

# APROXIMACION AL ORIGEN DE LOS SUELOS AFECTADOS POR SALES Y/O SODIO EN EL VALLE DEL CAUCA COLOMBIA

Por:

Adel González M. \*

## COMPENDIO

La diabasa y las fracciones primarias de los suelos desarrollados sobre cenizas volcánicas, capaces de generar iones que posteriormente reciben las arcillas de los suelos de la parte plana del Valle del Cauca, se consideraron como los dos materiales parentales más importantes para caracterizar su estado de fertilidad.

La roca se trituró hasta obtener partículas entre 149 y 177 micras de diámetro equivalente. A muestras de los horizontes A y C de un suelo profundo originado de cenizas volcánicas se les eliminó la materia orgánica con  $H_2O_2$ , se fraccionaron sus arenas entre 149 y 177 micras y se eliminó el  $Fe_2O_3$  con ditionita de sodio. Las concentraciones de Ca, Na, Mg y K (meq/l) se determinaron después de someter las fracciones a la acción del agua carbonatada (0.2 meq/l de  $HCO_3^-$ ) y de una solución 0.1 M de ácido acético de 12 hasta 336 horas. El orden de liberación de los cationes en la roca diabasa fué  $Mg > Ca > Na > K$  y  $Na > Ca > Mg > K$  en las arenas del suelo volcánico.

Con rayos X se estudió la naturaleza de las arcillas en las fracciones mayor y menor de 0.2 micras en la capa vegetal de dos suelos salinos sódicos de la terraza baja del Valle. Las arcillas se identificaron como dominantes en vermiculitas y montmorillonitas. Se llama la atención sobre la tendencia de las arcillas a enriquecerse en Mg y Na por sus afinidades iónicas, con el empobrecimiento gradual de las propiedades físicas de éstos suelos.

## ABSTRACT

Diabase rock and primary fractions of soils developed from volcanic ash material, able to release ions that are later received by soil clays in the flat part of the valley, were estimated the two most important parent materials in order to characterize its fertility nature.

Rocks fragments were ground to have particles between 149 and 177 microns of equivalent diameter. Soil samples

from A and C horizons of a deep soil derived from volcanic ash were treated with  $H_2O_2$  in order to eliminate organic matter and their sands between 149 and 177 microns were fractionated. Concentrations of Ca, Mg, Na and K in water having 0.2 me/liter of  $HCO_3^-$  and a solution of acetic acid 0.1 molar were measured at different times from 12 to 336 hours. The release order of cations from the diabase rock was  $Mg > Ca > Na > K$  and from volcanic sands was  $Na > Ca > Mg > K$ .

By means of X-rays the nature of the nature of the clays fractionated for particles higher and smaller than 0.2 microns was studied for samples of the A horizons of two saline-sodic soils from the lower terrace of the valley. Clays were identified dominantly.

Clays were identified dominantly as vermiculite and montmorillonite. It is called the attention to the fact these clays tend to enrich in Mg and Na due to affinity conditions, with a gradual loss of physical properties of these soils.

\* Profesor Titular U. Nacional de Colombia- Palmira.

## 1. INTRODUCCION

El Valle del Cauca se encuentra localizado entre las latitudes  $4^{\circ} 48' N$  y  $3^{\circ} 0' S$  y las longitudes  $75^{\circ} 48' E$  y  $76^{\circ} 31' W$ . Su parte plana constituye el fondo de sedimentación de un graben o fosa con características lacustres y principalmente fluviogénicas. Esta fosa geológica está rodeada por las cordilleras Occidental y Central de Colombia, cuya estructura litológica está compuesta principalmente por una roca de naturaleza dole-ritica y/o diabásica. Actividades volcánicas posteriores depositaron en sus cimas una cobertura de cenizas volcánicas de espesor variable que actualmente se detecta de los 1 500 m.s.n.m. hacia arriba. Hubo también influencia de estos materiales en la parte plana y aún hoy los procesos erosivos siguen arrastrando en algún grado este material.

