



Nuevos aportes en la caracterización de arcillas del oriente colombiano

New contributions in the characterization of clays from eastern Colombia

^a John Freddy Gelves-Díaz, ^b Jorge Sánchez-Molina, ^c Jorge Bautista-Ruíz

 ^a Doctor en Ingeniería, johngelves@yahoo.es, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia.

 ^b Doctor en Avances en Ingeniería de los Materiales y Energías, jorgesm@ufps.edu.co, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia.

 ^c Doctorado en Ingeniería - Ciencia y Tecnología de Materiales, jorgebautista@ufps.edu.co, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia.

Recibido: Julio 1 de 2021 Aceptado: Noviembre 8 de 2021

Forma de citar: J. F. Gelves-Díaz, J. Sanchez-Molina, J. Bautista-Ruíz, "Nuevos aportes en la caracterización de arcillas del oriente colombiano", Mundo Fesc, vol. 11, no. s5, pp.328-340, 2021.

Resumen

Muestras minerales provenientes de dos formaciones geológicas (grupo guayabo (AGG) y formación carbonera (AFC)) del nororiente colombiano ricas en fases del grupo de las arcillas fueron caracterizadas a fin de conocer con claridad los tipos de filosilicatos presentes, sus características microquímicas y morfológicas, su capacidad de intercambio catiónico y área superficial específica; de igual manera identificar las demás fases mineralógicas presentes en estos materiales. Diferentes técnicas como difracción y fluorescencia de rayos X, espectroscopía de infrarrojos con transformada de Fourier y microscopía electrónica de barrido con analizador de energías dispersivas de rayos X, fueron utilizadas en el proceso. Los resultados obtenidos permiten tener certeza que la fase caolinita está presente en ambas muestras arcillosas (AGG y AFC), los cristales lamelares observados y asociados a este mineral presentan un alto contenido de silicio, acorde con el análisis FTIR, esto podría deberse a la existencia de más de una fase en los mismos. De igual manera se logró evidenciar la existencia de un mineral del grupo de las micas de tipo lamelar. La evaluación térmica realizada conllevó a sugerir que se trata de la fase moscovita. Cristales lamelares más abundantes, químicamente conformados por silicio, aluminio, potasio y hierro fueron asociados a este último mineral, destacando también en ellos un alto contenido de silicio. Los cristales de la muestra AGG resaltan por ser más grandes que los de AFC y por tener mayor contenido en potasio. La capacidad de intercambio catiónico es mayor en la muestra AGG (11,5meq/100g) posiblemente asociado al mayor contenido de moscovita, mientras que el caso del área superficial no hubo diferencias significativas obteniéndose valores cercanos a los 30 m²/g, valores ligeramente superiores a los reportados para suelos con presencia de caolinita.

Palabras clave: caracterización mineralógica, filosilicatos, intercambio catiónico, microquímica, morfología.

Autor para correspondencia:

*Correo electrónico: johngelves@yahoo.es



Abstract

Mineral samples from two geological formations (Guayabo group (AGG) and Carbonera formation (AFC)) of northeastern Colombia, rich in phases of the clay group, were characterized to clearly know the types of phyllosilicates present, their microchemical and morphological characteristics, its cation exchange capacity and specific surface area; Similarly, identify the other mineralogical phases present in these materials. Different techniques such as X-ray diffraction and fluorescence, Fourier transform infrared spectroscopy and scanning electron microscopy with X-ray dispersive energy analyzer were used in the process. The results obtained allow us to be certain that the kaolinite phase is present in both clay samples (AGG and AFC), the lamellar crystals observed and associated with this mineral have a high silicon content, according to the FTIR analysis, this could be due to the existence of more than one phase in them. In the same way, it was possible to demonstrate the existence of a mineral from the group of lamellar-type micas. The thermal evaluation carried out led to the suggestion that it is the Muscovite phase. More abundant lamellar crystals, chemically formed by silicon, aluminum, potassium, and iron, were associated with this last mineral, also highlighting a high silicon content. The crystals of the AGG sample stand out for being larger than those of AFC and for having a higher potassium content. The cation exchange capacity is higher in the AGG sample (11,5meq/100g) possibly associated with the higher muscovite content, while in the case of the surface area there were no significant differences, obtaining values close to 30 m²/g, slightly higher values to those reported for soils with the presence of kaolinite.

Keywords: mineralogical characterization, phyllosilicates, cation exchange, microchemistry, morphology.

Introducción

Las arcillas juegan un rol relevante en el desarrollo de las sociedades, incluso se les ha asociado con los inicios de la vida en la Tierra [1,2]. Con ellas se pueden obtener materiales cerámicos de construcción, materiales refractarios, catalizadores, intercambiadores catiónicos, filtros, pueden actuar como materiales retenedores de humedad para el secado de fases gaseosas, también suelen ser usados en la industria farmacéutica como excipiente, en la fabricación de lodos de perforación en la industria petrolera, como relleno en la industria del papel, del plástico y pinturas, incluso se considera un aliado de la belleza debido a sus aparentes propiedades como exfoliante y antiinflamatorias [2-5]. Acorde con lo anterior resulta relevante hacer estudios que permitan conocer las propiedades de las arcillas de un territorio dado a fin de encontrar su aplicabilidad.

En el nororiente colombiano, más específicamente en la zona metropolitana de Cúcuta existe una gran concentración de materiales arcillosos de tipo sedimentario

asociadas a las formaciones geológicas León, Carbonera y el grupo geológico Guayabo [6]. Debido a la abundancia de estas arcillas en la región se ha consolidado un número importante de empresas que utilizan este material para la elaboración de cerámicos de construcción y en menor medida en la elaboración de cemento tipo Portland [6-9]. Aunque en los últimos años se ha mejorado significativamente el conocimiento sobre las arcillas de la zona, todos los trabajos realizados tienen un enfoque muy vinculado con la industria cerámica, donde se discuten temas como plasticidad, granulometría, contenido de óxidos fundentes, contenido de aluminio, contenido de sulfatos y carbonatos, mineralogía de las fases mayoritarias y las propiedades tecnológicas de los cerámicos elaborados a partir de estas materias primas [9-12].

