



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Ciencias

División de Estudios de Posgrado

COMPORTAMIENTO DE FERTILIZANTES FOSFATADOS Y EL USO DE ENMIENDAS CALCAREAS Y SILICATADAS EN SUELOS FIJADORES DE FOSFORO.

T E S I S

Que para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS (Biología)

Presenta la Bióloga

Silvia Guadalupe Ramos Hernández



México, D. F.

1982

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I

INDICE	Pág.
I. INTRODUCCION	1
II. REVISION DE LITERATURA	3
1. El Fósforo en la nutrición vegetal	1
2. Los suelos derivados de cenizas volcánicas y la fijación del Fósforo	4
2.1 Propiedades Físicas	5
2.2 Propiedades Químicas	5
2.2.1 Alofano	5
2.3 Propiedades mineralógicas	6
3. El Fósforo del suelo	8
3.1 Fijación de Fósforo	8
3.2 Formas de Fósforo en el suelo	11
3.3 Compuestos inorgánicos	12
3.4 Compuestos orgánicos	14
3.5 Factores que controlan la asimilación de los compuestos de Fósforo en el suelo	14
3.5.1 pH	14
3.5.2 Cambio aniónico	16
3.5.3 Precipitación mediante iones de Fe^{3+} , Al^{3+} , Mn^{2+} y Ca^{2+}	16
3.5.4 Fijación por óxidos e hidróxidos	17
3.5.5 Fijación por arcillas	17
3.5.6 Fijación por microorganismos y materia orgánica	17
4. La acidez del suelo y la aplicación de enmiendas calcáreas	18
4.1 Tolerancia de los cultivos a la acidez	20
5. El uso de silicatos y otros aniones sobre la disponibilidad de Fósforo en el suelo	21
III. MATERIALES Y METODOS	23
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	27
1. Efecto del fertilizante fosfatado en los suelos Andosólico I, Andosólico II y Oxisólico III.	27
1) Efecto de los niveles de P_2O_5 sobre las variables de respuesta materia seca, absorción de P y Ca^{2+} por la planta indicadora <u>Lactuca sativa</u> y pH del suelo, en tres suelos derivados de cenizas volcánicas	27
2) Efecto de los niveles de P_2O_5 sobre las variables de respuesta pH, M.O., CICT, Bases cambiables y Aluminio extraíbles en tres suelos derivados de cenizas volcánicas	33
3) Efectos de los niveles de P_2O_5 sobre las variables de respuesta: P-total, P-orgánico, P-inorgánico, P-Al, P-Fe, P-Ca, P-ocluidos, P-fijado y P-aprovechable	34

2. Efecto de la enmienda calcárea en los suelos Andosólico I, Andosólico II y Oxisólico III 42
 - 1) Efecto de los niveles de encalado (meq Ca/100 g) sobre las variables de respuesta materia seca, absorción de P y Ca^{2+} por la planta indicadora Lactuca sativa y pH del suelo, en tres suelos derivados de cenizas volcánicas 42
 - 2) Efectos del encalado (meq Ca/100 g) sobre las variables de respuesta pH, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, bases cambiables y Aluminio extraíbles en tres suelos derivados de cenizas volcánicas 44
 - 3) Efecto del encalado (meq Ca/100 g) sobre las variables de respuesta: P-total, P-orgánico, P-inorgánico, P-Al, P-Fe, P-ocluidos, P-fijado y P-aprovechable 46
3. Efecto de la enmienda silicatada en los suelos Andosólico I, Andosólico II y Oxisólico III 53
 - 1) Efectos de los niveles de Si (ppm) sobre las variables de respuesta materia seca, absorción de P y Ca^{2+} por la planta indicadora Lactuca sativa y pH del suelo, en tres suelos derivados de cenizas volcánicas 53
 - 2) Efectos de la enmienda silicatada (Si ppm) sobre las variables de respuesta pH, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, bases cambiables y Aluminio extraíble de tres suelos derivados de cenizas volcánicas 56
 - 3) Efecto de la enmienda silicatada (Si ppm) sobre las variables de respuesta formas de P: P-total, P-orgánico, P-inorgánico, P-ocluido, P-Al, P-Fe, P-Ca y P-aprovechable 57
4. Efecto del fertilizante fosfatado y encalado en los suelos Andosólico I, Andosólico II y Oxisólico III 65
 - 1) Efecto de los niveles de P_2O_5 y encalado (meq Ca/100 g) sobre materia seca, absorción de fósforo y calcio por la planta indicadora Lactuca sativa y pH del suelo, en tres suelos derivados de cenizas volcánicas 65
 - 2) Efecto de los niveles de P_2O_5 y encalado (meq Ca/100 g) sobre el pH, materia orgánica, Ca^{2+} CICT, Bases cambiables y Aluminio extraíbles, en tres suelos derivados de cenizas volcánicas. 73
 - 3) Efecto de los niveles de P_2O_5 y encalado (meq Ca/100 g) sobre las formas de P: P-total, P-orgánico, P-inorgánico, P-Al, P-Fe, P-Ca, P-ocluido, P-fijado y P-aprovechable, en tres suelos derivados de cenizas volcánicas 76
5. Efecto del fertilizante fosfatado y enmienda silicatada en los suelos Andosólico I, Andosólico II y Oxisólico III 86
 - 1) Efecto de los niveles de P_2O_5 (ppm) y Si (ppm) sobre materia seca, absorción de fósforo y calcio por la planta indicadora Lactuca sativa y pH del suelo, en tres suelos derivados de cenizas volcánicas 86

III

Pág.

2) Efectos del fertilizante fosfatado (P_2O_5) y enmienda silicatada (Si ppm) sobre el pH, M.O., CICT, Bases cambiables y Aluminio extraíbles de tres suelos derivados de cenizas volcánicas	93
3) Efectos de los niveles de P_2O_5 (ppm) y Si (ppm) sobre las formas de P: P-total, P-orgánico, P-inorgánico, P-Al, P-Fe, P-Ca, P-ocluido, P-fijado, P-aprovechable, en tres suelos derivados de cenizas volcánicas	96
6. Efecto de la enmienda calcárea (meq Ca/100 g) y enmienda silicatada (Si ppm) en el suelo Oxisólico III	108
1) Efecto de los niveles de encalado y silicatos sobre la materia seca, absorción de P y Ca^{2+} por la planta indicadora <u>Lactuca sativa</u> por la planta y pH del suelo Oxisólico III	108
2) Efectos del encalado (meq Ca/100 g) y enmiendas silicatadas sobre pH, M.O., CICT, Bases cambiables y Aluminio extraíble del suelo Oxisólico III	109
3) Efecto del encalado (meq Ca/100 g) y enmienda silicatada (ppm Si) sobre las formas de P: P-total, P-orgánico, P-inorgánico, P-Al, P-Fe, P-Ca, P-ocluidos, P-fijado y P-aprovechable del suelo Oxisólico III	110
7. Análisis de Rayos-X	112
V. CONSIDERACIONES GENERALES	113
VI. CONCLUSIONES	118
VII. RESUMEN	120
VIII. LITERATURA CITADA	123
IX. APENDICE	131

IV

INDICE DE CUADROS

Cuadro No.		Pág.
1	Características físico-químicas de los suelos.	26
2	Efecto del fertilizante fosfatado sobre la producción de materia seca y absorción de P y Ca^{2+} por la planta indicadora <u>Lactuca sativa</u> en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	29
3	Efecto de la fertilización fosfatada sobre el pH, M.O., CICT, Bases cambiables y Aluminio extraíble de tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	34
4	Efecto del fertilizante fosfatado sobre las formas (P ppm) y retención de fosfatos en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	35
5	Efecto del encalado sobre la producción de materia seca y absorción de P y Ca^{2+} por la planta indicadora <u>Lactuca sativa</u> en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	42
6	Efecto del encalado sobre el pH, M.O., CICT, Bases cambiables y Aluminio extraíble en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	45
7	Efecto del encalado sobre las formas (P ppm) y retención de fosfatos en tres suelos de cenizas volcánicas.	48
8	Efecto de la enmienda silicatada sobre la producción de materia seca y absorción de P y Ca^{2+} por la planta indicadora <u>Lactuca sativa</u> en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	53
9	Efecto de la enmienda silicatada sobre el pH, M.O., CICT, Bases cambiables y Aluminio extraíble de tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	56
10	Efecto de la enmienda silicatada sobre las formas (P ppm) y retención de fosfatos en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	58
11	Efecto del encalado y fertilización fosfatada sobre la producción de materia seca y absorción de P y Ca^{2+} por la planta indicadora <u>Lactuca sativa</u> en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	66
12	Efecto del encalado y fertilizante fosfatado sobre el pH, M.O., CICT, Bases cambiables y Aluminio extraíble en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	70
13	Efecto del encalado y fertilizante fosfatado sobre las formas (P ppm) y retención de fosfatos en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	73

