

# Caracterización de una muestra tecnológica de arcilla especial de posible empleo en el sector petrolero cubano



<https://cu-id.com/2144/v14e08>

## Characterization of a technological sample of special clay useful in the Cuban oil sector

<sup>1</sup>Natalia Vega Sánchez<sup>1\*</sup>, <sup>2</sup>José Antonio Alonso Pérez<sup>2</sup>, <sup>3</sup>Martha Velázquez Garrido<sup>3</sup>,  
<sup>4</sup>Emilio Montejo Serrano<sup>4</sup>, Alberto Cavado Osorio†

**RESUMEN:** Se caracterizaron muestras tecnológicas representativas de arcillas del grupo especial paligorskita-sepiolita, una de las cuales se comercializa con el nombre de “attapulgita”, así como la paligorskita cubana del yacimiento “Pontezuela”, depósito cubano que a su vez se localiza en la provincia de Camagüey, como posible sustituto de la primera en el secado / depuración del turbocombustible (JET - A1). Con tales propósitos, se emplearon técnicas instrumentales combinadas de caracterización de fases, al unísono determinaron sus propiedades físicas y físico-químicas mediante *difractometría de polvos (DRX)*, *Análisis Térmico*, *Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR)*, *Microscopía Electrónica y Sortometría*, finalmente. Los resultados de la caracterización, demuestran que ambas arcillas corresponden al mismo grupo mineralógico de la *paligorskita-sepiolita*, en ambas coexisten mezclas de dos sistemas cristalinos diferentes de paligorskita: *ortorrómbico* y *monoclínico*, señalándose que en el caso de la arcilla importada predomina la variedad monoclínica y en la ortorrómbica esta se aprecia en menor proporción, mientras que en la del yacimiento “Pontezuela”, la ortorrómbica constituye la variedad más común, todo en concordancia con las diferencias que se aprecian entre las intensidades relativas de los máximos de difracción en la zona angular de interés:  $d(\text{Å})= 6.38-6.33$ ;  $d(\text{Å})= 5.39-5.38$ ; índices de Miller (200) y (130) correspondientemente. La efectividad de la arcilla cubana para la mencionada aplicación se demostró con posterioridad durante las pruebas realizadas en la Refinería Cubana “Camilo Cienfuegos”, con el consiguiente ahorro de divisas por concepto de sustitución de importaciones. Sirva el presente artículo en memoria del Ing. Alberto Cavado Osorio, especialista de refinación del petróleo del CEINPET, ya fallecido.

**Palabras claves:** Arcilla, paligorskita, attapulgita, sepiolita, minerales industriales, turbocombustible, ensayos analíticos, técnicas instrumentales de caracterización de sólidos.

**ABSTRACT:** Two technological clay samples of the paligorskite-sepiolite special group were characterized, one of which is marketed under the name of attapulgite and Cuban paligorskite from the "Pontezuela" deposit, a Cuban deposit located in the province of Camagüey as a possible substitute of the first and subsequent use in the drying / purification of aviation turbo fuel (JET - A1). With this objective, different combined instrumental techniques of instrumental analysis were applied for the characterization of phases and determination of physical-chemical properties: powder diffractometry (XRD), Thermal Analysis, Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), Electron Microscopy and Sortometry, respectively. The results of the characterization show that both clays correspond to the same mineralogical group of paligorskite-sepiolite, mixtures of two different crystalline systems coexist in both: orthorhombic and monoclinic, noting that in the case of imported clay the monoclinic variety predominates and the orthorhombic is appreciated in lesser proportion, while in that of "Pontezuela", the orthorhombic constitutes the most common variety, all in accordance with the differences that can be seen between the intensities of the diffraction maxima:  $d(\text{Å})= 6.38 - 6.33$ ;  $d(\text{Å})= 5.39 - 5.38$  and Miller indices (200) and (130) correspondingly. The effectiveness of Cuban clay for the aforementioned application it was demonstrated through a combination of results and the tests carried out at the "Camilo Cienfuegos" Cuban Refinery, with the consequent savings in foreign exchange due to import substitution. Finally, this article serves as a tribute to the memory of Ing. Alberto Cavado Osorio, a CEINPET specialist to oil refining who has since passed away.

**Keywords:** Clays, palygorskite, attapulgite, sepiolite, industrial minerals, turbo fuel, analytical assays, instrumental characterization techniques characterization techniques of solids.

Recibido: 10/03/2022

Aprobado en su forma original: 11/11/2022

<sup>1</sup>Universidad Nacional Evangélica (UNEV), Paseo de los Periodistas 54, Ensanche Miraflores, Santo Domingo D. N. República Dominicana

<sup>2</sup>Instituto de Geología y Paleontología, Servicio Geológico de Cuba (IGP-SGC), La Habana, Cuba.  
E-mail: [josea@igp.minem.cu](mailto:josea@igp.minem.cu)

<sup>3</sup>Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica (CIPIMM), Carretera de Varona, Km 1 ½, # 12028, Capdevila, Boyeros, La Habana, Cuba. E-mail: [marthav@cipimm.minem.cu](mailto:marthav@cipimm.minem.cu)

<sup>4</sup>Grupo Empresarial GeoMinsal. Cuba. E-mail: [montejo@gms.minem.cu](mailto:montejo@gms.minem.cu)

\*Correo electrónico: [vesnatalia53@gmail.com](mailto:vesnatalia53@gmail.com)

## INTRODUCCIÓN

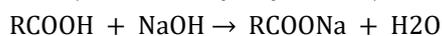
Desde su descubrimiento, tanto las arcillas del grupo de la paligorskita-sepiolita, las esmectitas, así como el vidrio volcánico y las zeolititas, se emplean como medio filtrante en diferentes sectores de la industria química, alimentaria, azucarera y petrolera entre otras múltiples aplicaciones.

