

ARCILLAS CAOLINITICAS DEL DEPARTAMENTO DEL CAUCA

JUAN DE DIOS VARELA*, ABIGAIL ORREGO** & GLORIA COBALEDA*

VARELA, J. de D., ORREGO, A. & COBALEDA, G. 1987: Arcillas caolínicas del Departamento del Cauca. *Geología Colombiana*, No. 16, pp. 53 - 64, 5 Fig.s, 3 Tablas. Bogotá.

RESUMEN

Este trabajo contiene los resultados del análisis mineralógico de una serie de arcillas sedimentarias fluvio-lacustres y otras que son el producto de la meteorización de ignimbritas y rocas tonalíticas. El análisis mineralógico se realizó sobre la fracción fina (partículas de diámetro efectivo menor de dos micras); se efectuaron además ensayos tecnológicos tendientes a establecer la influencia de la composición mineralógica sobre la calidad de los ladrillos que la industria produce en los alrededores de Popayán.

La identificación de las fases constitutivas de las fracciones estudiadas, efectuada por difracción de rayos X, indica que estos materiales son de tipo caolínico aunque de diverso grado de cristalización y ordenamiento.

ABSTRACT

The present study contains the results of mineralogical analysis made by X-ray diffraction of a set of samples of sedimentary fluvial-lacustrine clays and others which are produced by weathering of ignimbrites and tonalitic rocks. The mineralogical analysis was practiced over clay fraction (particles with 2 microns in grain diameter).

Technological test was made too, in order to establish the mineralogical composition effect over quality of bricks made in around Popayán.

The principal mineral identified in all samples was kaolinite in different degrees of structural order.

MUESTREO Y CARACTERISTICAS GEOLOGICAS DE LOS SITIOS ESTUDIADOS

Se tomaron 28 muestras de arcilla en los lugares denominados Pueblillo, Yanacoas, Calicanto, Dosbrazos, Los Faroles, La Honda y El Charco y 16 muestras de caolines de La Tetilla, Santa Rosa, La Betulia, San Pedro y Mandibia, lugares estos localizados al norte del departamento del Cauca. La localización geográfica se indica en la Fig. 1.

Las arcillas así muestreadas son de diversos orígenes. Las de Yanaconas, Pueblillo y Calicanto son de formación sedimentaria fluvio-lacustre, producto de la erosión de rocas volcánicas que pertenecen a la Formación Popayán. Dentro de este conjunto de muestras se encuentran cuatro que corresponden a cenizas volcánicas un poco laterizadas, del tipo de lluvia de cenizas o "Ash-fall", que presentan una textura limosa.

* Departamento de Física, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

** Regional de Ingeominas, Popayán.

Los materiales caolinizados de La Tetilla, Santa Rosa, La Betulia, Mandibia y San Pedro son el producto de fenómenos de meteorización de rocas ígneas intrusivas de composición tonalítica. En el área de La Tetilla estas rocas se encuentran como diques que cortan una secuencia de rocas básicas y ultrabásicas. En La Betulia y San Pedro las rocas se encuentran en formas intrusivas de stock, cortando secuencias lávicas del cretáceo. Y en Santa Rosa y Mandibia también son stocks que intruyen rocas sedimentarias de edad miocénica.

MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

Las muestras se secaron a una temperatura de 50°C aproximadamente; posteriormente se les hizo una disgregación manual y el material disgregado de cada muestra se dividió en cuatro partes, una destinada al análisis mineralógico de la fracción arcilla, otra para el análisis químico, una tercera para la elaboración y caracterización de probetas de ensayo y por último una cuarta parte se conserva como muestra testigo en el Laboratorio Químico Nacional de Ingeominas.

Del total de muestras tomadas, sobre la base del análisis químico y las características geológicas, se seleccionaron 14 para efectuar análisis más detallados.

El análisis químico se efectuó en el Laboratorio Químico Nacional de Ingeominas, se utilizó un espectrómetro de absorción atómica Perkin-Elmer tipo 303. En la preparación de las muestras se siguió el método de ataque con ácido fluorhídrico (Perkin, 1966).

Para la evaluación de las propiedades tecnológicas de las arcillas, referentes a su empleo como materia prima de la industria ladrillera del área de Popayán, seguimos la metodología indicada en la norma ICONTEC C4 60/68 y las recomendaciones establecidas en un estudio de factibilidad desarrollado por el BID (Arango & Gómez, 1968).

Los ensayos de resistencia mecánica de las probetas se practicaron en una máquina convencional marca Alfred J. Asmler de capacidad máxima 5 toneladas, del Instituto de Ensayos de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia (sede de Bogotá); se caracterizaron probetas conocidas a 1000 y 1150°C.

Análisis Mineralógico de la Fracción Arcilla

Los minerales arcillosos presentan características que no pueden desconocerse al hacer estudios de difracción de Rayos X, tales como el tamaño de sus partículas, el grado de cristalinidad de las mismas y la tendencia a una dirección de orientación preferencial. Además cuando se trata de arcillas naturales, la presencia en una misma muestra de mezclas de minerales arcillosos, con agentes cementantes, tales como materia orgánica y óxido de hierro, con componentes amorfos y con otros minerales especialmente cuarzo dificulta aún más el análisis difractométrico (Grim, 1968; Besoain, 1985; Malagón, 1979).