Cuadro No.		Pág.
14	Efecto de la enmienda silicatada y fertilización fosfatada sobre la producción de materia seca y absorción de P y Ca^{2+} por la planta indicadora <u>Lactuca sativa</u> en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	87
15	Efecto de la enmienda silicatada y fertilizante fosfatado sobre el pH, M.O., CICT, Bases cambiables y Aluminio extraíble en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	94
16	Efecto de la enmienda silicatada y fertilizante fosfatado sobre las formas (P ppm) y retención de fosfatos en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	97
17	Efecto de la enmienda calcárea y silicatada sobre la producción de materia seca y absorción de P y Ca^{2+} por la planta indicadora <u>Lactuca sativa</u> en el suelo Oxisólico III.	108
18	Efecto del encalado y enmienda silicatada sobre el pH, M.O., CICT, Bases cambiables y Aluminio extraíble del suelo Oxisólico III.	109
19	Efecto del encalado y enmienda silicatada sobre las formas (P ppm) y retención de fosfatos en el suelo Oxisólico III.	111
20	Valores de d/λ en unidades $\text{\AA}^0$ por Difracción de Rayos-X en las fracciones Arcillosas menores de 2 micras en el suelo Andosólico I, Andosólico II y Oxisólico III.	112

INDICE DE FIGURAS

Fig. No.		Pág.
1	Efecto del fertilizante fosfatado sobre la materia seca de la planta indicadora <u>Lactuca sativa</u> en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	28
2	Efecto del fertilizante fosfatado sobre la absorción de P en tejidos foliares de la planta indicadora <u>Lactuca sativa</u> en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	30
3	Efecto del fertilizante fosfatado, sobre el P-orgánico e inorgánico en el suelo Andosólico I.	31
4	Efecto del fertilizante fosfatado, sobre el P-orgánico e inorgánico en el suelo Andosólico II.	32
5	Efecto del fertilizante fosfatado, sobre el P-orgánico e inorgánico en el suelo Oxisólico III.	33
6	Efecto de la adición del fertilizante fosfatado en la precipitación de las formas inorgánicas en el suelo Andosólico I.	36
7	Efecto de la adición del fertilizante fosfatado en la precipitación de las formas inorgánicas en el suelo Andosólico II.	37
8	Efecto de la adición del fertilizante fosfatado en la precipitación de las formas inorgánicas en el suelo Oxisólico III.	38
9	Fijación de fósforo bajo la adición de fertilizante fosfatado en el suelo Andosólico I.	39
10	Fijación de fósforo bajo la adición de fertilizante fosfatado en el suelo Andosólico II.	40
11	Fijación de fósforo bajo la adición de fertilizante fosfatado en el suelo Oxisólico III.	40
12	Efecto de la adición del fertilizante fosfatado en el incremento de P-aprovechable en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	41
13	Efecto de la enmienda calcárea sobre la producción de materia seca de la planta indicadora <u>Lactuca sativa</u> en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	43
14	Absorción de P en los tejidos de la planta indicadora <u>Lactuca sativa</u> en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	44
15	Efecto del encalado sobre el pH en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	45
16	Efecto del encalado sobre el P-total en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	47

VII

Fig. No.		Pág.
17	Efecto del encalado sobre el P-orgánico en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	49
18	Efecto del encalado sobre el fósforo inorgánico en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	50
19	Efecto del encalado sobre las formas inorgánicas de fósforo en el suelo Andosólico I.	51
20	Efecto del encalado sobre las formas inorgánicas de fósforo en el suelo Andosólico II.	51
21	Efecto del encalado sobre las formas inorgánicas de fósforo en el suelo Oxisólico III.	52
22	Efecto del encalado sobre la disminución de la capacidad de fijación de fósforo en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	52
23	Efecto de la enmienda silicatada sobre la producción de materia seca de la planta indicadora <u>Lactuca sativa</u> en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	54
24	Efecto de la enmienda silicatada sobre la absorción de P por la planta indicadora <u>Lactuca sativa</u> en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	55
25	Efecto de la enmienda silicatada sobre el pH en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	57
26	Efecto de la enmienda silicatada sobre el P-total en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	59
27	Efecto de la enmienda silicatada sobre el fósforo orgánico en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	60
28	Efecto de la enmienda silicatada sobre el fósforo inorgánico en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	61
29	Efecto de la enmienda silicatada sobre las formas de P-inorgánico en el suelo Andosólico I.	62
30	Efecto de la enmienda silicatada sobre las formas de P-inorgánico en el suelo Andosólico II.	63
31	Efecto de la enmienda silicatada sobre las formas de P-inorgánico en el suelo Oxisólico III.	64
32	Efecto de la enmienda silicatada en la disminución de la fijación de fósforo en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	64
34	Efecto de la enmienda calcárea y fertilizante fosfatado sobre la producción de materia seca y absorción de P por la planta indicado-	

VIII

Fig. No.		Pág.
	ra <u>Lactuca sativa</u> en el suelo Andosólico I.	67
35	Efecto de la enmienda calcárea y fertilizante fosfatado sobre la producción de materia seca y absorción de P por la planta indicadora <u>Lactuca sativa</u> en el suelo Andosólico II.	68
36	Efecto del encalado y fertilizante fosfatado sobre la producción de materia seca y absorción de P por la planta indicadora <u>Lactuca sativa</u> en el suelo Oxisólico III.	69
37	Efecto de la enmienda calcárea y fertilizante fosfatado sobre el aumento del pH, en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	71
38	Efecto de la enmienda calcárea y fertilizante fosfatado sobre el aumento en el porcentaje de materia orgánica en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	72
39	Efecto de la enmienda calcárea y fertilizante fosfatado sobre el aumento de la capacidad de intercambio catiónico en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	74
40	Efecto de la enmienda calcárea y fertilizante fosfatado sobre el aumento de Ca^{2+} intercambiable en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	75
41	Efecto de la enmienda calcárea y fertilizante fosfatado en la disminución del Al^{3+} cambiante en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	76
42	Efecto de la enmienda calcárea y fertilizante fosfatado sobre el P-total en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	77
43	Efecto de la enmienda calcárea y fertilizante fosfatado sobre las formas de P-orgánicas e inorgánicas en el suelo Andosólico I.	78
44	Efecto de la enmienda calcárea y fertilizante fosfatado sobre las formas de P-orgánico e inorgánico en el suelo Andosólico II.	79
45	Efecto de la enmienda calcárea y fertilizante fosfatado sobre las formas de P-orgánico e inorgánico en el suelo Oxisólico III.	80
46	Efecto de la enmienda calcárea y fertilizante fosfatado sobre los P-Al en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	81
47	Efecto de la enmienda calcárea y fertilizante fosfatado sobre los P-Fe en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	82
48	Efecto de la enmienda calcárea y fertilizante fosfatado sobre el P-la en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	83
49	Efecto de la enmienda calcárea y fertilizante fosfatado sobre los P-ocultos en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	84

IX

Fig. No.		Pág.
50	Efecto de la enmienda calcárea y fertilizante fosfatado sobre la fijación de fósforo en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	85
51	Efecto de la enmienda calcárea y fertilizante fosfatado sobre el P-aprovechable en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	85
52	Efecto de la enmienda silicatada y fertilizante fosfatado sobre la producción de materia seca y absorción de P por la planta indicadora <u>Lactuca sativa</u> en el suelo Andosólico I.	88
53	Efecto de la enmienda silicatada y fertilizante fosfatado sobre la producción de materia seca y absorción de P por la planta indicadora <u>Lactuca sativa</u> en el suelo Andosólico II.	89
54	Efecto de la enmienda silicatada y fertilizante fosfatado sobre la producción de materia seca y absorción de P por la planta indicadora <u>Lactuca sativa</u> en el suelo Oxisólico III.	90
55	Efecto de la enmienda silicatada y fertilizante fosfatado sobre las variaciones del pH en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	91
56	Efecto de la enmienda silicatada y fertilizante fosfatado sobre la Materia Orgánica en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	92
57	Efecto de la enmienda silicatada y fertilizante fosfatado sobre la capacidad de intercambio catiónico en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	93
58	Efecto de la enmienda silicatada y fertilizante fosfatado sobre el Ca^{2+} intercambiable en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	95
59	Efecto de la enmienda silicatada y fertilizante fosfatado sobre el Al^{3+} intercambiable en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	96
60	Efecto de la enmienda silicatada y fertilizante fosfatado sobre el P-total, en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	98
61	Efecto de la enmienda silicatada y fertilizante fosfatado sobre las formas de P-orgánico e inorgánico en el suelo Andosólico I.	99
62	Efecto de la enmienda silicatada y fertilizante fosfatado sobre las formas de P-orgánico e inorgánico en el suelo Andosólico II.	100
63	Efecto de la enmienda silicatada y fertilizante fosfatado sobre las formas de P-orgánico e inorgánico en el suelo Oxisólico III.	101
64	Efecto de la enmienda silicatada y fertilizante fosfatado sobre el P-Al en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	102
65	Efecto de la enmienda silicatada y fertilizante fosfatado sobre el P-Fe en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	103

Fig. No.		Pág.
66	Efecto de la enmienda silicatada y fertilizante fosfatado sobre los P-Ca, en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	104
67	Efecto de la enmienda silicatada y fertilizante fosfatado sobre los P-ocluidos en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	106
68	Efecto de la enmienda silicatada y fertilizante fosfatado sobre la disminución en la capacidad de fijación de fosfatos, en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	106
69	Efecto de la enmienda silicatada y fertilizante fosfatado sobre el P-aprovechable, en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	107

