fuerte. Los reflejos internos de color marrón oscuro son raros (Figura 8).

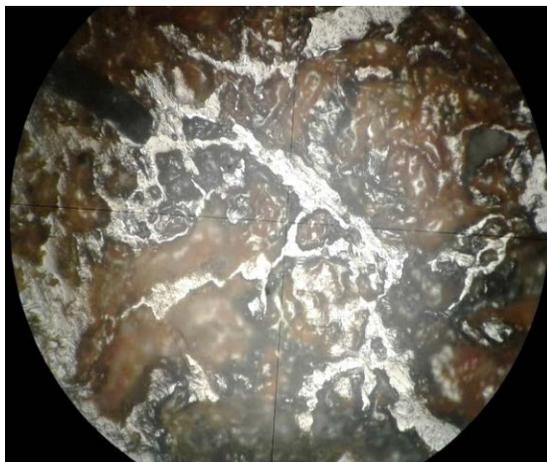


Figura 8. Microfotografía de lámina pulida: Muestra 3 (PE 40), se aprecian grietas rellenas de birnessita, con alteraciones de coronadita. La Ilmenita aparece marrón oscuro (sin analizadores).

La muestra oxidada que procede de las intercalaciones de calizas en el cuerpo arcilloso es la más productiva para las menas metálicas (Figura 9).

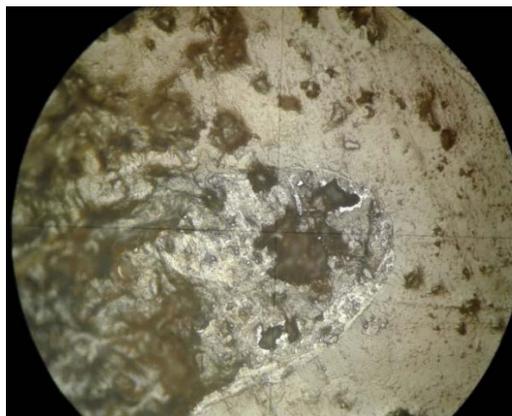


Figura 1. Microfotografía de lámina pulida: Muestra 3 (PE 40), se aprecian grietas rellenas de birnessita, con alteraciones de coronadita. La Ilmenita aparece marrón oscuro. Nótese que en los bordes de los agregados de birnessita hay alteraciones a coronadita que forman una textura relictica de sustitución (con un analizador).

Discusión

Para la fabricación de cemento de bajo carbono se precisa que la composición química no sobrepase los valores expresados en la Tabla 3.

Tabla 3. Criterios establecidos para la selección preliminar de arcillas con potencialidades para la producción de LC3

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

Desde el punto de vista químico, el efecto más problemático lo constituye la presencia de calcita (Almenares, 2017).

Las causas de este comportamiento anómalo pueden estar relacionadas con los fenómenos de interacción de la calcita y la caolinita durante la calcinación, relativamente bien estudiados por sus implicaciones para la industria cerámica, y para los cuales se reportan dos efectos fundamentales:

- Efecto químico: relacionado con una secuencia de transformaciones que forman silicatos de calcio y aluminio con una estructura más compacta y de menor superficie interna, provocado por los mecanismos de nucleación y recristalización. En el intervalo de temperatura entre 350 °C y 700 °C, la caolinita se descompone para formar metacaolín. Mientras que alrededor de los 700 °C comienza la descarbonatación de la calcita para formar CaO, proceso que puede extenderse hasta alrededor de los 900 °C. La interacción entre ambos productos de descomposición provoca la formación de gehlenita y wollastonita como fases intermedias entre los 800 °C y los 900 °C, las cuales, en presencia de aluminio y silicio son inestables y reaccionan para formar anortita a temperaturas entre los 900 °C y los 1100 °C. En ambos casos se ha reportado que estos fenómenos pueden ocurrir a más bajas temperaturas.
- Efecto físico: La calcita puede actuar como fundente durante la calcinación. En las arcillas con contenidos relativamente altos de carbonato de calcio puede provocar que la fusión comience a temperaturas cercanas a los 800 °C, por lo que el

crecimiento del tamaño de partículas de arcilla calcinada podría estar relacionada también con los fenómenos de sinterización (Almenares, 2017).

Teniendo esto como precedente cabe entonces analizar ¿cómo están distribuidas las calizas en el yacimiento. En este sentido se elaboró un corte esquemático para el yacimiento (Figura 10).