Por las razones anteriormente anumeradas las muestras fueron sometidas a tratamientos de separación y limpieza, a fin de obtener la fracción de partículas tamaño arcilla en condiciones apropiadas para la difracción. La separación de la fracción fina se hizo por sedimentación en medio líquido, empleando hexametáfosfato sódico como dispersante y los procedimientos de limpieza siguiendo la metodología de Jackson que puede sintetizarse así: eliminación de materia orgánica con peróxido de hidrógeno, eliminación de carbonatos con ácido acético diluido, eliminación de geles de hierro con ditionito sódico en presencia de citrato sódico y por último eliminación de geles de aluminio y silicio con carbonato de sodio (Besoain, 1985). Posteriormente las fracciones tratadas se sometieron a lavado con agua desionizada y luego con metanol y acetona.

Las fracciones así tratadas, de las 14 muestras seleccionadas inicialmente, se analizaron por difracción de rayos X; los difractogramas correspondientes se muestran en las figuras 2 y 3. Con base en este estudio previo seleccionamos 7 muestras que resultaron con una composición mineralógica más definida, a las cuales tomamos la siguiente serie de difractogramas:

- Fracción arcilla tratada homoionizada con Mg.
- Fracción arcilla tratada, homoionizada con Mg y solvatada con etilenglicol.
- Fracción arcilla tratada y calentada a 400°C.
- Fracción arcilla tratada y calentada a 600°C.

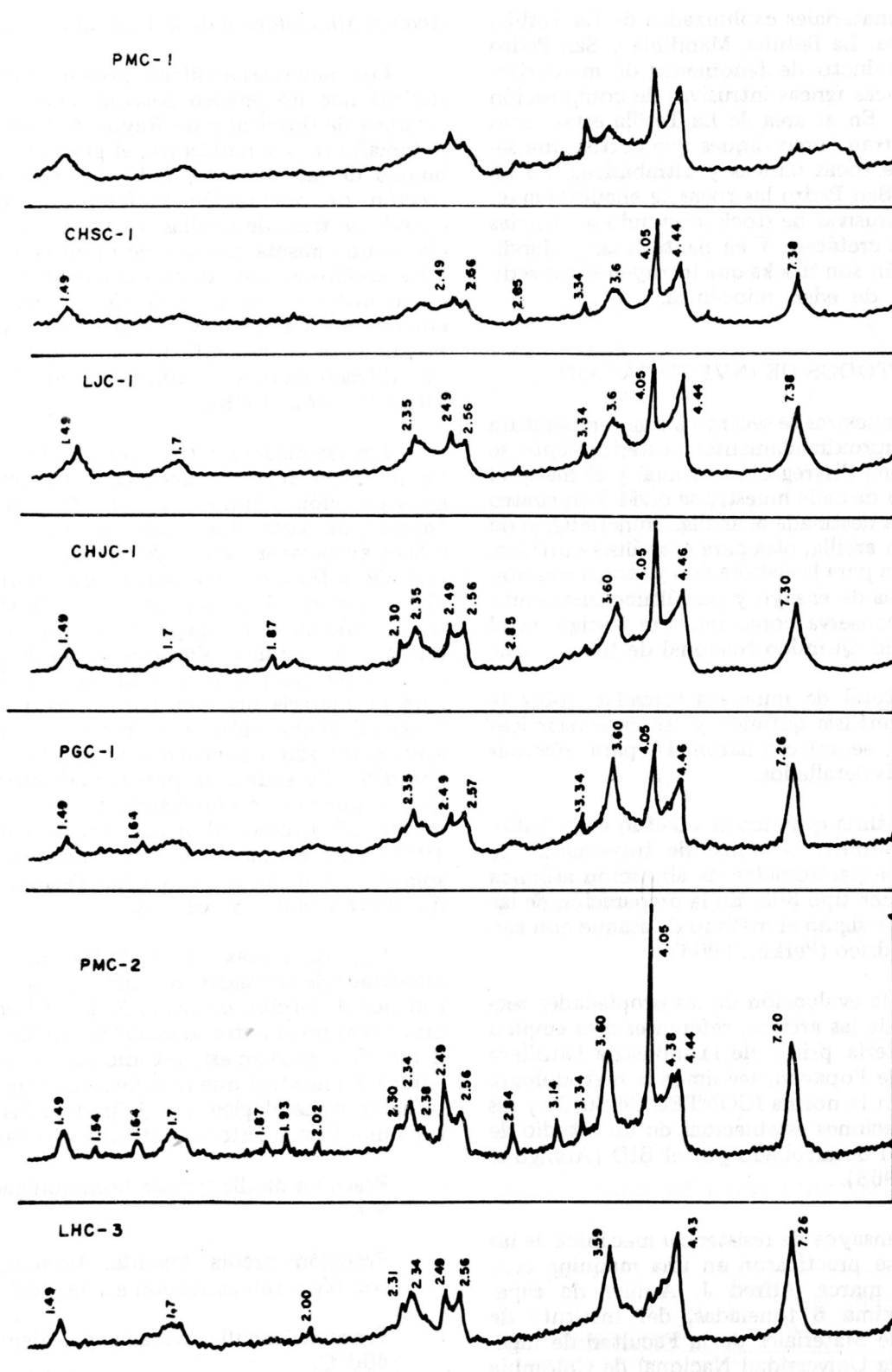


FIG. 2: Difractograma de la fracción arcilla tratada λ CU espaciado en Å .