XI

INDICE DEL APENDICE

Cuadro No.		Pág.
21	Análisis de varianza Experimento I.	132
22	Análisis de varianza Experimento II.	132
23	Análisis de varianza Experimento III.	133
Lám. No.		
1	Vista del Experimento III. Suelo Oxisólico.	134
2	Las macetas que recibieron 240 ppm P_2O_5 y 400 ppm Si, lograron mejores incrementos de la materia seca de la planta indicadora <u>Lactuca sativa</u> en el suelo Andosólico II y Oxisólico III.	134
3	Las raíces de las plantas de lechuga no desarrollaron en ausencia de fertilización fosfatada (derecha), en tanto que las plantas que recibieron las máximas dosis de P (izquierda), incrementaron su crecimiento.	135
4	Aspecto de las raíces de las plantas (de izquierda a derecha): en el suelo Oxisólico III, Andosólico II y Andosólico I.	135
5	En ausencia de fertilizante fosfatado en los suelos testigos I, II y III, se produjo escaso crecimiento.	136
6	La máxima adición de P (240 ppm P_2O_5) a los tres suelos, incrementaron significativamente los rendimientos, no así el suelo Andosólico I.	136
7	Efecto de la adición de 80 ppm P_2O_5 en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.	137
8	Efecto de la adición de 160 ppm P_2O_5 . En todos los casos, el menor crecimiento se obtuvo en el Andosólico I, con alto poder de fijación.	137
9	La mezcla de 80 ppm P_2O_5 y 20 meq Ca/100 g de suelo, como enmienda calcárea, incrementó los rendimientos en el suelo Oxisólico III.	137
10	Observe los efectos de las enmiendas arriba mencionadas, en el crecimiento radicular.	138
11	Efectos de la adición de 80 ppm P_2O_5 y 300 ppm Si en los tres suelos. Los efectos son notorios en el caso del Suelo Andosólico II.	139
12	Efecto de la enmienda silicatada (200 ppm Si) en los tres suelos.	139
13	Efecto de la adición de 160 ppm P_2O_5 y 10 meq Ca/100 g de suelo. La mejor respuesta se observa en el suelo III.	140
14	Efecto de la adición de 80 ppm P_2O_5 y 200 ppm Si en los tres suelos derivados de cenizas volcánicas. Los mejores rendimientos se presentan en los suelos II y III.	140

I. I N T R O D U C C I O N

Dos características parecen ser comunes a todos los suelos derivados de cenizas volcánicas: a) un bajo contenido de P disponible para los cultivos, escasa solubilidad, y, lo que se ha considerado más grave, el proceso de fijación cuando es adicionado como fertilizante por varias fracciones orgánicas e inorgánicas del suelo y la baja asimilabilidad de P por la planta, siendo por consiguiente un factor limitante en la producción agrícola. El fósforo es un elemento esencial para el desarrollo de las plantas por lo que éste es uno de los elementos que mayor atención ha recibido por parte de los investigadores del suelo.

Lo anterior significa que es indispensable la utilización de fertilizantes fosfatados para asegurar cosechas económicas y que las dosis de aplicación deben ser muy altas pues debido al fenómeno de fijación, sólo una fracción del P agregado puede ser utilizado por las plantas.

La justificación de estudios como éste, tiene sus bases en el importante papel que juegan en el sector agropecuario los suelos derivados de cenizas volcánicas, pues gran parte del cultivo de café, caña de azúcar, algodón, cacao, hortalizas, frutales, y pastos se producen en estos suelos.

La baja capacidad de los suelos derivados de cenizas volcánicas para suplir el fósforo necesario para los cultivos y las deficiencias que de ello se derivan han sido observados por muchos autores en suelos de Japón, Chile, Colombia, América Central y México.

Debido a esto se justifica desarrollar estudios tendientes a seleccionar el tipo de fertilizantes y las enmiendas más adecuadas a usarse, más aún si se considera el alto costo relativo de los fertilizantes fosforados en los países latinoamericanos.

Este trabajo pretende ser una contribución al estudio del efecto de enmiendas calcáreas y silicatadas en la mejor utilización de los fertilizantes fosfatados aplicados a suelos derivados de cenizas volcánicas.

En el sureste de nuestro país se encuentra en el Estado de Chiapas una de las zonas que por su geología se considera dentro de las más antiguas: la Sierra Madre de Chiapas. En la porción sureste de esta Sierra se localiza la importante zona cafetalera Soconusco, cuyos suelos derivados de cenizas volcánicas presentan una gran variabilidad en cuanto a su grado de meteorización y por consiguiente en sus propiedades físicas, químicas y de fertilidad.

Considerando lo antes expuesto se llevó a cabo un estudio bajo condiciones de invernadero y laboratorio, con el objeto de evaluar por un lado la eficiencia del fertilizante fosfatado y la efectividad de enmiendas calcáreas y silicatadas a

corto plazo empleando diferentes dosis, en la disponibilidad de fósforo. Las enmiendas calcáreas son ampliamente usados en la agricultura, mientras que los silicatos son muy utilizados en Europa y en menos proporción en Sudamérica, con la finalidad de mejorar ciertas condiciones del suelo especialmente pH, aumento de bases cambiabiles, mejorar la mineralización de materia orgánica, aumento de P aprovechable y otras propiedades.

Los efectos de los materiales usados en el presente estudio se evaluaron en un experimento factorial sobre:

- 1) la materia seca y absorción de P y Ca^{++} por la planta indicadora (Lactuca sativa var. Great Lakes 407).
- 2) efectos sobre el pH, materia orgánica, bases cambiabiles, capacidad de intercambio catiónico y aluminio libre,
- 3) efectos sobre formas de P, Fijación de P y P-aprovechable.

Con ésta caracterización se pretende contribuir al entendimiento más amplio y concreto de la magnitud, naturaleza, formas y factores físicos y químicos de las fracciones coloidales que determinan la fijación y su efecto sobre la fertilidad y manejo de estos suelos.

II. REVISION DE LITERATURA

1. El Fósforo en la nutrición vegetal.

Es frecuente clasificar al fósforo como un macronutriente aunque las plantas lo contienen en menor cantidad que al nitrógeno, potasio y calcio. Sin embargo, con la posible excepción del nitrógeno, ningún otro elemento es tan importante y decisivo para el crecimiento de las plantas como el fósforo. En contraste con ciertas formas inorgánicas combinadas del nitrógeno poco estables en el suelo y que se pierden fácilmente por volatilización y lavado, el fósforo es estable y no se pierde con facilidad.

Una carencia de este elemento es nociva puesto que evita que las plantas aprovechen otros nutrientes. Su alta estabilidad (pero baja solubilidad) en el suelo es la razón inmediata de su deficiencia para las plantas.

Dentro de las funciones más importantes en las plantas, el fósforo contribuye favorablemente sobre las siguientes:

- 1) División celular, crecimiento y formación de albúminas,
- 2) Floración, fructificación y formación de semillas,
- 3) Maduración de las cosechas,
- 4) Desarrollo de las raíces, particularmente de aquellas fisiológicamente más activas,
- 5) Robustecimiento de la paja en los cultivos de cereales, donde ayuda a prevenir el acame.
- 6) Calidad de las cosechas, sobre todo de forrajes y hortalizas,
- 7) Resistencia a ciertas enfermedades. (Black, 1975).

Recientemente se ha descubierto que el fósforo en las funciones metabólicas actúa también como acumulador de energía mediante procesos de fosforilación fotosintética en los que es posible que participen también el potasio y el magnesio además de las vitaminas, B, C y K. Esta energía acumulada se consume en las reacciones endotérmicas de síntesis, de polimerización, reducción, además en los procesos respiratorios en donde parte de esa energía es empleada para adsorber cationes y aniones aún contra las condiciones de equilibrio de Donnan. (Turrent, 1960).

Cuando alguno(s) de los factores del crecimiento como: abasto de nutrientes en proporciones adecuadas, humedad aprovechable, fotosíntesis óptima, aereación en las raíces, etc. se encuentra en un valor deficitario, el fósforo nada más se acumula sin la participación en sus funciones metabólicas. (Turrent, 1960).

En general, en una planta cultivada, el contenido de fósforo varía de 0.2 a 0.3 % sobre el peso seco, de tal valor, de un 60 a 75 % es soluble en agua.

El fósforo es empleado en la elaboración de compuestos orgánicos que aparecen en todas las células vivas, entre éstos se tiene a los fosfolípidos de los cuales la Lecitina es la más abundante. En los núcleos de las células se encuentran los ácidos oxi y desoxirribonucleicos que tienen ingerencia directa en los procesos mitosómicos.

En todo ello, el ácido fosfórico ocupa una posición central en el metabolismo vegetal. Los procesos anabólicos y catabólicos de los hidratos de carbono trascurren normalmente si los compuestos orgánicos han sufrido una previa esterificación con ácido fosfórico. Un gran número de plantas afectadas por deficiencias fosfóricas presentan su sistema radicular raquítico, acompañado de síntomas generales de perturbación en su crecimiento. Las hojas y tallos de las plantas deficientes son, por lo general, pequeños y muestran una coloración verde-rojiza, purpúrea o bronceada. Si la deficiencia es muy aguda, suelen presentarse quemazones irregulares en los bordes de las hojas. Así mismo, la floración y la madurez son retardadas, produciendo semillas y frutos pequeños, presentándose disminución en los rendimientos. Muchas veces, en las leguminosas puede presentarse una falta de nitrógeno como consecuencia del déficit de fósforo; ello se debe a que las bacterias nodulares de las leguminosas solamente alcanzan su completo desarrollo si el anastecimiento de fosfatos es adecuado. (López y López, 1978).

