

# ESTUDIO Y ADAPTACION DE LOS METODOS DE ANALISIS QUIMICOS DE MATERIALES ARCILLOSOS

\* YOLANDA OVALLE DE BRAVO  
\*\* CARMENZA GÓMEZ

## SINOPSIS

Se estudiaron y adaptaron los métodos de análisis químicos de materiales arcillosos trabajando sobre 14 muestras de un yacimiento de la Sabana de Bogotá. Con base en los resultados de las determinaciones químicas, se calculó una composición mineralógica aproximada de las muestras tratadas.

Los valores promedios del contenido de los principales constituyentes de las muestras, indican que se trata de materiales sílico-aluminosos con un porcentaje de 48,23 de  $\text{SiO}_2$  y 25,95 de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Los valores de las desviaciones típicas respecto al contenido de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{Na}_2\text{O}$  muestran que éste no es uniforme, lo que se refleja en la composición mineralógica; los valores de las desviaciones típicas respecto al contenido de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  y  $\text{K}_2\text{O}$  indican homogeneidad de estos óxidos en las distintas muestras.

## ABSTRAT

The methods of chemical analysis were studied and adapted for clays materials, working on 14 samples of one ore deposit of the Bogota's plain. Based on the chemical determinations results, it was calculated an aproximated mineralogical composition.

---

\* Profesora Asistente. Sección de Química Analítica. Departamento de Química. Universidad Nacional de Colombia.

\*\* Profesora Asistente. Sección de Química Analítica. Departamento de Química. Universidad Nacional de Colombia.

The average values of the main constituents show that the samples are silico-aluminous materials with 48,23% of  $\text{SiO}_2$  and 25,95% of  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

The high standard desviation values of  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{Na}_2\text{O}$  show that the material composition is not homogeneous whereas the values of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  and  $\text{K}_2\text{O}$  indicate homogeneity of these oxides in the sample analyzed.

## INTRODUCCION

Para la adecuada utilización de los materiales arcillosos se hace necesario un conocimiento básico de ellos, el cual implicará la determinación de: la composición química, la composición mineralógica y las propiedades físicas, así como la correlación de los datos obtenidos.

Con el fin de estudiar y adaptar los métodos de análisis químicos y de calcular una composición mineralógica aproximada, con base en los resultados de las determinaciones químicas, se analizaron 14 muestras del yacimiento Mondoñedo (Mosquera-Cundinamarca).

Este trabajo hace parte del proyecto "Estudio Físico, Químico y Mineralógico de algunos yacimientos arcillosos de Colombia para su caracterización y aplicaciones industriales", que se realiza en el Departamento de Química de la Universidad Nacional.

## MUESTRAS

El yacimiento Mondoñedo ha sido estudiado en su aspecto geológico, por los doctores Thomas Van Der Hammen y Antonio Parada y según su publicación "Investigaciones de algunos yacimientos importantes de Diatomita, Caolín y Arcillas de la Sabana de Bogotá", éste tiene una gran potencialidad de caolines.

Las muestras utilizadas en este trabajo fueron recolectadas con la colaboración del doctor Jorge Brieva<sup>1</sup>.

El muestreo fue preliminar, limitándose a tomas superficiales en diferentes puntos de la zona ubicada entre los cerros de Las Cátedras y Mondoñedo, aproximadamente a tres kilómetros al Suroeste de los puentes de Balsillas y la Herrera, por la carretera que de la localidad de Mosquera conduce a la población de La Mesa (plancha 227 —IVC— Mosquera del IGAC).

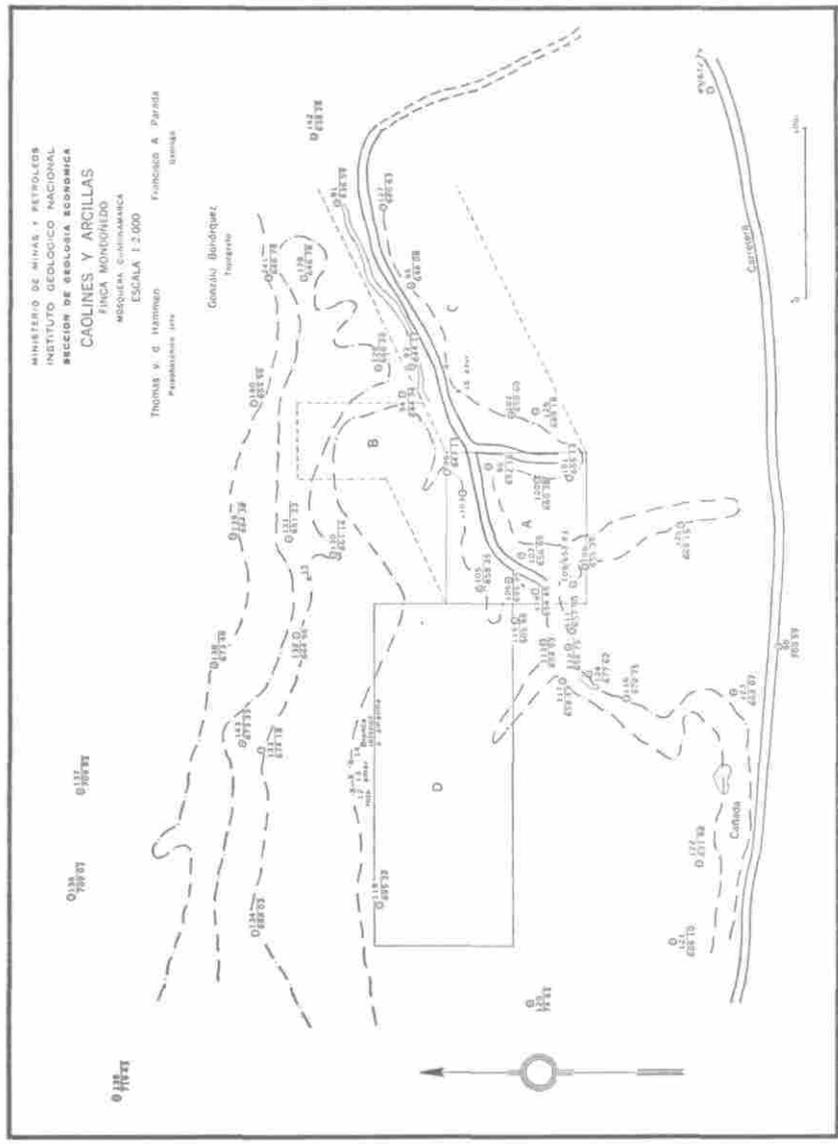
<sup>1</sup> Profesor del Departamento de Geología. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional.

