

CONTRIBUCION AL ESTUDIO GEOQUIMICO DE LAS ARCILLAS BAUXITICAS DEL DEPARTAMENTO DEL CAUCA

por

Mario Méndez*, Orlando Vargas Zárate**,
Inés Bernal de Ramírez***

Resumen

Méndez, M., O. Vargas & I. Bernal de Ramírez: Contribución al estudio geoquímico de las arcillas bauxíticas del Departamento del Cauca. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 18 (69): 153-158, 1991. ISSN 0370-3908.

Se caracterizan química y mineralógicamente arcillas bauxíticas procedentes de dos regiones cercanas situadas en los departamentos de Cauca y Valle. Su composición varía entre los siguientes intervalos: Al_2O_3 33% - 47%, SiO_2 14% - 45%, Fe_2O_3 7% - 17%

El mineral predominante es la gibsita (gama $\text{Al}(\text{OH})_3$); también presentan cristobalita, predominante en baja cantidad y goethita como mineral de hierro cristalino y metahaloisita como mineral arcilloso asociado. Como mineral amorfo se detectaron principalmente óxido de hierro y alofano. Las muestras se pueden clasificar según la International Bauxite Association, IBA, como lateríticas tipo guyana o kindia según su contenido de hierro.

Abstract.

The chemical and mineralogical characterization of some samples of bauxitic clays from two close regions, Cauca and Valle are presented. The chemical composition falls within the following range: Al_2O_3 33% - 47%, SiO_2 14% - 45%, Fe_2O_3 7% - 17%. The predominant mineral is Gibbsite (Gamma $\text{Al}(\text{OH})_3$); Cristobalite is also present in low quantities, as well as Goethite, as a crystalline iron mineral and metahalloysite as an associated clay mineral. Iron oxide and allophane were detected as amorphous minerals. The samples was classified according to the International Bauxite Association, IBA, as lateritic Guyana type or Kindia according to the iron content.

Introducción

El propósito de contribuir al estudio de las arcillas bauxíticas del Departamento del Cauca, para su explotación industrial, tiene su punto de partida en el interés presentado por INGEOMINAS, Regional Popayán, donde se realizó un trabajo geológico que incluye la cartografía del horizonte bauxítico y el cálculo de reservas cuyo valor se estima en ochenta millones de toneladas (Rosas 1976). La falta de

* Químico Universidad Nacional de Colombia.

** Químico, Jefe División de Geoquímica y Minerales, Subdirección Investigaciones Químicas, Instituto Nacional de Investigaciones en Geociencias, Minería y Química Ingeominas, Apartado 4865, Santafé de Bogotá, D.C.

*** Químico, Académico de Número. Profesora Departamento de Química Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia. Santafé de Bogotá, D.C.

utilización de estos recursos se debe en parte a falta de información sobre la constitución mineralógica de los depósitos y al desconocimiento de la forma de aprovecharlos.

Materiales utilizados

Para la realización del trabajo se elaboró un programa de perforaciones en el área de las planchas 342 – II, IV – B, D – (1, 2, 3, 4) del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, que corresponden a los municipios de Morales y Cajibío de donde se extrajeron 25 muestras de diferentes sitios, de las cuales fueron posteriormente elegidas 12 para el análisis. Ver Fig. 1 y Tabla 1.

Se seleccionaron estas 12 por ser muestras frescas, es decir, se tomaron después de remover la incipiente capa arable y se descartaron las otras por corresponder a sitios donde se habían realizado cortes (presentaban una textura más gruesa) implicando esto que se hubiesen presentado modificaciones físicas, químicas o mineralógicas por contacto con el exterior, principalmente agua-lluvia o diversas impurezas.

Las muestras elegidas cubren un área de alrededor de 300 km², los cuales aún no han sido ex-