2. Los suelos derivados de cenizas volcánicas y la fijación de Fósforo.

Uno de los elementos que ha recibido más atención en suelos derivados de cenizas volcánicas por parte de los investigadores del suelo es el fósforo. Las razones son conocidas: bajos contenidos, escasa solubilidad y, lo que se ha considerado más grave, el proceso de fijación cuando es adicionado como fertilizante, por varias fracciones orgánicas e inorgánicas del suelo y la baja asimilabilidad por la planta, siendo por consiguiente un factor limitante en la producción agrícola. La retención de fósforo en estos suelos ha resultado ser acentuadamente mayor que la que se presenta en otros suelos. En así como en la literatura se encuentra información sobre la gran capacidad de fijación de fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas de Hawai , Japón, Nueva Zelandia, Chile, Costa Rica y otros.

Para el caso de nuestro país, los suelos derivados de cenizas volcánicas cubren grandes áreas que se estiman en 3.513,000 ha. Algunos de ellos están clasificados como suelos de Ando. En el sistema de Clasificación Séptima Aproximación se les denomina dentro del Suborden Adepts; en el sistema de Clasificación FAO-UNESCO, se les conoce como Andosoles. En Chile y Argentina se les da el nombre de Trumados. (Aguilera 1969, Birrel 1964 , Swindale 1969).

Es importante, sin embargo, hacer notar que existen suelos derivados de cenizas volcánicas que no difieren en ningún punto significativo de otros suelos derivados de otros materiales en las mismas áreas, por lo cual sólo algunos de los suelos originados de cenizas volcánicas se clasifican como suelos de Ando. (Birrel 1964, Forzythe et al 1969).

En general, bajo el nombre de Ando se agrupan aquellos suelos en los cuales la fracción arcilla está formada por alofano, es por esto que a los suelos también se les ha dado el nombre de suelos alofánicos.

Las propiedades características de éstos suelos pueden agruparse de la siguiente forma:

2.1 Propiedades físicas:

Estos suelos tienen un contenido muy alto de humedad natural y unido a esto, una densidad aparente baja; tienen alta porosidad, por lo cual son lixiviados fácilmente. Su área de superficie específica alta les confiere propiedades de absorción muy elevadas para la materia orgánica, iones y partículas. Estos suelos parecen grasosos al tacto y la variación del tamaño de sus partículas es grande. (Swindale, 1969).

2.2 Propiedades químicas:

De acuerdo con Aguilera (1965) los suelos derivados de cenizas volcánicas tienen un alto contenido de materia orgánica en los primeros 30 cm de suelo y varía del 5 al 20%. Tienen un pH que fluctúa entre 4 y 6.5, es decir, estos suelos tienen condiciones que van de fuerte a débil acidez y su CICT varía de 15 a 60 me/100 g suelo. Su relación C/N es alta y su contenido de nitrógeno va de 0.2 a 0.8 %.

La fracción arcilla separada de los suelos muestra una relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ que varía de 1 a 4.5.

La saturación de bases varía mucho y de sus bases cambiables e intercambiables domina el calcio y le sigue el magnesio. Otra de las características de estos suelos son su alto contenido de Al^{3+} intercambiable que junto con el alofano son los responsables en gran parte del alto poder para fijar fosfatos, molibdatos y otros aniones de estructura similar (Swindale, 1969).

El material humificado de estos suelos presenta resistencia a la descomposición microbiana.

2.2.1 Alofano:

El alofano es un término general para los aluminosilicatos amorfos, con un amplio rango de composición. Estas arcillas tienen capas de aluminio-silicatos, en forma coordinada, es decir, tetraedros de Si, con octaedros de Al, pero tal arreglo es desordenado. Los alofanos son mezclas de Si con óxido de aluminio hidratado y presentan alta dispersión en el medio, por lo cual su Capacidad de Intercambio es muy alta (alrededor de 20 me/100 g). Estas arcillas adsorben tanto a cationes como aniones. La adsorción de aniones se debe principalmente a la gran superficie específica y al alto contenido de Al^{3+} consecuentemente el alofano fija grandes cantidades de fosfato. El alofano imparte una estructura muy porosa, entante en el suelo, lo que conduce a altos valores de infiltración y lavado. (Kanneriro y Mikami 1972).

2.3 Propiedades mineralógicas:

Las cenizas volcánicas que dan origen a este tipo de suelos tienen diferentes composiciones mineralógicas y pueden ser de naturaleza basáltica, andesítica, ríolítica y dacítica principalmente.

La fracción fina (partículas de suelo de 0.2 a 0.02 mm de diámetro según la clasificación internacional) de los suelos de Ando incluye en términos generales minerales claros como el cuarzo, plagioclasa, piedra pómez, fragmentos de vidrios volcánicos y ópalo y algunos minerales pesados, como el olivino, biotita, hiperstenita, augita, hornblenda y magnetita principalmente. (Aguilera 1969, Birrel 1964 y Palencia y Martini 1970).

La composición de los minerales arcillosos (partículas de suelo de menos de 0.002 mm de diámetro) consta de alofano principalmente, haloisita, metahaloisita, gibbsite, caolinita, óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio y componentes amorfos que pueden ser estados intermedios en la intemperización de las cenizas volcánicas. (Palencia y Martini 1970).

La CIGT en los suelos se genera casi en su totalidad en la fracción arcilla y la contribución de las fracciones arena y limo son insignificantes.

Siempre que hay erupciones volcánicas, éstas cubren el paisaje con depósitos nuevos de materiales piroclásticos o fragmentados. Dependiendo de la edad del depósito, de las condiciones ambientales desde su deposición, los suelos que se generan varían en grado de desarrollo desde Regosoles inmaduros hasta suelos en estado avanzado de madurez.

Las propiedades físicas y químicas de los suelos derivados de cenizas volcánicas están fuertemente influenciadas por el grado de intemperización de los materiales piroclásticos. Por lo tanto, el grado de intemperización tiene una influencia importante en la productividad y manejo de estos suelos.

Debido a que los suelos de cenizas volcánicas se forman bajo un amplio ámbito de condiciones climáticas desde regiones de climas fríos templados hasta los tropicales y subtropicales húmedas, las diferencias se reflejan en variaciones relativamente menores en la morfología del perfil. (Yamada 1980).

Los suelos de cenizas volcánicas tienen un carácter alítico de importancia fundamental. Un suelo alítico es aquel en el que el aluminio de la fracción arcillosa se activa rápidamente cuando el suelo llega a hacerse ácido. El alofano de la fracción arcillosa se supone que es el componente esencial que da a los suelos del grupo Ando sus propiedades alíticas. Una consecuencia importante de esta propiedad es la fuerte unión para con los aniones, notable en el caso de los fosfatos. Este carácter alítico debe considerarse en el caso del mejoramiento, ya que hay que considerar la combinación de técnicas adecuadas, en que se incluyan aplicaciones de fosfatos, sil, silicatos, aniones orgánicos y compostos. (Egawa, 1980).

Recientemente en nuestro país, se calcula que en el Norte del Estado de Chiapas, así como de las demás áreas afectadas después de la actividad reciente del Volcán Chichonal, aproximadamente el 60 % de las áreas dedicadas a cultivos están cubiertos de cenizas volcánicas que varían en el espesor, desde unos cuantos centímetros hasta varios metros. Si consideramos la naturaleza de las cenizas, la productividad puede descender, por lo que debe contemplarse como etapas en la rehabilitación de los suelos, el uso de fertilizantes fosfatados, así como de mejoradores químicos y biológicos.

3. El Fósforo del suelo.

3.1 Fijación de Fósforo.

Mientras que la cantidad de fósforo total en un suelo mineral típico puede compararse favorablemente con la del nitrógeno, es mucho menor que la del potasio, calcio o magnesio.

La disponibilidad de fósforo de los fertilizantes fosfatados solubles para las plantas es fuertemente reducida, y solo alrededor del 10 % del fósforo aplicado suele ser aprovechado por los cultivos. (Egawa, 1980).

Se considerara en general que el problema del fósforo es triple: 1) una pequeña cantidad total presente en los suelos; 2) la falta de aprovechamiento del fósforo natural, y 3) una "fijación" marcada de los fosfatos solubles añadidos. (Buckman y Brady, 1977).

En términos generales, la fijación de fósforo consiste en el paso de los fosfatos aplicados al suelo como fertilizante a formas menos solubles o insolubles en el suelo. El fertilizante fosfatado al aplicarse se disuelve pasando a la solución del suelo; los iones H_2PO_4^- y HPO_4^{2-} resultantes pueden ser absorbidos por las plantas pero al mismo tiempo son objeto de numerosas reacciones e interacciones con las fases sólidas y líquidas del suelo. Por un lado las cargas electropositivas del complejo coloidal del suelo, absorben iones H_2PO_4^- y HPO_4^{2-} en la superficie de los mismos y por otro, debido a la presencia de iones Al^{3+} , Fe^{3+} y Ca^{2+} en la solución del suelo se produce la precipitación de fosfatos simples o complejos de baja solubilidad. Por los resultados de numerosos trabajos se indica que la fijación presenta correlaciones con varias características del suelo como la materia orgánica, las arcillas, aluminio libre y el intercambiable, óxidos e hidróxidos de Fe y Al y alofano. Estos son en principio los factores que gobiernan la fijación del P en los suelos. (Bornemisza e Igue, 1967 y Fassbender, 1966, 1968, 1969 y 1975).