Geomorfológicamente las terrazas aluviales medias se caracterizan por tener suelos con pH entre 6 y 7 y altos tenores de elementos fertilizantes. En las terrazas aluviales más bajas se encuentran áreas fuertemente alcalinas, que se calculan en unas 50 000 ha. Dentro de éstas áreas alcalinas, se encuentran todos los matices de los suelos afectados por sales como son: salinos, alcalinos o sódicos, salinoalcalino ó salino sódicos, salino-potásico, potásicos, calcáreos y aún suelos con relaciones de Ca a Mg fuertemente invertidas, que los hace salino-magnésicos y aún magnésicos.

En los procesos de solubilización de los minerales primarios la materia orgánica juega un papel de destacada importancia. En 14 días se formaron 564 mg/ha de  $CO_2$  en las dos primeras pulgadas del suelo y 125 de las 2 a las 5 pulgadas, Alexander (1), Newman y Norman (22). El ácido acético se considera como el ácido orgánico más importante del suelo Schwartz et al (29) y el grupo reactivo carboxilo como uno de los más activos en la composición de la materia húmica Broadbent (4), Pauli (24).

La literatura sobre solubilidad de minerales primarios en ácidos orgánicos o en agua es escasa y más aún la de solubilidad de la fracción primaria de un suelo. La fracción de limos liberó del 15 al 51 o/o del potasio total liberado del suelo, Mervin y Pech (21). Feldespatos con 10 o/o de  $K_2O$  liberaron 0.025 o/o del  $K_2O$  en agua y 0.036 o/o en ácidos diluidos, Cushman (8). La mezcla de arenas cuarcíferas con granito removió K de las soluciones que lo contenían y les liberó Ca y Na. Los feldespatos altos en Na entregaron a las soluciones más Na y Ca que los altos en K, Hutcheson et al (10).

La presente investigación se orienta hacia el estudio de los materiales parentales que el autor estima juegan un papel importante en la fertilidad de los suelos del Valle del Cauca, por sus características como materiales

donantes de fertilidad e incluye el estudio de la naturaleza de las arcillas de un suelo de la terraza baja como materiales receptores de los elementos nutritivos liberados.

## 2. PROCEDIMIENTO

### 2.1. Naturaleza de los materiales parentales.

Se estudiaron muestras de una roca dolerítica y/o diabásica y de las fracciones primarias de un suelo desarrollados sobre cenizas volcánicas.

La roca dolerítica y/o diabásica se recolectó en la cordillera central en la latitud de Palmira y se trituró hasta obtener partículas entre 149 y 177 micras de diámetro equivalente. En el sitio denominado Cáceres (Roldanillo, Valle, Colombia), a 1900 m.s.n.m., localizado sobre la cordillera Occidental y dentro de la vertiente del río Cauca, se recolectaron muestras de la capa vegetal (no. 34) y del subsuelo (no. 35) de un suelo de reacción positiva al fluoruro de sodio y de una capa de cenizas de unos 3 m.

Las muestras 34 y 35 se sometieron a la acción del  $H_2O$  para la eliminación de la materia orgánica. Se lavaron y fraccionaron a tamaños entre 149 y 177 micras de diámetro equivalente. Se lavaron con  $HCl$  0.1 N y luego con agua desmineralizada para obtención de filtrados libres de cloro. Con ditionita de sodio se eliminó el  $Fe_2O_3$ .

Para simular en el laboratorio el proceso meteorizante que ocurre en la naturaleza, se usaron como solventes agua desmineralizada con 0.2 meq/l de  $HCO_3^-$  y una solución 0.1 M de ácido acético por cuanto los radicales  $HCO_3^-$  y  $COOH$  juegan papeles muy importantes en los procesos de descomposición de la materia orgánica. La proporción de arenas ó partículas de roca a solvente fué de 1:10. Los tratamientos se realizaron desde 12 hasta 336 horas.

### 2.2. Mineralogía de las arcillas.

Considerando que las arcillas son un material receptivo muy importante de lo que se libera del material parental, se seleccionaron 2 suelos salino-sódicos de la terraza baja del Valle (muestras 27 y 30). De sus capas vegetales después de eliminar la materia orgánica y posibles óxidos férricos, se fraccionaron sus arcillas en mayores y menores de 0.2 micras de

diámetro equivalente, se orientaron y sometieron a la acción de los rayos X.