En el caso particular de Cuba, diferentes investigadores volcaron sus esfuerzos en buscar alternativas para la sustitución de importaciones, dado que dichas tierras filtrantes procedían todas del extranjero y el volumen de importación resultaba significativo, realizándose investigaciones para la utilización de las zeolititas y el vidrio volcánico como tierra de blanqueo en la industria de aceites comestibles, cervecera, azucarera, como posible medio filtrante del humo de tabaco, de igual forma se ejecutaron investigaciones vinculadas a la obtención de silicatos aligerados, hecho que posibilitó la sustitución del Decalite que utiliza la industria cervecera y otras tierras filtrantes tales como la sepiolita española de “La Tolsa” entre otras. (Vega y Aparacio, 1990a); (Vega, Carrillo y Rodríguez, 1991b); (Vega y colaboradores, 1994c); (Vega y Gómez, 1996d); (Vega y Gómez, 1998e) y (Ravelo, 1993).

Dado el conocimiento acumulado en Cuba en relación con la utilización de minerales con capacidad de intercambio iónico y propiedades adsorbentes, por otro lado, teniendo en cuenta además la necesidad de sustituir importaciones, se comenzaron trabajos conjuntos entre las mencionadas instituciones con el objetivo de sustituir la arcilla cubana del yacimiento “Pontezuela” por la importada.

Se conoce que la calidad del petróleo que se procesa como inyectado en una refinería influye directamente en las propiedades de los derivados. Siempre que se refinan crudos de elevada acidez, como el “Mesa 30” de Venezuela, se obtienen combustibles con una acidez que puede superar los valores especificados en las normas de calidad de estos productos, fundamentalmente en aquellos cuya calidad es controlada con mayor rigurosidad, como es el caso de los turbocombustibles (Cavado, Om y Reyes, 2001).

La acidez en las fracciones bases usadas en la formulación del turbocombustible Jet-A1, se mide por el número de neutralización (N.N) y la reducción de la misma se logra mediante tratamientos cáusticos con hidróxido de sodio que dan lugar a la formación de naftenatos (Cavado, Om y Reyes, 2001).



Los naftenatos de sodio (o jabones de ácidos nafténicos) tienen una gran tendencia a emulsionarse en los cortes de turbocombustible, dando lugar a la formación de emulsiones muy estables que provocan una considerable pérdida de producto cáustico “sosa

agotada”, por tanto un exceso en el volumen de la fase cáustica en el sistema conduce a serios problemas de formación de jabones y pérdidas de producto (Cavado, Om y Reyes, 2001).

Para completar el proceso de extracción de los ácidos nafténicos, se requiere de etapas posteriores de lavado, secado con sal y depurado con arcillas. En estas dos últimas etapas se utilizó la arcilla attapulgita.

Esta arcilla clasifica como especial, la misma se clasifica en el grupo de la paligorskita-sepiolita según el reporte anual de la IMA (Internacional and Mineralogical Association, 2018) (Schertl, Mills & Maresch, 2018), presenta a su vez una marcada importancia por sus propiedades físico - químicas: pequeño tamaño de partícula ( $\leq$  a 2  $\mu\text{m}$ ), morfología laminar, sustituciones isomórficas, que generan la aparición de carga en las láminas y presencia de cationes débilmente ligados en el espacio interlaminar. (Bennett & Hulbert, 1986); (Doval *et al.*, 1991) y (García, 2006).

Se distingue por su elevada capacidad de adsorción, de ahí que se usen en procesos de filtración, floculación y clarificación, remueven los cuerpos o partículas de color (surfactantes), agua, ácidos orgánicos y otros contaminantes polares que se encuentran en el jet fuel (Bennett & Hulbert, 1986). La vida útil para este tipo de arcillas es variable, en dependencia de las propiedades del producto tratado y las condiciones operacionales.

Al tratamiento con la arcilla que se incorpora al sistema luego del secado con sal, se realiza en equipos especiales para la remoción de sólidos residuales, humedad, y agentes tensioactivos.

En este trabajo se propone evaluar la arcilla cubana (paligorskita), del yacimiento Pontezuela ubicado en la provincia de Camagüey, municipio Florida con los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar la misma para su posible empleo como material adsorbente en tratamientos cáusticos con hidróxido de sodio, para mejorar la calidad del turbocombustible tipo JET - A1.
- Evaluar sus potencialidades para el depurado de las fracciones base de turbocombustible Jet A-1, mediante técnica de contacto, keroseno - adsorbente "en estático", y compararla con la attapulgita, utilizada comúnmente en refinerías de PDVSA para este tipo de tratamiento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En los estudios realizados se utilizaron las siguientes materias primas:

- Arcilla attapulgita suministrada desde Venezuela
- Arcilla paligorskita del yacimiento Pontezuela (figura 1 a, b).





Figura 3. Derivatógrafo MOM- 1500Q (CIPIMM)



Figura 4. Analizador Térmico (CIPIMM)



Figura 5. Difractómetro de polvos de rayos-X (CIPIMM)



Figura 6. Sortómetro automático, modelo 1800, Carlo Erba

## 5. Espectroscopia IR con Transformada de Fourier (FTIR).

Los espectros FTIR se obtuvieron en un espectrómetro en base Transformada de Fourier (FTIR) de la firma Bruker, modelo VECTOR 22; intervalo espectral:  $4000-400\text{ cm}^{-1}$ ; modo de registro: % Transmitancia en el Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales (IMRE) de la Universidad de La Habana (figura 7). El modo de preparación de la muestra es el de la tableta de bromuro de potasio empleando para ello una relación (muestra / aglutinante) de 2 mg / 200 mg KBr. El procesamiento de los espectros se realizó con el software OPUS de la propia firma Bruker, versión 6.5, 2013 (Bruker Instrument Corporation, 2013).