Para el caso de los suelos derivados de materiales volcánicos, la magnitud del fenómeno de retención del fósforo ha resultado ser acentuadamente mayor que la que se presenta en otros tipos de suelos. Es así como en la literatura se encuentra información sobre la gran capacidad de fijación de fósforo de los suelos derivados de cenizas volcánicas de Hawai, Japón, Nueva Zelanda, Chile, Costa Rica y México. (Birrel, 1964, Fassbender 1968 y 1969, Kanwar 1966, Martini 1969, Monteilh y Sherman 1972 y Turrent 1963).

En relación a la naturaleza del fenómeno de fijación los autores están de acuerdo en que intervienen dos procesos; la adsorción física y la precipitación química; Hsu (1965), señala que la fijación se debe principalmente a fenómenos de naturaleza química (precipitaciones). Igualmente, Fassbender (1969), concluye en un amplio estudio sobre la fijación del fósforo en suelos de América Central, que la precipitación del fosfato es más importante que su adsorción.

La gran afinidad de los suelos del grupo Ando por el fósforo es una consecuencia del alofano que ellos contienen. Wada (1959) encontró que el fosfato de amonio reacciona con el alofano, formando un fosfato insoluble (taranakita sustituida con amonio). Esta reacción tiene lugar muy rápidamente a pH 4, pero es más lenta a pH 7.

La reacción entre el suelo y los fosfatos en la solución continúa durante cierto tiempo. La primera etapa es una reacción de superficie y sucede rápidamente. El fosfato de aluminio que se forma se separa de la superficie de las partículas y cambia gradualmente hasta llegar a una fase cristalina estable. Se puede considerar que el coeficiente de sorción del fósforo representa el fosfato sorbido en la superficie de la arcilla en la primera etapa. Esto desde luego no representaría el monto total del fósforo que podría sorber el suelo. (Fassbender 1966, 1968, Palma y Fassbender 1970, Barrow, 1979).

Kosaka, citado por Egawa, (1980), indica que, con la excepción de un suelo de material grueso proveniente de una erupción volcánica reciente, el coeficiente de sorción de fósforo de suelos derivados de cenizas volcánicas, excede los 1,300 mg de P_2O_5 , mientras que los suelos derivados de otros materiales parentales tienen coeficientes menores de 700 mg de P_2O_5 .

Al investigar la relación entre el tipo de material parental, el grado de intemperización y la capacidad de sorción de fósforo, Kobo y Ohba, citados por Egawa, (1980), sugieren que el carácter mineralógico de las cenizas puede tener gran importancia sobre la sorción de fósforo, pero que de todas maneras, ésta se incrementa con el grado de intemperización en los tres primeros estadios, y también con el contenido de arcilla, pero decrece en el estadio IV de intemperización. Debido a que el contenido de arcilla en el estadio IV de la intemperización generalmente excede a aquel del estadio III, los resultados indicarían la presencia de diferentes minerales arcillosos en el estadio IV que en el III.

En cuanto a la magnitud y las formas de fijación, se ha encontrado que en latosoles del Brasil se retuvieron entre 26.83 y 41.89% del P añadido, Fassbender, (1969), en tanto que en suelos andosólicos de Costa Rica fijaban un promedio de 86.4% del P añadido. Fassbender, (1969) y otros autores han encontrado que bajo condiciones de acidez, la retención ocurre predominantemente como precipitación hacia fosfatos de aluminio y hierro, representando entre 60.0 y el 90.0% de la retención total, en tanto que la precipitación hacia la fracción de P-Fe y la adsorción, solo representó un escaso porcentaje de la misma.

En la fijación de fosfato, los fosfatos de aluminio y hierro tienen mayor importancia al aumentar la acidez de los suelos, lo se calcula, en cambio, son más importantes en suelos menos ácidos, como lo corrobora Fassbender (1969) en andosoles de Guatemala, El Salvador, Nicaragua y Costa Rica, demostrando que predominaban los fosfatos inorgánicos (55%) sobre los fosfatos orgánicos (43.5%). Esta relaciones son explicable en base a la solubilidad de los fosfatos. Fassbender, (1969), también observó que para los horizontes A, B y C de Inceptisoles y Ultisoles, el porcentaje de P ocluido (insoluble) era de 47, 69 y 76 % respectivamente y que el porcentaje en Oxisoles era de 40, 69 y 82 %, dominando los fosfatos de hierro.

Se ha demostrado la importancia de los óxidos libres de hierro y aluminio y alofano en la fijación de los fosfatos, tanto en suelos de los trópicos, (Fassbender, 1969 y Kanwar 1966), como en suelos de clima templado, (Bornemisza e Igue 1967). Estos óxidos se presentan en formas cristalinas, microcristalinas y amorfas. Se ha informado también que existe una proporción directa entre la fijación del fósforo y el porcentaje de óxidos libres presentes, Fassbender 1969 y Kanwar 1966). Así se explica que la intensidad de fijación es alta en suelos rojos de los trópicos por los altos contenidos en óxidos libres de aluminio y hierro; en suelos de Ando, la fijación se debe a la gran cantidad de alofano.

La fijación de fósforo se reconoce como el principal obstáculo para el desarrollo agrícola de los suelos de ceniza volcánica en Hawai, en los cuales puede necesitarse más de 1340 kg de fósforo por hectárea para satisfacer la capacidad de fijación de fósforo, (Younge y Plucknett, 1966). La fijación es especialmente veloz e intensa en los suelos oxisólicos (ferralíticos) con alto contenido de goetita de Africa Occidental, (Dabin, citado por Olson y Engeltad, 1975)

En la mayor parte de las regiones tropicales húmedas se obtienen buenas respuestas a los fertilizantes fosfatados, lo que demuestra que la mayoría de los suelos tienen deficiencias de fósforo para la producción de casi todos los cultivos. Las cantidades aplicadas de fósforo, Olson y Engeltstad, (1975), indican buenos resultados sobre cultivos para consumo de 10 a 20 kg/ha, pero en ciertas localidades se indican cifras que van de 160 a 1200 kg/ha, para obtener rendimientos elevados. Esta disparidad aparentemente, es una consecuencia de la amplia variedad existente en los suelos tropicales. Las proporciones elevadas se necesitan especialmente en los Oxisoles y Ultisoles y en los suelos formados con materiales de cenizas volcánicas.

3.2 Formas de Fósforo en el suelo.

El contenido de P-total es relativamente bajo. En suelos minerales de áreas templadas, el contenido en P-total varía entre 0.02 y 0.08% (200 a 800 ppm) y en promedio gira alrededor de 0.05% (500 ppm). Fassbender, 1978.

En suelos de áreas tropicales, los contenidos de P son muy variables. Para el P-total se ha informado sobre valores extremos de 18 mg P/Kg de suelo en Oxisoles y Ultisoles en Venezuela, Westin y Brito, citados por Fassbender, 1978; entre 93 y 1800 mg P/kg y 90 a 900 mg P/Kg respectivamente para suelos de Puerto Rico, Fassbender, 1978 y de 3300 mg P/Kg de suelo para suelos derivados de cenizas volcánicas de América Central. (Fassbender, Müller y Balerdi, 1968).

Aparentemente los suelos jóvenes, derivados de cenizas volcánicas presentan un mayor contenido de P que los desarrollados de sedimentos meteorizados y redepositados en las áreas bajas tropicales. Así, la dinámica que presentan los procesos pedogenéticos en suelos derivados de materiales volcánicos de las zonas tropicales bajo condiciones de determinado clima y tiempo, originan frecuentemente que los valores de acidez se sitúen por debajo de un pH 5, como los suelos de Japón, Hawaii, Nueva Zelanda (Birrel, 1964), algunos países centro y sudamericanos como Costa Rica, Puerto Rico, Brasil, (Fassbender, 1969) y México, (Aguilera 1969 y 1972 y Aguilera, citado por Mohr et al 1972).

El contenido de P total en éstos suelos parece estar ligado al contenido de materia orgánica y con su evolución pedológica. Al aumentar el contenido de materia orgánica de los suelos y de los fosfatos orgánicos, se obtiene un contenido mayor de P total. Con relación al efecto del alofano y los complejos órgano-minerales en el contenido de P, lo influyen llevando a valores altos. (Fassbender, 1978).

El fósforo que se libera en forma soluble en los suelos por la meteorización de minerales primarios portadores y el que proviene de los residuos vegetales y de los fertilizantes, se combina primeramente con la fracción arcilla. Tanto en áreas de clima templado como tropical, el porcentaje de P-total en la fracción arcilla, supera al de las partículas de mayor tamaño. (Fassbender, Beinroth y Sarmiento 1978) y Fassbender 1969).

De manera general el contenido de P-total disminuye con la profundidad del suelo, lo que es explicable por la disminución de la materia orgánica y de los fosfatos orgánicos. (Fassbender, Beinroth y Sarmiento, 1978).

El fósforo se encuentra casi exclusivamente en los suelos en forma de ortofosfato, en el que cuatro átomos de oxígeno rodean y están unidos a un átomo central de fósforo. Los fosfatos de los suelos derivan del ácido fosfórico, H_3PO_4 .

Los fosfatos de los suelos pueden dividirse en dos grandes grupos: inorgánicos y orgánicos. En los primeros entre uno y tres cationes metálicos sustituyen a los iones hidrógeno del ácido fosfórico formando sales. En las formas orgánicas uno o más iones hidrógeno del ácido fosfórico se pierden por un éster; los demás son sustituidos parcial ó totalmente por los cationes metálicos. En

ambas categorías las cantidades relativas de fósforo varían mucho.(Fassbender, 1968).