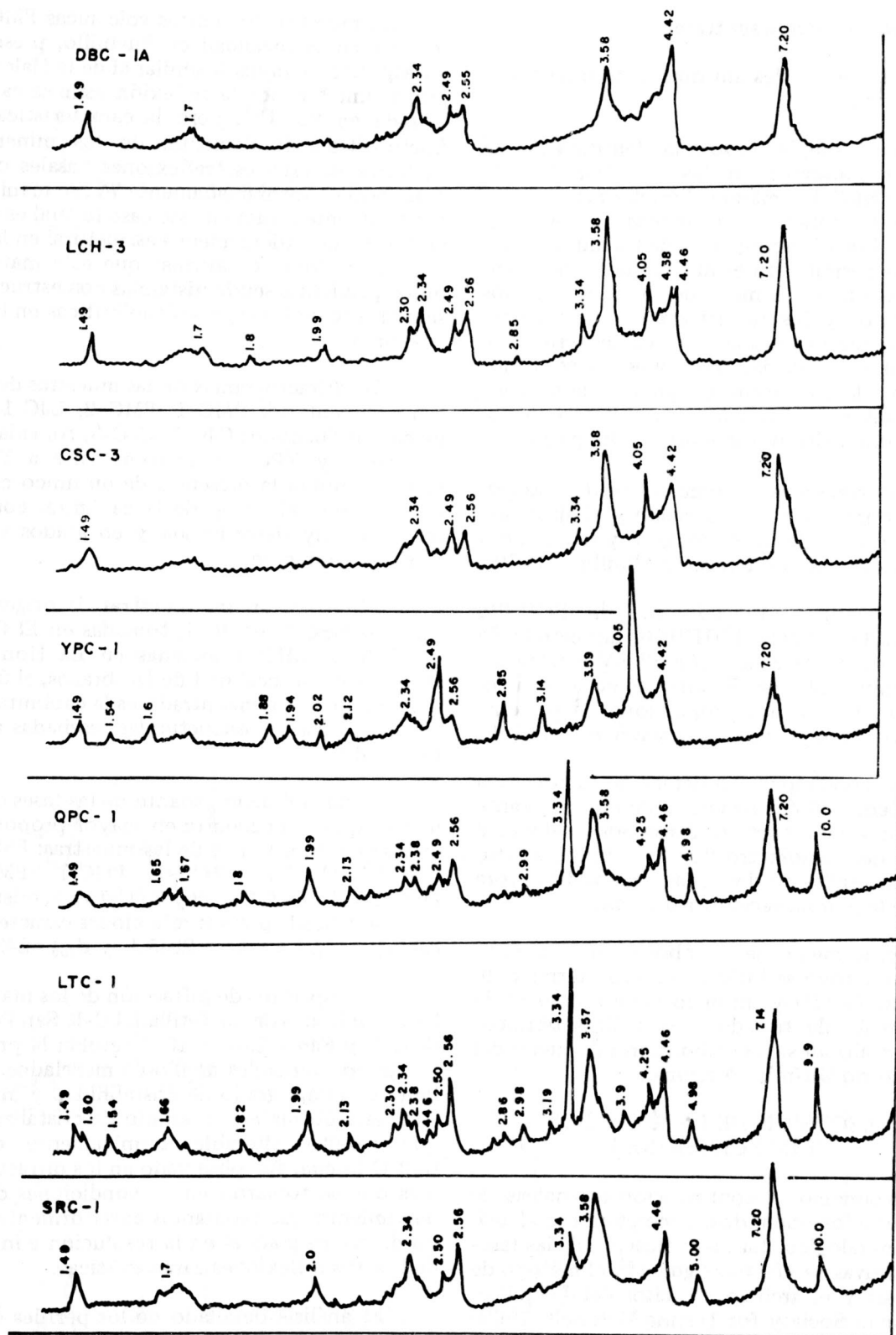


FIG. 3: Gráfica de fracción arcilla tratada λ CU espaciadas en Å .

- Fracción arcilla sin tratar.
- Muestras totales sin ningún tipo de tratamiento.

Como complemento a la identificación de las fases presentes en las muestras LTC-1, QPC-1 y SRC-1 tomamos difractogramas de las fracciones tratadas, calentadas a 800° y 1000° C. Los difractogramas de las muestras totales nos permitieron establecer la forma como están presentes los minerales arcillosos en los yacimientos y los difractogramas de las fracciones arcillosas sin tratar, los cuales resultaron idénticos a los de las fracciones tratadas, nos llevaron a la conclusión de que en nuestro caso las estructuras cristalinas no resultaron afectadas a causa de los tratamientos de limpieza.

Previamente a la toma de los difractogramas se verificaron la calibración y el ajuste del sistema óptico del difractómetro y se buscaron las condiciones de detección (Phillips, 1970).