## 6. Microscopia Electrónica.

Se empleó un microscopio electrónico de barrido modelo SEM 505 de la firma Philips (attapulgita) y modelo 5130 SB de la firma TESCAN (paligorskita "Pontezuela") del Laboratorio Central de Criminalística (LCC) del MININT respectivamente (figura 8).

## 7. Análisis granulométrico.

El análisis granulométrico se realizó en la planta de poliminerale de Najasa para la posterior prueba de la arcilla cubana como medio filtrante en la Refinería de Cienfuegos (Velázquez *et al.*, 2012). Se utilizó la variante por vía seca mediante el empleo del juego de tamices: 2.0, 1.6, 1.25, 1, 0.63, 0.315, 0.106, 0.074 y 0.045 mm respectivamente, considerando los índices especificados para la arcilla attapulgita (utilizada en Venezuela para el tratamiento de neutralización del turbocombustible). Las especificaciones de calidad para las arcillas utilizadas en la etapa de depurado se relacionan en el epígrafe de discusión de los resultados.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 9a y 9b se muestran las características macroscópicas de las arcillas objeto de evaluación. En ambas se aprecian diferentes tonos de coloración gris, más oscura en el caso de la muestra de Pontezuela, observándose además algunas impurezas de colores negruzcos, mientras que la muestra de attapulgita importada, ésta resulta más clara y de mayor homogeneidad si se compara con la arcilla cubana (Velázquez *et al.*, 2012).



Figura 7. Espectrómetro FTIR, modelo VECTOR 22, Bruker



Figura 8. Microscopio Electrónico de Barrido MEB-EDS (LCC-MININT)



Figura 9a. Arcilla Paligorskita, yacimiento. "Pontezuela"



Figura 9b. Attapulgita (importada)

### Principales propiedades físicas para el empleo de arcillas como medios filtrantes

En la *tabla 1* se exponen las propiedades físicas que debe cumplir la arcillas especiales del grupo de la paligorskita-sepiolita para que éstas puedan ser utilizadas en el secado /depuración del turbocombustible, según plantea el Manual de la UOP (Universal Oil Products) (Földvári, 2011).

Tabla 1. Propiedades físicas de las arcillas para su empleo en el secado y depuración del turbocombustible.

Parámetro	Norma UOP
Granulometría (16/30 mesh)	> 70 %
Densidad	31.2 lb/pie <sup>2</sup>
Humedad (máxima)	2%

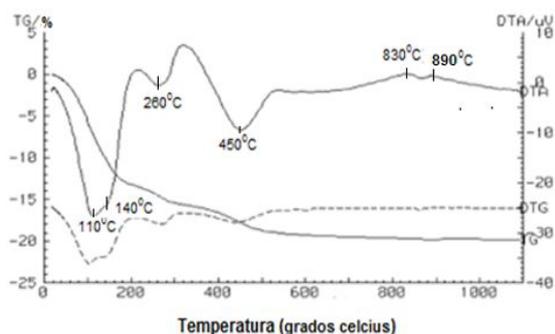
El contenido de humedad de ambas arcillas se determinó mediante el procedimiento descrito, concebido internacionalmente para la determinación de humedad en arcillas, rocas y suelos, (ASTM D2216-98,1998).

En el caso del contenido de humedad máxima que se requiere para el referido uso, los resultados obtenidos indicaron que para ambas arcillas (estado natural), éstas no cumplen con el 2% que establece el manual de la UOP, dado que se obtuvieron valores muy elevados de citado parámetro: 13.74 y 15.82 % H<sub>2</sub>O respectivamente, en consecuencia éstas deben someterse previamente a un proceso previo de secado (T=110°C) durante un tiempo mínimo de 2 horas para que las mismas puedan ser utilizadas como adsorbentes de humedad e impurezas acompañantes del turbocombustible (Velázquez *et al.*, 2012).

### Análisis Térmico (ATD, TG, TGD)

#### Paligorskita cubana

En el termograma térmico diferencial o ATD (*figura 10*), aparecen bien diferenciados los efectos endotérmicos y exotérmicos que caracteriza a los minerales de este grupo especial de arcillas (Nemecz, 1981); (Xavier *et al.*, 2012) y (Alonso *et al.*, 2015). En primer lugar se observan dos endoeftos, ambos



**Figura 10.** Termogramas ATD, TG y DTG de la arcilla cubana del yacimiento "Pontezuela" obtenidos en el Derivatógrafo MOM del CIPIMM

vinculados a la salida del agua adsorbida ( $T_p=110^{\circ}\text{C}$ ) y zeolítica del mineral ( $140^{\circ}\text{C}$ ), a continuación, se observa otro contiguo a los dos anteriores cercano ( $T_p=260^{\circ}\text{C}$ ), asociado a la pérdida del agua enlazada de la arcilla paligorskita. Seguidamente se distingue el efecto endotérmico que indica la pérdida de masa del agua hidroxílica de la arcilla paligorskita ( $T_p=450^{\circ}\text{C}$ ), a partir de la cual se calculó el contenido másico de paligorskita presente en la muestra (77% m/m), para ello se tuvo en cuenta la pérdida de masa teórica del mineral en el intervalo de temperatura de interés (P. Masa promedio = 6.42%) (Nemecz, 1981) y (Xavier *et al.*, 2012). A continuación se aprecia otro efecto en este caso de naturaleza exotérmica ( $T_p=830^{\circ}\text{C}$ ), este señala el proceso de reorganización estructural de la arcilla, una vez que el mineral liberó toda el agua hidroxílica presente en la estructura cristalina del sólido durante el calentamiento a velocidad controlada ( $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ) hasta  $T_p=540^{\circ}\text{C}$ . Por último, el exoeffecto adicional que se observa a  $T_p=890^{\circ}\text{C}$ , se vincula a la reorganización estructural de la arcilla esmectítica (montmorillonita), el cual dada su baja intensidad indica la presencia de dicha arcilla en muy bajo contenido másico, es decir por debajo del 5% m/m (Nemecz, 1981) y (Xavier *et al.*, 2012).