En general, se ha encontrado que algunos factores como la temperatura, la precipitación pluvial, la acidez del suelo, la actividad biológica, el grado de desarrollo de los suelos, determinan la participación de las fracciones orgánicas e inorgánicas en el P total. Bajo condiciones de acumulación de materia orgánica en el suelo (baja temperatura y alta precipitación, acidez del suelo, escasa actividad biológica) predominan los fosfatos orgánicos.(Fassbender 1978 y Bartlett y Riego (1972).

Asi mismo, Gamboa y Blasco (1969) tambien informan de sus resultados indicando que el P total determinado (1450 a 3250 ppm) está dentro del ámbito presentado por varios investigadores para los suelos de origen volcánico de Costa Rica. De acuerdo a Fassbender (1975) los suelos con influencia de materiales volcánicos de tipo alofánico presentan mayores contenidos de P-total que los suelos de co abundantes en sesquióxidos de Fe y Al. Además al aumentar la materia orgánica y con ella los fosfatos orgánicos se obtiene generalmente un mayor contenido de P- total. Mencionan además que en cuanto a las fracciones inorgánicas se observa un aumento en los fosfatos de aluminio y hierro, lo mismo que en fósforo inerte; éste resultado no es más que el efecto del Al^{+++} y Fe^{+++} soluble, tan común en suelos intemperizados, siendo la forma inerte altamente insoluble.

3.3 Compuestos inorgánicos.

Entre los fosfatos inorgánicos se diferencian formas químicamente bien definidas y cristalizadas, no bien cristalizadas o amorfas, fosfatos absorbidos al complejo coloidal como caolinita y alofano y los ocluidos en los hidróxidos de Fe, Al y Mn a través de su proceso de cristalización y crecimiento, y presentes en la solución del suelo. Entre los fosfatos cristalinos se consideran a los cálcicos, a los aluminicos y a los férricos.(Fassbender 1978 , Bornemisza e Igue 1967 , Kanehiro y Mikami 1972).

Los fosfatos inorgánicos de los suelos se encuentran como ortofosfatos de hierro, aluminio y calcio. Los fosfatos de hierro y aluminio tales como la variscita ($AlPO_4 \cdot 2H_2O$), la estrengita ($FePO_4 \cdot 2H_2O$) y las vivianita $Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$ se cree que son los productos finales de fósforo inorgánico formados durante la génesis del suelo y a causa de la fertilización fosfatada, los cuales son estables en suelos ácidos y extremadamente insolubles. (Fassbender, 1975).

Estudios de correlación efectuados en suelos ácidos han mostrado que los fosfatos de aluminio suministran más fósforo a la planta que los fosfatos de hierro, mientras que los fosfatos de calcio son la fracción menos aprovechable de las tres. (Ortega y Guerrero 1972).

Para suelos de América Central, Fassbender y sus colaboradores (1978) encontraron que el orden de participación de las fracciones de fósforo en el suministro de P a la planta fué: P-lá P-fácilmente soluble P-Al P-orgánico, mientras que los fosfatos de hierro no tuvieron participación en el proceso.

Los fosfatos de aluminio liberan más fósforo utilizable para la planta cuando al suelo se han adicionado recientemente fertilizantes fosfatados. Al respecto Juo y Ellis (1968) han demostrado que cuando se adiciona fósforo soluble a suelos ácidos, el P-añadido se precipita rápidamente hacia fosfatos de aluminio y fosfatos de hierro en estado coloidal. Indican además, que estas formas coloidales son fácilmente aprovechables por la planta, pero que tienden a cristalizar para formar compuestos hidratados que son mucho menos solubles. Los mismos autores concluyen que la cristalización es función del tiempo y es el factor que controla la aprovechabilidad de estas dos formas de fósforo en suelos ácidos. (Ortega y Guerrero 1972).

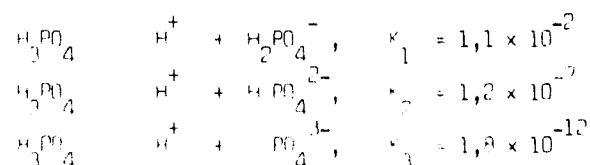
Estos autores indican también que mientras los productos de precipitación hacia fosfatos de hierro y aluminio, en suelos ácidos, permanezcan en un estado coloidal y hasta tanto no se cristalicen, son fácilmente aprovechables por la planta.

La apatita que representa el 95 % o más del fósforo de las rocas ígneas, de acuerdo a Rankama y Sahama, citados por Black, (1975), se localiza en forma de pequeños cristales del tamaño de la arena y del limo distribuidos en pequeñas cantidades de modo uniforme en toda la roca. La fluorapatita $(Ca_{10}F_2(PO_4)_6)$ es la forma más común y estable de la apatita y es el más insoluble del grupo, se le encuentra por lo general en forma de mineral originario aún en suelos muy meteorizados, sobre todo en sus horizontes inferiores. La meteorización produce una desaparición gradual de la fluorapatita y la formación de fosfatos secundarios. (Fassbender 1975, 1978 y Fassbender, Beinroth y Sarmiento 1978).

Los compuestos más sencillos de calcio, tales como los fosfatos monocalcicos $Ca(H_2PO_4)_2$ y el fosfato dicálcico Ca_2HPO_4 son fácilmente asimilables para el desarrollo vegetal. Excepto en suelos recientemente fertilizados, éstos compuestos están presentes en cantidades extremadamente pequeñas, ya que con facilidad se transforman en materiales insolubles. (Fassbender 1978, y Urrutia e Ique 1972). También se encuentran las formas hidratadas de la apatita $Ca_5(H_2PO_4)_3 \cdot H_2O$, $Ca_5HPO_4 \cdot 2H_2O$, las apatitas hidroxidadas $Ca_5(PO_4)_3OH$ y sus variantes fluoradas y carbonatadas. (Fassbender, 1975, 1978).

Existen también algunos fosfatos cristalinos complejos derivados de transformación de fertilizantes como taranakitas y los octofosfatos de calcio. Además se conocen otros fosfatos cristalizados que aparecen en los suelos pero que tienen menor importancia como la gorceixita, florencita, wavelita y grandalita. (Fassbender 1975).

El P se encuentra en cantidades muy pequeñas en forma de ácido fosfórico en la solución del suelo, de acuerdo a las constantes de disociación del ácido fosfórico:



Predominan iones $H_2PO_4^-$ entre pH 2 y 7 y entre pH 7 y 12 los iones HPO_4^{2-} , por lo que en la mayor parte de los suelos se presenta HPO_4^{2-} en sus fases acuosas. (Fassbender, 1975, 1978).

En estudios sobre cronosecuencias de Australia, Fassbender, (1975) y Nueva Zelanda, Syers et al (1970), encontraron resultados similares. Según estos estudios los fosfatos de calcio predominan en suelos jóvenes y disminuyen con el grado de meteorización; en cambio los fosfatos de Al y Fe aumentan hasta un punto en el cual los fosfatos ocluidos pasan a ser las formas más importantes de este elemento. En los suelos maduros la mayor parte de los fosfatos inorgánicos se encuentran en las concreciones.

Asimismo la distribución de los fosfatos inorgánicos se ve influenciada por las condiciones de pH del suelo. En reacciones neutras o alcalinas predominan los fosfatos de calcio, bajo condiciones ácidas los de Fe y Al. Esto es explicable con base en los productos de solubilidad de los diferentes fosfatos. Se ha informado también que la distribución de los fosfatos inorgánicos depende de la granulometría del suelo; en los arenosos predominan los fosfatos cálcicos y en los arcillosos los aluminicos y férricos. Las condiciones de inundación como en los suelos arroceros o pantanosos, propician la acumulación de fosfatos ferrosos. (Fassbender 1978, Vanderleen et al 1973 y Bartlett y Riego 1972).

3.4 Compuestos orgánicos

El fósforo orgánico varía según el contenido de materia orgánica y por lo tanto, es escaso en los subsuelos y abundante en la superficie. Reportes sobre la parte superficial de los suelos han registrado para el fósforo orgánico, valores que fluctúan entre cifras tan bajas como 0.3% del total, Patel y Mehta (1961) y otras tan altas como 95% del total, Kaila (1956), citados por Black (1975). En general la participación del P orgánico en el P total varía generalmente entre 25 y 75%. En casos extremos puede alcanzar de 3 a 85%. (Fassbender, 1975).

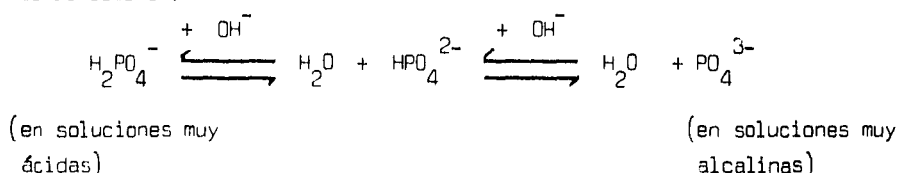
De acuerdo con la estructura química existen cinco tipos principales de compuestos fosfatados en la materia orgánica, mismos que también existen en las plantas: 1) fosfolípidos, 2) ácidos nucleicos, 3) fosfatos metabólicos, 4) fosfoproteínas, y 5) fosfatos de ácido inositolhexafosfórico o inositos. La fracción principal está constituida por los del quinto grupo, que forman hasta el 50% del P orgánico y en algunos suelos hasta el 75%. El inositol forma un éster con el fósforo denominado fitina; las sales de la misma, fitatos de Ca, Fe y Al son los compuestos más comunes. Los ácidos nucleicos son fácilmente mineralizables. (Fassbender 1975).

