

## IDENTIFICACION DE FOSFATOS Y EQUILIBRIOS CATIONICOS EN SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS DE PASTO Y CALIMA - COLOMBIA

Hans W. Fassbender\*

Ricardo Guerrero Riascos\*\*

### I. — INTRODUCCION

La caracterización de la dinámica del fósforo ha ganado mucho interés en los últimos años, en suelos tropicales. Por un lado se ha encontrado una gran variabilidad en el contenido de P y su formas (5, 9, 11, 13, 19, 24) y por otro se han establecido una serie de reacciones de "fijación" que limita la utilización de fertilizantes fosfatados por los cultivos.

La información disponible sobre el contenido y formas de P en suelos derivados de cenizas volcánicas es relativamente amplia. Utilizando el método de fraccionamiento de fosfatos inorgánicos de Chang y Jackson (8) se han diferenciado los fosfatos solubles, cálcicos, aluminicos, férricos y ocluidos en suelos de América Central (9, 11) y Colombia (5, 6). Generalmente se han encontrado relaciones entre las formas de P y el material parental, el estado de desarrollo, la vegetación y también con características edafológicas como pH y contenido de materia orgánica. La identificación de los fosfatos inorgánicos del suelo utilizando sus isotermas de solubilidad (16, 23) han sido probada únicamente en suelos de clima templado y, en áreas tropicales, solo en el caso de suelos derivados de cenizas volcánicas de América Central (13).

En la caracterización adecuada de los cationes se debe considerar el análisis de los cationes cambiables adsorbidos por la fase sólida del suelo y los presentes en la solución del mismo. Los equilibrios catiónicos han sido descritos en este sentido para suelos de América Central (14) y Amazonia (12).

En el presente estudio se pretende utilizar las técnicas antes

\* Institut Für Bodenkunde und Waldernahrung der Universitat Gottingen - D 3400  
Gottingen-Weende, Busgenweg 2, Alemania.

\*\* Profesor Asociado, Universidad de Naríño, Pasto-Colombia.

mencionadas para caracterizar el contenido y formas de P en suelos de las regiones montañosas de Pasto y Valle del Cauca en Colombia, que si bien presentan cenizas, difieren notablemente en la actividad volcánica y frecuencia de las deposiciones. Así, en Pasto se han registrado regularmente erupciones volcánicas y deposiciones de cenizas, mientras que en la Cordillera Occidental, en la región de Calima (Valle del Cauca), sólo se ha registrado una\*.

## II.— REVISION DE LITERATURA

### Productos de Solubilidad

En la actualidad la identificación de los fosfatos inorgánicos del suelo se basa en la comparación de la actividad iónica de las soluciones equilibradas del suelo y la actividad iónica de los diferentes fosfatos de origen inorgánico que se presentan en los suelos.

A este respecto, varios autores, tales como Clark y Peech (7), Aslyng (2), Lindsay y Moreno (16) y Ulrich y Khanna (23), han desarrollado los parámetros del potencial del fosfato monocálcico ( $\text{pH}_2\text{PO}_4 + 0,5 \text{pCa}$ ) y del potencial cálcico ( $\text{pH} - 0,5\text{pCa}$ ) estableciendo, de esta manera, las relaciones para los diferentes fosfatos del suelo.

Así, de acuerdo a la ley de la acción de las masas, el producto de solubilidad de la apatita hidroxidada ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$ ) es, según Ulrich (21):

$$5\text{pCa} + 3\text{p PO}_4 + \text{pOH} = 57,5$$

Este producto se puede transformar en el potencial de fosfatos cálcicos siguiendo varios pasos. Utilizando el producto iónico de la disociación del agua ( $\text{pOH} = 13,96 - \text{pH}$ ) y la tercera constante de disociación del ácido fosfórico ( $\text{pPO}_4 = 12,02 + \text{pH PO}_4 + \text{pH}$ ) se obtiene:

$$5 \text{pCa} + 3 \text{pH PO}_4 - 4\text{pH} = 7,48$$

Usando la segunda constante de disociación del ácido fosfórico ( $\text{pHPO}_4 = 7,19 + \text{pH}_2\text{PO}_4 - \text{pH}$ ) se tendrá:

$$5 \text{pCa} + 3 \text{pH}_2 \text{PO}_4 - 7 \text{pH} = -14,09$$

Al dividir todos los términos de la ecuación entre 3 se obtiene:

$$5/3 \text{p Ca} + \text{pH}_2\text{PO}_4 - 7/3 \text{pH} = -4,70$$

Lo cual puede transformarse en:

$$3/6 \text{pCa} + \text{pH}_2\text{PO}_4 = 7/3 \text{pH} - 7/6 \text{pCa} - 4,70$$