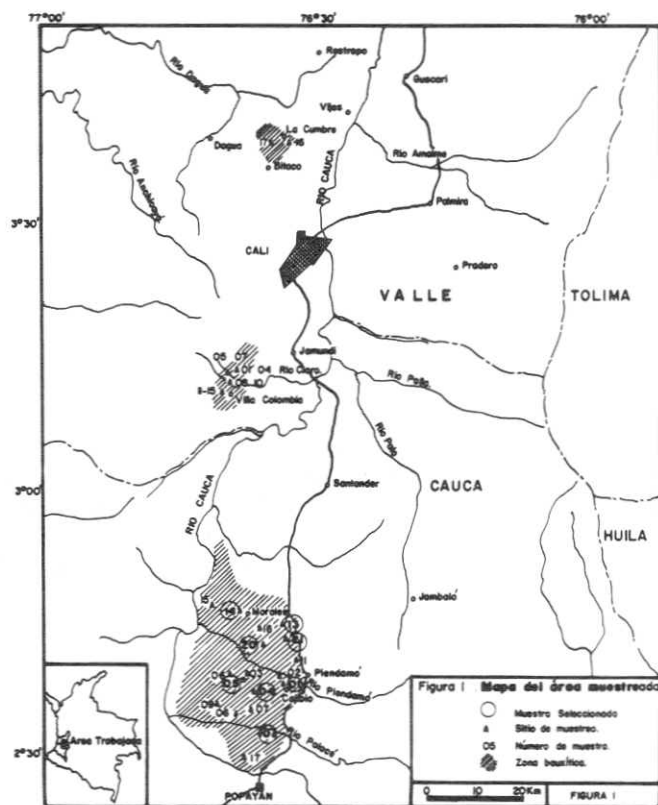


Figura 1. Mapa del área estudiada

Tabla 1

Localización de las Muestras

Muestra	Plancha	Coordenadas		Vía	Localidad
		X	Y		
OIC.	342-11-D-4	782.080	1.056.460	Carreteable Cajibío- la Granja	100 mts antes del puente so- bre quebrada la Pedragosa.
04B	342-11-D-3	781.190	1.052.450	Carreteable Cajibío- El Carmelo.	100 mts adelante de la es- cuela Cienagueta.
04C					
05B	342-11-D-3	780.970	1.047.740	Carreteable Cajibío- El Carmelo	Escuela la Primavera.
05C					
10B	342-IV-B-4	771.270	1.052.680	Carreteable la Capi- lla El Placer	Escuela la Rejoja
10C					
13C	342-11-B-3	794.450	1.051.190	Carreteable Pienda- mó – Morales.	Cruce con camino a que- brada Giga.
14B	342-11-B-1	797.280	1.049.320	Carreteable Morales- Sta. Rosa	Cruce con camino a que- brada Cañaverál.
14C					
20C	342-11-B-3	794.100	1.049.800	Carreteable San Isi- dro - Playa Rica.	200 mts antes de finca Matucha.
21C	342-11-B-4	792.530	1.053.670	Carreteable Pienda- mó - Morales.	Crucero Playa Rica.

plotados, pero la calidad de la arcilla es similar a otra localizada en el flanco oriental de la Cordillera Occidental en el Departamento del Valle del Cauca (San Antonio y La Cumbre), la cual ha sido empleada para la obtención de Sulfato de Aluminio para el tratamiento de aguas para acueductos y también ladrillos de uso local.

Caracterización de las muestras

Textura:

Se determinó según el método de Bouyoucos, descrito por Silva (1979). Los resultados se muestran en la Fig. 2.

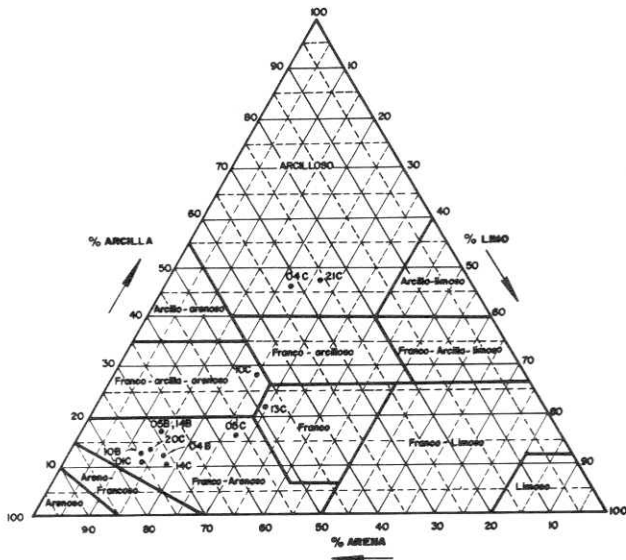


Figura 2. Diagrama de textura.