3.5 Factores que controlan la asimilación de los compuestos de Fósforo en el suelo.

3.5.1 pH

El aprovechamiento del fósforo en las plantas está determinado en alto grado por la forma iónica de este elemento. La forma iónica, a su vez, viene determinada por el pH de la solución en que dicho elemento se halla. Así, en solu-

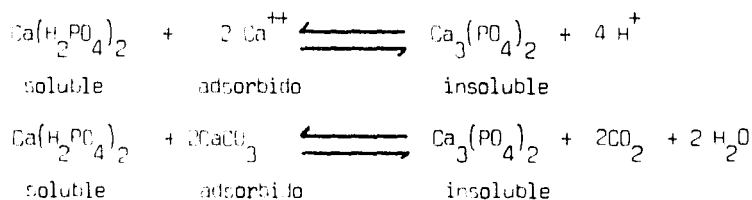
ciones muy ácidas, se encuentra solamente el H_2PO_4^- . Si el pH aumenta, predomina primero el ión HPO_4^{2-} y, finalmente, el PO_4^{3-} . Esto lo muestra las siguientes reacciones:



A niveles intermedios de pH dos de los iones fosfatos pueden estar presentes simultáneamente. Así, en soluciones cuyo pH sea de 6.0, se muestran conjuntamente los iones H_2PO_4^- y HPO_4^{2-} . En general el ión H_2PO_4^- es considerado como más aprovechable para las plantas que el HPO_4^{2-} . No obstante, en ciertos suelos ésta relación viene complicada por la presencia o ausencia de otros compuestos o iones. Por ejemplo, la presencia de iones de hierro o de aluminio solubles, bajo condiciones muy ácidas, o bien de calcio con pH altos afectarán grandemente la asimilación del fósforo. (Fassbender, 1975-1978).

En general el máximo aprovechamiento de fosfatos para las plantas se obtiene cuando el pH del suelo se mantiene entre 6.0 y 7.0. Cuando existe insolubilidad de fósforo en ambos extremos de la gama de los pH el problema consiste en determinar dónde se efectúa la fijación del mínimo en la reacción del suelo. Holford y Patrick (1979). Los fosfatos básicos de Fe^{3+} y Al^{3+} tienen una solubilidad mínima de pH 3 a 4. A valores de pH más altos, parte del fósforo es liberado y la capacidad queda algo reducida. No obstante, a pH de 6.5 incluso, gran cantidad de fósforo es fijada. Por encima de pH 7.0 se forman otros compuestos más insolubles, como la apatita. (Fassbender, 1975, Buckman y Brady 1977 y Juo y Ellis 1968).

En los suelos alcalinos la precipitación de fosfatos es producida sobre todo por los compuestos cálcicos. Estos suelos se abastecen grandemente de calcio intercambiable y, en muchos casos con CaCO_3 . Los fosfatos aprovechables reaccionan tanto con el ión Ca^{2+} como con su carbonato, por ejemplo cuando se añade superfosfato concentrado a un suelo calizo, las reacciones a que daría lugar son:

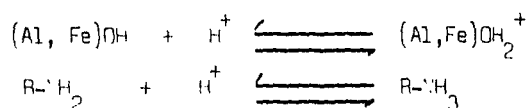


Aunque el $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ así formado es completamente insoluble, puede convertirse en el suelo en compuestos más o menos insolubles. Los compuestos hidroxidados, oxidados, carbonatos, o aún los de fluorapatita, pueden formarse si las condiciones son favorables y si el tiempo suficiente lo permiten. Este tipo de reversión puede ocurrir en suelos que hayan sido fuertemente encalados. Es mucho más importante, sin embargo en suelos con presencia de excesos de CaCO_3 . El problema de la utilización de los fosfatos en suelos de zonas áridas, es, por tanto, tan impor-

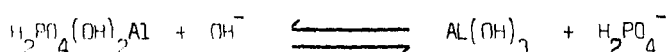
tante como en los suelos fuertemente ácidos. (Fassbender 1975 , Buckman y Brady, 1977 , Zunino et al 1976 y Holford y Patrick 1979).

3.4.2 Cambio aniónico

Las cargas externas positivas de los coloides del complejo de cambio originan procesos de intercambio aniónico. Bajo condiciones ácidas, generalmente por debajo del punto isoeléctrico de la materia orgánica, de los minerales arcillosos y de los hidróxidos de hierro y aluminio, se acumulan protones a los grupos ^-OH ó $^-\text{NH}_2$, originándose cargas positivas. Estas cargas electropositivas son compensadas por los aniones presentes en la solución del suelo dando origen al intercambio aniónico.(Fassbender, 1975).



En los fosfatos, la parte que reacciona con los compuestos de hierro y aluminio y con las arcillas está sujeto a su sustitución por otros aniones como el oxhidrilo. Este reemplazamiento puede representarse por la siguiente reacción:



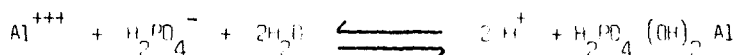
un anión (OH^-) ha sido cambiado por otro $(\text{H}_2\text{PO}_4^-)$. (Fassbender 1975 , Palma y Fassbender 1970 , Barrow 1979 , Barrow y Shaw, 1979).

Pa Ho Hsu, (1964), citado por Fassbender (1975), hizo un estudio del proceso de adsorción y de la precipitación de fosfatos como fenómenos de fijación de Fósforo. En éste estudio concluye que se trata de fenómenos muy similares que difieren en última instancia en el grado de polimerización de los hidróxidos de Al^{3+} y Fe^{3+} en el suelo.

3.4.3 Precipitación mediante iones de Fe^{3+} , Al^{3+} , Mn^{2+} y Ca^{2+} .

El hierro soluble, así como el aluminio y manganeso se encuentran habitualmente en suelos minerales fuertemente ácidos. La reacción con los iones H_2PO_4^- se presenta inmediatamente convirtiéndose el fósforo en insoluble y, por tanto, inaprovechable para el crecimiento de las plantas.(Fassbender, (1975, 1978), Palma y Fassbender, 1970 , Wada y Gunkiqake 1979 , Jones y Fox 1978 , Holford y Patrick 1979).

Las reacciones químicas que ocurren entre el hierro y el aluminio solubles con los iones H_2PO_4^- , con toda probabilidad originan los fosfatos hidroxidados. Ello se puede representar usando el catión aluminio como ejemplo:



En la mayor parte de los suelos fuertemente ácidos la concentración de los iones Fe^{3+} y Al^{3+} excede grandemente a la de los iones H_2PO_4^- . En consecuencia, la reacción anterior se desplaza hacia la derecha formándose fosfato insoluble, que tanto sólo en libertad cantidades ínfimas de iones H_2PO_4^- , aprovechables para las plantas en tales condiciones.(Buckman y Brady, 1977, Vanderdeelen et al 1973 ,

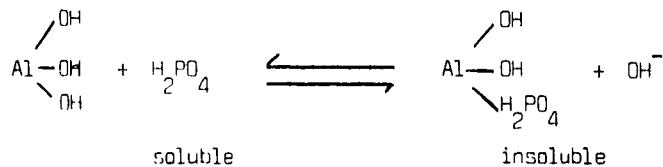
Holford y Patrick 1979 , Barrow y Shaw 1979).

3.5.4 Fijación por óxidos e hidróxidos

En su punto isoeléctrico los óxidos no presentan ninguna carga. Bajo condiciones más alcalinas (aumento OH^-) los grupos FeOH de los óxidos son neutralizados con formación de H_2O , las cargas negativas originadas dan lugar a la adsorción de cationes. Bajo condiciones de acidez mayor que su punto isoeléctrico se acumulan iones H^+ y aparecen cargas positivas que dan lugar a la adsorción de aniones. (Fassbender 1978 , Fassbender et al 1978 y Bartlett y Riego 1972).

También los iones H_2PO_4^- reaccionan con los óxidos hidratados insolubles, tales como la limonita y la goethita, de tal manera que la cantidad real de fósforo fijado por éstos elementos en suelos ácidos es la que excede a la precipitación química por los cationes de Fe^{3+} , Al^{3+} y Mn^{2+} . (Bartlett y Riego 1972 , Barrow 1979 , Barrow y Shaw 1979 , Juo y Ellis 1968 Hsu 1979).

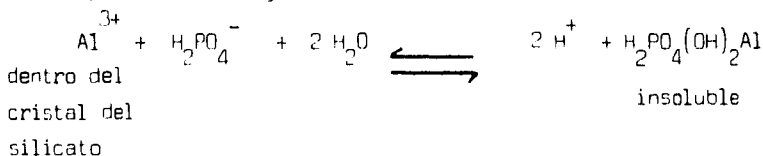
Los compuestos que se forman como resultado de la fijación de los iones H_2PO_4^- por los óxidos hidratados de hierro y aluminio son, fosfatos hidroxidados igual que en el caso de la precipitación química. Su formación puede verse en la siguiente reacción de los óxidos hidratados de aluminio como hidróxido de aluminio.