Obteniéndose finalmente:

$$0,5 \text{pCa} + \text{pH}_2\text{PO}_4 = 7/3 (\text{pH} - 0,5 \text{pCa}) - 4,70$$

Esta formulación corresponde al potencial químico de fosfato de calcio de la apatita hidroxidada, tal como se indicó anteriormente.

De la misma manera, se han derivado las isotermas de solubilidad para otros fosfatos cálcicos:

$$\text{pH}_2\text{PO}_4 + 0,5\text{pCa} = (\text{pH} - 0,5\text{pCa}) - 0,66, \text{ para el fosfato dicálcico.}$$

$$\text{pH}_2\text{PO}_4 + 0,5\text{pCa} = 5/3 (\text{pH} - 0,5\text{pCa}) - 3,30, \text{ para el fosfato octocálcico.}$$

Para los fosfatos de aluminio, bien sean cristalinos o amorfos, que se presentan preferentemente en suelos ácidos, Lindsay y colaboradores (17) y Clark Peech (7), entre otros, proponen las siguientes relaciones entre el potencial del ácido fosfórico ( $\text{pH} + \text{pH}_2\text{PO}_4$ ) y el potencial aluminico ( $\text{pH} - 0,33 \text{pAl}$ ):

$$\text{pH} + \text{pH}_2\text{PO}_4 = 3(\text{pH} - 0,33 \text{pAl}) + 2,5, \text{ para el fosfato aluminico}$$

$$\text{pH} + \text{pH}_2\text{PO}_4 = 3(\text{pH} - 0,33 \text{pAl}) + 0,5, \text{ para el fosfato aluminico amorfo}$$

Por su parte, Ulrich y Khanna (23) han propuesto otro diagrama único de solubilidad de los fosfatos del suelo. La solubilidad de los fosfatos de aluminio la expresan en función de la solubilidad del ácido fosfórico, tal como se indicó anteriormente, y recalculan los respectivos parámetros para los fosfatos cálcicos, cuyas relaciones son:

$$\text{pH} + \text{pH}_2\text{PO}_4 = 2(\text{pH} - 0,5\text{pCa}) - 0,53, \text{ para el fosfato dicálcico}$$

$$\text{pH} + \text{pH}_2\text{PO}_4 = 8/3 (\text{pH} - 0,5 \text{pCa}) - 3,26 \text{ para el fosfato octocálcico}$$

$$\text{pH} + \text{pH}_2\text{PO}_4 = 10/3 (\text{pH} - 0,5\text{pCa}) - 4,73, \text{ para la apatita hidroxidada}$$

En lo que respecta a suelos tropicales, únicamente Fassbender (13) ha evaluado el uso de los diferentes diagramas de solubilidad para suelos de Centroamérica, habiendo dado mejores resultados el diagrama de Ulrich y Khanna (23).

### Equilibrios Catiónicos.

Desde el punto de vista de la nutrición de la planta, el complejo planta-suelo es un sistema abierto en el cual los iones nutritivos están en continuo movimiento desde la fase sólida del suelo hacia la fase solución y luego hacia la planta, de acuerdo a la siguiente ecuación propuesta por Fried y Broeshart (15):



Esta ecuación implica que cuando la planta absorbe iones desde la solución del suelo se produce el flujo de nutrimentos desde la fase sólida (M-sólida), especialmente desde el complejo coloidal, para restablecer el equilibrio dinámico. Sin embargo, resulta evidente que los procesos pueden ser reversibles.

Lo anterior supone que para caracterizar en forma adecuada la disponibilidad de un nutrimento se hace necesario tomar en cuenta varios componentes. Así, autores como Acquaye y colaboradores (1), Barrow et al (3), Fassbender y Laroche (10) y Fassbender (14), han utilizado las actividades iónicas para evaluar la intensidad con que los iones nutritivos están en contacto con la superficie radical. Interesa así mismo establecer la cantidad de un elemento asociada con la fase sólida del suelo que esté en capacidad de reponer los iones removidos de la solución del suelo, lo cual es caracterizado mediante el parámetro de capacidad (15). Finalmente, el factor restitución describiría la velocidad del proceso de reposición.