MINISTERIO DE MINAS Y PETRÓLEOS  
 INSTITUTO GEOLOGICO NACIONAL  
 SECCION DE GEOLOGIA ECONOMICA  
**CAOLINES Y ARCILLAS**  
 FICHA MONOGRAFICA

REGION CAUCANIANA

ESCALA 1:2.000  
 THOMAS Y G. HARRISON  
 FUNDICION A PARADA  
 1946-1948

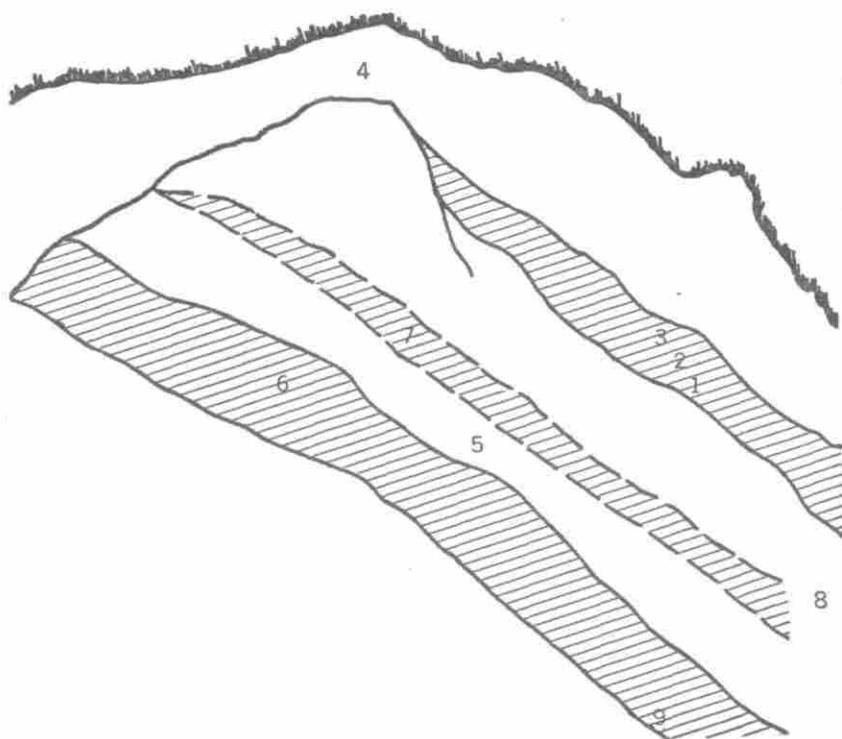
Geozolo Rodríguez  
 Topógrafo



## UBICACION DE LAS MUESTRAS

Como se aprecia en la gráfica 1, las muestras 10, 12, 13, 14 y 16, se tomaron aisladamente.

En el gráfico 2 los puntos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8, corresponden respectivamente a muestras que se tomaron en sentido vertical, en el área D (gráfico 1).



## Descripción de las muestras.

### Muestra

4. Arcilla blanca con intercalaciones de partículas amarillas.
3. Arcilla blanca con algunas intercalaciones de partículas amarillas y oscuras.
2. Arcilla blanca con zonas oscuras.
1. Arcilla carmelita con marcada oxidación.
7. Arcilla grisácea con marcada oxidación.
5. Arcilla grisácea con oxidación.
8. Arcilla blanca con zonas de oxidación.
6. Arcilla blanca amarillenta.
12. Arcilla rojiza.
13. Arcilla amarilla.
14. Arcilla blanca grisácea, con oxidación superficial.
10. Arcilla azulosa con trazas de oxidación.
15. Arcilla blanca con intercalaciones de partículas amarillas.

### ANÁLISIS QUÍMICOS DE LAS MUESTRAS

El estudio de la composición química de los materiales arcillosos requiere el análisis de los siguientes constituyentes básicos:

1. **SÍLICE** ( $\text{SiO}_2$ ) que se encuentra como uno de los componentes principales de las estructuras cristalinas de los minerales *Silíceos* y como sílice amorfa.