Como aspecto de interés se plantea además que dada la dimensión e intensidad de los efectos que se identifican, éstos resultan indicativos de la variedad ortorrómbica de paligorskita y pobre en aluminio, hecho que guarda estrecha relación con los resultados de composición química microelemental obtenidos por espectrometría de fluorescencia de rayos-X dispersivo en energías (EDS), los cuales se muestran en la tabla 2 (Vega y Aparicio, 1990). Cabe destacar el elevado contenido de hierro que se reporta en la muestra si éste se compara con los resultados de microcomposición elemental obtenidos en muestras de paligorskitas que se reportan en la literatura, motivado por la vinculación del oxihidróxido goethita ( $\alpha\text{-FeOOH}$ ) en la composición mineral de la muestra y por tanto justifica la coloración rojiza que se observó en el residuo final del calentamiento térmico

**Tabla 2.** Resultados del análisis cuantitativo por fracciones obtenidos por EDS en la muestra de paligorskita de "Pontezuela" (Vega y Aparicio, 1990)

FRACCIÓN	%O	%Mg	%Al	%Si	%Fe	%Total
Fina ( $\leq 0.1\text{mm}$ )	55.23	9.91	3.00	23.62	8.24	100
Gruesa ( $> 1.00\text{mm}$ )	55.25	9.38	2.72	23.78	8.87	100
Media ( $\leq 0.5\text{mm}$ )	55.13	9.39	2.68	23.84	8.96	100

a  $T=300^{\circ}\text{C}$ , (Vega y Aparicio, 1990); (Nemecz, 1981) y (Xavier, *et al.*, 2012).

El resto de la composición mineral de la muestra, corresponde a mezclas de dos variedades polimórficas de óxidos de silicio; cuarzo ( $\alpha\text{-SiO}_2$ ) y cristobalita ( $\alpha\text{-SiO}_2$ ) respectivamente, determinadas ambas por difracción de polvos (DRX).

### Arcilla attapulgita importada

En el termograma ATD de la muestra importada (figura 11), se observan bien diferenciados los endoeffectos que se reportan en la literatura para este tipo de mineral (Nemecz, 1981); (Xavier *et al.*, 2012) y (Alonso, 2015). Al igual que en la muestra anterior, se identifica el efecto endotérmico vinculado a la salida combinada del agua adsorbida ( $T=100^{\circ}\text{C}$ ) y zeolítica (canales), éste último característico de la estructura porosa de canales del mineral. Más tarde, en el propio termograma se observan dos endoeffectos; uno pequeño en  $T=260^{\circ}\text{C}$  y  $T=480^{\circ}\text{C}$ , vinculados a la salida del agua enlazada e hidroxílica de la arcilla (Nemecz, 1981); (Xavier *et al.*, 2012) y (Alonso, 2015).

Cabe señalar en esta muestra el mayor semiancho del endoeffecto  $T=480^{\circ}\text{C}$ , si éste se compara con su similar de la arcilla cubana, hecho que indica la presencia de un mineral de pobre cristalinidad y menores tamaños promedio de cristalita que caracteriza a la variedad monoclinica de éste grupo de arcillas, lo que sin dudas favorece el valor del área superficial final del sólido que se reportó, asimismo justifica el empleo del mineral en el proceso de secado / depuración del turbocombustible. Muy cerca del efecto térmico anterior, aparece otro de la misma naturaleza pero producto de la transformación polimórfica ( $\alpha\text{-cuarzo} - \beta\text{-cuarzo}$ ) en  $T=570^{\circ}\text{C}$ . A continuación en él se distingue el endoeffecto a  $T=760^{\circ}\text{C}$ , asociado al proceso de disociación térmica de la calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), seguido del proceso de reorganización estructural exotérmico de la arcilla a  $T=860^{\circ}\text{C}$  correspondientemente.

A partir de la información que ofrecen los termogramas combinados (TG-TGD) y los porcentajes de masa teóricos de los minerales térmicamente activos (paligorskita y calcita), se calculó la composición semicuantitativa de la muestra, cuyos resultados fueron: 57% de paligorskita y 6% de calcita (P. Masa teórica del





de valencia (Mg,Fe)OH; ( $\nu = 3580 \text{ cm}^{-1}$  y el desplazamiento de la vibración de doblaje  $\delta(\text{Al, Fe}^{3+} - \text{OH})$  desde  $870 \text{ cm}^{-1}$  hasta  $865 \text{ cm}^{-1}$ , e indica sin dudas la presencia de iones  $\text{Fe}^{3+}$  en posiciones estructurales del magnesio y aluminio en el mineral paligorskítico de “Pontezuela” (Vega y Aparicio, 1990); (Chukanov,2014) y (Danguillecourt *et al.*,2012).

Lo anterior se corroboró mediante el empleo de la técnica de microscopia TEM-EDS [29], comprobándose además como se mencionó con anterioridad que la mayor parte del  $\text{Fe}^{3+}$  que se reporta en las muestras del yacimiento se encuentra

asociado mayoritariamente a la fase goethita ( $\alpha\text{-FeOOH}$ ) (Vega y Aparicio,1990).

### Attapulgita importada

Las diferencias que se aprecian tanto en posición como amplitud de las bandas o vibraciones que se identifican en el espectro de absorción FTIR de la paligorskita importada (figura 20), guardan relación con el predominio de la variedad monoclinica, dado por el menor número y mayor amplitud de éstas, en concordancia con la menor cristalinidad que presenta el citado mineral (Vega y Aparicio, 1990); (Chukanov, 2014) y (Danguillecourt *et al.*, 2012).