Son relativamente escasos los trabajos relacionados con el uso de las relaciones intensidad y capacidad y la composición de la solución equilibrada del suelo para describir en forma adecuada el sistema suelo-planta. Se conocen investigaciones de Tinker (20) para suelos de Nigeria, Leroux y Summer (18) para suelos de Sudáfrica, Barrow y colaboradores (3, 4) en suelos de Australia, Fassbender y Laroche (10) y Fassbender (14) en suelos de América Central.

### III.— MATERIALES Y METODOS

#### Descripción general de las áreas.

Las muestras estudiadas en la región de Pasto, Nariño, están distribuidas en el Altiplano medio y las faldas del Volcán Galeras\*. El perfil denominado Galeras se encuentra a 4.050 m.s.n.m., bajo una vegetación de páramo, la temperatura promedio se estima en 9°C., los perfiles correspondientes a Anganoy, Botana, Obonuco y Chachaguí pertenecen a series de suelos bien establecidas en la región, bajo cultivos agrícolas de trigo, papa, etc., y se encuentran a una altura entre 2.800 y 3.600 m.s.n.m.

Los dos perfiles estudiados del Calima se encuentran en la Cordillera Occidental en las cercanías del Lago de Calima\*; el primero está localizado al noreste del Lago a una altura de 1.650 m.s.n.m. en las cercanías de Darién y el segundo sobre la línea divisoria de las aguas con el Valle del Cauca sobre la carretera Vijés-Yotoco a una altura aproximada de 2.100 m.s.n.m. El material geológico de la región es diabasa que ha sido cubierto por cenizas dacíticas. La lluvia promedio de la región se estima en 1.500 mm/año; la cobertura vegetal es de praderas naturales, en algunas áreas bajas se cultiva café.

\* Los autores agradecen al Ing. Joaquín Gamboa I., al Ing. E. Schrimp y Dr. H. Von Christen, por la cooperación y facilidades prestadas para la toma de muestras en Pasto y Cali, respectivamente.

### Análisis del Suelo.

Las muestras de los diferentes horizontes fueron secadas al aire libre y tamizadas a 2 mm. En la mayor parte de los horizontes se tomaron muestras volumétricas con anillos de 50 cm<sup>3</sup>, para determinar la densidad aparente.

Las muestras fueron analizadas de acuerdo a los siguientes métodos:

—pH en CaCl<sub>2</sub> con un potenciómetro y electrodo de vidrio.

—C: con el aparato de Woesthott incinerándolo a 1.000°C.

—N:— Por el método de Kjeldahl.

—P: Total: después de una digestión ácida (HCl, HNO<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) según Ulrich et al (22).

—Formas inorgánicas de fósforo: según Chang y Jackson (8). El

P orgánico se calculó como diferencia entre el P total y la suma de fosfatos inorgánicos.

—Potencial aluminico (pH—0,33 pAl) cálcico (pH—0,5 pCa) y fosfórico (pH +pH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>), para la identificación de fosfatos, de acuerdo a su solubilidad, según Ulrich y Khanna (23) (Ver también Fassbender et al 13).

### IV.— RESULTADOS Y DISCUSION

#### Características generales de los Suelos.

La densidad aparente de los suelos oscila entre 0,49 y 1,13 g/cc. (Tabla I) y alcanza para los horizontes A un promedio de 0,66 g/cc. Ello es típico en suelos derivados de cenizas volcánicas. No existe una tendencia definida con la profundidad; sin embargo, en los suelos de Calima se evidencia el material diabásico enterrado con una densidad aparentemente más elevada (1,13) que el material de cenizas volcánicas (0,70 y 0,61 g/cc).

El pH alcanzó un promedio de 4,85 (Tabla I), lo cual se encuentra dentro del ámbito general de los andosoles (6, 11, 19). Se observa una tendencia de ligero aumento del pH con la profundidad del suelo.