Este comportamiento ha dejado en el olvido el reconocimiento de las propiedades de las arcillas de la zona para otros fines diferentes al de la cerámica. Estos usos podrían ser incluso más valiosos que la

fabricación de materiales de construcción o contribuir a resolver problemas asociados a otros sectores como por ejemplo en el sector agricultura (intercambio y liberación de nutrientes) o a mejorar el diseño de vías y viviendas debido al efecto de expansión de esta clase de minerales [13-14].

La finalidad del presente trabajo está encaminada a generar nuevos aportes en la caracterización de los materiales arcillosos del área metropolitana de Cúcuta en aspectos que nunca se han documentado o en temas en los que aún hay desacuerdo como por ejemplo la certeza de las fases arcillosas presentes, morfología de las mismas, identificación clara de fases minoritarias como las asociadas a los óxidos de titanio (anatasa/rutilo) y los feldespatos (plagioclasas o feldespatos potásicos), capacidad de intercambio catiónico de estos suelos y su área superficial que permitan posibles aplicaciones en catálisis heterogénea, adsorción e intercambio catiónico.

Materiales y métodos

Dos muestras de material arcilloso fueron recolectadas y analizadas en este trabajo. La primera de ellas proviene del municipio de San Cayetano, Norte de Santander, Colombia, asociada con el grupo geológico guayabo (AGG). El segundo material proviene de la formación geológica carbonera en el entorno del cerro Tasajero, al Norte de la ciudad de Cúcuta (AFC) [6].

La composición química de estos materiales se realizó mediante fluorescencia de rayos X (FRX), a través de método de perla fundida. Las pérdidas de calcinación fueron determinadas usando una temperatura de trabajo de 950 °C. La captura de datos se realizó con un espectrómetro de fluorescencia de rayos X, marca Panalytical, modelo Axios. La cuantificación porcentual se realizó con la ayuda del software Wroxi. Para el análisis mineralógico se utilizó la difracción de rayos X (DRX) usando un equipo marca BRUKER, D8 ADVANCE

con geometría DaVinci el cual trabaja con radiación de cobre tipo $K\alpha_1$, barrido paso a paso, con un paso de $0,02035^\circ$, tiempo de conteo de 0,6 s, filtro de níquel, voltaje 40kV y 30 mA. El análisis cualitativo de las fases presentes se estableció a través de los patrones de difracción reportados en la base de datos PDF-2 del International Centre for Diffraction Data (ICDD). El análisis cuantitativo, fue realizado mediante el uso de refinamiento Rietveld, empleando un estándar interno (20% de corindón) para la determinación de la fase amorfa. La prueba se realizó usando material pasante la malla de 75 μm . En el análisis de fases de filosilicatos se utilizó el método de OF01-041 del servicio geológico de los Estados Unidos para la concentración de la fracción arcillosa, glicolado y tratamiento térmico [15]. Calcinación de material arcilloso AGG se realizó a 800 °C, 900 °C y 1000 °C en un horno eléctrico marca Gabrielli (5 °C/min) a fin de hacer seguimiento mediante DRX al plano (002) de la fase moscovita.

La espectroscopía de infrarrojos se llevó a cabo en un equipo marca Shimadzu, modelo FTIR 8400S y una prensa manual, para el conformado de las pastillas (1,0 mg de muestra con 100 mg de KBr), marca Carver modelo 4350L, aplicando una presión de 10 t. Las condiciones de trabajo fueron: modo transmitancia, rango de barrido entre 400 cm^{-1} y 4000 cm^{-1} , resolución de 4 cm^{-1} y número de escaneos igual a 48. El software de trabajo fue el IR Solution versión 1.4. Las muestras usadas en el ensayo fueron cristales extraídos con la ayuda de una lupa binocular.

El estudio de la morfología y microanálisis químico fue realizado en un microscopio electrónico de barrido JEOL modelo JSM-6490LV. El tratamiento de recubrimiento se realizó con oro, usando un equipo marca Denton Vacuum, desk IV. El establecimiento del área superficial (BET) se realizó en un analizador marca micromeritics modelo ASAP 2020 usando adsorción de N_2 a -196°C (77 K), la desgasificación se hizo a 250°C durante 12 horas. La capacidad

de intercambio catiónico total fue medida usando los lineamientos descritos en la norma técnica colombiana NTC-5268 [16].

Resultados y discusión

Identificación de minerales flosilicatos. El primer resultado que se presenta pretende clarificar cuál de las diferentes fases del grupo de la caolinita con patrones de difracción similar (caolinita, halloysita, dickita) es la que en verdad está presente en los materiales arcillosos objeto de estudio. Para ello se hizo uso de la difracción de rayos X (metodología usada por el servicio geológico de los Estados Unidos-USGS) [15] y espectroscopía de infrarrojos los resultados se presentan en las figuras 1,2 y 3.