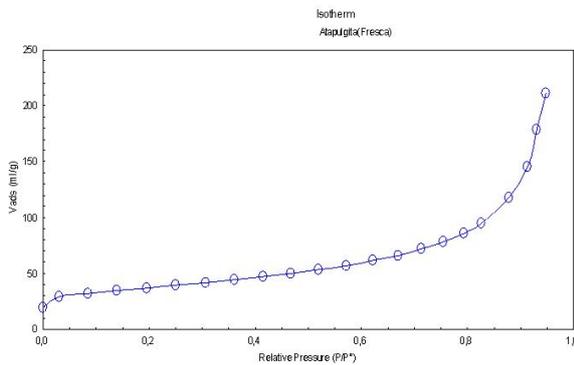


Figura 16. Isotherma de adsorción de la attapulgita importada

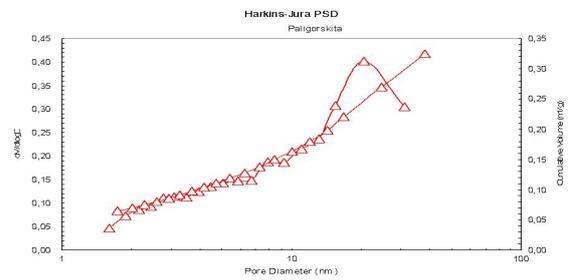


Figura 17. Distribución del tamaño de poros de la arcilla paligorskita de “Pontezuela”

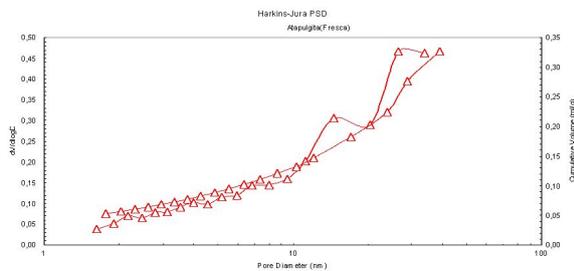


Figura 18. Distribución del tamaño de poros de la arcilla attapulgita importada

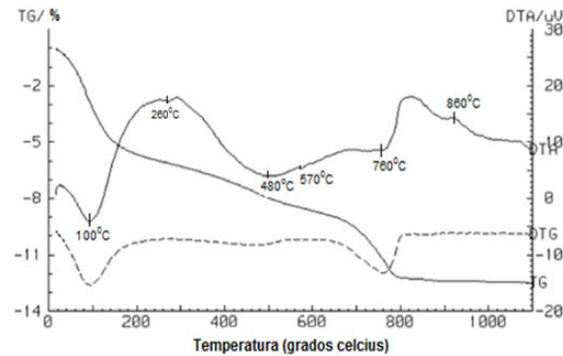


Figura 19. Espectro FTIR de la arcilla paligorskita del yacimiento “Pontezuela”

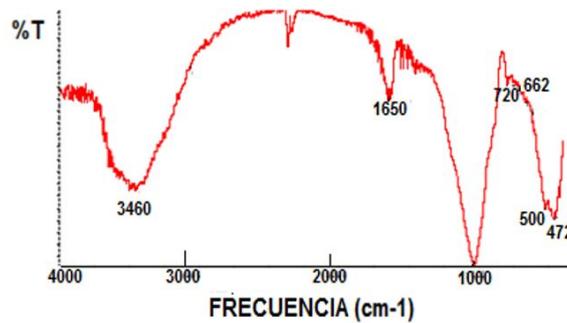
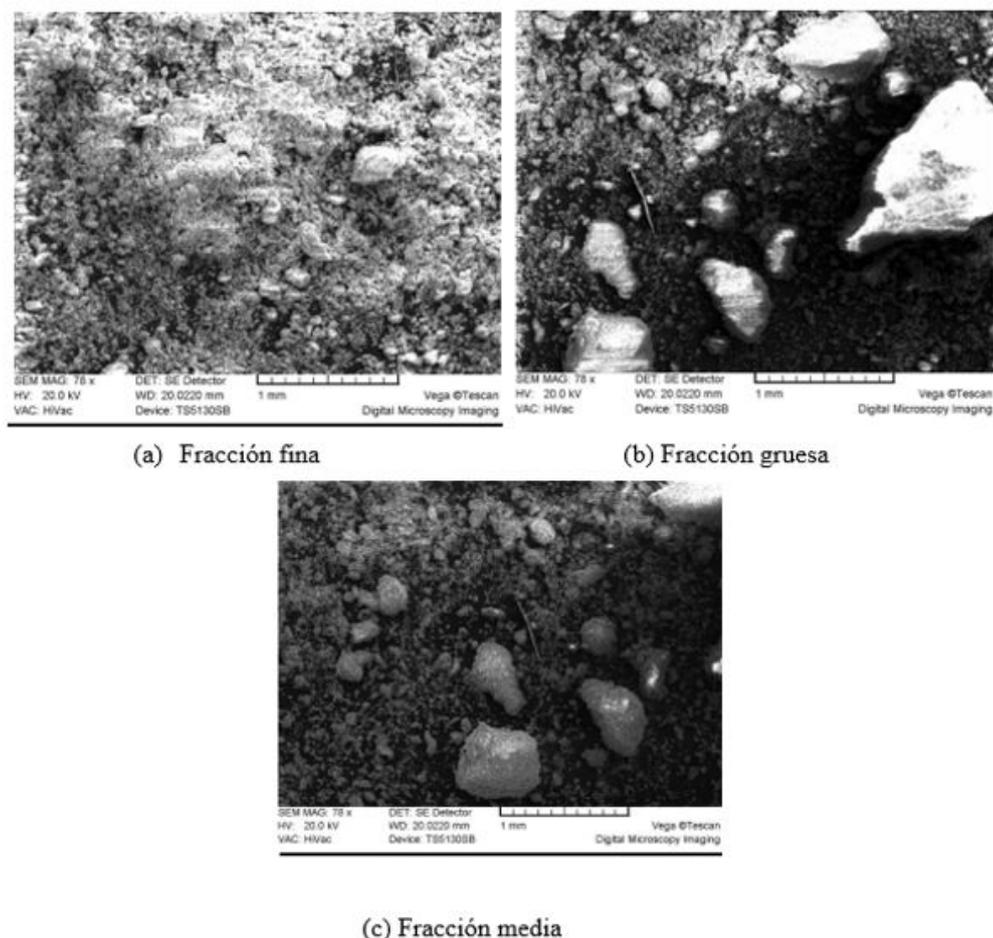