El contenido de materia orgánica es alto en el horizonte superficial, alcanzando un valor máximo de 10,61% C, para el suelo Chachaguí (Tabla I) y un promedio para el horizonte A de 5,65% C. Lógicamente, disminuye la materia orgánica en los horizontes B y C, alcanzando valores promedios de 1,67 y 1,23% C, respectivamente.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SUELOS ESTUDIADOS

Suelo	Horizonte	Profund. (cm.)	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	pH	C		N		C/N
					%	Ton/Ha.	%	Kg/Ha.	
Galeras	A <sub>1</sub>	0-20	0,54	4,28	7,59	81,97	0,418	4514	18,1
	A <sub>11</sub>	20-60	0,49	5,18	4,08	79,96	0,240	4704	17,0
	C	60-120	—	5,40	0,98	—	0,059	—	16,6
Anganoy	A	0-90	0,76	4,52	6,38	436,39	0,458	31320	13,9
	(B)	90-200	0,61	4,62	1,02	68,44	0,076	5099	13,4
	C	>200	—	5,25	0,25	—	0,020	—	12,9
Botana	A <sub>1</sub>	0-35	0,65	4,58	8,65	196,72	0,564	12830	15,3
	A <sub>11</sub>	35-60	—	4,51	3,21	—	0,176	—	18,3
	A <sub>21</sub>	60-120	0,60	4,46	3,44	123,84	0,183	6588	18,8
	(B)	120-150	0,91	4,52	0,58	15,94	0,041	1193	14,2
	C	>150	—	4,55	0,70	—	0,043	—	16,4
Chachagüí	A <sub>1</sub>	0-30	0,73	4,72	10,61	232,36	0,776	16770	13,8
	A <sub>11</sub>	30-95	0,75	4,58	5,38	262,27	0,392	19112	13,7
	A <sub>21</sub>	95-140	0,81	4,46	4,46	162,56	0,255	9290	17,4
	(B)	140-200	0,69	4,90	3,77	153,47	0,232	9444	16,2
	C	>200	1,06	4,50	0,54	114,90	0,043	9116	12,6
Obonuco	A	0-165	1,04	5,38	3,19	547,40	0,278	47704	11,5
	C	165-180	0,79	5,50	0,66	97,19	0,055	8038	12,1
Calima	A	0-26	0,70	4,52	5,30	96,46	6,336	6115	15,2
	(B)	26-175	0,61	4,58	1,01	91,61	0,078	7809	12,9
	C	>175	1,13	4,92	3,60	—	0,024	—	—
Madroñal	A <sub>1</sub>	0-30	0,58	5,08	8,30	144,4	0,630	10962	13,2
	A <sub>11</sub>	30-80	0,50	5,38	3,06	75,5	0,202	5050	15,1
	B <sub>11</sub>	80-115	0,75	5,52	1,74	45,6	0,064	1680	27,2
	B <sub>21</sub>	115-175	—	5,20	1,90	—	0,058	—	32,7
	C	>175	—	4,80	1,37	—	0,045	—	30,1

El contenido de N se comporta paralelo al de materia orgánica, el promedio general llega a 0,229%N y la relación C/N resultante es de 16,7, en promedio.

**Identificación físico-química de fosfatos.**

La identificación de los fosfatos inorgánicos de acuerdo a sus isotermas de solubilidad se presenta gráficamente en la Figura 1. Bajo condiciones de pH—0,5pCa mayores de 5,0 se localizan siete de los suelos estudiados que presentan una solubilidad ordenable a la de la apatita hidroxidada. Ellos corresponden generalmente a las muestras de suelos superficiales.