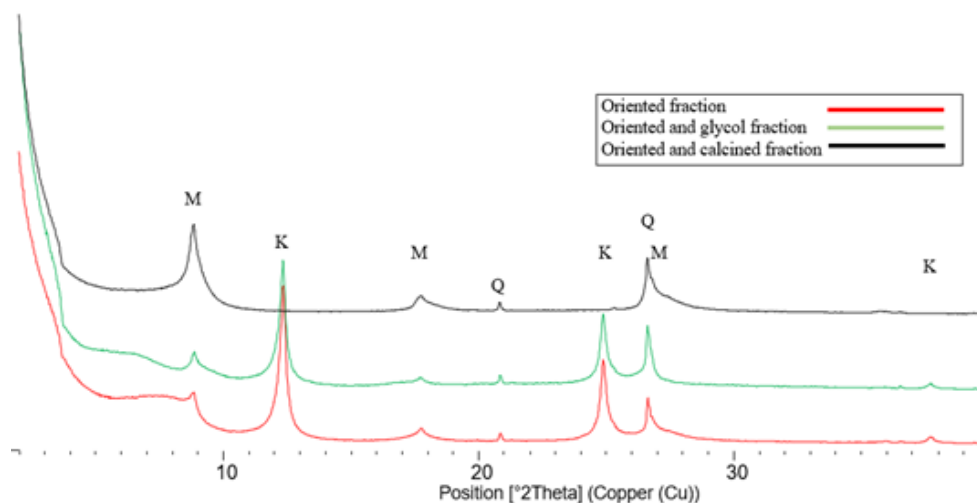


Figura 1. Identificación de la fase caolinita en la muestra AGG (protocolo USGS)

M: moscovita; K: caolinita; Q: cuarzo.

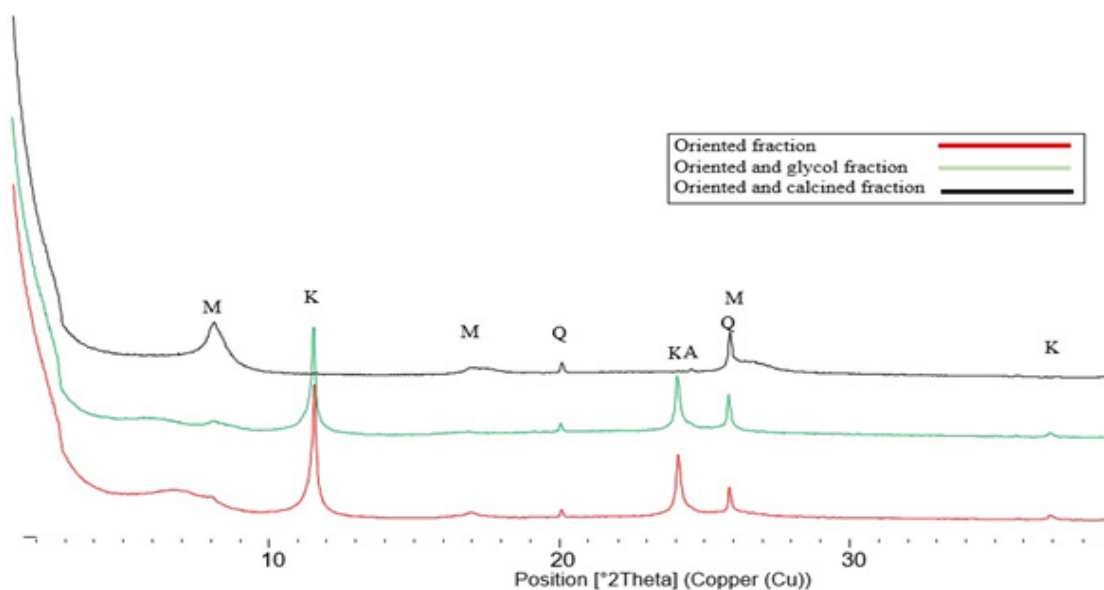


Figura 2. Identificación de la fase caolinita en la muestra AFC (protocolo USGS)

M: moscovita; K: caolinita; Q: cuarzo; A: anatasa

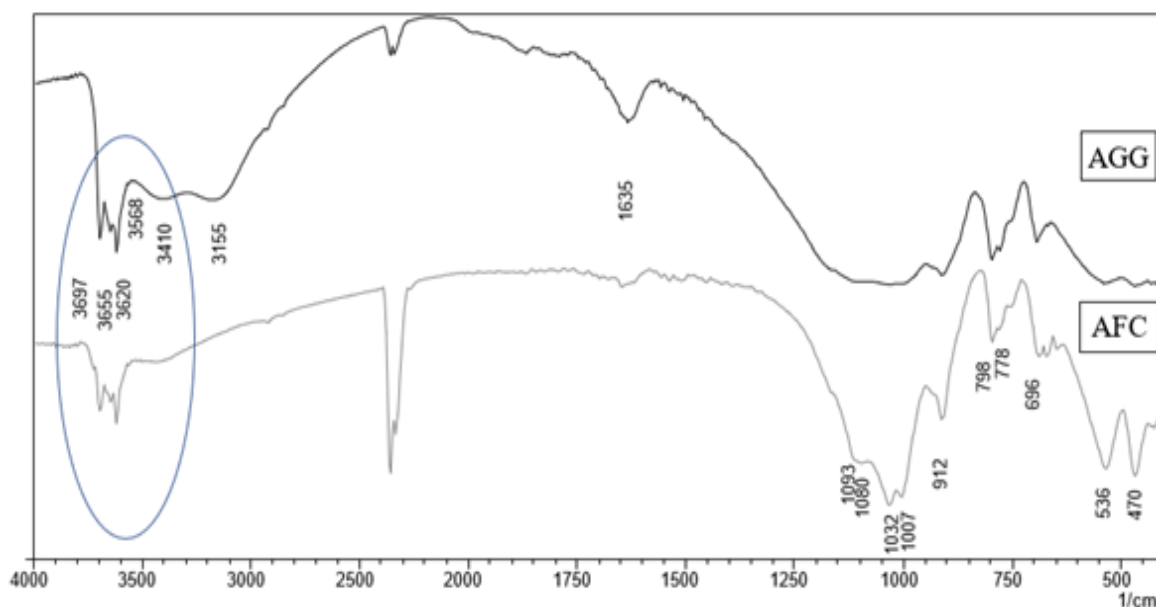


Figura 3. Identificación de la fase caolinita a través de FTIR

El protocolo de la USGS permite identificar mediante difracción de rayos X, si la fase caolinita está presente en un suelo arcilloso, para ello se debe hacer un proceso de orientación del material y posterior captura de información, seguido de un proceso de glicolado a fin de establecer si hay modificación en la distancia interplanar y finalmente el calcinado de la muestra a 550 °C a fin de determinar si aún persiste los planos de reflexión de la caolinita [15]. Acorde con lo anterior y las convenciones establecidas en las figuras 1 y 2, se ha podido establecer que la fase caolinita si está presente en ambos tipos de muestras, ya que se evidencia la presencia de su plano de reflexión (001) en la posición $2\theta = 12,37^\circ$, el cual no se desplaza posterior al glicolado y que además este plano desaparece luego del calentamiento a 550 °C, indicando la deshidroxilación de esta fase para dar paso a la formación de metacaolinita [17].