Figura 20. Espectro FTIR de la arcilla attapulgita importada



**Figura 21.** Micrografías MEB de la fracción fina (a), gruesa (b) y media (c) de la paligorskita de Pontezuela (Aumento = 78x).

### Microscopía Electrónica

Las micrografías que se obtuvieron por la variante de Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) para la muestra de paligorskita de “Pontezuela” (fracciones fina, media y gruesa), así como la de la attapulgita importada, se presentan en las figuras 21 (a, b, c). En ellas se observa presencia de numerosos agregados de partículas esféricas, semiesféricas e irregulares de diversos tamaños, mientras que en la attapulgita importada se caracteriza por el predominio de agregados o conglomerados de partículas esféricas (figura 22).

Como aspecto de interés se señala que los estudios en el mineral cubano obtenidos mediante la variante de transmisión (TEM-EDS) para la fracción < 2µm, arrojaron las morfologías peculiares de estos

minerales en forma agregados tubulares intercrecidos entre sí y característicos de los minerales arcillosos de este grupo, acompañados de posibles mezclas de óxidos de silicio (cuarzo, ópalo-calcetonia), apreciándose como en el espectro EDS la señal que corresponde al silicio se incrementa tal como se aprecia en el espectro EDS (círculo rojo parte baja e izquierda de la figura 22) a pesar de la interferencia que se observa con partículas de morfologías tubulares del mineral paligorskita. De forma paralela mediante el empleo de la variante EDS, Danguillecourt *et al.*, (2015) y (Henning & Stor, 1986) demostraron que en la composición química de la arcilla paligorskítica cubana sustitución isomórfica de iones  $Fe^{3+}$  por  $Mg^{2+}$  en la estructura del mineral, representada por la fórmula química global siguiente:  $(Mg^{2+}, Al^{3+}, Fe^{3+})_2 [(OH)_4 (OH)_2]_2 Si_4 O_{10} \cdot 4H_2O$ .

## Attapulgita importada

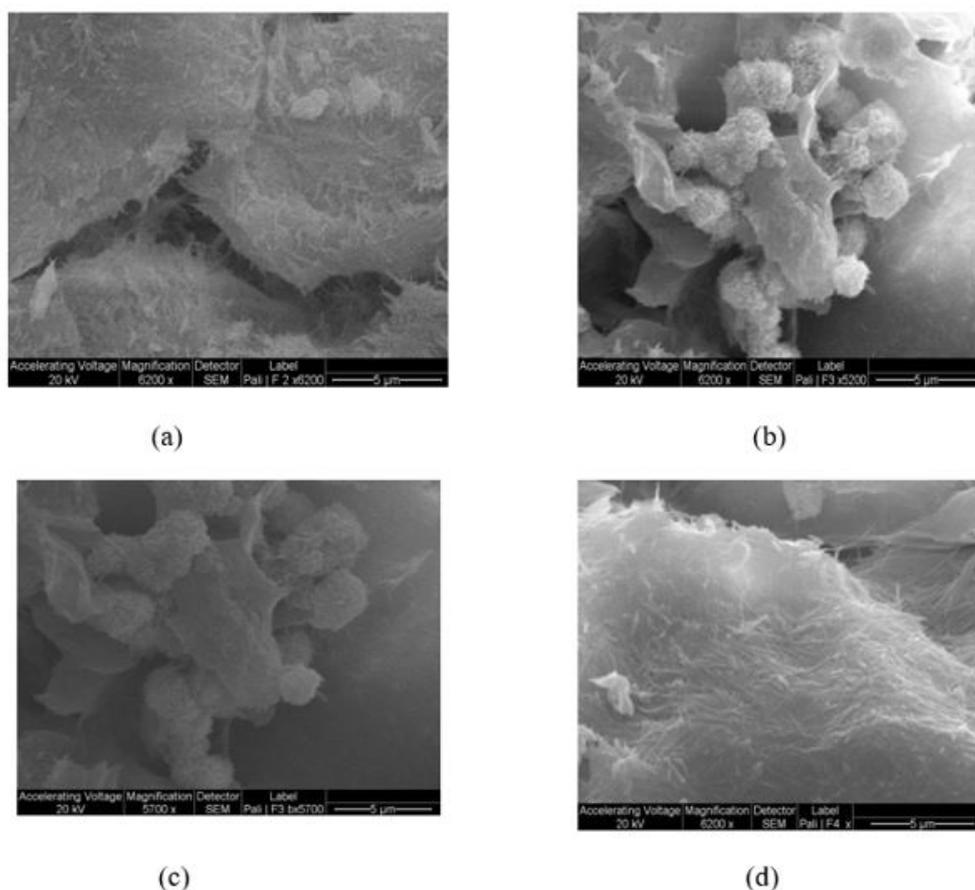


Figura 22. Micrografías obtenidas mediante el empleo de la variante de barrido (MEB) de la arcilla attapulgita importada.