Amplia es la discusión relacionada con la preparación de muestras orientadas de minerales arcillosos para ser analizados por medio de rayos X, Brown (5), Jackson et al (12), Johns et al (15), Kilmer y Alexander (17), Kinter y Diamond (18), Rich (27). Sin embargo, Kittrick y Hope, (19), anotaron que la omisión del estudio de fracciones menores de 0.08 micras, que requiere el uso de supercentrífugas, rara vez puede ocultar aspectos importantes en análisis mineralógicos cuantitativos y que en general, los minerales que se encuentran en las fracciones menores de 0.2 micras también se presentan en la fracción de 2 a 0.2 micras.

Por otra parte, Pierce y Siegal (26), después de estudiar 5 métodos de análisis cuantitativos de arcillas sugirieron mayor atención a metodologías uniformes de preparación de las muestras.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSION

#### 3.1. Naturaleza de los materiales parentales.

Los análisis químicos totales de la roca (Cuadro 1), registran alto contenido de  $Fe_2O_3$  a pesar que se trituro un fragmento que macroscopicamente no presentaba signos de alteración meteorizante. Sin embargo, sí se observa un alto contenido de hierro estructural. También se llama la atención en relación a los contenidos totales de Ca y Mg, siendo más alto el primero que el segundo. En cuanto a las arenas (Cuadro 1) se desea destacar el mayor contenido de sodio y calcio totales en las de la capa vegetal que en las del subsuelo.

Al comparar los procesos de disolución de la diabasa (Cuadro 2) las concentraciones en solución fueron más altas y menos fluctuantes en el ácido acético que en el agua carbonatada. Para el calcio, en promedio para todos los tiempos, fué 2.84 veces mayor; para el magnesio 2.12 y para el sodio y potasio 1.09 y 2.3 veces más alto respectivamente. Cuando se comparan las concentraciones para cada uno de los solventes el orden de los iones fué  $Mg > Ca > Na > K$ .

Para las arenas de la capa vegetal (Cuadro 3) el orden de los iones fué el mismo ( $Mg > Ca > Na > K$ ), sin embargo para las del subsuelo (Cuadro 4). fué  $Na > Ca > Mg > K$ . También se puede destacar que estos últimos valores fueron más altos que los de las arenas de la capa vegetal. El potasio en todos los casos fué el catión que se encontró en menor concentración en todas las soluciones.

CUADRO 1

Análisis químico total (o/o) de una roca diabásica de la Cordillera Central (Palmira) y de arenas entre 149 y 177 micras de diámetro equivalente de un Andosol y su respectivo subsuelo (Roldanillo, Vallé, Colombia. 1950 m.s.n.m.)

	Roca (RD)	Arenas (No.34) 0 - 30 cm.	Arenas (No.35) 30 - 60 cm.
SiO <sub>2</sub>	38.68	59.23	49.30
TiO <sub>2</sub>	4.42	2.56	4.65
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.03	15.63	14.47
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	34.73	6.95	11.11
FeO	20.90	1.94	1.62
MnO	0.21	0.07	0.07
MgO	5.00	2.27	2.23
CaO	8.80	6.52	4.56
Na <sub>2</sub> O	1.36	4.75	2.77
K <sub>2</sub> O	0.06	0.99	0.65
H <sub>2</sub> O	0.08	0.05	3.82
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.17	0.08	0.27
SO <sub>3</sub>	0.00	0.01	0.00
Pérdidas por calcinación 105 - 1000° C	0.23	0.58	5.83

BIBLIOTECA CIENCIAS AGRICOLAS  
 UNIVERSIDAD NACIONAL

Nota: Fe expresado como Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> incluye el valor del hierro estructural como FeO

CUADRO 2

Iones disueltos (meq/litro) de partículas de la roca diabásica, entre 149 y 177 micras de diámetro equivalente, en contacto con la solución 0.1M de ácido acético y agua conteniendo 0.2 meq/litro de  $\text{HCO}_3^-$