Análisis químico

Las muestras se analizaron para determinar su composición química y propiedades físico-químicas según los métodos empleados en la Subdirección de Investigaciones Químicas de INGEOMINAS, así: pH por el método de pasta saturada. Capacidad de intercambio catiónico por el método de Peech señalado por Silva y Olarte (1979); la cuantificación de los elementos aluminio, silicio, hierro, sodio, potasio, magnesio y calcio se efectuó por el método de absorción atómica sobre muestra disuelta con ácido fluorhídrico según lo describe Thomas (1976). Los elementos titanio y fósforo se determinaron por métodos colorimétricos clásicos, sobre muestras solubilizadas por fusión con tetraborato y metaborato de litio. Los resultados se consignan en las Tablas II y III.

Análisis Mineralógico

La “bauxita” es el nombre genérico de varios productos de meteorización química, principalmente óxidos hidratados de aluminio, con impurezas como sílice y óxidos de hierro.

Según diversos autores los óxidos de aluminio se presentan generalmente como gibsita (trihidrato), bohemita y diásporo (monohidratos) solos o en mezclas. Los minerales arcillosos como caolinitas y haloisitas así como la sílice en forma de cuarzo, son impurezas comunes en estos materiales. El hierro puede estar asociado como goethita, hematita y magnetita generalmente.

Tabla II
Análisis químico – Base seca.

MUESTRA	%Al ₂ O ₃	%SiO ₂	%Fe ₂ O ₃	%CaO	%MgO	%K ₂ O	%Na ₂ O	%P ₂ O ₅	%TiO ₂	%H ₂ O(-)
01C	42.50	20.57	11.01	0.13	0.42	0.48	0.10	0.10	0.11	23.03
04B	39.43	14.22	16.74	0.13	0.17	0.07	0.05	0.21	0.80	27.52
04C	33.15	41.45	9.89	0.03	0.13	0.20	0.09	0.04	0.12	14.25
05B	42.79	14.24	11.31	0.02	0.25	0.06	0.06	0.19	1.24	28.47
05C	45.64	20.43	10.69	0.05	0.25	0.20	0.10	0.17	1.32	24.26
10B	39.64	25.66	9.23	0.13	0.30	0.17	0.10	0.16	0.94	24.10
10C	37.68	31.07	11.14	0.06	0.17	0.14	0.09	0.20	1.45	18.14
13C	47.02	14.92	10.84	0.02	0.14	0.13	0.06	0.11	1.36	26.11
14B	38.62	19.47	13.63	0.23	0.50	0.09	0.09	0.23	1.26	24.63
14C	44.92	16.15	8.67	0.06	0.22	0.17	0.10	0.15	1.15	26.75
20C	47.20	15.62	7.91	0.03	0.16	0.14	0.09	0.13	1.34	27.81
21C	34.39	44.97	6.92	0.02	0.09	0.21	0.08	0.08	1.05	13.96
PNBS	56.81	5.82	5.59	0.27	0.02	0.07	0.05	0.15	2.33	28.90
AFLORAM	59.60	5.09	3.26	0.08	0.18	0.07	0.06	0.09	0.61	33.12

Tabla III
Propiedades fisicoquímicas.

MUESTRA	pH	CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO, CEC
01C	5.5	36.24
04B	5.4	33.39
04C	5.4	23.20
05B	5.0	36.35
05C	5.2	36.19
10B	5.7	42.70
10C	5.6	32.33
13C	5.7	28.50
14B	5.5	38.32
14C	5.5	38.09
20C	5.3	33.68
21C	5.1	30.66
$\overline{\text{pH}} = 5.41$		

Con el fin de determinar cuales minerales están presentes en las muestras se practicaron análisis térmicos, y exámenes por difracción de rayos x y espectroscopía IR. Los resultados obtenidos fueron semejantes en todas las muestras. Como ejemplo de los resultados se presentan en la Fig. 3 los espectros obtenidos con pastilla de KBr de las muestras 05B, 05C, 14C, 13C y 14B, en las Figs. 4 y 5 difractogramas de RX de las muestras 04C, 10C, 14B, 21C, 20C y 05B, y en las Figs. 6, 7 y 8 los termogramas de las muestras 21C, 01C y 10C.