2. **ALÚMINA** ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), otro de los constituyentes principales de los minerales arcillosos, y que también puede encontrarse al estado libre ya sea en forma cristalina o amorfa.

3. **OXIDO FÉRRICO** ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) y óxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) que pueden estar libres, o sus cationes hacer parte de la red cristalina por reemplazo isomórfico del aluminio.

4. **POTASIO, SODIO, LITIO, CALCIO y MAGNESIO** que provienen de los feldspatos (sodio, potasio y calcio) o de las micas (potasio) o porque se presentan como cationes de intercambio.

El calcio y el magnesio también se pueden encontrar en la forma de carbonatos.

Además de las determinaciones mencionadas, se hace la de "pérdidas por calcinación", que se refiere exactamente a la pérdida de peso que sufre la muestra, cuando se calienta entre  $100^\circ$  y

1.000°C por pérdida del agua de constitución, materia orgánica y carbonatos, etc. En presencia de un bajo contenido de hierro y de materia orgánica, esta determinación representa en forma muy aproximada el contenido del agua de constitución.

#### PROCEDIMIENTO

##### *Disolución de las muestras.*

Los componentes se determinan sobre muestras secas, a las cuales se les ha retirado la humedad por desecación en la estufa a 100°C.

Para analizar sílice, hierro, titanio, calcio, magnesio y litio, las muestras se someten a una fusión alcalina utilizando una mezcla de carbonato de sodio y carbonato de potasio anhidros. El residuo obtenido al enfriar la masa fundida se trata con ácido clorhídrico con lo cual todos los constituyentes a excepción de la sílice pasan a la solución. En ésta se analizan los elementos mencionados, según los métodos descritos más adelante.

Los metales alcalinos, sodio y potasio, no pueden determinarse en la solución anterior por la interferencia del fundente. Estos se determinan de la solución resultante del ataque a las muestras secas por medio de una mezcla de ácido fluorhídrico y sulfúrico.

##### *Métodos de análisis.*

La escogencia de los métodos para cada una de las determinaciones responde al grado de concentración esperado de cada constituyente en la muestra y a la precisión y exactitud ofrecida por los métodos posibles.

$\text{SiO}_2$ . *Determinación gravimétrica.* Los minerales silíceos y la sílice amorfa por acción de un carbonato alcalino a elevadas temperaturas se transforman en mezclas de silicatos ricos en álcalis. En medio acuoso son relativamente solubles y se hidrolizan ampliamente obteniéndose el ácido silícico coloidal. Este por repetidos tratamientos con un ácido fuerte tal como el ácido clorhídrico y evaporación casi hasta sequedad se coagula y pierde humedad obteniéndose en forma insoluble. Este residuo se calcina a 1.000°C, para obtener la forma estable de  $\text{SiO}_2$ , y se pesa.

$\text{R}_2\text{O}_3$ . *Determinación gravimétrica.* A partir de la solución obtenida del ataque alcalino por precipitación con amoníaco a

pH 6,5 a 7, se obtienen los hidróxidos de aluminio, hierro, titanio y otros que pudieren precipitar en estas condiciones. La calcinación de este precipitado deja como residuo los óxidos correspondientes.

$Al_2O_3$ . *Determinación gravimétrica o valoración complejométrica.* Se encuentra por diferencia del valor obtenido en la determinación del  $R_2O_3$  y los pesos de  $Fe_2O_3$  y  $TiO_2$  calculados en las determinaciones separadas del hierro y del titanio.

Otro método alternativo es la valoración directa del aluminio por titulación con EDTA en presencia del hierro y del titanio. El aluminio, el hierro y el titanio reaccionan con una cantidad determinada de EDTA. Enseguida se enmascara el titanio por acción del ácido tartárico y se adiciona fosfato de amonio para evitar la formación de fluoruro de titanio que interfiere la determinación; el hierro y el aluminio permanecen enmascarados por el EDTA. En una primera titulación con solución de cloruro de zinc en presencia de ditizona se determina el EDTA que ha sido liberado, así como el exceso presente.

En seguida se hace pasar el aluminio a la forma de complejo por adición de fluoruro de sodio, complejo más estable que el Al-EDTA; la cantidad de EDTA liberado corresponde exactamente a la cantidad de aluminio presente. Por medio de una segunda titulación con solución de cloruro de zinc y en presencia de ditizona, se valora esta última cantidad de EDTA liberada y por tanto su correspondiente cantidad de aluminio. En este método el hierro se puede hallar por diferencia del volumen de EDTA total y el correspondiente a la suma de las dos titulaciones en el caso en que a este pH fijado solamente formen complejos con EDTA, el aluminio, el titanio y el hierro.

$Fe_2O_3$ . *Determinación colorimétrica.* El hierro tanto ferroso como férrico forman con el ácido sulfasalícílico en medio amoniacal (buffer-cloruro de amonio, hidróxido de amonio) un complejo muy estable de color amarillo del cual se puede medir su absorbancia a  $4.200A^\circ$ .

$TiO_2$ . *Determinación colorimétrica.* El titanio en presencia del agua oxigenada y en medio fuertemente ácido, forma un complejo (posiblemente de fórmula  $Ti^{2+}$  o  $TiO_2(SO_4)_2$  en medio sulfúrico) amarillo o naranja, dependiendo de la concentración del titanio, y cuyo espectro de absorción presenta su máximo a  $4.000A^\circ$ . Para evitar la interferencia del hierro (férrico) que también da soluciones amarillas, antes de formar el complejo de titanio se agrega ácido fosfórico para enmascarar el hierro.