El equipo empleado fue un PHILIPS NORELCO, modelo 12010106, anticátodo de cobre, voltaje de aceleración 32 KV y corriente de filamento 20 mA. El difractómetro está dotado con un detector proporcional de gas sellado cuyo voltaje de polarización es 1750 V.

Las condiciones de detección fueron: rata de conteo, 500 cuentas por segundo, constante de tiempo del integrador 5 segundos, velocidad de giro del goniómetro 20=1°/minuto, abertura de las rejillas de divergencia y antidispersora 1° y de la rendija receptora 0.2 mm.

Como medio de corroboración del análisis difractométrico se hicieron: análisis térmico diferencial (ATD) y químico cuantitativo de la fracción arcilla tratada. Los análisis térmicos fueron realizados en el laboratorio de suelos del Laboratorio Químico Nacional.

DISCUSION DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Exponemos a continuación el análisis de los resultados obtenidos, concretándose al análisis mineralógico. La identificación de las fases constitutivas se efectuó siguiendo el método de Hanawalt y el archivo de datos del J.C.P.D.S. (American Society for Testing Materials, 1969) así como también una guía para la identificación de minerales arcillosos de la Sociedad Geológica Americana (Carrol, 1970).

La muestra de cenizas volcánicas PMC-1, tomada en la localidad de Pueblillo, presenta un espectro de rayos X similar al de la Haloisita principalmente por la reflexión asimétrica detectada en 20=13°; pero la característica difractométrica fundamental de los minerales caoliníticos, esto es, reflexiones basales cuyo espaciado es aproximadamente 7Å, se manifiesta sumamente difusa en este caso lo cual es producto del desordenamiento estructural en la dirección c. Podemos afirmar que este material posee partículas pseudocristalinas con estructura similar a la de las especies caoliníticas en la dirección b.

Los difractogramas de las muestras de origen sedimentario: PMC-1, PMC-2, LJC-1, tomadas en Pueblillo; CJC-2, CJC-3, tomadas en Calicanto, y YPC-1 correspondiente a Yanacónas, denotan la presencia de un único mineral arcilloso del grupo de la caolinita, con estructura muy desordenada y en grados variables de hidratación.

Asimismo, en las muestras de origen residual: CHSC-1, CHJC-1, tomadas en El Charco; LHC-1, LHC-3 tomadas en La Honda y DBC-1A de la localidad de Dosbrazos, el único mineral arcilloso encontrado es la caolinita con las características estructurales reseñadas anteriormente.

El mineral acompañante de las fases caoliníticas que se encuentra en mayor proporción en las fracciones finas de las muestras: PMC-1, CHSC-1, LJC-1, CHJC-1, PGC-1, PMC-2, DBC-1A, LHC-3, CJC-3 y YPC-1 es la cristobalita identificada por sus reflexiones características: $d_{011}=4,04 \text{ Å}$; $d_{02}=2845 \text{ Å}$ y $d_{200}=2489 \text{ Å}$.

Los espectros de difracción de los materiales caolinizados de La Tetilla, LTC-1, San Pedro, QPC-1, y Santa Rosa SRC-1 revelan la presencia de dos minerales arcillosos mezclados: caolinita con bajo grado de cristalinidad y muscovita, esta última en un estado de cristalización que resultó alterable térmicamente desde 600°C lo cual fue observado en los difractogramas que se tomaron en las condiciones de calentamiento que reseñamos anteriormente, por un deterioro gradual en la resolución e intensidad de sus reflexiones características.

El análisis detallado de los perfiles de difracción que se obtuvieron para las muestras totales y su comparación con los de las fracciones finas, indica la presencia en los yacimientos de