Como aspecto interesante de las figuras 1 y 2 está el patrón de difracción de la muestra calcinada el cual deja ver la posible presencia de la fase moscovita, aunque es importante resaltar que los patrones de difracción de la

fase illita también muestran buen ajuste en este resultado experimental. Lo relevante de la información de las figuras 1 y 2 es que la intensidad del plano de reflexión presente en $2\theta = 8,87^\circ$ es de mayor intensidad en la muestra AGG respecto al obtenido AFC, lo que se traduce en una mayor concentración másica [18].

Con relación a la figura 3 las bandas de vibración evidenciadas en 3697 cm^{-1} , 3655 cm^{-1} y 3620 cm^{-1} en la zona de vibración de grupos hidroxilo (elipse color azul) se ajustan bien a las reportadas en la literatura para la fase caolinita [19-20]. La única diferencia encontrada es que la intensidad de la banda en 3620 cm^{-1} es mayor que la de 3697 cm^{-1} . Una posible explicación a este comportamiento estaría dada por la presencia del mineral de grupo de las micas evidenciado en los difractogramas de las figuras 1 y 2 (moscovita o illita) los cuales tiene una banda de vibración entorno a los 3620 cm^{-1} y en 3568 cm^{-1} [19-20]. En la región de huella dactilar las bandas evidenciadas en 1093 cm^{-1} , 1032 cm^{-1} , 1007 cm^{-1} , 912 cm^{-1} , 696 cm^{-1} , 536 cm^{-1} y 470 cm^{-1} permiten corroborar la existencia de caolinita en

ambos materiales arcillosos. Sin embargo, en esta zona no fue posible identificar con claridad bandas de vibración de los minerales del grupo de las micas. Se estableció la presencia de cuarzo en los cristales analizados con bandas de vibración características en 1080 cm^{-1} , 798 cm^{-1} y 778 cm^{-1} [19-20]. De forma complementaria se usó de SEM/EDX para establecer las morfologías de estas fases arcillosas. En la figura 4 se presenta el comportamiento morfológico en ambos materiales. De igual manera en la tabla I se registra la información microquímica (sitios 1 al 9) de estos cristales.