Tiempo en horas	Ca		Mg		Na		K	
	$\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$	0.1M.A.A.	$\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$	0.1M.A.A.	$\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$	0.1M.A.A.	$\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$	0.1M.A.A.
12	0.61	1.25	1.33	2.17	0.05	0.08	0.003	0.006
24	0.58	1.50	1.83	2.17	0.05	0.08	0.003	0.004
48	0.62	1.50	2.17	3.00	0.05	0.08	0.003	0.005
72	0.56	1.90	1.83	3.00	0.05	0.08	0.003	0.005
96	0.80	2.10	1.67	4.33	0.08	0.10	0.005	0.012
144	0.70	2.00	1.67	3.50	0.19	0.09	0.001	0.008
192	0.50	1.60	1.00	4.17	0.06	0.07	0.003	0.006
264	0.30	1.20	1.00	3.50	0.08	0.09	0.001	0.005
336	0.30	1.00	1.17	3.00	0.06	0.06	0.003	0.005

CUADRO 3

Iones disueltos (meq/litro) de una fracción de arenas entre 149 y 177 micras de diámetro equivalente del horizonte A de un suelo volcánico en contacto con una solución 0.1 M de ácido acético después de eliminarles sus contenidos de  $Fe_2O_3$  con ditionita de sodio

Tiempo en horas	Ca	Mg	Na	K
24	0.22	0.33	0.024	0.009
48	0.17	0.25	0.024	0.009
72	0.15	0.22	0.027	0.008
96	0.17	0.23	0.030	0.009
168	0.18	0.27	0.030	0.012
240	0.18	0.30	0.036	0.012
336	0.22	0.34	0.040	0.013

CUADRO 4

Iones disueltos (meq/litro) de una fracción de arenas entre 149 y 177 micras de diámetro equivalente del subsuelo de un suelo volcánico en contacto con una solución 0.1 M de ácido acético, después de eliminarles sus contenidos de  $Fe_2O_3$  con ditionito de sodio.

Tiempo en horas	Ca	Mg	Na	K
24	2.00	0.96	13.39	0.017
48	2.80	1.04	15.00	0.022
72	3.40	4.00	17.13	0.023
96	3.20	3.33	13.09	0.027
168	3.40	4.00	15.30	0.029
240	3.60	5.00	16.04	0.015
336	4.00	5.00	17.26	0.017

Los análisis químicos de fertilidad (Cuadro 5) presentan incrementos no sólo en pH sino en calcio, magnesio y sodio cuando se pasa del suelo volcánico a los de terraza media y baja. En el Valle del Cauca, parte plana, se encuentra toda la gama de suelos afectados por sales y/o sodio. Como ejemplo se reportan suelos salino-ácidos del área de Montería, Valle del Sinú, sobre cuya extensión no se tiene información, pero por su ubicación geomorfológica pueden no ser muy apreciables. Sin embargo, son suelos problemáticos.

Después de la eliminación de los óxidos férricos, en la muestra No.34 se encontraron formas minerales menos solubles para liberar sodio debido a que la materia orgánica ya había ejercido su proceso pedológico de disolución. La muestra No. 35 ha sufrido menor acción de la materia orgánica y contiene aún formas solubles de minerales capaces de liberar sodio.

Lo anterior se puede resumir indicando que los materiales parentales estudiados, bajo las condiciones simuladas de meteorización, tienen gran capacidad para liberar cationes de Na y Mg.

### 3.2. Mineralogía de las arcillas

Los difractogramas de la misma muestra de suelo (Figuras 1a, 1b, 1c y 1d), indican que las fracciones de arcillas mayores y menores de 0.2 micras de diámetro equivalente no muestran diferencias mineralógicas, lo que concuerda con los resultados de Kittrich y Hope (19). En las muestras estudiadas de la fracción 0.2 micras (27 y 30) las intensidades de la montmorillonita aumentan hasta casi doblarse sin que esto implique aparición de nuevos tipos de arcillas.