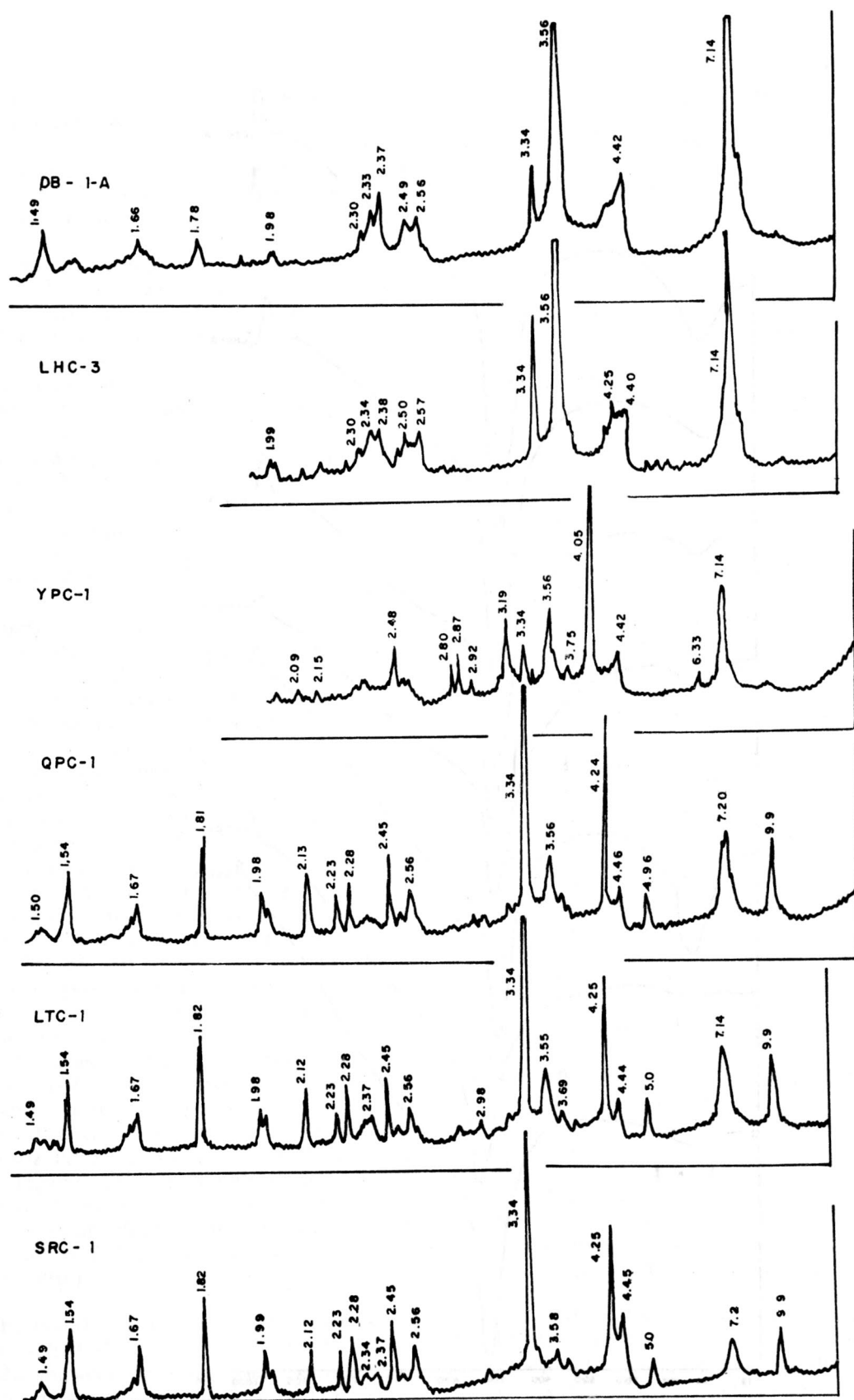


FIG. 4: Difractogramas de las muestras totales λ CU espaciados en Å.