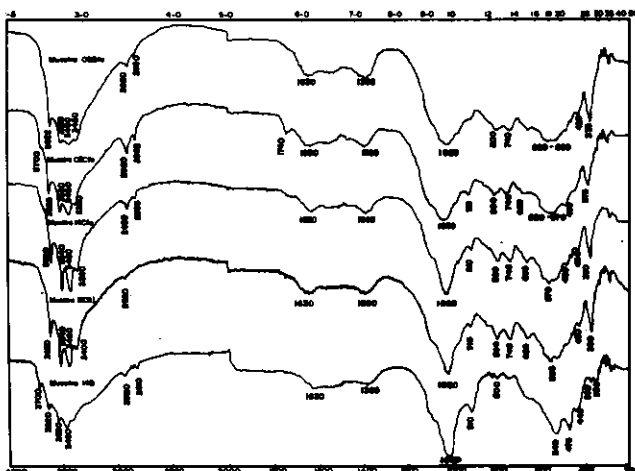


Figura 3. Espectros IR. Muestras 05B, 05C, 14C, 13C y 14B.

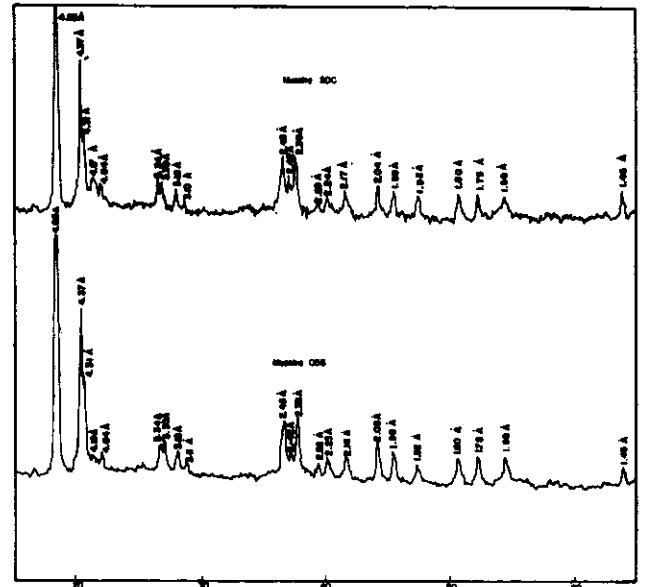


Figura 4. Difractogramas RX. Muestras 20C y 05B

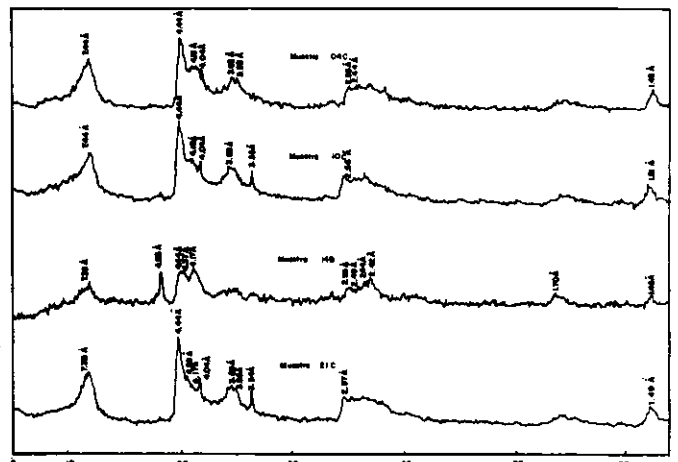


Figura 5. Difractogramas RX. Muestras 04C, 10C, 14B y 21C.

Cuantificación de la Meteorización

Según Kromberg y Nesbeii (1981), la meteorización química de las rocas es incongruente y un residuo meteorizado o suelo, reemplaza la cubierta de la roca. Debido a que la roca y sus minerales constituyentes son sistemas complejos, es difícil describir cuantitativamente su escisión química sin embargo, proponen que la meteorización química continental puede discutirse en relación con un diagrama que relaciona la medida del grado de descomposición de los feldespatos que está acompañada por la formación de minerales secundarios (ilitas, esmectitas, etc.) y que se define químicamente como la relación en porcentajes de:

$$\frac{(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}}$$

y la medida del enriquecimiento durante la meteorización de las fases de los óxidos de aluminio y si-

licio tales como la caolinita, el cuarzo y la gibsita que se define químicamente como la relación también en porcentaje de:

$$\frac{(\text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{K}_2\text{O})}{(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})}$$

La Fig. 9 muestra la curva de cuantificación de la meteorización de las arcillas bauxíticas estudiadas en relación con las presentadas por los autores mencionados para algunos minerales típicos.