CaO, MgO, Li<sub>2</sub>O. *Determinaciones por absorción atómica.* Debido a las bajas concentraciones presentes de éstos constituyentes se escogió este método por su alta sensibilidad.

Na<sub>2</sub>O y K<sub>2</sub>O. *Determinaciones por espectrofotometría de llama.* Este método es el más recomendado para valorar los metales alcalinos, por su alta precisión y exactitud.

#### COMPOSICION MINERALOGICA APROXIMADA

La composición mineralógica de una muestra indica el contenido relativo de los diferentes minerales (caolinita, montmorillonita, feldespatos, cuarzo, etc.) y de la fracción amorfa (alúmina sílice, óxido de hierro y óxido de manganeso libres, etc.), presentes en ella.

Para llegar a conocer la composición mineralógica muy aproximada a partir solamente de análisis químicos, se hace necesario cuantificar la fracción de cada constituyente que hace parte de los diferentes minerales, ya sean cristalinos o amorfos.

Lo anterior implica realizar a más del análisis elemental total, la remoción y análisis de los cationes intercambiables, las sales solubles, los carbonatos, los óxidos de hierro, manganeso y titanio libres, y la sílice y alúmina coloidales.

Las diferencias de solubilidad presentadas por las sustancias arcillosas en los ácidos, principalmente el clorhídrico y el sulfúrico, y en las bases como el hidróxido de sodio y carbonato de sodio permiten la remoción selectiva de éstos.

La determinación de los constituyentes (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, ... etc.), en las diferentes soluciones obtenidas de los sucesivos ataques, permite llegar a un análisis mineralo-químico muy aproximado, conocido también con el nombre de "análisis racional".

Actualmente el uso de métodos como la difracción de rayos X, el análisis térmico diferencial, termoponderal y otros métodos ópticos auxiliares, en combinación con los análisis químicos, permiten identificar los minerales presentes en una muestra y asignar la cantidad relativa de los constituyentes asociados a éstos.

En cuanto al yacimiento Mondoñedo, como ya se anotó es rico en caolines. Con base en este dato se hizo a partir del análisis elemental total y por medio de cálculo, teniendo en cuenta las fórmulas ideales de los posibles minerales, un análisis "racional tentativo de la composición mineralógica de las muestras".

Se consideraron como minerales principales la caolinita ( $2\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $2\text{H}_2\text{O}$ ), Ortasa (feldespato potásico -  $6\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ), Albita [feldespato sódico -  $6\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ , alúmina  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y sílice ( $\text{SiO}_2$ ).

Para ilustrar cómo se obtienen los porcentajes correspondientes a los diferentes minerales, damos los cálculos correspondientes a la muestra número 4:

<i>Minerales considerados</i>	<i>Fórmula</i>	<i>Peso fórmula</i>
Ortasa . . . . .	$6\text{SiO}_2$ , $\text{Al}_2\text{O}_3$ , $\text{K}_2\text{O}$	556,68
Albita . . . . .	$6\text{SiO}_2$ , $\text{Al}_2\text{O}_3$ , $\text{Na}_2\text{O}$	524,48
Caolinita . . . . .	$2\text{SiO}_2$ , $\text{Al}_2\text{O}_3$ , $2\text{H}_2\text{O}$	258,12
Alúmina . . . . .	$\text{Al}_2\text{O}_3$	101,92
Sílice . . . . .	$\text{SiO}_2$	60,09

ASIGNACION DE LOS CONSTITUYENTES  
A LOS MINERALES

	<i>Oxidos</i>			
	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$
Porcentaje análisis elemental .	0,21	0,81	26,83	48,42
% óxidos pertenecientes a la ortasa . . . . .	0,21		0,227	0,803
Diferencia entre óxidos totales y anteriores = 1 . . . . .	0	0,81	26,603	47,616
% óxidos pertenecientes a albita . . . . .		0,81	1,33	4,71
Diferencia entre óxidos (1) y anteriores = 2 . . . . .		0	25,271	42,90
% óxidos pertenecientes a la caolinita . . . . .			25,271	29,792
Diferencia entre óxidos (2) y anteriores = 3 . . . . .			0	13,108
Sílice . . . . .				13,108

## PORCENTAJES

1. % Ortasa	= % K <sub>2</sub> O en la muestra ×	Peso fórmula ortasa
% Ortasa	= 0,21 × 5,9095 = 1,241 %	Peso fórmula K <sub>2</sub> O
2. % Albita	= % Na <sub>2</sub> O en la muestra ×	Peso fórmula albita
% Albita	= 0,81 × 8,462 = 6,85 %	Peso fórmula Na <sub>2</sub> O
3. % Caolinita	= % de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> correspondiente a la × diferencia 2	Peso fórmula caolinita
% Caolinita	= 25,271 × 2,5315 = 63,99%	Peso fórmula Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
4. % Sílice	= % SiO <sub>2</sub> correspondiente a la dife- rencia 3 ×	
	% Sílice = 13,11%	

Si a los porcentajes anteriores le sumamos el valor obtenido en la determinación de pérdidas por calentamiento a 1.000°C a partir de muestra seca, considerando que éstas representan el agua de constitución, el resultado sería el siguiente:

Ortasa . . . . .	1,24
Albita . . . . .	6,85
Caolinita . . . . .	63,99
Sílice . . . . .	13,11
Agua de constitución . . . . .	14,50
	99,69%

## RESULTADOS

En la tabla I se presentan los resultados del análisis elemental total realizados sobre las muestras en estudio.