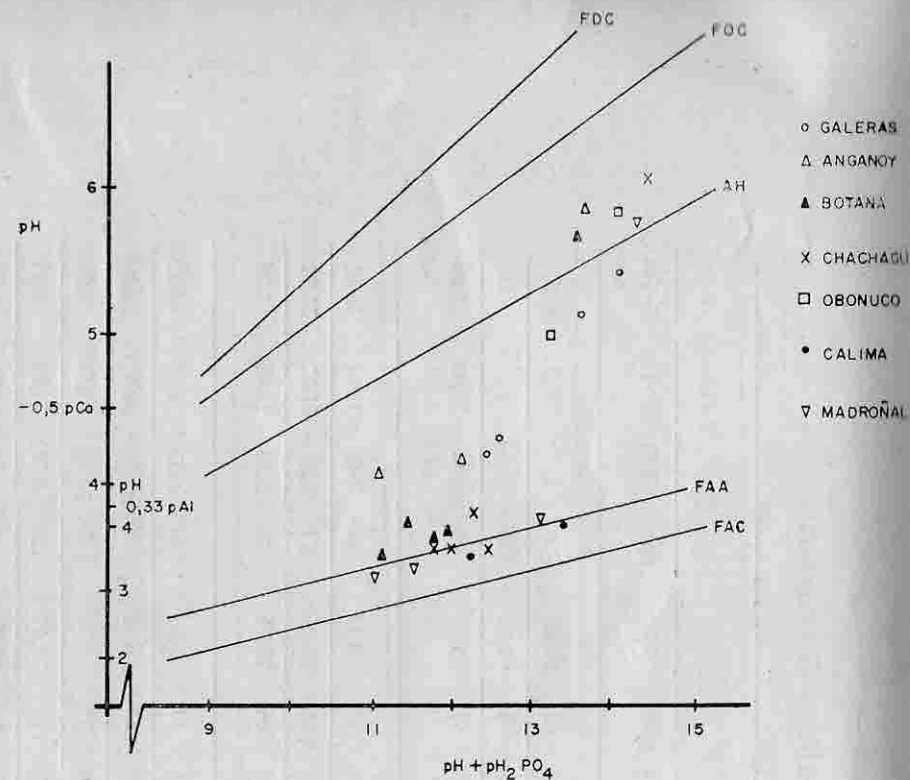


Fig. - 1 - Identificación de Fosfatos Inorgánicos en suelos de Pasto (Nariño) y Calima (Valle)

Bajo condiciones de pH—0,33 pAl inferiores a 4,0 se encuentran 11 muestras que presentan una solubilidad ordenable a la del fosfato de aluminio amorfo. En ningún caso se alcanzó, como en suelos de América Central (11, 13), una solubilidad ordenable al fosfato de aluminio cristalino. La presencia de fosfatos de aluminio amorfos se explica a través de las interacciones con minerales arcillosos amorfos como la alófana que son muy frecuentes en suelos derivados de cenizas volcánicas.

**Contenido y fraccionamiento de los fosfatos.**

El P total presenta grandes diferencias entre suelos y horizontes; los contenidos más altos se registran para los suelos Obonuco y Chachagüí, el promedio general alcanzó 599 mg p/Kg de suelo y es, así, comparable a los promedios publicados por Blasco (6) para el Altiplano medio de Pasto (53 mg P/Kg suelo) y por Blasco y Bohórquez (5) para el Valle del Cauca, (591 mg P<sub>2</sub>Kg suelo). Sin embargo, los suelos analizados de las regiones montañosas occidentales de Calima

## FORMAS DE P EN LOS SUELOS ESTUDIADOS

Suelo	Horizonte Profund. (cm.)	F-Tot. ppm Kg/Ha	P-Al		P-Fe		P-Ca		P-Ocluido		P-Or.	
			ppm	%Pt	ppm	%Pt	ppm	%Pt	ppm	%Pt	ppm	%Pt
Galeras	A <sub>1</sub> 0-20	632	682	32	5,04	67	10,60	38	6,12	22,21	56,01	
	A <sub>11</sub> 20-60	480	940	3	0,69	6	1,23	36	7,64	64,24	26,19	
	C 60-120	332	—	20	5,95	51	15,24	73	21,98	32,98	23,84	
Angaoy	A 0-90	864	5911	32	3,70	122	14,17	64	7,48	35,81	38,82	
	(B) 90-200	621	4169	14	2,22	166	26,76	55	8,88	31,12	31,01	
	C >200	377	—	11	2,83	106	28,16	36	9,84	50,46	9,06	
Botana	A <sub>1</sub> 0-35	745	1696	31	4,25	67	9,05	40	5,33	36,83	44,52	
	A <sub>11</sub> 35-60	604	—	15	2,43	40	6,60	137	22,74	39,42	28,80	
	A <sub>21</sub> 60-120	677	2437	26	3,84	37	5,39	168	24,94	25,59	28,03	
	(B) 120-150	382	1043	3	0,78	118	31,11	18	4,76	38,41	24,91	
C >150	446	—	6	1,29	133	29,85	21	4,74	22,71	41,38		
Chachaguí	A <sub>1</sub> 0-30	1149	2517	58	5,02	94	8,15	64	5,56	37,94	43,30	
	A <sub>11</sub> 30-95	1150	5604	24	2,07	72	2,25	101	8,79	39,22	43,65	
	A <sub>21</sub> 95-140	756	2755	17	2,19	26	3,49	151	19,28	50,60	23,72	
	(B) 140-200	687	2797	24	3,55	37	5,42	142	20,72	46,42	23,86	
	C >200	324	—	1	0,40	37	11,64	6	1,91	38,20	47,88	
Obonuco	A 0-165	1633	28022	93	5,70	277	16,98	159	9,78	23,86	43,66	
	C 165-185	535	7821	20	3,34	158	29,46	39	7,25	44,71	15,22	
Calima	A 0-26	399	727	22	5,68	58	14,44	22	5,61	38,83	35,42	
	(B) 26-175	148	1349	3	2,09	6	4,24	14	9,29	37,31	47,07	
	C >175	54	1069	0,6	1,10	10	18,11	0,6	1,10	34,93	44,77	
Madroñal	A <sub>1</sub> 0-30	627	1091	29	4,67	18	2,87	70	11,19	18,14	63,12	
	A <sub>11</sub> 30-80	254	636	5	2,08	2	0,98	44	17,25	18,31	61,36	
	B <sub>11</sub> 80-115	156	410	8	5,30	4	2,87	43	27,41	—	—	
	B <sub>21</sub> 115-170	99	—	5	5,25	3	3,33	34	33,93	50,60	6,86	
	C >170	70	—	6	9,10	2	3,12	18	25,03	62,87	—	