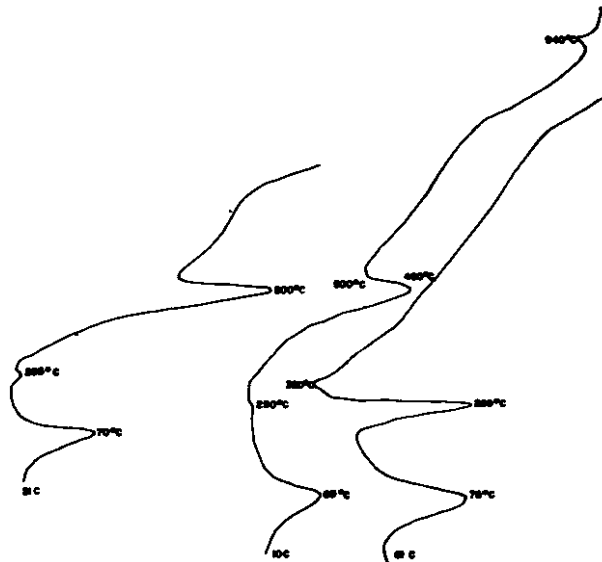


Figura 6. Termogramas ATD. Muestras 21C, 01C, 10C.

Discusión y Resultados

La mayoría de las muestras se clasifican como franco arenosas, pues tienen más del 50% de partículas de tamaño de arenas como se ve en la Fig. 2.

Las muestras presentan valores bajos para CaO, MgO, Na₂O, K₂O, P₂O₅ y TiO₂, encontrando que el sistema está básicamente definido en función de los 4 componentes mayores SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ y H₂O. Los valores de Al₂O₃ oscilan entre 33, 15% y 34.39% de las muestras con mayor fracción arcillosa hasta un 47.20% para la muestra 20C. El contenido de SiO₂ tiene valores altos para las muestras 04C y 21C. La presencia de titanio es mayor del 1%, valor que se asocia con una alta meteorización. Las principales impurezas son de hierro y sílice.

El valor promedio de pH es 5.4 lo que da características ácidas al yacimiento. Al observar los valores de pH y capacidad catiónica de cambio no podemos afirmar que exista relación definida entre ellos. En casi todas las muestras se presentan valores relativamente altos de C.I.C. lo cual puede atribuirse a que las bases cambiables son principalmente H⁺ y Al³⁺, intercambiadores agrupados como ácidos cambiable; esto está de acuerdo con el con-

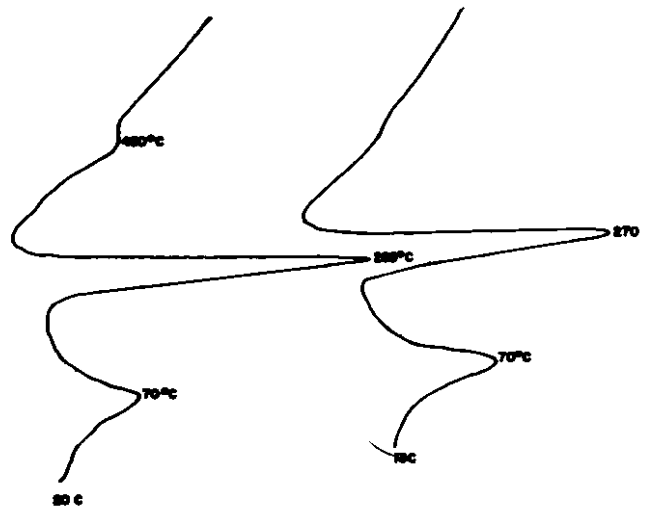


Figura 7. Termogramas ATD. Muestras 20C y 13C.

tenido de Al₂O₃ pues la muestra con menor contenido de aluminio presenta también menor C.I.C. (Tabla III). Por espectroscopía IR se determinaron las bandas a 3630, 3530 — 3540, 3460 y 3380 — 3400 cm⁻¹ características de Gibsita en las muestras 20C, 01C, 04B, 10B, 05B, 14C y 13C. A 1630 cm⁻¹ aparece la banda de deformación del agua y la banda a 2920 cm⁻¹ se debe probablemente a la vibración de OH de la goethita. La banda a 1020 cm⁻¹, bien definida para casi todas las muestras, se debe a la extensión Si—O y Al—O para material alofánico que bien puede ser aluminico pero también puede atribuirse a gibsita. La metahaloisita presenta bandas a 1095 y 1030 cm⁻¹ las cuales a veces no se resuelven bien y forman una sola banda achatada en esta región.