En la tabla II aparecen los resultados del análisis del Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> total realizado por valoración volumétrica con EDTA.

En la tabla III se presenta la composición mineralógica aproximada obtenida por cálculo para cada muestra.

## ANÁLISIS ELEMENTAL TOTAL - PORCENTAJES

T A B L A I

MUESTRA	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Li <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Pérdidas a 1.000°C
1 . . . . .	48,86	28,53	1,996	1,21	0,241	0,943	<0,01	<0,006	0,043	14,79
2 . . . . .	50,65	20,31	0,499	1,38	0,360	0,730	<0,01	<0,006	0,034	13,82
3 . . . . .	48,10	24,83	0,374	0,59	0,265	0,229	<0,01	<0,007	0,029	13,78
4 . . . . .	48,42	26,83	1,500	1,43	0,210	0,810	<0,01	<0,006	0,034	14,50
5 . . . . .	50,54	27,10	0,582	2,07	0,180	0,680	<0,01	<0,006	0,051	13,87
6 . . . . .	47,30	39,63	1,032	1,60	0,217	0,525	0,021	<0,006	0,051	15,01
7 . . . . .	47,98	24,39	0,850	1,60	0,120	0,570	<0,01	<0,006	0,033	13,99
8 . . . . .	50,30	32,95	1,016	1,80	0,240	0,943	<0,01	<0,006	0,051	13,90
10 . . . . .	47,10	21,64	2,140	1,10	0,554	2,776	0,010	<0,006	0,087	23,99
12 . . . . .	41,00	26,90	2,860	1,40	0,434	2,183	0,010	<0,006	0,063	13,85
13 . . . . .	43,30	21,46	3,390	1,10	0,300	0,610	0,012	<0,006	0,056	10,98
14 . . . . .	55,48	21,63	1,376	1,30	0,240	0,470	<0,01	<0,006	0,044	11,24
15 . . . . .	46,46	22,25	0,822	0,75	0,132	0,148	<0,01	<0,010	0,053	13,60
16 . . . . .	49,80	24,94	2,091	0,49	0,289	0,134	<0,01	<0,010	0,071	11,64

DETERMINACION DE  $Al_2O_3$

TABLA II

MUESTRA	GRAVIMETRICA	COMPLEJOMETRICA
1	28,53	32,75
2	20,31	30,81
3	24,83	26,01
4	26,83	33,22
5	27,10	32,22
6	39,63	32,05
7	24,39	31,22
8	32,95	31,16
10	21,64	21,72
12	26,90	25,12
13	21,46	32,11
14	21,63	23,36
15	22,25	23,17
16	24,94	24,96

ANALISIS MINERALOGICO APROXIMADO  
PORCENTAJES

TABLA III

MUESTRA	Ortosa $6SiO_2$ $Al_2O_3$ $K_2O$	Albita $6SiO_2$ $Al_2O_3$ $Na_2O$	Caolinita $2SiO_2$ $Al_2O_3$ $2H_2O$	Alúmina $Al_2O_3$	Sílice $SiO_2$
1	1,42	7,98	67,64	—	10,94
2	2,13	6,18	47,39	—	22,96
3	1,57	1,94	61,18	—	17,27
4	1,24	6,85	63,99	—	13,11
5	1,06	5,75	65,28	—	15,50
6	1,28	4,44	94,64	1,15	—
7	0,71	4,82	62,33	—	18,93
8	1,42	7,98	78,84	—	7,19
10	3,27	23,49	41,70	—	9,42
12	2,56	18,47	57,21	0,24	—
13	1,77	5,16	50,96	—	14,88
14	1,42	3,98	52,14	—	27,55
15	0,78	1,25	55,35	—	19,33
16	1,71	1,13	61,79	—	19,15

## DISCUSION DE RESULTADOS

A partir de los datos presentados en las tablas I, II y III se calcularon los valores promedio del contenido de cada elemento (expresado como óxido) y del contenido de cada mineral en las muestras y las desviaciones típicas. Teniendo en cuenta los valores obtenidos podemos anotar lo siguiente:

### ANALISIS ELEMENTAL TOTAL

El silicio presenta un valor promedio de 48,23% y una desviación típica de 3,41. Esta desviación bastante significativa indica que el contenido de  $\text{SiO}_2$  varía de una muestra a otra debido a la diferencia en contenido de sílice, caolinita, feldespato, es decir que la composición mineralógica no es uniforme.

El aluminio muestra un valor medio de 25,95% y una desviación típica de 5,21. Como en el caso del silicio la desviación típica alta indica una variación apreciable del contenido de aluminio en las muestras, lo que se atribuye a la diferente concentración de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  libre, caolinita o feldespato.

El hierro y el titanio tienen valores medios de 1,47 y 1,27 y desviaciones típicas de 0,91 y 0,45 respectivamente. Los valores bajos en las desviaciones típicas muestran que hay uniformidad en el contenido total de estos elementos. Sin embargo, estos valores no permiten medir el grado de uniformidad del contenido de estos metales en la estructura de las arcillas, o en la forma de óxidos libres.