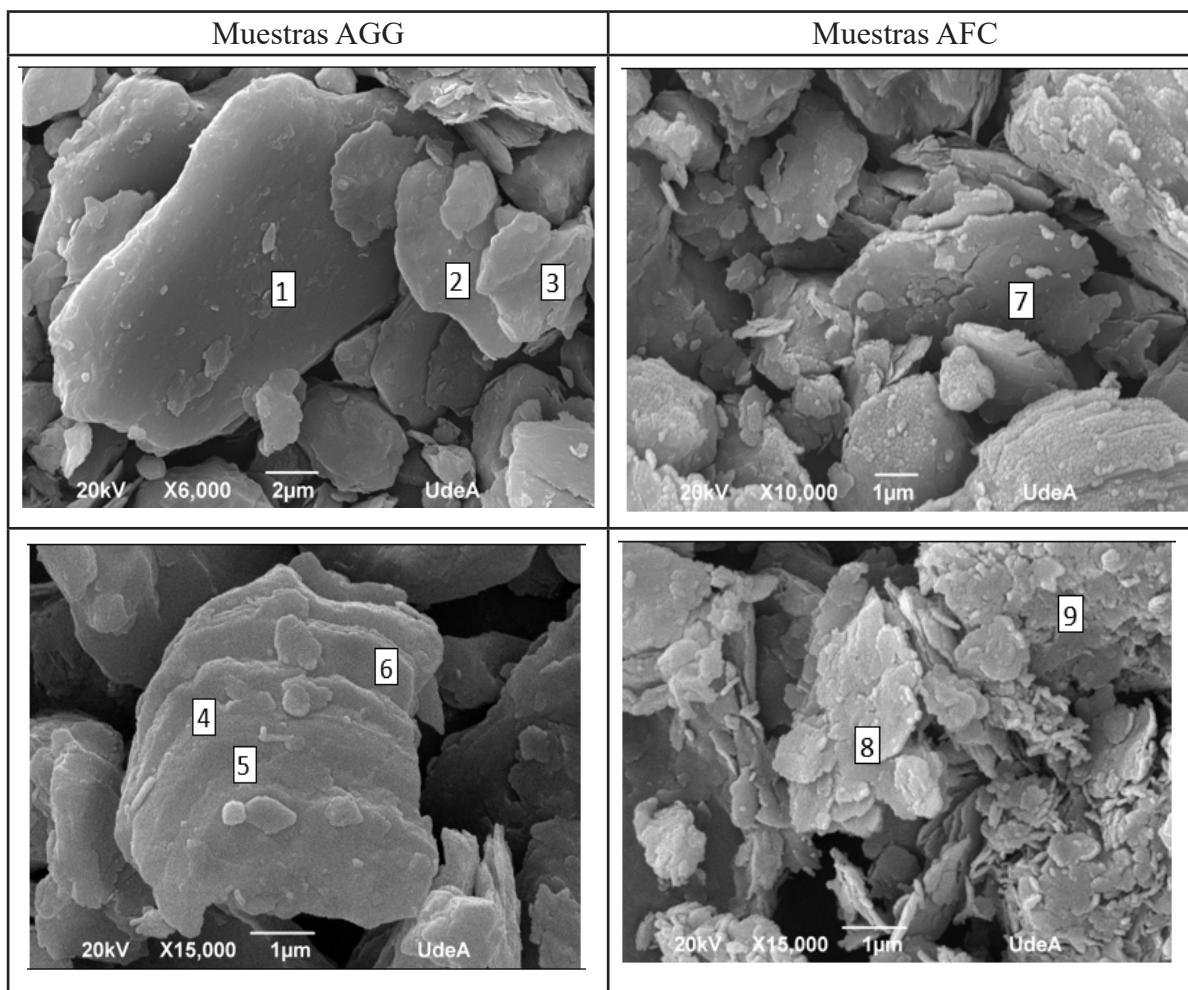


Figura 3. Identificación de la fase caolinita a través de FTIR
 Tabla I. Información microquímica de las morfologías identificadas en AGG y AFC

Ubicación	Elemento químico				
	Oxígeno	Silicio	Aluminio	Hierro	Potasio
AGG-Sitio 1	26,38	34,84	21,08	3,68	14,03
AGG-Sitio 2	34,16	49,94	10,61	2,90	2,38
AGG-Sitio 3	31,08	37,61	17,97	3,24	10,11
AGG-Sitio 4	38,35	42,79	18,86	0,00	0,00
AGG-Sitio 5	36,00	46,60	17,40	0,00	0,00
AGG-Sitio 6	43,59	38,34	15,82	2,25	0,00
AFC-Sitio 7	38,03	38,69	17,05	4,64	1,59
AFC-Sitio 8	40,74	36,49	17,42	2,37	2,98
AFC-Sitio 9	40,40	36,44	18,79	2,57	1,80

La figura 4 muestra la existencia de morfologías lamelares tanto en el material AGG como el material AFC. Este tipo de morfologías son características de fases caolinita y moscovita lo cual respalda los resultados obtenidos mediante DRX y FTIR [21]. Sin embargo, al observar la información microquímica varios aspectos interesantes debe ser destacados: en la mayoría de las mediciones microquímicas se evidenció la presencia de elementos como Si, Al, O, Fe y K tanto en las muestras AGG y AFC. Las mediciones realizadas en los sitios 4, 5 y 6 se caracterizan por la ausencia de potasio. Los elementos allí presentes se ajustan a los componentes de la caolinita, sin embargo, su relación Si/Al (2,45) es mucho más elevada que la reportada en la literatura para esta fase (1,04) [22,23], hecho que conlleva a sugerir dos explicaciones, una es la posible existencia de una caolinita con muy alto contenido de silicio o la segunda opción es que a pesar de tener cristales muy pequeños como los de la figura 4 se trata de cristales con presencia de más de una fase, como por ejemplo la mezcla de caolinita y cuarzo que también fue identificado en el cristal analizado mediante FTIR, argumento más convincente.

En relación con los cristales lamelares con presencia de hierro y potasio (sitios 1,2,3,7,8 y 9) que están presentes en ambas muestras, su microquímica guardan relación con el mineral del grupo de las micas mencionado con anterioridad [24]. Dos aspectos son importantes a discutir, lo primero es que la cantidad de hierro y silicio resultan bastante elevadas, lo cual no es tan usual en las fórmulas ideales de la moscovita reportadas en la literatura [24,25], algo similar a lo que sucede con la caolinita. La relación Si/Al en los cristales de AGG es 2,46, en AFC es de 2,09 mientras que en la fórmula ideal de la moscovita está en torno a 1,04 y para la illita de 2,80. Estos resultados generan dudas sobre cuál de las dos fases es la que está presente en los materiales arcillosos, aunque bajo este criterio la illita parece ser más convincente,

ya que en su fórmula mineral ideal contiene mayor cantidad de silicio y hierro [25]. Por otro lado, está el contenido de potasio, el cual muestra diferencias entre ambos materiales. En el caso del material AFC sus contenidos no superan el 3,0% en peso, lo cual es más coherente con la estequiometría de la fase illita. Mientras que en AGG se tiene contenidos de potasio arriba del 10% en varios cristales lo que guarda más relación con la fase moscovita [25,26]. En función de lo anterior resulta muy difícil establecer cual fase del grupo de las micas está presente en estos materiales, hecho que hace necesario el uso de otras técnicas complementarias para su identificación.

En función de los anteriormente expuesto, se propuso hacer seguimiento mediante DRX a los cambios estructurales en función de la temperatura, a fin de identificar la existencia de moscovita a temperaturas mayores a 800 °C, donde ya no debería existir la fase illita [27-28], para ello se tomó como referencia el plano (001) de esta fase, sobre el cual ya se ha discutido en la figura 1. Los resultados obtenidos se presentan en la figura 5.

En la figura 5 se evidencia la posible reflexión del plano (001) de la moscovita a temperaturas de 800 °C, demostrando su existencia en la muestra AGG. Un resultado diferente, indicaría la presencia de la fase illita la cual no alcanza a mantener su estructura a más de 800 °C [27,28]. Los resultados de la figura 5 evidencian la existencia de las reflexiones del plano objeto de estudio a temperaturas de 900°C, caracterizado por el cambio de estructura de la moscovita a 832 °C y se extiende hasta valores de cerca de 1000 °C, lo cual concuerda con lo reportado en la literatura [27,28]. Los resultados son coherentes con el patrón de difracción realizado a esta última temperatura donde no se evidencia la existencia del plano (001).