Bower (3) anota que en suelos del Oeste de los Estados Unidos la afinidad por Ca y Mg fué casi igual, lo que aceptan muchos autores especialmente cuando estudian reacciones de intercambio monovalente-monovalente o monovalente-divalente con Ca y Mg en montmorillonita y suelos montmorilloníticos.

Estudios posteriores, Peterson et al (25), Wild y Keay (32), reportaron una fuerte afinidad de la vermiculita por el Mg. Por su parte Hunsaker y Pratt (12) anotaron que a pesar de que el Ca y el Mg tienen comportamientos similares en reacciones de intercambio, existe una preferencia por cal -

CUADRO 5

Análisis químico de fertilidad en muestras de un suelo volcánico (No. 34) y su sub-suelo (No. 35), suelo de la terraza media (No. 10), apto para la agricultura sin restricciones y su subsuelo (No. 11), suelo de áreas bajas y cenagosas y drenadas (No. 1-2-3-4) y capas vegetales de dos suelos salino-sódicos (No. 27 y 30)

	No.34	No.35	No.10	No.11	No.1	No.2	No.3	No.4	No.27	No.30
pH	5.8	6.5	6.1	7.0	3.4	3.6	3.6	3.5	7.7	7.5
M Oo/o	17.2	2.0	4.3	1.3	8.6	8.95	6.45	5.65	2.4	3.2
P ppm	3.6	2.8	28.6	18.4	35.0	43.7	41.6	18.5	16.4	21.9
Ca meq/100 g	10.0	2.0	11.2	9.6	10.4	10.4	24.4	20.8	17.2	16.4
Mg meq/100 g	1.7	0.34	5.2	6.0	24.8	26.8	35.6	28.8	14.8	16.0
K me q/100 g	0.54	0.12	0.37	0.24	0.24	0.44	0.62	0.72	0.21	1.2
Na meq/100 g	0.11	0.06	0.17	0.17	1.86	1.40	2.0	2.0	14.0	7.0
Al meq/100 g					11.3	7.5	9.3	7.7		
CE mmhos/cm					6.0	5.0	15.0	10.0	9.9	6.0
Suma de bases	12.35	2.52	16.94	16.01	37.3	39.0	62.6	52.3	46.2	40.57
Clasificación			N	N	Sa	Sa	Sa	Sa	Sa-So	Sa-So

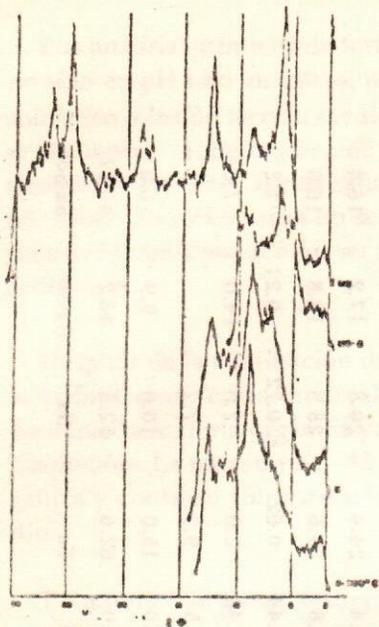


FIG. 1.a GRÁFICAS DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X  
MUESTRA 27 FRACCIÓN > 0.2 μ

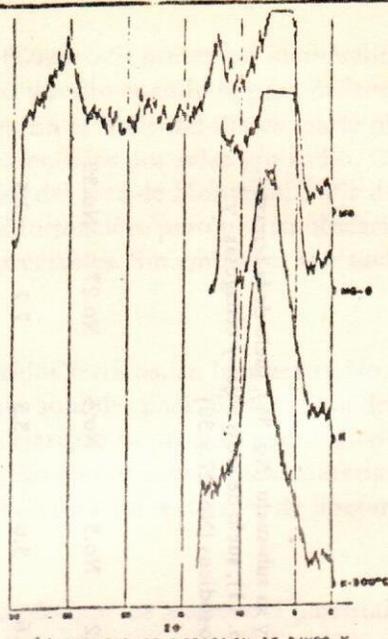


FIG. 1.b GRÁFICAS DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X  
MUESTRA 27 FRACCIÓN < 0.2 μ