El potasio tiene un valor medio de 0,270% y una desviación típica de 0,116; este valor indica que el contenido de feldespato potásico, único mineral de los supuestos en la muestra que contiene potasio, es uniforme en todas las muestras. El sodio presenta un valor medio de 0,839% y una desviación típica de 0,75. El contenido de 2,776% para la muestra 10 y de 2,183% para la muestra 12, a diferencia de las demás muestras en las cuales dicho contenido es menor de 1%, es la razón para el aumento de la desviación típica. Este hecho no nos permite generalizar sobre el contenido regular del feldespato sódico en las diferentes muestras.

Los resultados obtenidos para el  $\text{CaO}$  menores de 0,006% y para el  $\text{MgO}$  con un valor medio de 0,05%, muestra una presencia de carbonatos muy pobre en las muestras.

El contenido de agua en las diferentes muestras obtenido a partir de la determinación de "pérdidas por calcinación a 1.000°C"

tiene un valor medio de 13,46% y una desviación típica de 1,72 (sin incluir para el cálculo el valor correspondiente a la muestra 10, la que presenta unas pérdidas por calcinación muy altas debidas a la presencia de materia orgánica). El valor medio concuerda con el contenido de agua de constitución esperado para el caso de la caolinita; éste junto con el contenido bajo de carbonatos nos indica que el valor de esta determinación se puede tomar como contenido de agua de constitución. En cuanto al valor de la desviación típica, aunque no es muy alto, está afectado en este caso por las diferentes concentraciones de caolinita (mineral al que se le asigna el contenido de agua determinada) en las muestras.

#### ANÁLISIS MINERALÓGICO APROXIMADO

Ortasa (feldespato potásico -  $6\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ). Tiene un valor medio de 1,6% y una desviación típica de 0,68. El contenido de este mineral es bajo pero se presenta en forma regular.

Albita (feldespato sódico -  $6\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ). Presenta un valor medio de 7,10% y una desviación típica de 3,39. La irregularidad en el contenido de  $\text{Na}_2\text{O}$  en las muestras 10 y 12 aumenta la desviación típica; como ya se dijo en relación con el contenido de sodio, no se puede generalizar sobre el contenido de este feldespato.

Caolinita ( $2\text{SiO}_2$ ,  $2\text{H}_2\text{O}$ ). Tiene un valor medio de 61,46% y una desviación típica de 10,01. El valor medio muestra que el yacimiento es rico en caolín; lo alto del valor de la desviación muestra que la composición mineralógica no es muy homogénea en la zona estudiada.

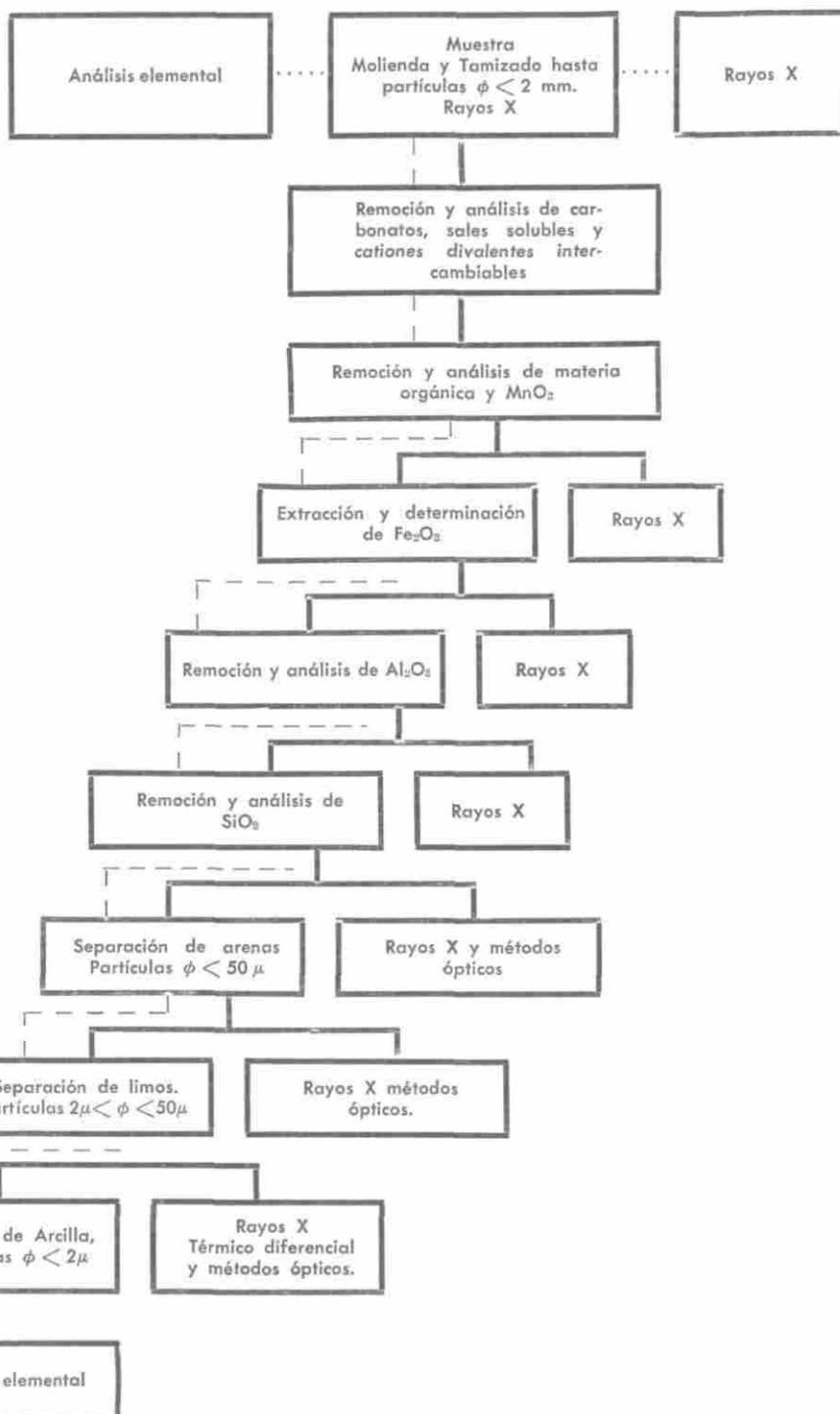
Alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Este valor calculado por diferencia del total de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y el correspondiente a los minerales cristalinos presentes, muestra que solamente en las muestras 6 y 12 hay alúmina libre, por lo cual no es del caso hallar su valor medio, ni su desviación típica.