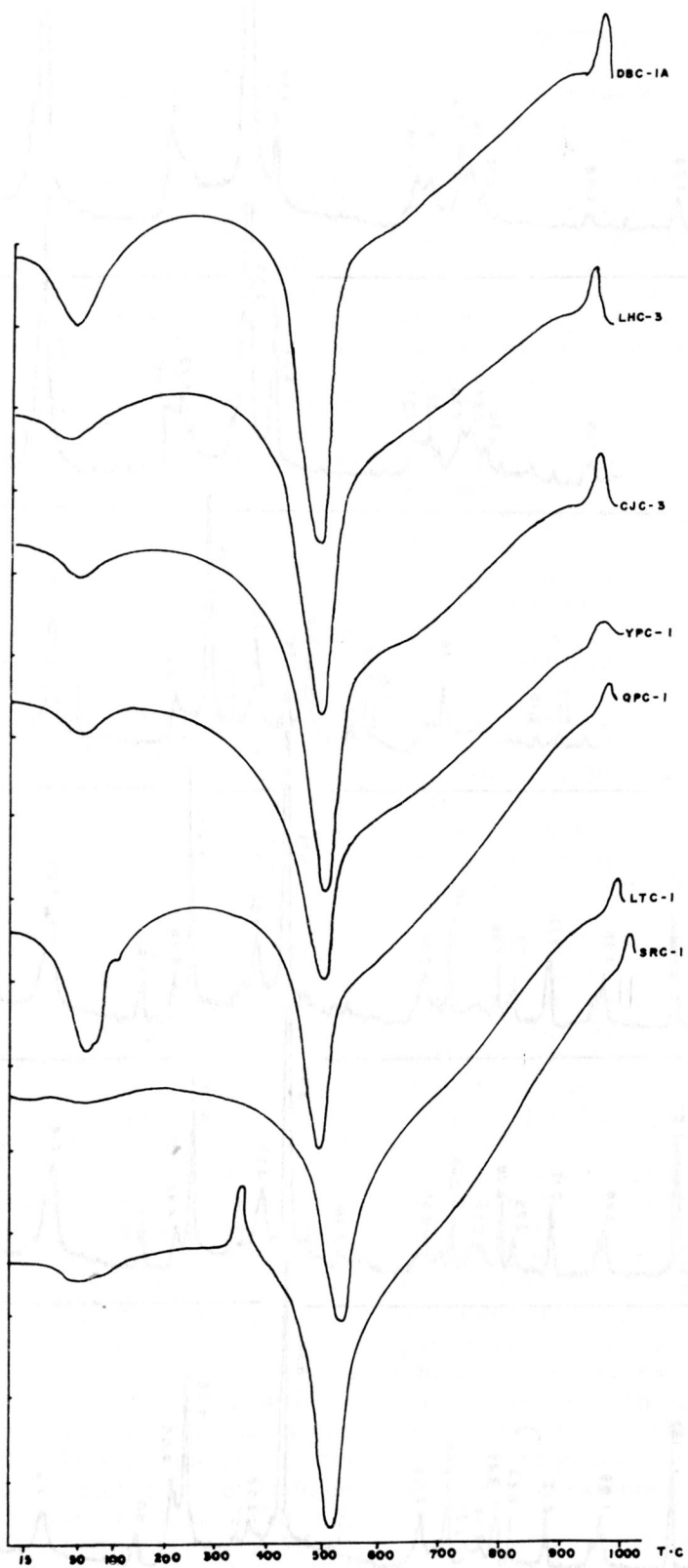


FIG. 5: Curvas de análisis térmico diferencial.

partículas con distintos grados de cristalización. Específicamente en las muestras LHC-3, DBC-1A y YPC-1 los difractogramas totales mostraron una mejor resolución y un mayor número de reflexiones debidas precisamente a las partículas mejor cristalizadas.

En las muestras LHC-3 y DBC-1A los espectros de las muestras totales revelan la presencia en estos yacimientos de agregados de partículas consolidadas en la dirección de orientación preferencial, lo cual origina múltiples reflexiones basales que a su vez da lugar a la elevada intensidad que se observa en los picos característicos $d_{001} = 7.14 \text{ \AA}$ y $d_{002} = 3.56 \text{ \AA}$. Tales agregados posiblemente están cementados con óxidos de hierro (obsérvese su contenido en la Tabla 1) los cuales dan a estos materiales su coloración rojiza y determinan algunas de sus propiedades tecnológicas; por ejemplo, su elevada plasticidad.

Aparte de los aspectos mencionados, la resolución e intensidad de las reflexiones así como también la forma del perfil de difracción señalan que los minerales caoliníticos tienen variaciones estructurales semejantes en todos los yacimientos. La fase caolinítica mejor cristalizada se encontró en el yacimiento de La Tetilla (muestra LTC-1) pero está mezclada con cuarzo y muscovita. En las demás fases caoliníticas las alteraciones estructurales pueden deberse a sustituciones isomórficas a las que podría dar lugar el óxido de hierro remanente en las fracciones luego de efectuados los tratamientos de limpieza (Tabla 3) o también a la presencia de geles de hierro difícilmente removibles como los descritos por Greenland (Greenland, 1975), los cuales al encontrarse adheridos a las superficies arcillosas facilitarían el desplazamiento y las rotaciones de las capas aluminosilíceas. Por último debido a que una de las causas más importantes de la baja resolución de los espectros de difracción es el tamaño de las partículas, en especial cuando se emplea el método de polvo, juzgamos que el tamaño de los cristallitos constitutivos de nuestras fracciones finas es menor que el tamaño óptimo para la difracción que es del orden de las micras (Azaroff & Buerger, 1968).

Observando los espectros de difracción de la muestra SRC-1 vemos que las características de la fase micácea de la muestra total se identifican con muscovita en tanto que en la fracción arcilla la deformación del perfil de difracción

la hace más identificable con illita. Esto evidencia la asociación entre estas fases reportada por Grim (Grim, 1968), según la cual la illita es producida por degradación estructural de la muscovita cuando esta última se encuentra en las arcillas formando parte de las fracciones menores.

La diferencia genética de los yacimientos se hace evidente también en el estudio difractométrico. En todas las muestras que se tomaron en Popayán, zona de origen volcánico, detectamos cristobalita abundante, mientras que en todas las muestras de caolines encontramos cuarzo en elevada proporción lo que indica su paragénesis a partir de rocas de composición tonalítica, como se indicó inicialmente.

Los análisis químicos efectuados (Tablas 1 y 3) son consistentes con los análisis mineralógicos arriba expuestos.

Los porcentajes de alúmina y sílice presentes en las muestras monominerales están dentro del rango correspondiente a minerales caoliníticos; (Besoain, 1985; Brown, 1961); los valores del porcentaje de pérdidas por calcinación son característicos de minerales arcillosos de red tipo 1:1. Los contenidos de sílice son altos en las muestras YPC-1, OPC-1, LTC-1 y SRC-1 que reportaron alto contenido de cristobalita la primera y de cuarzo las demás. En las muestras con contenido de fases micáceas el análisis químico reportó un contenido apreciable de óxido de potasio, tanto en el análisis de las muestras totales como en el de las fracciones tratadas, lo que justifica su identificación como fase muscovítica.

Las curvas obtenidas en el ATD confirman el análisis mineralógico efectuado como también la baja cristalinidad de las partículas que mencionamos anteriormente, tipificadas por la perfección estructural y el tamaño de las partículas. Las partículas con bajo grado de cristalinidad se alteran térmicamente en un amplio rango de temperaturas y la mayor intensidad de sus reacciones endo y exotérmicas ocurre siempre a temperaturas inferiores con respecto al valor típico de las especies bien cristalizadas.