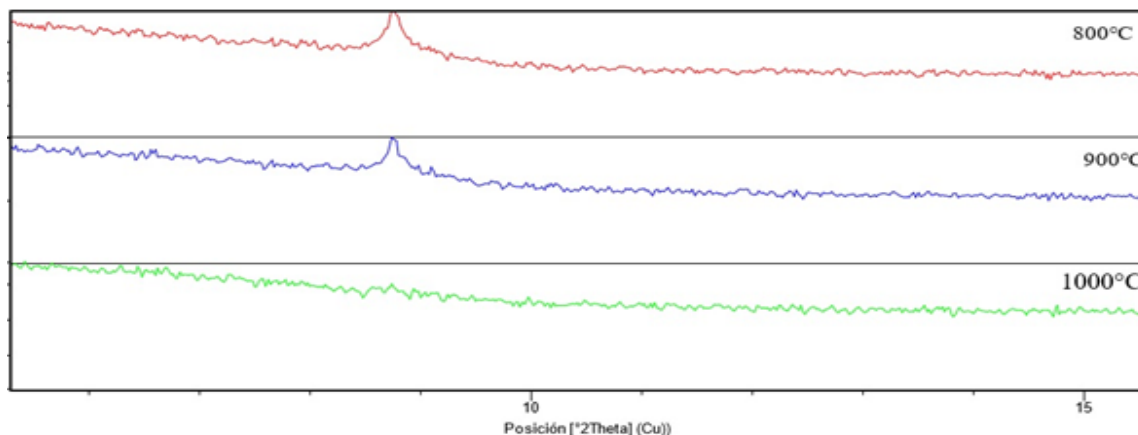


Figura 5. Evolución de la intensidad del plano (001) de la fase moscovita con el aumento de la temperatura en el material AGG

Análisis volumétricos de las muestras AGG y AFC. Una vez determinado el tipo de filosilicato presente en los materiales de estudio se procedió a la caracterización por FRX y DRX de las dos muestras. Los resultados se muestran en las tablas II y III.

Tabla II. Resultados de composición mineralógica (% peso, DRX-Rietveld)

Fase	Numero PDF-2	AGG	AFC
cuarzo	010872096	30,3	25,9
caolinita	010781996	11,4	18,0
moscovita	010896216	15,7	12,1
hematita	010715088	1,5	0,5
Ortoclasa	010831324	0,4	0,6
Albita	010711150	0,4	1,0
Rutilo	010707347	0,2	0,4
Anatasa	010707348	0,4	0,7
Amorfos	----	39,6	40,8

La información obtenida mediante el análisis cuantitativo por refinamiento Rietveld de la tabla 2 muestra coherencia con los datos hasta ahora presentados (Figura 1) donde se ha resaltado el mayor contenido de moscovita en el material AGG. Comportamiento contrario al observado en la caolinita resaltando mayor abundancia de esta fase en el material AFC cada una de ellas con un aporte importante en función de la aplicabilidad que se le quiera dar. Como en este trabajo se dará un enfoque diferente al del uso en cerámica mas adelante se hace una descripción del impacto de estas concentraciones en otras posibles aplicaciones. Con relación a la información química (tabla 3) es notorio el alto contenido de silicio presente en ambos materiales, el cual se puede relacionar con el alto contenido de cuarzo y la presencia de silicio en la caolinita, moscovita, en las fases minoritarias de feldespato y posiblemente en la fracción amorfa que es muy significativa en ambos materiales. Un aspecto interesante del cual se ha discutido en otros trabajos previos [11,29] está asociado al contenido de hierro en estos materiales arcillosos, puesto que como se observa en la tabla 3 el contenido de hierro expresado como Fe_2O_3 (4,86% y 3,02%) es mayor al identificado en la tabla 2 asociado a la mineralogía, donde solo se reportan valores de 1,5% y 0,5% para la fase hematita (Fe_2O_3) como fuente de hierro. A la pregunta de donde

está el hierro, los resultados de la microquímica realizados a la moscovita y mostrados en la tabla 1 permiten dar una nueva explicación, indicando de esta manera que parte del hierro está en estos cristales lamelares, aunque podría existir una fracción adicional en la fracción amorfa identificada en la tabla 2. Sobre los demás elementos químicos su existencia ya ha sido discutida en trabajos previos [11,29], por ejemplo, que el titanio está asociado a la presencia de anatasa y rutilo en las muestras, el sodio a la presencia del feldespato albita, el calcio a la presencia de trazas de calcita que no son detectables en el DRX debido a su baja concentración.

Tabla III. Resultados composición química (% peso, FRX)

Fase	AGG	AFC
SiO ₂	59,83	62,81
Al ₂ O ₃	20,23	18,74
Fe ₂ O ₃	4,86	3,02
K ₂ O	2,031	1,37
Na ₂ O	0,593	0,34
CaO	0,76	1,46
MgO	0,67	0,64
TiO ₂	0,838	0,803
P ₂ O ₅	0,106	0,031
SO ₃	0,050	0,01
BaO	0,068	0,038
ZrO ₂	0,023	0,017
CuO	0,007	0,006
ZnO	0,020	0,010
V ₂ O ₅	0,038	0,040
SrO	0,038	0,042
Cr ₂ O ₃	0,010	0,015
LOI	9,83	10,6

Otras propiedades de las arcillas de la zona y su importancia tecnológica. Como ya se ha mencionado, al hacer una revisión de la literatura se evidenció que la gran mayoría de trabajos de caracterización de las arcillas de la zona se han enfocado a caracterización de estos materiales pensando en su aplicabilidad en la industria cerámica [9-12]. Estos trabajos han evaluado propiedades como la plasticidad, granulometría (arcilla, limos y arena), formación de eflorescencias a partir de sulfatos, análisis térmicos de pérdida de masa, flujo de calor y dilatometría, así como propiedades del proceso físico-cerámico (contracciones de secado y cocción, pérdidas de masa, porosidad abierta y resistencia mecánica). Sin embargo, es escaso el conocimiento sobre otras propiedades como la capacidad de intercambio catiónico, superficie específica y acidez/basicidad superficial que son relevantes para el desarrollo de aplicaciones de gran relevancia y valor agregado como por ejemplo catalizadores, adsorbentes, intercambiadores catiónicos en muchos sectores como por ejemplo en la agricultura o en temas de tratamiento de aguas contaminadas [13,14]. En este trabajo se determinó la capacidad de intercambio catiónico total y área superficial (BET), los resultados se presentan en la tabla IV.