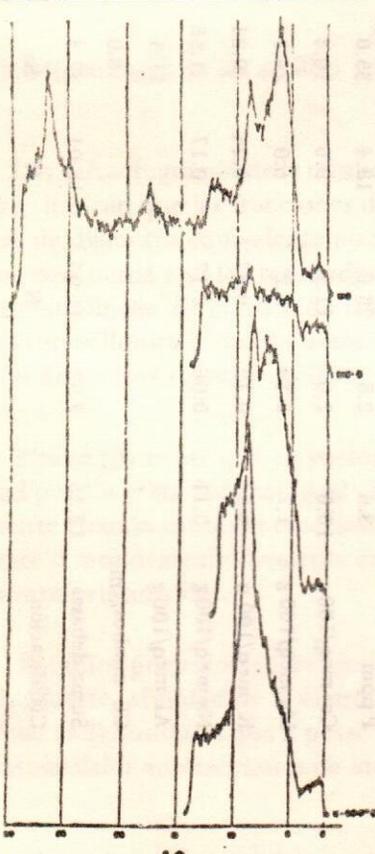


FIG. 1.c GRÁFICAS DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X  
MUESTRA 30 FRACCIÓN > 0.2 μ

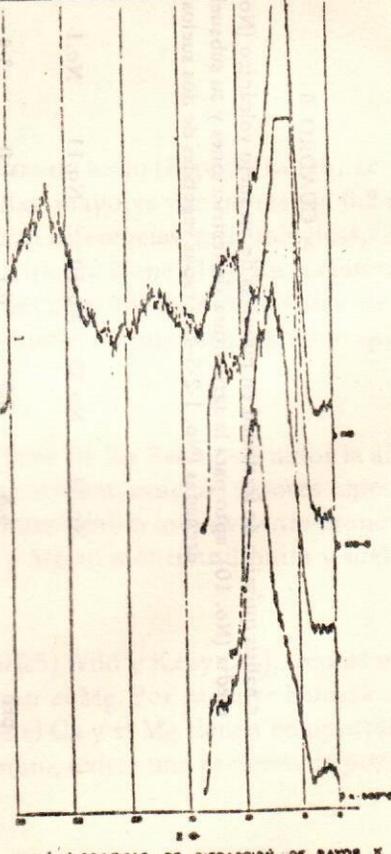


FIG. 1.d GRÁFICAS DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X  
MUESTRA 30 FRACCIÓN < 0.2 μ

cio de parte de la materia orgánica de los suelos. Además reportaron para los sitios de intercambio en alófono y en arcillas minerales cubiertas con hidroxido de aluminio una fuerte preferencia por calcio sobre magnesio. Estos reportes sugieren que se puede relacionar, de acuerdo con el proceso simulado de meteorización, el orden de solubilidad de la fracción representativa del material parental con las proporciones relativas de micas (ilitas), vermiculitas y montmorillonitas en los suelos de las terrazas bajas y predecir la tendencia de las arcillas micáceas a hacerse más ricas en Mg, mientras que las montmorilloníticas, dominantes en los suelos de las terrazas bajas y que con frecuencia muestran características de afección por sales y alcalis, tenderán a enriquecerse en Na, ya que siempre aparecen en mayor concentración en las soluciones el magnesio y el sodio.

La montmorillonita debido a su menor densidad de cargas por unidad de superficie es más afín por monovalentes que por divalentes, como lo demuestra Bower (3), quien para una Bentonita de Wyoming (95 meq/100 g de CCC y 810 m<sup>2</sup>/g de superficie total) registró una densidad de carga de 1.17 x 10<sup>-7</sup> meq/cm<sup>2</sup> mientras que en un Kaolin de Georgia (4.1 meq/100 g de CCC y 25 m<sup>2</sup>/g de superficie total) fué de 1.6x10<sup>-7</sup>.