En todas las curvas de ATD que tomamos se observan las reacciones térmicas típicas de la caolinita; pero estas abarcan un amplio rango de temperatura de calentamiento; la mayor intensidad de la reacción de deshidroxilación

TABLA 1: Análisis químico de las muestras totales

MUESTRA	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Hum 105° C	%PER- DIDAS 1000° C
No.	%	%	%	%	%	%	%	%	
LFC-1	39,38	31,54	10,01	0,17	0,17	0,12	0,07	2,26	15,48
LFC-2	48,37	32,49	5,22	0,04	0,12	0,11	0,14	0,60	12,40
LJC-1	48,16	18,71	3,49	0,17	0,13	0,36	0,35	6,02	11,84
CJTC-1	43,45	37,02	1,24	0,15	0,13	0,19	0,11	0,18	17,36
CHSC-1	46,37	27,77	4,66	0,41	0,33	0,43	0,18	7,26	12,72
CHJC-1	49,46	29,47	4,46	0,18	0,36	0,78	0,51	3,16	11,64
CHJC-2	48,90	32,74	4,16	0,11	0,01	0,18	0,17	0,56	12,68
CHBC-1	58,86	24,28	2,09	2,55	0,70	0,28	1,23	1,18	8,50
CHBC-2	57,79	24,32	3,72	2,41	0,60	0,48	1,28	1,08	8,04
DBC-1	48,59	30,79	4,69	0,09	0,07	0,07	0,88	1,88	12,26
DBC-1A	50,53	31,43	4,22	0,20	0,06	0,07	0,16	1,14	12,32
DBC-2	43,06	30,46	8,74	0,46	0,28	0,36	0,20	1,22	14,98
DBC-3	50,21	32,16	3,85	0,18	0,28	0,66	0,40	0,46	12,04
LHC-1	50,09	32,08	4,02	0,07	0,10	0,18	0,23	1,18	12,10
LHC-3	51,70	31,26	4,40	0,02	0,25	0,11	0,46	0,06	12,06
LHC-4	62,93	22,86	1,47	0,48	0,30	1,44	0,86	0,34	8,72
YPC-1	62,29	22,96	2,16	1,34	0,43	2,08	0,86	0,58	6,86
YPC-2	58,83	23,62	0,96	0,25	0,15	0,97	0,57	4,96	8,98
PSC-1	54,37	28,33	1,16	0,13	0,12	0,58	0,52	3,06	11,20
PSC-2	47,82	27,02	1,49	0,17	0,12	0,57	0,43	2,00	19,70
PSC-3	48,26	33,34	1,62	0,07	0,10	0,16	0,20	2,77	12,68
PSC-4	38,53	31,17	10,15	0,04	0,08	0,12	0,06	6,38	13,84
CJC-2	50,50	30,98	2,57	0,21	0,22	0,50	0,35	1,72	12,30
CJC-3	46,50	30,03	2,19	0,20	0,18	0,34	0,29	7,40	12,44
CJC-4	48,16	32,11	2,53	0,27	0,20	0,40	0,28	3,38	12,50
CJC-5	51,16	29,84	1,90	0,38	0,30	0,94	0,55	4,46	10,48
PMC-1	38,40	30,80	10,29	0,18	0,35	0,09	0,05	8,04	11,38
PMC-2	49,96	28,47	7,88	0,05	0,10	0,18	0,08	1,68	11,28
PGC-1	60,79	22,67	2,09	1,79	0,70	1,87	0,73	2,12	6,62
BPC-1	64,00	25,50	0,76	0,03	0,08	0,11	0,34	0,94	8,46
BPC-2	67,64	27,10	1,37	0,04	0,10	0,12	0,67	0,67	7,62
MBC-1	72,80	18,13	0,84	0,04	0,20	1,75	2,65	0,42	3,48
MBC-1A	70,21	19,64	1,15	0,03	0,22	0,16	3,31	0,50	4,50
MBC-2	69,78	20,02	1,10	0,04	0,20	0,13	2,55	0,38	5,08
MBC-3	69,13	20,78	1,09	0,03	0,17	0,15	1,54	0,74	6,44
LTC-1	71,09	20,11	0,92	0,06	0,27	0,18	2,43	0,20	5,12
LTC-2	70,62	19,64	0,63	0,07	0,30	0,16	2,40	0,18	5,40
QPC-1	68,49	21,16	1,06	0,03	0,27	0,19	2,43	0,43	5,88
QPC-2	69,16	19,83	1,19	0,03	0,27	0,13	2,67	0,24	5,86
QPC-3	69,85	19,37	1,14	0,03	0,35	0,15	2,65	0,30	5,48
SRC-1	69,78	20,59	0,73	0,03	0,17	0,16	2,51	0,32	5,40
SRC-2	69,56	20,78	0,90	0,04	0,18	0,18	2,29	0,78	5,30
SRC-3	69,60	20,97	0,84	0,06	0,18	0,16	2,23	0,40	5,54
SRC-4	69,66	19,87	0,60	0,03	0,13	0,15	2,31	0,90	5,78
SRC-5	68,06	18,89	3,07	0,03	0,17	0,15	2,65	1,16	5,28

TAB. 2: Fases cristalinas identificadas en la fracción arcilla de las muestras seleccionadas.