Tabla IV. Área superficial y capacidad de intercambio catiónico de los materiales AGG y AFC

Material	Capacidad de intercambio catiónico (CIC) meq/100g	Área superficial BET (m ² /g)
AGG	11,50	27,64
AFC	6,57	29,50

Con relación a los datos de capacidad de intercambio catiónico (CIC) los resultados obtenidos para los materiales de la zona pueden ser considerados bajos comparados con arcillas del grupo de las esméctitas (mayor a 80 meq/100g) o incluso de arcillas como la illita asociada al grupo de las micas (entre 10 y 40 meq/100g) [30-32]. Los valores obtenidos se ajustan a los reportados en la literatura para arcillas caoliniticas [30-32]. Como aspecto interesante de este resultado, están las diferencias entre una muestra y otra, El material AGG tiene el doble de capacidad de intercambio que AFC, hecho que puede llegar a explicarse por la mayor cantidad de moscovita presente en el primero de ellos y al mayor contenido de potasio en los cristales lamelares observados mediante SEM/EDX. Aunque estos valores de CIC resultan bajos no deben ser considerados despreciables, el conocer la información podría servir de referencia para dar prioridad a la utilización de las arcillas AGG en la agricultura (preparación de suelos para cultivo) a fin de promover el intercambio catiónico y liberación controlada de nutrientes [4,5]. De igual manera la mayor capacidad de intercambio catiónico de la muestra AGG podría ser de interés para ingenieros civiles en relación con el diseño de vías y cimentación de viviendas/edificios de la zona, esta propiedad guarda una relación directa con la expansión de suelos, sobre todo cuando hay presencia de cationes sódicos, los cuales retienen una mayor cantidad de agua, haciendo más marcado el efecto de la expansión [13]. Debido a lo anterior se debería prestar atención en los diseños civiles a fin de evitar el intercambio de iones K⁺ presentes en la moscovita de la arcilla AGG con iones Na⁺ del entorno, por ejemplo, con aguas servidas o aguas lluvias que arrastran sustancias ricas en este elemento.

En relación con la superficie específica los valores reportados en la tabla 4 tampoco son elevados como para pensar en una aplicación como adsorbente o como soporte para dispersión de fases activas en catalizadores. Para arcillas caoliniticas los reportes de la literatura muestran valores entre 5 y 25 m²/g [32-33], lo cual deja ver que las arcillas de la zona tienen un valor un poco superior, posiblemente asociado al tamaño de grano muy fino de estos suelos [9,10] y a la presencia de filosilicatos como la moscovita que poseen una mayor área superficial. Aunque estos valores no sean altos como la de arcillas del grupo de las esméctitas (mayor a 500 m²/g) o de las zeolitas (mayor a 30 m²/g) [32,33], no quiere decir que no lleguen a tener aplicación en estos campos anteriormente mencionados, se hace necesario la realización de nuevos estudios que demuestren su favorabilidad.

Conclusiones

Con el desarrollo del presente trabajo se logró tener claridad sobre las fases del grupo de los minerales filosilicatos presentes en los suelos arcillosos de la formación carbonera (AFC) y el grupo geológico guayabo (AGG). Caolinita y moscovita son las fases identificadas en ambas muestras, la caolinita prevalece en la formación carbonera, mientras la moscovita es más representativa en la muestra del grupo guayabo. Los cristales lamelares asociados a la moscovita se caracterizan por la presencia de hierro en su composición.

Se determinaron los valores de capacidad de intercambio catiónico y área superficial, los cuales no habían sido reportados para materiales arcillosos de estas formaciones geológicas. Los datos obtenidos servirán de apoyo para la toma de decisiones respecto a aplicaciones de estos materiales en

actividades diferentes a la de la industria cerámica.

Agradecimientos

Al "Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia" por el apoyo recibido a través de la convocatoria de estancias postdoctorales en entidades del sistema nacional de ciencia y tecnología, año 2019.