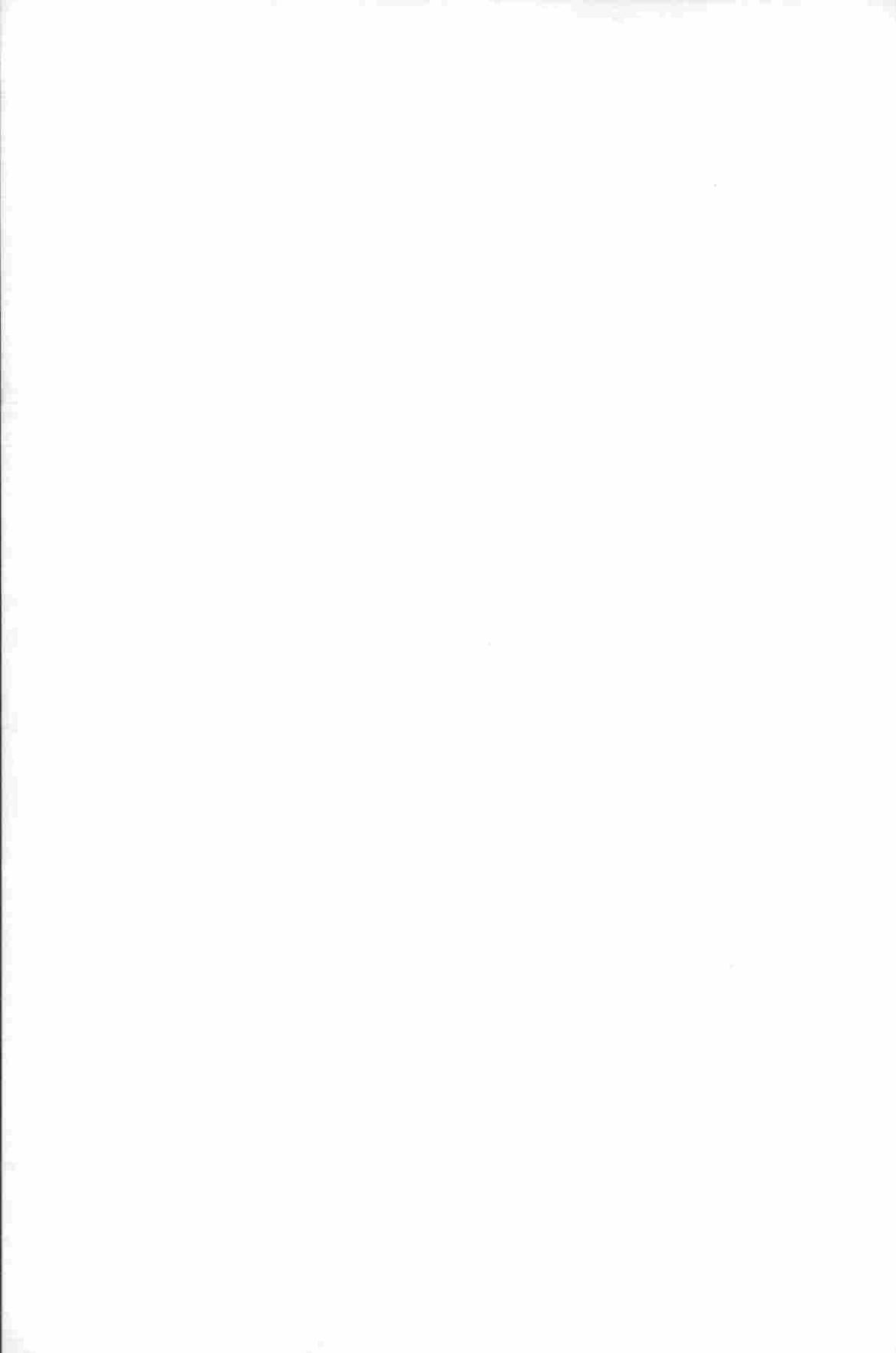
Sílice libre ( $\text{SiO}_2$ ), calculado como en el caso anterior tiene un valor medio de 14,01% y una desviación típica de 5,77 esto muestra que no es homogéneo el contenido de sílice en las muestras.