MUESTRA	CAOLINITA	CRISTOBALITA	CUARZO	MICA
PMC-1	P	X	X	
CHSC-1	X	X	X	
LJC-1	X	X	X	
CHJC-1	X	X	X	
PGC-1	X	X	X	
PMC-2	X	XX	X	
LHC-1	X			
DBC-1A	X			
LHC-3	X	X	X	
CJC-3	X	X	X	
YPC-1	X	XXX		
QPC-1	X		XXX	X
LTC-1	X		XXX	X
SRC-1	X			X

NOTA: En esta tabla el término caolinita se emplea en su significado genérico, para designar el subgrupo mineral al cual pertenecen las fases caolíníticas identificadas (5). En la muestra PMC-1 el símbolo P indica que no podemos asegurar que se trate de una fase caolínítica por la dispersión que mostró su difractograma.

Para la cristobalita y el cuarzo, fases que se encuentran en la naturaleza en forma bien cristalinizada, hacemos una evaluación semicuantitativa del contenido en cada muestra, teniendo como criterio el número de máximos que se obtuvieron en los difractogramas y su intensidad para estas fases tenemos: X porcentaje bajo, XX porcentaje elevado.

TAB. 3: Análisis químico de la fracción arcilla tratada.

MUESTRA	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	K ₂ O %	NaO %	Hum %	Perd. %
DBC-1A	42,38	36,83	1,23	0,014	0,017	0,036	0,081	6	13
LHC-3	45,16	35,89	2,36	0,014	0,216	0,434	0,108	2,3	12,4
CJC-3	44,73	36,08	2,00	0,014	0,099	0,096	0,189	3,4	12,6
YPC-1	63,78	22,78	1,57	0,014	0,066	0,217	0,323	3	9
QPC-1	44,52	30,60	1,19	0,014	0,332	2,975	0,256	9	10
LTC-1	49,87	34,95	1,34	0,014	0,282	2,759	0,018	1,8	9,2
SRC-1	46,02	35,32	1,14	0,014	0,99	2,494	0,081	2,6	11

ocurre en todas las muestras a los 520°C, temperatura muy baja si se considera el valor de 570°C reportado por Besoain y otros autores (Besoain, 1985, Van Olpen & Fripiat, 1970) para las especies caoliníticas b-desordenadas (desordenadas estructuralmente en la dirección b de la celda elemental). Por último, el estado de hidratación de las fases caoliníticas se confirma en el ATD por la forma de las curvas en la región de la primera reacción endotérmica; la fase que resultó menos hidratada es la correspondiente a la fracción arcilla de la muestra LTC-1, que como se indicó es la mejor cristalizada de todas las caolinitas aquí estudiadas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó con el patrocinio conjunto de Ingeominas y de la Universidad Nacional. Los autores expresan su reconocimiento al Dr. José María Velásquez, director del Laboratorio Químico Nacional por el permanente apoyo al proyecto, a los Químicos Carlos Cedeño y Sergio Gaviria del Laboratorio Químico Nacional por la realización de los análisis químico-cuantitativos y térmico-diferenciales.

BIBLIOGRAFIA

ARANGO, O. G., y GOMEZ, D. F., 1968: Ladrillos de Arcilla. Estudios de Factibilidad. Banco Interamericano de Desarrollo. Bogotá.

AZAROFF, L. V., y BUEGER, M.J. 1968: The Powder Method in X-ray Crystallography. New York, Mc-Graw Hill.

BESOAIN, E., 1985: Mineralogía de Arcillas de Suelos. Instituto Interamericano de la Cooperación para la Agricultura. San José de Costa Rica.

BROWN, G., 1961: The X-ray Identification and Crystal Structures of Clay Minerals. Mineralogical Society - Clay Minerals Group. London.

CARROLL, D., 1970: Clay Mineral - A Guide to their X-ray Identification. The Geological Society of America. California.

GRIM, R. E., 1968: Clay Mineralogy. New York, Mac-Graw Hill.

GREENLAND, D. J., 1975: Charge characteristics of some Kaolinite Iron Hydroxide complex. Clay Minerals v. 10 pp. 407-416.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS, 1969: Inorganic Index to the Powder Diffraction File. Joint Committee on Powder Diffraction Standards.

MALAGON, D., 1979: Fundamentos de Mineralogía de Suelos. Centro de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. Mérida, Venezuela. t. 1

MILLOT, G., 1964: Geologie de Arcillies. Paris, Masson et Cie.

PERKIN ELMER CORPORATION, 1966: Analytical Methods for Atomic Absorption Spectrometry.

PHILIPS ELECTRONIC INSTRUMENTS, 1970: Wide Range Goniometer. Instruction Manual.

VAN OLPEN, E., y FRIPIAT, J. J., 1970: Data Handbook Clay Materials and other non Metallic Minerals. Thermal Analyses Rc. Mckensie & Caillere.

Manuscrito recibido: Agosto 15 de 1987
Dirección de los autores:
Juan de Dios Varela M. Ph.D,
Gloria Cobaleda C. Ms.C
Departamento de Física
Universidad Nacional de Colombia, Ciudad Universitaria, Bogotá.
Abigail Orrego.
Ingeominas, Regional Popayán, Popayán.