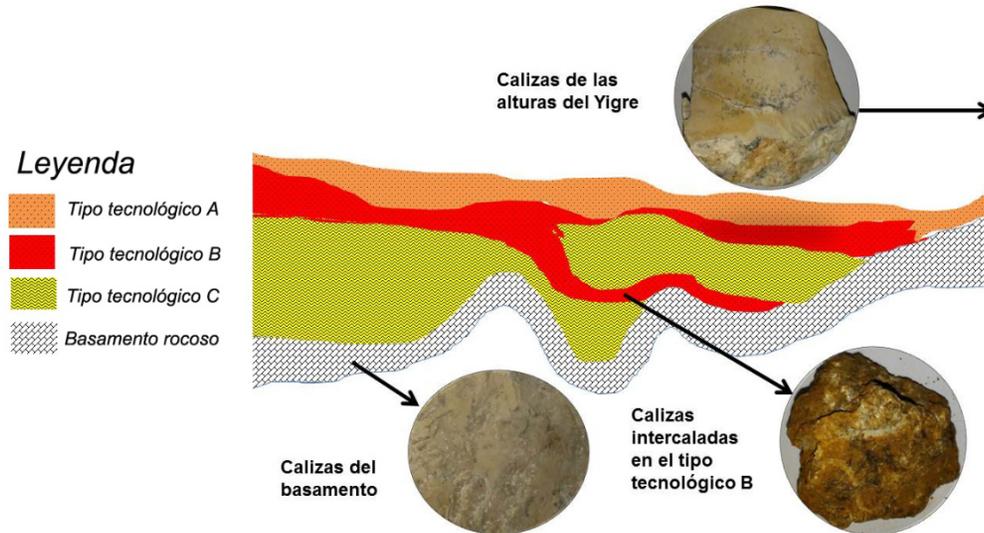


Figura 2. Criterios establecidos para la selección preliminar de arcillas con potencialidades para la producción de LC3.

En todos los casos los análisis macro y microscópicos de las muestras arrojaron como resultados que, en las calizas que forman parte del basamento, las mineralizaciones metálicas (dendritas) son incipientes, esto se debe a que estas rocas están frescas, o sea, no han sido afectadas por los procesos de meteorización. Las dendritas se formaron a expensas de la circulación por las grietas de calizas de aguas ricas en óxidos de hierro y manganeso que precipitan su carga mineral.

En cuanto a las rocas expuestas, se puede decir que las calizas de las alturas El Yigre, que están bajo los efectos de los agentes de intemperismo, muestran las mineralizaciones metálicas oxidadas bien desarrolladas. Finalmente, las calizas que están intercaladas en el cuerpo de arcilla son las que han sido más afectas por los procesos de transformación, mostrándose en muchas ocasiones alteradas a rocas margosas. En este último caso, la microscopía muestra que la meteorización ha sido intensa y se han formado fases minerales oxidadas (birnessita, coronadita, hematita e ilmenita). Queda claro entonces que la descomposición de las calizas circundantes es

responsable, en gran medida, del aporte de menas oxidadas de hierro y manganeso al cuerpo de arcillas. Los propios valores elevados de CaO en el cuerpo de arcillas puede deberse a dicho fenómeno, esto se evidencia sobre todo en el tipo tecnológico B, donde están las mayores acumulaciones de fragmentos de calizas alteradas.

Es necesario prestar especial atención, además, a las intercalaciones de calizas alteradas en el tipo tecnológico B por concepto de que son fuentes de potencial aporte de CaO a la hora del proceso industrial.

Conclusiones

Petrográficamente las rocas analizadas corresponden a calizas micríticas recristalizadas y dolomitizadas, formadas en aguas poco profundas.

Desde el punto de vista minerográfico se determinan los siguientes minerales metálicos presentes en las calizas: hematita, birnessita, coronadita e ilmenita.

El aporte de fases minerales metálicas oxidadas al cuerpo arcilloso está dado por la meteorización y desintegración de las calizas que los portan y rodean al cuerpo de arcilla.

Las intercalaciones de calizas alteradas en el tipo tecnológico B debe ser un factor a tener en cuenta a la hora de explotar la arcilla para la producción de cemento de bajo carbono.

Referencias bibliográficas

ADAMS, A. E.; MACKENZIE, W. S. Y GUILFORD, C. 1980. *Atlas de rocas sedimentarias*. Masson. ISBN 84-458-0427-8.

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

COLECTIVO DE AUTORES. 1992. *Léxico Estratigráfico de Cuba 1992*. Ciudad de La Habana. ISBN 9789597117353.

COLECTIVO DE AUTORES. 2013. *Léxico Estratigráfico de Cuba*. En: SERVICIO GEOLÓGICO

- DE CUBA (ed.) [en línea]. 3ra ed. p. 459. Disponible en: <http://www.igp.minem.cu>.
- COLECTIVO DE AUTORES. 2018. Instructivo Técnico. Prueba Industrial de Producción de Cemento de Bajo Carbono LC3. Sancty Spiritus.
- DUNHAM R. J. Y PETTIJOHN, F. J. 1972. *Clasificación de las rocas sedimentarias carbonatadas según Dunham* [en línea]. Consulta: 30 abril 2018. Disponible en: <http://usuarios.geofisica.unam.mx/gvazquez/estratiGAB/Zona desplegar/Practica/laboratorio/Clasificacion calizas.pdf>.
- DUVERGER, K. 2017. *Determinación de la composición mineralógica del yacimiento Yaguajay a traves de un método de pérdida de masa*. Trabajo Inédito. Santa Clara.
- FOLK, R. L. 1974. *Petrology of the sedimentary rocks* [en línea]. Hemphill Publishing Company, Texas. ISBN 0-914696-14-9. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0169555X91900278>.
- KERR, P. F. 1965. Mineralogía Óptica. 3 Edición. Edit.
- PEÑALVER, L. L.; LAVANDERO, R. Y BERRIENTO, A. 1997. El sistema cuaternario. Disponible en: www.redciencia.cu. p. 14.
- SIVEIRO, Z. 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.
- UYTEBOGAARDT, W. Y BURKE, E. A. J. 1971. *Tables for microscopic identification ore minerals*. Segundo Ed. Company, Elseiver Publishing, Amsterdam.