#### DETERMINACION DE $\text{Al}_2\text{O}_3$

Los valores obtenidos en la determinación complejométrica del aluminio, utilizando como agente acomplejante el EDTA, difieren de los valores obtenidos por el método gravimétrico, como se puede

# ESQUEMA DE TRABAJO





apreciar en la tabla II. El valor medio de la valoración por el método complejométrico es de 28,56% y el valor medio para el método gravimétrico es de 25,95%. Si se considera que el método gravimétrico es más exacto, el complejométrico sobrevalora el contenido de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

La medida de dispersión dada por la desviación típica no tendría sentido puesto que si sobrevalora el contenido de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , se debe confrontar la exactitud y precisión del método contra soluciones patrón de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

### CONCLUSIONES

Para llegar a identificar y cuantificar las diferentes fracciones ya sean amorfas o cristalinas presentes en un mineral arcilloso, a más del análisis elemental total, se hace necesario retirar la fracción amorfa mediante tratamientos químicos adecuados controlando a cada paso con el método de difracción de rayos X la intensidad del tratamiento para evitar las posibles alteraciones a la red cristalina.

Para llegar a una composición mineralógica más precisa por medio de la correlación de los datos obtenidos a partir de un análisis de rayos X, solubilidad selectiva, separación por tamaño de partículas y análisis químicos, sugerimos el siguiente esquema de trabajo:

En el esquema:

1. La línea discontinua indica la secuencia de tratamientos necesarios para llegar a la fracción arcillosa libre de la fracción amorfa, de arenas y de limos y sobre la cual se hace un análisis químico cuantitativo. En las soluciones resultantes de cada tratamiento se hace el análisis químico cuantitativo de los constituyentes extraídos. Los datos obtenidos en las diferentes determinaciones a través de toda la secuencia permiten diferenciar el contenido de los elementos en la parte cristalina y en la parte amorfa.

2. La línea continua indica la secuencia de tratamientos realizados paralelamente a los anteriores, sobre otra muestra del mismo material, para controlar por medio de rayos X y otros métodos fisicoquímicos, la intensidad del tratamiento efectuado a cada paso.

3. Las líneas punteadas se refieren a los análisis químicos y de rayos X, que se efectúan sobre la muestra original y que se confrontan con los análisis y los diagramas parciales. Las técnicas

aplicables a la remoción y análisis se seleccionan atendiendo a la naturaleza de la muestra, a la concentración de los elementos extraídos, a la sensibilidad de los métodos, etc.

La bibliografía, que aparece más adelante, distinguida con los números 5, 7 y 8, se refiere a estas técnicas. En cuanto a la separación por tamaño de partículas (arenas, limos y arcillas), las fracciones señaladas en el esquema pueden subdividirse a su vez en gruesa, media y fina.

#### BIBLIOGRAFIA

1. GUILLÈRE SIMONE, HÉNIN STÉPHANE. *Minéralogie des Argiles*. Maison et Cie. Editeurs. (1963).
2. CARTER HAROLD, TENJO SIGIFREDO, TORRES EDILBERTO. *Compilación de los estudios sobre arcillas en la Sabana de Bogotá*. Boletín Geológico. Vol. XI, No. 1-3 enero-diciembre (1963). Ministerio de Minas y Petróleos. Servicio Geológico Nacional de Colombia.
3. GRIM RALPH E. *Clay Mineralogie*. MacGraw Hill Book Company. Second edition. (1968).
4. GRIM RALPH E. *Applied Clay Mineralogy*. MacGraw Hill Book Company. (1962).
5. HERBILLON A., TRANVINH AN J. *Etude de la fraction amorphe colloïdale de quelques soils Tropicaux*. (1964). Publishing House of the Academy of the Socialist Republic of Romania.
6. HERBILLON A., J. FRANKART, R. VIELVOYEL. *Evolution de fractions argileuses dans une toposéquence du Burundi*. *Pedologie* XVI, 2, pp. 167-182. (1966).
7. JACKSON M. L. *Soil Chemical Analysis Advance Course*. University of Wisconsin Department of Soil. (1956).
8. JACKSON M. L. *Soil Chemical Analysis*. Prentice-Hall Inc. (1962).
9. JOUENNE C. A. *Céramique Générale. Notions de Physicochimie*. Gauthier Villarde, Editeurs. (1960).
10. KLINEFELTER T. A., HONLIN F. P. *Syllabus of clay testings*. Bulletin 565 Bureau of Mines, United States Government Printing Office, Washington. (1957).
11. KOLTHOFF I. M., SANDELL E. B. *Textbook of Quantitative Inorganic Analysis*. MacMillan Company. (1952).
12. SILVA FRANCISCO, OLARTE LUIS, DE MUÑOZ BEATRIZ. *Métodos Analíticos del Laboratorio de Suelos*. Instituto Agustín Codazzi. (1973).
13. VAN DER HAMMEN THOMAS, PARADA ANTONIO. *Investigaciones de algunos yacimientos importantes de diatomita, caolín y arcillas de la Sabana de Bogotá*. Boletín de Geología No. 2. (1958).
14. VOINOVITCH I. A., GUEDON DEBRAS, LOUVRIER J. *L'analyse de Silicates*. Boulevard Saint Germain. (1962).