Referencias

- [1] J. P. Ferris, "Montmorillonite-catalysed formation of RNA oligomers: the possible role of catalysis in the origins of life", *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 361, no. 1474, pp. 1777-1786, 2006
- [2] E. Q. Monfil, "La arcilla: un recurso mineral estratégico", *Energía & Minas: Revista Profesional, Técnica y Cultural de los Ingenieros Técnicos de Minas*, vol. 16, pp. 6-17, 2020
- [3] Á. Yebra-Rodríguez y P. C. González, "Usos farmacéuticos de los minerales de la arcilla", *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, vol. 26, no. 3, pp. 289-289, 2018
- [4] L. de Pablo, "Las arcillas. I. clasificación, identificación, usos y especificaciones industriales", *Boletín de la sociedad Geológica Mexicana*, pp. 49-91, 1964
- [5] S. Mukherjee, *The science of clays*. Netherlands: Springer Science and Business Media, 2013
- [6] A. O. Flórez-Vargas, J. Sánchez-Molina, y D. S. Blanco-Meneses, "Las arcillas de las formaciones geológicas de un área metropolitana, su uso en la industria cerámica e impacto en la economía regional", *Revista EIA*, vol. 15, no. 30, pp. 133-150, 2018
- [7] J. S. Molina, J. F. Gelves y Y. A. Romero-Arcos, "Caracterización tecnológica y del talento humano de las empresas fabricantes de cerámica roja ubicadas en el área metropolitana de Cúcuta", *Respuestas*, vol. 17, no. 2, pp. 71-80, 2012
- [8] Jeskar Ltda. *Inventario Geológico Minero, Ambiental, Tecnológico y Empresarial de los Minerales no Energéticos del Norte de Santander*. San José de Cúcuta, 2000
- [9] R. L. Mora-Basto, D. A. Torres-Sánchez, A. L. Chaparro-García y J. Sánchez-Molina, "Physicochemical and mineralogical properties of clays used in ceramic industry at North East Colombia", *Dyna*, vol. 86, no. 209, pp. 97-103, 2019
- [10] D. Álvarez-Rozo, J. Sánchez-Molina and J. F. Gelves, "Influence of raw materials and forming technique in the manufacture of stoneware ceramic", *Ingeniería y competitividad*, vol. 19, no. 2, pp. 93-105, 2017
- [11] D. C. Alvarez-Rozo, J. Sánchez-Molina, F. A. Corpas-Iglesias y J. F. Gelves, "Características de las materias primas usadas por las empresas del sector cerámico del área metropolitana de Cúcuta (Colombia)", *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, vol. 57, no. 6, pp. 247-256, 2018
- [12]. V. I. Cáceres, J. Sánchez-Molina, and A. L. C. García, "Development and validation of an analytical method for the extraction and quantification of soluble sulfates in red clay", *Ceramica*, vol. 61, pp. 277-284, 2015
- [13] I. Yilmaz, "Indirect estimation of the swelling percent and a new classification of soils depending on liquid limit and cation exchange capacity", *Engineering geology*, vol. 85, no. 3-4, pp. 295-301, 2006
- [14] B. W. Bache, "The measurement of cation exchange capacity of soils", *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 27, no. 3, pp. 273-280, 1976

- [15] L. J. Poppe, V. F. Paskevich, J. C. Hathaway and D. S. Blackwood, "A laboratory manual for X-ray powder diffraction", *US Geological Survey open-file report*, vol. 1, no. 041, pp. 1-88, 2001
- [16] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. *NTC 5268 calidad de suelo. Determinación de la capacidad de intercambio catiónico*. Editorial ICONTEC, Bogotá D.C., 2014
- [17] P. Ptáček, F. Frajkorová, F. Šoukal, and T. Opravil, "Kinetics and mechanism of three stages of thermal transformation of kaolinite to metakaolinite", *Powder Technology*, vol. 264, pp. 439-445, 2014
- [18] N. V. Scarlett and I. C. Madsen, "Quantification of phases with partial or no known crystal structures", *Powder Diffraction*, vol. 21, no. 4, pp. 278-284, 2006
- [19] H. W. Van der Marel and H. Beutelspacher, *Atlas of infrared spectroscopy of clay minerals and their admixtures*. Elsevier Publishing Company, 1976
- [20] N. V. Chukanov, *Infrared spectra of mineral species: extended library*. Springer Science & Business Media, 2013
- [21] B. F. Bohor and R. E. Hughes, "Scanning electron microscopy of clays and clay minerals", *Clays and Clay Minerals*, vol. 19, no. 1, pp. 49-54, 1971
- [22] E. M. Shemang, C. E. Suh, G. E. Ekosse and S. H. Coetzee, "Crystal morphology and indicative microchemistry of kaolinite from kaolin occurrences in Alkaleri region, northeastern Nigeria", *GeoActa*, vol. 6, pp. 25-36, 2007
- [23] S. Yahaya, S. S. Jikan, N. A. Badarulzaman and A. D. Adamu, "Effects of acid treatment on the SEM-EDX characteristics of kaolin clay", *Traektoriâ Nauki= Path of Science*, vol. 3, no. 9, 2017
- [24] J. H. Behrmann, "A study of white mica microstructure and microchemistry in a low grade mylonite", *Journal of structural geology*, vol. 6, no. 3, pp. 283-292, 1984
- [25] J. D. Dana, *Manual of mineralogy*. Durrie & Peck, 1855
- [26] G. Bergaya, Lagaly, *General introduction: Clays, clay minerals and Clay Science, Handbook of Clay Science*, en: F. Bergaya, B.K. Theng, G. Lagaly (Eds.), *Developments in Clay Science*, 1, Elsevier Ltd, Amsterdam, Holanda, pp. 1-18, 2006
- [27] W. Smykatz-Kloss. *Differential thermal analysis: application and results in mineralogy*. Berlín: Springer Science & Business Media, 2012
- [28] M. Földvári, *Handbook of thermogravimetric system of minerals and its use in geological practice* (Vol. 213, pp. 1-180). Budapest: Geological Institute of Hungary, 2011
- [29] V. I. Cáceres, J. Sánchez-Molina and A. L. Chaparro-García, "Evaluation kaolinitic-illitic clays from the guayabo formation of the Cucuta's Metropolitan Area, Norte de Santander (Colombia)", *Revista ION*, vol. 30, no. 1, pp. 117-127, 2017
- [30] M. Gülcan, Y. Özcan and C. Küçükuysal, "An experimental study on the mineralogical characterization of the Saribeyli, kaolin deposit (Çanakkale, nw turkey)", *Mugla Journal of Science and Technology*, vol. 3, no. 1, pp. 4-8, C 2017
- [31] A. J. Schwanke and S. B. C. Pergher, "Porous heterostructured clays-recent advances and challenges-revisão", *Cerâmica*, vol. 59, pp. 576-587, 2013
- [32] M. L. Baker, J. H. Baas, J. Malarkey, R. S. Jacinto, M. J. Craig, I. A. Kane, and S. Barker, "The effect of clay type on the

properties of cohesive sediment gravity flows and their deposits", *Journal of Sedimentary Research*, vol. 87, no. 11, pp. 1176-1195, 2017

- [33] S. L. Kuo, C. J. Liao, "Photocatalytic disinfection of bacteria by sodium light with smectite catalysts", *Water Quality Research Journal*, vol. 41, no. 4, pp. 365-374, 2006