EQUILIBRIOS CATIONICOS EN LOS SUELOS ESTUDIADOS

Suelo	Horizonte	Profund. (cm.)	Cationes Cambiables				Solución del Suelo			
			K	Ca	Mg	Al	K	Ca	Mg	Al
			meq/100g				% SES*			
Galeras	A <sub>1</sub>	0-20	0,23	1,38	0,57	3,04	52,20	3,67	4,73	2,37
	A <sub>11</sub>	20-60	0,00	2,45	0,27	0,10	11,95	35,87	4,25	0,10
	C	60-120	0,00	0,97	0,16	0,19	8,41	47,03	6,05	0,15
Anganoy	A	0-90	0,88	14,36	2,77	1,76	33,84	28,75	14,28	0,85
	(B)	90-200	2,70	4,17	1,53	0,66	58,39	8,76	4,91	0,00
	C	>200	1,17	8,20	2,29	0,00	14,55	13,86	5,61	0,00
Botana	A <sub>1</sub>	0-35	1,01	14,63	3,82	1,42	41,83	22,92	20,62	0,04
	A <sub>11</sub>	35-60	0,64	1,59	0,92	0,91	20,51	7,71	5,08	0,41
	A <sub>21</sub>	60-120	0,64	1,27	0,90	1,17	28,86	5,92	7,16	0,22
	(B)	120-150	0,13	2,05	6,40	0,49	1,84	3,08	2,37	0,03
	C	>150	0,16	2,26	6,44	0,55	4,21	5,79	3,52	0,10
Chachaguí	A <sub>1</sub>	0-30	0,46	15,71	2,30	0,75	39,40	34,85	13,96	0,01
	A <sub>11</sub>	30-95	0,11	4,82	0,60	1,18	17,03	11,39	3,13	0,20
	A <sub>21</sub>	95-140	0,00	1,30	0,26	0,22	11,21	8,75	2,52	0,13
	(B)	140-200	0,10	1,49	0,41	0,18	14,37	5,25	0,00	0,00
	C	>200	0,52	7,48	1,63	0,21	14,46	5,64	0,00	0,05
Obonuco	A	0-165	0,81	28,74	4,65	0,00	26,87	18,73	40,86	0,01
	C	165-185	1,08	15,74	2,99	0,16	14,62	42,51	14,23	0,01
Calima	A	0-26	0,94	8,60	3,48	1,74	37,93	25,58	21,08	0,01
	(B)	26-175	0,04	0,64	0,23	0,50	2,09	5,83	1,92	0,00
	C	>175	0,07	3,31	2,09	0,01	1,29	5,06	0,55	0,04
Madroñal	A <sub>1</sub>	0-30	0,31	19,67	5,86	0,10	34,20	33,97	22,92	0,47
	A <sub>11</sub>	30-80	0,05	5,57	2,53	0,00	18,50	33,85	21,94	0,01
	B <sub>11</sub>	80-115	0,08	1,80	2,21	0,00	23,25	19,65	27,46	0,29
	B <sub>21</sub>	115-170	0,13	1,29	1,94	0,00	38,30	7,30	1,20	0,17
	C	>170	0,66	1,46	1,12	0,09	38,08	2,42	0,00	0,00

\* SES: Composición porcentual de la solución del suelo.

son más pobres en fósforo, alcanzando en promedio 226 mg P/Kg de suelo; ello se debe a la pobreza del material parental en fósforo; en la Tabla II se observa para la diabasa valores de 54 y 70 mg P/Kg de suelo.