A 915 cm⁻¹ aparece la banda de deformación del Al—O—H en las muestras 04C, 10C, 21C y 05C que confirma la presencia de metahaloisita y a 910 cm⁻¹ la presencia de gibsita. A 800 cm⁻¹ aparece la banda de alfa-cristobalita y cuarzo. En la región de 520 a 580 cm⁻¹ aparece una banda amplia cuyo máximo con buena resolución se presenta a 550 cm⁻¹ en algunas muestras debida a la vibración Si—O—Al.

Por difracción de rayos x se pudieron identificar:

La gibsita por los picos en 4.85 — 4.37 — 4.33 — 3.31 — 3.19 — 2.46 — 2.42 — 2.38 — 2.05 — 1.99 — 1.92 — 1.80 y 1.75 Angstrom Å.

La metahaloisita por las reflexiones a 7.44 — 4.44 — 3.63 — 3.58 y 2.56 Å.

El mineral gohetita se puede identificar por las reflexiones a 4.16Å y a 2.67Å.

En los difractogramas se detectó la presencia de otros minerales de hierro como la hematita y la gohetita.

licio tales como la caolinita, el cuarzo y la gibsita que se define químicamente como la relación también en porcentaje de:

$$\frac{(\text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{K}_2\text{O})}{(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})}$$

La Fig. 9 muestra la curva de cuantificación de la meteorización de las arcillas bauxíticas estudiadas en relación con las presentadas por los autores mencionados para algunos minerales típicos.

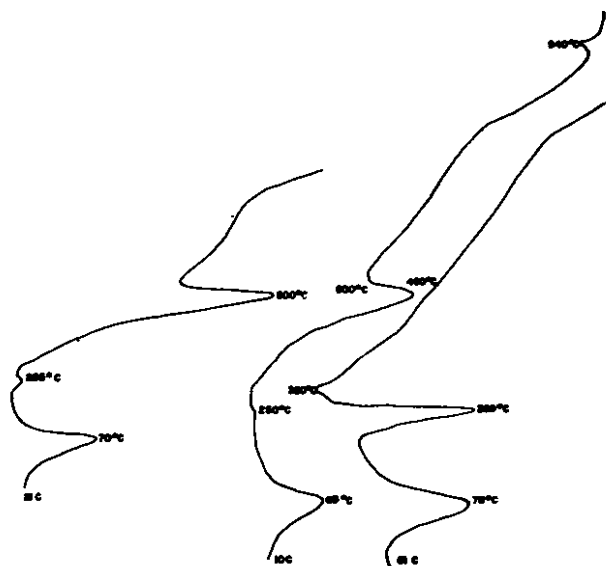


Figura 6. Termogramas ATD. Muestras 21C, 01C, 10C.

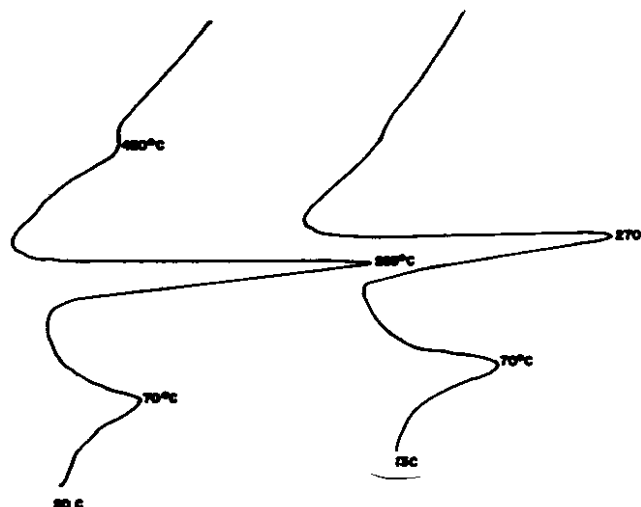


Figura 7. Termogramas ATD. Muestras 20C y 13C.

tenido de Al_2O_3 pues la muestra con menor contenido de aluminio presenta también menor C.I.C. (Tabla III). Por espectroscopía IR se determinaron las bandas a 3630, 3530 – 3540, 3460 y 3380 – 3400 cm^{-1} características de Gibsita en las muestras 20C, 01C, 04B, 10B, 05B, 14C y 13C. A 1630 cm^{-1} aparece la banda de deformación del agua y la banda a 2920 cm^{-1} se debe probablemente a la vibración de OH de la goethita. La banda a 1020 cm^{-1} , bien definida para casi todas las muestras, se debe a la extensión Si—O y Al—O para material alofánico que bien puede ser aluminico pero también puede atribuirse a gibsita. La metahaloisita presenta bandas a 1095 y 1030 cm^{-1} las cuales a veces no se resuelven bien y forman una sola banda achatada en esta región.