En estudios de sodificación de suelos, Panov y Adda (23), encontraron que el efecto del Mg sobre las propiedades físicas y químicas del suelo era intermedio entre el de calcio y sodio, siendo más similar al del sodio cuando aparece en cantidades invertidas en relación con el Ca, y Gómez (9), estudiando la relación Ca/Mg en suelos artificiales y amasados, reportó influencia del contenido de Mg tanto en el o/o de humedad en el punto de saturación, como disminución en la conductividad hidráulica de las muestras con relaciones Ca/Mg invertidas cada vez menores. Similares resultados fueron reportados por Cordero (6). Arcillas con más de un 30o/o de saturación de magnesio se comportaron como sódicas, Jackson (14).

Tal secuencia de observaciones permite sugerir que los suelos de las terrazas bajas y medias del Valle del Río Cauca tienden hacia la magnesificación y la sodificación, con pérdidas en la bondad de sus actuales propiedades físicas. En consecuencia no parece conveniente el uso de fertilizantes que contengan Mg y/o Na en su composición, a menos que una planta en particular sea demasiado exigente en estos iones.

Por otra parte, en las terrazas media y bajas del Valle del Cauca, la presencia de CO<sub>2</sub> en los suelos ha permitido la precipitación de CaCO<sub>3</sub> y MgCO<sub>3</sub> los que a su vez están en continuos procesos de resolubilización para lo cual se debe tener en cuenta que el CaCO<sub>3</sub> con una solubilidad de 0.0014 g/100 cc de agua a la temperatura ambiente es menos soluble

que el  $MgCO_3$  con 0.0106 g/100 cc de agua lo que a su vez ayudaría a un enriquecimiento de Mg en las arcillas receptoras.

#### 4. CONCLUSIONES

- 4.1. En los procesos simulados de meteorización se encontraron más altas concentraciones de iones de sodio y magnesio que de calcio y potasio.
- 4.2. En la misma muestra de suelo las arcillas no mostraron diferencia en cuanto a las calidades y proporciones relativas de cada una, como tampoco fueron marcadas las diferencias entre las mayores y menores de 0.2 micras de diámetro equivalente.
- 4.3. Los componentes más importantes en las arcillas de los dos suelos de la terraza baja del Valle del Río Cauca (región de la Herradura-Palmaseca-Candelaria), fueron micas (illitas) vermiculitas, caolinitas y montmorillonitas. Estas últimas ocuparon un 100/o de la fracción >0.2 micras y hasta 600/o en las fracciones <0.2 micras.
- 4.4. Los suelos de las terrazas bajas del Valle del Cauca tienden a la magnesificación y sodificación si se observa el proceso desde un punto de vista geomorfológico.

#### BIBLIOGRAFIA

1. ALEXANDER, M. Introduction to soil microbiology. New York, John Wiley, 1967.
2. ARSHAD, M. A., St. ARNAUD, R. J., HUANG, P. M. Dissolution of trioctahedral layer silicates by ammonium oxalate, sodium dithionite-citrate-bicarbonate and potassium pyrophosphate. Canadian Jour. Soil Sci 52(1): 19-26. 1972. En: Soils and Fertilizers, 35 (4): 2988.
3. BOWER, C. A. Cation exchange equilibria in soils affected by sodium salts. Soil Sci. 88: 32-35. 1959.
4. BROADBENT, F. E. Modification in chemical properties of straw during decomposition. Soil Sci Soc Am. Proc. 18: 165-169. 1954.
5. BROWN, G. Semi-micro methods for preparation of clays for X ray study. Jour Soil Sci. 4: 229-232. 1973.
6. CORDERO, J. A. Construcción de un permeámetro de cabeza constante para la determinación de la conductividad hidráulica en muestras sin disturbar. Tesis Ing. Agr. Palmira, U. Nal. de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, 1974. 55 p.