Las reservas totales de P también han sido sumariadas en la Tabla II, ellas permiten evaluar más detalladamente la fertilidad de los suelos en función de su profundidad y/o posibilidades de enraizamiento por los cultivos. Se observa que el suelo Obonuco presenta, debido a su profundidad del horizonte A (165 cm.), una notable reserva de P. (28.022 kg/Ha).

Los resultados correspondientes a las formas de P se presentan en forma absoluta y como porcentaje del P-total (Tabla II). Los fosfatos de aluminio no presentan mayor diferenciación entre regiones u horizontes y alcanzan, en promedio general, 3,42% del P-total. Los fosfatos de hierro aumentan notablemente con la profundidad de suelo, alcanzando en promedio para los horizontes A, B y C: 7, 16, 12,30 y 22,60% del P-total, respectivamente. Los fosfatos de calcio predominan sobre las formas férricas y aluminicas y alcanzan en promedio 12,62% del P-total; ellos son, por otro lado, más ricos en los suelos de Calima y Madroñal que en los suelos de Pasto. Lo anterior concuerda muy bien con la identificación físico-química de los fosfatos; tal como se observa en la Figura 1, las muestras de estos dos suelos presentan una solubilidad ordenable a la apatita hidroxidada. Los fosfatos ocluidos y orgánicos constituyen las fracciones predominantes de fosfatos y alcanzan en promedio 36,6 y 35,5% del P-total, respectivamente. La presencia de fosfatos ocluidos se puede explicar por acumulaciones de P en los intersticios de los cristales amorfos de alófana. El P-orgánico disminuye con la profundidad del suelo en forma paralela al contenido de materia orgánica, sin embargo no se encontró ninguna correlación estadísticamente significativa entre C y P-orgánico.

**Equilibrios catiónicos.**

En la Tabla III se han resumido los datos correspondientes a los cationes (K, Ca, Mg y Al) cambiables y a la composición porcentual de la solución equilibrada del suelo (SES). La suma de K, Ca, Mg y Al en la solución del suelo no alcanza lógicamente un 100% ya que en la presentación no se han considerado H, Na y Mn que también fueron analizadas. El Na en algunos casos alcanzó más de 10% de la solución del suelo.

En la Tabla III se pueden observar grandes variaciones entre elementos para los diferentes suelos y horizontes. El elemento más estable es el potasio que alcanzó en promedio 0,49 meq/100 g suelo y 23,39% de la SES. Los suelos de las montañas occidentales del Calima alcanzaron niveles más bajos que los de Pasto, demostrando la gran influencia de las cenizas volcánicas, a mayor deposición de cenizas mayor es el contenido de K. A excepción del Mg, los demás elementos alcanzaron igualmente valores más altos en los suelos de Pasto. La relación Ca + Mg alcanzó un valor promedio de aproximada-

**K**

mente 20, demostrando un buen equilibrio entre las bases de cambio. Los valores encontrados se hallan dentro del ámbito normal para otros suelos derivados de cenizas volcánicas.

La composición promedio de la solución equilibrada del suelo demuestra una alta participación de K (23,39%), media de Ca y Mg (17,08% y 8,78%, respectivamente) y muy bajas de Al (0,22%). En los suelos andosólicos de América Central (n=38), Fassbender (14) reportó una composición promedio de 33, 27, 35 y 4% de K, Ca, Mg y Al, respectivamente.

Se trató de establecer correlaciones entre los cationes cambia-

bles en su forma absoluta (meq/100g) o relativa (% de la suma de cationes cambiables) y los cationes presentes en la solución del suelo, sin obtener resultados estadísticamente significativos. En otros trabajos, para suelos de Brasil (12) y América Central (14) se encontraron, por el contrario, correlaciones significativas, demostrándose así una mayor homogeneidad de los suelos estudiados.

#### V.— RESUMEN

En cinco suelos (18 muestras) de la región de Pasto, derivados de cenizas volcánicas profundas y dos suelos (8 muestras) de la región montañosa occidental del Valle del Cauca (Calima), donde se ha registrado sólo una deposición de cenizas, se estudiaron las formas de P y los equilibrios catiónicos.