A 915 cm^{-1} aparece la banda de deformación del Al—O—H en las muestras 04C, 10C, 21C y 05C que confirma la presencia de metahaloisita y a 910 cm^{-1} la presencia de gibsita. A 800 cm^{-1} aparece la banda de alfa-cristobalita y cuarzo. En la región de 520 a 580 cm^{-1} aparece una banda amplia cuyo máximo con buena resolución se presenta a 550 cm^{-1} en algunas muestras debida a la vibración Si—O—Al.

Por difracción de rayos x se pudieron identificar:

La gibsita por los picos en 4.85 – 4.37 – 4.33 – 3.31 – 3.19 – 2.46 – 2.42 – 2.38 – 2.05 – 1.99 – 1.92 – 1.80 y 1.75 Angstrom Å.

La metahaloisita por las reflexiones a 7.44 – 4.44 – 3.63 – 3.58 y 2.56 Å.

El mineral gohetita se puede identificar por las reflexiones a 4.16Å y a 2.67Å.

En los difractogramas se detectó la presencia de otros minerales de hierro como la hematita y la gohetita.

Discusión y Resultados

La mayoría de las muestras se clasifican como franco arenosas, pues tienen más del 50% de partículas de tamaño de arenas como se ve en la Fig. 2.

Las muestras presentan valores bajos para CaO, MgO, Na_2O , K_2O , P_2O_5 y TiO_2 , encontrando que el sistema está básicamente definido en función de los 4 componentes mayores SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 y H_2O . Los valores de Al_2O_3 oscilan entre 33, 15% y 34.39% de las muestras con mayor fracción arcillosa hasta un 47.20% para la muestra 20C. El contenido de SiO_2 tiene valores altos para las muestras 04C y 21C. La presencia de titanio es mayor del 1%, valor que se asocia con una alta meteorización. Las principales impurezas son de hierro y sílice.

El valor promedio de pH es 5.4 lo que da características ácidas al yacimiento. Al observar los valores de pH y capacidad catiónica de cambio no podemos afirmar que exista relación definida entre ellos. En casi todas las muestras se presentan valores relativamente altos de C.I.C. lo cual puede atribuirse a que las bases cambiables son principalmente H^+ y Al_3^+ , intercambiadores agrupados como ácidos cambiable; esto está de acuerdo con el con-

Todas las muestras presentan cristobalita, manifiesta por la reflexión a 4.04 Å y cuarzo a 4.26 y 3.34 Å en diferentes proporciones.

El análisis térmico diferencial presenta picos endotérmicos por debajo de 100°C. atribuidos a humedad física.

En la región de 270°C el endotérmico puede atribuirse a la formación de bohemita (gama AlO(OH) según Val Olphen y Fripiat (1979). El comportamiento exotérmico alrededor de 320°C se atribuye a la presencia de trazas de materia orgánica. El pico endotérmico a 500°C se debe a la deshidroxilación asimétrica de la caolinita. Se presenta además un exotérmico a 940°C que se puede atribuir a un cambio de fase de la caolinita.

Por el método de análisis termogravimétrico se pudo determinar el contenido de gibsita en las muestras por pérdida de agua hidroxílica entre 200° y 300°C.

Para las muestras 01C, 13C y 20C cuyo porcentaje de pérdida de agua en esta región es de 11%, 15.5% y 17%, se calcula un porcentaje de gibsita de 31.8%, 44.9% y 50.5%, cuyo valor ascendente es proporcional al porcentaje de alumina calculado para la muestra total por análisis químico y aceptando que la deshidratación de la gibsita se efectúa según la reacción.



Este método de cálculo no es aplicable a muestras que presenten metahalosita como arcilla asociada.