7. CORTES, A. Mineralogía de los suelos derivados de cenizas volcánicas de la Cordillera Central de Colombia. Bogotá, Centro Interamericano de Fotointerpretación. Ministerio de Obras Públicas, 1972.
8. CUSHMAN, A. S. The use of feldspathic rocks as fertilizers Washington, U. S. Dpto. Agr. Bureau of plant industry. Bull No. 104. 1907.
9. GOMEZ, J. Efecto de la relación Ca a Mg invertida sobre el porcentaje de saturación y la conductividad hidráulica. Tesis M.Sc. Chapingo, México, Escuela Nacional de Agricultura, Colegio de Postgraduados, 1973.
10. HUTCHESON, I. B. et al. Potassium-sodium interrelationships. 2. Potassium and sodium interaction in mineral systems. *Soil Sci* 88: 36-44. 1959.
11. HUANG, W. H. and KELLER, W. D. Dissolution of rock forming silicate minerals in organic acids: simulated first stage weathering of fresh mineral surfaces. *The american mineralogist* 55: 20-76. 1970.
12. HUNSAKER, V. E. and PRATT, P.E. Calcium-magnesium exchange equilibria in soils. *Soil Sci Soc of American Proc.* 35: 151-152. 1971.
13. JACKSON, M. L., WITTING, L. D. and PENNINGTON, R. P. Segregation procedure for the mineralogical analysis of soils *Soil Sci Soc of American Proc.* 14: 177-81. 1949.
14. JACKSON, M. L. Soil chemical analysis; advance course. Madison, Jackson, 1956.
15. JOHNS, W. D., GRIM, R. E. and BRADLEY, W. F. Quantitative estimation of clay minerals. *Jour. Sediment. Petrology* 24: 242-251. 1954.
16. KELLER, W. D. et al. Dissolved products of artificially pulverized silicate minerals and rocks. Part I. *Jour. Sediment. Petrology* 33: 191-204. 1963.
17. KILMER, V. J. and ALEXANDER, L. T. Methods of making mechanical analysis of soils. *Soil Sci* 67: 15-24. 1949.
18. KINTER, E. B. and DIAMOND, S. A new method for preparation and treatment of oriented aggregate specimens of soil clays for X ray diffraction analysis. *Soil Sci* 81: 111-120 1956.
19. KITTRIC, J. A. and HOPE, E. W. A procedure for the particle-size separation of soils for X ray diffraction analysis. *Soil Sci* 96: 319-325. 1963.
20. MARSHALL, C. E. and JEFFRIES, C. O. Mineralogical methods in soil research *Soil Sci Soc of American Proc.* 10: 397-405. 1945.
21. MERVIN, H. D. and PEECH, M. Exchangeability of soil potassium in the sand, silt and clay fractions as influenced by the nature of the complementary exchangeable cation. *Soil Sci Soc Am. Proc.* 15: 125-128. 1950.
22. NEWMAN, S. A. and NORMAN, A. G. The activity of the microflora in various horizons of several soil types. *Soil Sci Soc. of American Proc.* 6: 187-195. 1941.

23. PANOV, N. P. and ADDA, L. M. Role of exchangeable manesium in the development of solonetz of soil formation. En: Soils and Fertilizers 35 (4): 2840. 1972.
24. PAULI, F. W. Soil Fertility, abiodynamical approach. London, Adam Hilger, 1967.
25. PETERSON, F. F. et al. Selective adsorption of magnesium by vermiculite. Soil Sic. Soc. Am. Proc. 29: 327-328. 1965.
26. PIERCE, J. W. and SIEGAL, F. R. Quantification in clay mineral studies of sediments and sedimentary rocks Jour. Sediment. Petrology 39: 187-193. 1969.
27. RICH, C. I. Suction apparatus for mounting clays specimens of ceramic tile for X ray diffraction. Soil Sci Soc of American Proc. 33: 815-816. 1969.
28. ROYSE, CH. F. An introduction to sediment analysis. Arizona State University, 1970.
29. SCHWARTZ, S. M., VARMER, J. E. and MARTIN, W. P. Separation of organic acids from several dormant and incubated Ohio Soils. Soil Sci Soc of American Proc. 18: 174-177. 1954.
30. SILVA, F. Métodos de análisis de suelos del Departamento Agrológico del Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá, IGAC, Pub II 6 , 1960.
31. WHITTING, L. D. X ray diffraction techniques for mineral identification and mineralogical composition. In: Method of soil analysis. Part. I Madison, Wisconsin American Society of Agronomy, 1965.
32. WIED, A. and KEAY, J. Cation exchange equilibria with vermiculite. II. Soil Sci. 15: 135-144. 1964.