Los fosfatos inorgánicos fueron identificados utilizando sus isoterms de solubilidad (Ulrich y Khanna), encontrándose formas ordenables a apatita hidroxidada y fosfatos de aluminio amorfo. Ello fue verificado con el método de fraccionamiento de Chang y Jackson, aunque las formas predominantes de fósforo son la orgánica (35,40% de P) y la ocluída (36,62%).

Para describir los equilibrios catiónicos se analizaron los cationes cambiables y los presentes en la solución del suelo. Mientras que en la cobertura coloidal predominan Ca y Mg (6,57 y 2,54 meq/100g) en la solución del suelo predomina K (23,39% de la suma de cationes). El contenido de K y las variaciones en la densidad aparente ratifican las diferencias edafológicas de los suelos estudiados de Pasto y Calima.

#### VI.— SUMMARY

##### PHOSPHATES IDENTIFICATION AND CATIONIC EQUILIBRIUM IN THE SOILS OF PASTO AND CALIMA - COLOMBIA

It were studied the P forms and their cationic equilibration in five soils (n=18) of the Pasto zone which were derivated from volcanic deep ashes and five soils (n=9) of the west mountainous region of the Cauca Valley (Calima) where it was recorded only one ash deposition.

The inorganic phosphates were identified by using their solubility isotherms (Ulrich and Khanna), and it were found P forms which were ordered to be apatite hydroxide and to the amorphous phosphate aluminum. It was carried, out by the Chang and Jackson breaking up method; although the predominant forms of P were the organic one (35,40% of Pt) and the other one the occlusive form (36,62%).

To describe the cationic equilibriums were analyzed the exchangeable cations and the presente cations in the Soil Solution. While in the colloidal coverture it predominates the Ca and Mg (6,57 and

2,54 meq/100gr) in the Soil Solution it predominates the K (23,39% of the Cations Sum). The K content and the bulk density variations assure the edaphologic differences of the studied Soils of Pasto and Calima.

#### VII.— BIBLIOGRAFIA

1. ACQUAYE, D. K., MACLEAN, A. J. y RICE, H. M.— Potencial and capacity of potassium in some soils of Ghana. *Soil Science* 103: 79-89. 1967.
2. ASLYNG, H. C.— The lime and phosphate potentials of soils; the solubility and availability of phosphates. *Royal Vet. Agric. College Copenhagen, Yearbook* 1959. pp 1-54. 1954.
3. BARROW, N. J., OZANNE, P. G. y SHAW T.C.— Nutrient potential and capacity. I. The concepts of nutrient potential and their application to soil potassium and phosphorus. *Australian Journal of Agricultural Research* 16: 61-76. 1965.
4. BARROW, N. J.— Nutrient potential and capacity. II. Relationships between potassium potential and buffering capacity and the supply of potassium to plants. *Australian Journal of Agricultural Research* 17: 849-861. 1966.
5. BLASCO, M. y BOHORQUEZ, N.— Fractionation of phosphorus in tropical soils Colombia. *Agrochimica* 12 173-178. 1968.
6. BLASCO, M.— Propiedades químicas de los suelos derivados de cenizas volcánicas en Nariño. In *IICA Panel sobre Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas de América Latina*. Turrialba, 1969. B8, 1-12.
7. CLARK, J. S. y PEECH, M.— Solubility criteria for the existence of calcium and aluminum-bound phosphate in soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 19: 171-174. 1955.
8. CHANG, S. C. y JACKSON, M. L.— Fractionation of soils phosphorus. *Soil Science* 84: 133-144. 1957.
9. DANKE, W. C. et al.— Soil fractions in slected profiles of El Salvador. *Soil Science* 98: 33-38. 1964.
10. FASSBENDER, H. W. y LAROCHE, L. A.— The nutrient potential of soil and the proportion of K :Ca: Mg in tomato plants *Plant and Soil* 28, 431-441. 1, 968.
11. FASSBENDER, H. W.— Deficiencia y fijación de fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas de Centroamérica. In *IICA Panel Sobre Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas de América Latina*. Turrialba, 1969. B4, 1-10.
12. ————— et al. — Equilibrios catiónicos y liberación de potasio en algunos suelos de Amazonía. *Potash revue (Bernal)* 4:56 1970.