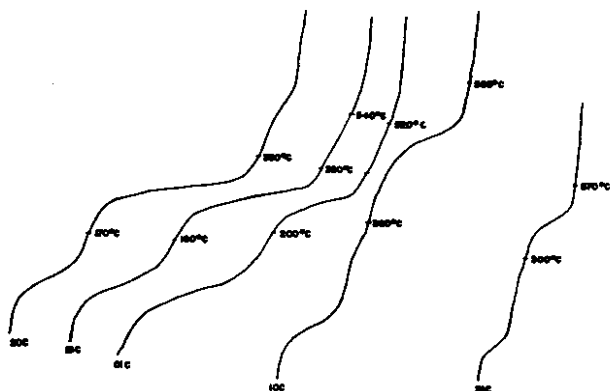


Figura 8. Termogramas TG. Muestras 21C, 01C, 10C, 20C, 13C.

Cuantificación de la meteorización

En la Fig. 9 se ubican las muestras estudiadas (puntos negros) en la curva de meteorización propuesta por Kronberg y Nesbitt (1981), para diferentes minerales (círculos).

Según esto se puede concluir que las muestras estudiadas presentan un alto grado de meteorización por lavado de bases acorde con las condiciones climatológicas y con tendencia a enriquecimiento en Al₂O₃. Las muestras 04C y 21C se encuentran en una etapa de menor meteorización, presentan mayor contenido de SiO₂ y textura más arcillosa lo que se corroboró por presencia en ellas de metahalosita.

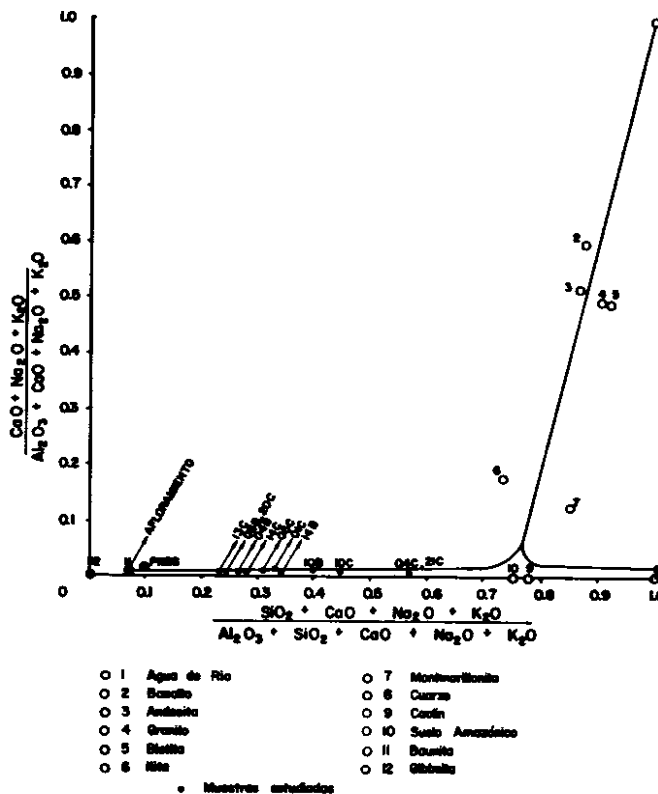


Figura 9. Curva de cuantificación de la meteorización de arcillas bauxíticas.

Bibliografía

Rosas, H. 1976. Estudio sobre los depósitos de bauxita en Cauca y Valle, especialmente en el área de Morales y Cajibío. Bol. Geol. Esp. INGEOMINAS, Bogotá 22 (1) 57-84.

Silva, F. & R. Olarte. 1979. Métodos analíticos de laboratorio de suelos. 4a. Ed. IGAC. Subdirección Agrícola. Bogotá, 357 pp.

Thomas, W. 1976. Laboratorio Minero Central de Análisis Geoquímico. Laboratorio Químico Nacional. INGEOMINAS. Bogotá, 27-50.

Kronberg, B.I. & N.W. Nesbitt 1981. Quantification of Weathering, soil geochemistry and soil fertility. Journal of soil Science. 32: 453-459.

Maciejewski, M. & W. Richarz 1985. Thermal analysis of bauxite. Chimia 39 (2-3): 68-72.

Tschovol'skaya, D.I. & B.M. Merenkova, 1976. Quantitative determination of the mineralogical composition of bauxites by an I.R. spectroscopic method. Zh. Prik Spektrosk. 25: 365.

Van Der Marel H.W. & H. Beutelspacher, 1976. Atlas of infrared spectroscopy of clay minerals and their admixtures. Elsevier Scientific Publishing Co. Amsterdam.

Van Olphen H., & J. Fripiat, 1979. Data Handbook for clay materials and other non metallic minerals. OECD, p. 55.