## CONCLUSIONES

Las muestras de arcilla paligorskita del yacimiento “Pontezuela” y la attapulgita importada fueron caracterizadas, sus resultados se resumen a continuación:

1. Por DRX se demostró que la muestra representativa de arcilla palygorskita de “Pontezuela” constituye mezcla de dos variedades polimórficas de los sistemas cristalinos ortorrómbico y monoclinico, con predominio de la especie **ortorrómbica**. Por su parte, la arcilla comercial importada attapulgita presenta dos tipos de minerales arcillosos: paligorskita y un mineral del grupo del talco-pirofilita y, al igual que en el mineral cubano se detectó mezcla de variedades ortorrómbica y monoclinica de paligorskita con mayor predominio de la variedad **monoclinica**.
2. Por Análisis Térmico (ATD-TG-DTG) se obtuvo que la muestra representativa de arcilla cubana presenta un contenido másico del 77% del mineral paligorskita, con pequeñas cantidades de goethita, cuarzo y  $\alpha$ -cristobalita, mientras que en la attapulgita importada, el contenido de mineral útil es del 57% y 6% de calcita, además de cuarzo, pirofilita y material amorfo como fases acompañantes (resto de la composición).
3. En la caracterización que se realizó por Sortometría, se obtuvo un valor de área superficial de 158 m<sup>2</sup>/g para la paligorskita cubana, mientras que en la attapulgita importada este fue de 126 m<sup>2</sup>/g, valores que corresponden con los reportados en la literatura y acordes con su composición mineralógica, por dicho motivo el volumen de poros predominante para ambas arcillas presenta valores entre los 10-100 nm, valores que corresponden a sistemas mesoporosos (2-50 nm) y macroporosos (valores mayores de 50 nm) según lo acordado en la clasificación de porosidad para sólidos.
4. El espectro FTIR corroboran los resultados obtenidos por DRX y A. Térmico para ambas muestras de arcilla, demostrándose además menor cristalinidad de la arcilla importada si estas se comparan con la paligorskita cubana dado por el análisis que arrojaron las amplitudes de las vibraciones e intensidades de las principales bandas vibracionales asociadas a las mismas.

5. Los resultados que se lograron por MEB-EDS, dado por las morfologías típicas que las mismas presentan, confirman la naturaleza paligorskítica de las arcillas especiales que se evaluaron, señalándose además como en el caso de la arcilla cubana, presencia de dos formas de asociación del hierro; goethita ( $\alpha$ -FeOOH) e iones  $\text{Fe}^{3+}$  vinculado a la estructura de la arcilla del yacimiento cubano; ( $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ )<sub>2</sub> [(OH)<sub>4</sub> (OH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> Si<sub>4</sub> O<sub>10</sub>]. 4H<sub>2</sub>O).

### RECOMENDACIONES

1. Teniendo en cuenta que las arcillas tienen un determinado tiempo de vida útil y que este se mide, por las especificaciones que controlan la calidad del producto terminado, realizar estudios en cuanto a índices tales como:
  - La separación del agua (MSPE), única que atestigua la eliminación de compuestos tensioactivos capaces de estabilizar las microemulsiones del combustible con el agua, después de su obtención.
  - Color
2. Si se considera la reconocida eficiencia de las sales de sodio de los ácidos nafténicos como tensioactivos, se recomienda muestrear la fase acuosa donde están contenidos los naftenatos de sodio, obtenidos por el tratamiento con hidróxido de sodio, para su caracterización físico-química, con la finalidad de su posterior evaluación como tensioactivo para la formulación de emulsiones asfálticas, la formulación de productos fitosanitarios (plaguicidas) y productos agroquímicos (mejoradores de suelos, aireadores de suelos, etc.) por citar algunos posibles usos. Todo ello redundará en lograr una producción más limpia (sin residuales) así como reducir los costos de producción de los ya mencionados, considerando que el tensioactivo es un subproducto de un proceso productivo principal.

### BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, Pérez, J.A., Casanova, Gómez, A. & otros. 2015. Control analítico de menas paligorskíticas del yacimiento "Pontezuela". Memorias del evento GEOCIENCIAS, XI Congreso Cubano de Geología, Geología y Prospección de minerales no-metálicos, GEO 03-07, La Habana, Cuba: Palacio de Convenciones.
- Bennett, R. H. & Hulbert, M. H. 1986. "Clay Microstructure". Published by D. Reidel Publishing Company. 161 p.
- Bruker Instrument Corporation. 2013. Bruker OPUS 6.5 FTIR Spectroscopy Software.
- Cavado, A., Om, N. & Reyes, Y. 2001. "La producción nacional de querosinas para la aviación y la Incorporación de crudos nativos a los esquemas de refinación". Revista Cubana de Química, Vol.XIII (No. 2), ISSN: 058-5995.
- Cavado, Osorio, A., Iraola, García, D., Arévalo, Ocaña, R. & otros. 2012. Corridas de prueba en la RCC de Cienfuegos para el tratamiento de turbocombustible con arcilla paligorskita nacional, en sustitución de la attapulgita en coordinación con PDVSA. Estudio conjunto de factibilidad técnico económica para el desarrollo del yacimiento. Proyecto 2502. Etapa 21. Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET).
- Chen H, Zhao J, Zhong A.G. & Jin YX. 2011. "Removal capacity and adsorption mechanism of heat-treated palygorskite clay for methylene blue". Chemical Engineering Journal, 174(1):143-150.
- Chukanov, N. V. 2014. "Infrared spectra of minerals species". Ed. Springer Dordrecht Heidelberg New York London, Vol. 1, ISSN 2194-3184 (electronic), DOI 10.1007/978-94-007-7128-4.
- Danguillecourt E, Mosqueda Y, Reguera, Ruiz E, Aguilar Frutis M. & Pérez Cappe, E. 2012. "High conducting sepiolite-graphene like carbon nanocomposite from sugar residual as carbon source". Advances in Applied Ceramics, 111(8): 508-511.
- Determinación del contenido de humedad en rocas, suelos y minerales. Norma ASTM D2216-98.1998.
- Doval, Montoya, M., García, Romero, E., Luque del Villar, J., Martín-Vivaldi Caballero, J. L. & Rodas Doval, Montoya, M., García, Romero, E., Luque del Villar, J., Martín-Vivaldi Caballero, J. L. & Rodas González, M. 1991. Arcillas Industriales: Yacimientos y Aplicaciones.. En: Yacimientos Minerales. Editores: R. Lunar y R. Oyarzun. Editorial Centro de Estudios Ramón Areces, S. A. Madrid, 608p.
- Farmer V.C. (ed.).1974. The infrared spectra of minerals. Mineral Society, London.
- Földvári, M. 2011. Handbook of Thermogravimetric System of minerals and its use in geological practice. Committee on Publishing Scientific Books and Periodicals of Hungarian Academy of Sciences, ISBN 978-963-671-288-4.
- Galán Huertos, E. 1990. "Palygorskita y sepiolita" En: Recursos Minerales de España. Coord. J. García Guinea y J. Martínez Frias. Textos Universitarios (C.S.I.C.) 15:71-94.
- García Romero, Emilia (ed.). 2006. Las Arcillas. Propiedades y Usos: Universidad Complutense: Madrid y Mercedes Suárez Barrios: Universidad de Salamanca.
- García-Romero E, Suárez M, Santarén J. & Álvarez A. 2007. Crystallochemical characterization of the palygorskite and sepiolite from the Allou Kagne deposit Senegal. Clays and Clay Minerals, 55 (6):606-617.

- García-Romero E. & Suárez M. 2010 “On the chemical composition of sepiolite and palygorskite” *Clays and Clay Minerals*, 58 (1):1-20.
- Henning K.H. & Stör M. 1986. “Electron micrographs (TEM, SEM) of clays and clay minerals”. Series in Geological Sciences. Akademie - Verlag, Berlin, DDR, ISSN: 0323-8946.
- Kerosene/Jet fuels Treating Applications, using Napfining<sup>SM</sup> and Mericat<sup>SM</sup> Technologies. Prepared by Merichem Chemicals & Refinery Services LLC. Process Technology Division, 2005.
- Nemecz, E. 1981. “Clay Minerals”. Hungría: Ed. Akademiai Kiado.
- Ravelo, Cabrera, I. 1993. Caracterización y usos de la zeolita expandida. Trabajo de diploma. Facultad de Física, Universidad de La Habana.
- Ravelo Lescaille R. 2011. Exploración Detallada de la paligorskita del yacimiento “Pontezuela”. Informe final. Archivo de la Empresa GeoMinera Camagüey.
- Schertl, H.P, Mills, S.J. & Maresch, W.V. (Eds). 2018. “Compendium of IMA-Approved Mineral Nomenclature”. XXII General Meeting of the International Mineralogical Association (IMA).
- Vega Sánchez N. & Morales Aparicio M. 1990. Caracterización de la paligorskita de la manifestación “Indira”. Memorias del evento Quimindustria-90, La Habana, Cuba: Palacio de Convenciones.
- Vega, Sánchez, N., Carrillo, J. & Rodríguez, D. 1991. “Utilización del vidrio volcánico como medio filtrante en la industria cervecera”. XII Seminario Científico del CNIC. Rev. CNIC, vol. 26.
- Vega Sánchez N., Alonso Pérez, J.A & colaboradores. 1994. Empleo de minerales en la filtración de humo de tabaco. Colaboración entre el Instituto de Investigaciones del Tabaco y el Laboratorio Central de Minerales “José I. del Corral” (LACEMI).
- Vega, Sánchez, N., Gómez D. 1996. Obtención de silicatos aligerados. Patente OCPI 19/1996, Cuba.
- Vega, Sánchez, N. & Gómez D. 1998. Obtención de silicatos aligerados. Memorias del evento Geología y Minería - 98. III Congreso Cubano de Geología y Minería, págs. 721-723. Palacio de Convenciones, 24-27 de Marzo, La Habana, Cuba.
- Velázquez, Garrido M., Montejo Serrano E. & colaboradores 2012. Paligorskita del afloramiento “Indira” (Camagüey). Preparación de muestras para la exploración detallada del yacimiento y diversificación de aplicaciones. Informe de etapa, Archivo del Departamento de Gestión del Conocimiento, CIPIMM.
- Xavier KCM, Silva EC, Santos MSF, Santos MR & Luz AB. 2012. Caracterização Mineralógica, Morfológica e de Superfície da Atapulgita de Guadalupe-Pi. HOLOS; 5(8):60-70.
- Zhang, J, Wang, Q, Chen, H. & Wang, A. 2010. “XRF and nitrogen adsorption studies of acid-activated palygorskite”. *Clay Minerals*, 45(2):145-156.

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

**Contribuciones de los autores:** **Redacción - primera redacción:** Natalia Vega Sánchez y José Antonio Alonso Pérez. **Investigación:** Natalia Vega Sánchez, José Antonio Alonso Pérez, Martha Velázquez Garrido, Emilio Montejo Serrano y Alberto Cavado Osorio. **Análisis formal:** Natalia Vega Sánchez, José Antonio Alonso Pérez, Martha Velázquez Garrido, Emilio Montejo Serrano. **Redacción - revisión y edición:** José Antonio Alonso Pérez y Natalia Vega Sánchez.

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

---