Por medio de éstas y otras reacciones semejantes parece que ocurre la formación de varios fosfatos minerales básicos, conteniendo hierro, aluminio ó ambos a la vez. (Palma y Fassbender 1970, Fassbender 1975 Hsu 1979).

3.5.5 Fijación por arcillas

Otro medio de fijación bajo condiciones ácidas moderadas incluye silicatos minerales tales como la caolinita, montmorillonita e illita. La fijación de fosfatos por silicatos minerales se realiza mediante una reacción de superficie entre los grupos OH^- de los cristales minerales y los iones H_2PO_4^- . Otras veces, el aluminio y el hierro son desprendidos de las aristas de los cristales del silicato, formándose fosfatos hidroxidados de la misma manera que el proceso anterior. Tal reacción puede ser la siguiente:



3.5.6. Fijación por microorganismos y materia orgánica.

La materia orgánica y los microorganismos afectan grandemente a la utilización del fósforo inorgánico. Igualmente a lo que ocurre con el nitrógeno, la rápida descomposición de la materia orgánica, y, en consecuencia, la alta población de microorganismos conduce a una retención temporal de fosfatos inorgánicos sobre el tejido microbiano. (Fassbender , 1978).

4. La acidez del suelo y la aplicación de enmiendas calcáreas.

Una de las propiedades químicas más importantes del alofano es la marcada tendencia de su aluminio por activarse a bajos pH. De este modo, los suelos de rivados de cenizas volcánicas los cuales tienen grandes cantidades de alofano, poseen ésta características en grado muy desarrollado. (Egawa 1980 , Kawai 1980 , Wada y Gunkigake 1979).

La aplicación de cal es uno de los tratamientos químicos básicos usados para inactivar el aluminio, debido a que resulta más económico que la aplicación de fer tilizantes fosfatados.

El efecto benéfico de las aplicaciones de carbonatos como materiales de enmien da ha sido atribuido entre otras causas a los cambios físicos del fósforo, a la disminución en la toxicidad del aluminio, aumentos en la reacción del suelo. Un aumento del pH en el suelo tiene un efecto múltiple acelerando la mineralización de la materia orgánica, aumentando la nitrificación, la actividad bacteriana y disminuyendo la actividad y posible toxicidad de aluminio, hierro y manganeso precipitándolos como hidróxidos. (Almeida y Bornemisza 1977 , Beckwith y Reeve 1964 , Bornemisza et al 1969 , Fassbender y Müller 1967 , Fassbender y Molina 1969 , Miramontes 1972 , Monteilh y Sherman 1972 , Pastrana 1979 , Villar y Pastrana 1979).

Una segunda propiedad química importante del alofano, es la relativamente fá cil pérdida de bases intercambiables y la tendencia a desarrollar grados muy bajos de saturación de bases, incluso para el calcio. Por lo que éstos efectos pueden controlarse también mediante la adición de cal. (Forsythe et al 1969 , Kamprath 1970 , Sherpa y González 1979).

Un grado de saturación de calcio del 30% corresponde a un grado de saturación de bases alrededor de 45%. Una saturación de bases aproximadamente 45 al 60% se considera como un intervalo favorable para la mayoría de los cultivos en los suelos de Ando. Un valor de pH 6.0 corresponde a un grado de saturación de bases superior al 65% en los suelos de Ando. (Almeida y Bornemisza, 1977).

Muchos suelos del trópico húmedo se caracterizan por un complejo de cambio do minado por cargas dependientes del pH, hecho poco común en suelos de regiones templadas cuyos coloides tienen principalmente carga permanente. (Fassbender 1975) y Jones y Fox 1978).

La carga variable o dependiente del pH en la fracción inorgánica del suelo se debe a los óxidos e hidróxidos amorfos de Fe, Al y Si; la superficie de estos mine rales contienen iones no completamente coordinados y por esto la superficie está cargada eléctricamente. Además de estos minerales, otros materiales se comportan en forma similar debido a mecanismos de formación de cargas semejantes (arcillas tipo 1:1, alofano y otros materiales amorfos. (Aguilera, 1980 , Fassbender 1978 , Hsu 1979 , Kawai 1980)

Los suelos con pH menor de 6.0 tienen una alta capacidad de fijación de P. Esto es debido al aumento progresivo de los hidróxidos de Fe y Al. (Fassbender 1969 , Wada y Gunkigake 1979 , Palma y Fassbender, 1970 , Gelford , Patrick 1979).

En los suelos tropicales la fracción de P adsorbida por el complejo coloidal, es generalmente pequeña (3.0 a 14.5%), pero la fracción más importante de P fijado en latosoles costarricenses está asociado con el Al; en cambio en latosoles brasileños la fijación de P está asociada con el hierro. Estas dos fracciones constituyen alrededor del 90% del P presente.(Fassbender, 1969). En latosoles de los Llanos Orientales el P unido al Fe parece ser la fracción más activa, ya que al añadir P se aumenta ésta fracción, lo cuál sugiere que el Fe es el elemento más hábil para fijar el P en éstos suelos.(Sánchez 1974).

En el Brasil, Gómez et al y Monteilth y Sherman (1963), Suenisa et al (1969), citados por Fassbender (1969), han observado cambios a través del encalado, aumentando el pH del suelo, con una considerable disminución del Al^{3+} cambiabile, aumento del Fósforo disponible, resultando un aumento de la producción. Asi mismo De Datte et al citados por Fassbender (1969), observaron que al aumentar el pH del suelo 0.5 unidades, disminuye el aluminio cambiabile a la mitad y con ello la fijación de P.

En Chile y Costa Rica, Letelier y Wright, citados por Fassbender (1969), observaron que se pueden controlar ciertos factores del suelo usando enmiendas cal cáreas. Bornemisza et al (1968) encontraron que una aplicación de 9 me Ca+Mg/100 g de suelo, llevó a un aumento de 0.9 unidades de pH. Rixon (1961) y Sherman (1963), citados por Fassbender (1969), encontraron en suelos de Hawai que después de aplicarse aproximadamente 26 T carbonato/ha, el valor de pH variaba entre 0.8 y 1.2 unidades, consecuentemente los valores de CICT aumentaron por la formación de nuevas cargas electronegativas dependientes del pH en el complejo coloidal de los suelos.

Fassbender (1969) encontró asimismo en suelos derivados de cenizas volcánicas que con aplicaciones de hasta 16 me Ca+Mg (4:1)/100 g de suelo se tienen aumentos de pH de 1.8 a 2.1 unidades y que la capacidad de fijación disminuye hasta un pH de 5.8, después del cuál se producen efectos de sobreencalado. Asi también en un experimento en campo con cultivo de caña de azúcar observó un aumento estadísticamente significativo sobre la producción a una dosis de 2.8 T/ha de enmienda cal cárea, después de la cual también se producen efectos de sobreencalado. Resultados similares se han obtenido también en otros suelos derivados de cenizas volcánicas de Hawai utilizados con cultivos de caña de azúcar.

El análisis de los suelos de los Llanos de Colombia indican que éstos suelos ácidos minerales muy meteorizados están saturados predominantemente con aluminio y revelan un bajo contenido de bases intercambiabiles.(Vargas citado por Kamprat 1974).

Los datos químicos de suelos representativos del Brasil demuestran que cuando el pH es inferior a 5.0, el aluminio es el catión intercambiable predominante. Kamprat (1974), asimismo las muestras de suelo del Estado de Sao Paulo, Brasil demuestran también el aluminio intercambiable predominante cuando el pH es inferior a 5.0

En México, Turrent (1963) encontró que el atraso en el crecimiento de la lechuga romanita que se hacia crecer en suelos de la Sierra Tarasca, se corregían totalmente con tratamientos de encalado, materia orgánica y aplicación de

12,800 kg de P_2O_5 por ha, encontrando además que el atraso se debía especialmente a deficiencias de fósforo aprovechable.

Miramontes (1972), usando carbonato y silicato de calcio sobre Entisoles, Oxisoles e Inceptisoles de México, originaron aumentos de pH, disminución del Al^{3+} cam biable, aumento de la capacidad de intercambio catiónico, calcio intercambiable, así como incrementos en el rendimiento de sorgo.

De igual manera Villar y Pastrana (1979) encontraron que en suelos ácidos de Tabasco, se producía un efecto positivo entre la aplicación de cal y fertilizantes fosfatados, incrementando la producción de frijol.

4.1 Tolerancia de los cultivos a la acidez

Los cultivos varían considerablemente respecto de su grado de tolerancia a la acidez del suelo. El bajo crecimiento de las plantas en los suelos ácidos se relaciona en muchos casos con el efecto nocivo del aluminio y manganeso. Esto ha sido analizado en detalle por Adams y Pearson (1970). Además, el calcio y otros elementos nutritivos pueden ser deficientes en suelos muy lavados. En condiciones de acidez, el molibdeno tiende a ser retenido muy firmemente por las arcillas del suelo y los óxidos hidratados de hierro y aluminio y de éste modo puede resultar insuficiente su asimilabilidad para las plantas. (Jones y Fox 1980, Keyser y Munro, 1979, Munns 1965, Matsumoto e Hyrasawa 1979).

Existen múltiples investigaciones con respecto a los efectos del calcio y el aluminio sobre el desarrollo de las raíces en la planta de algodón. (Adams y Pearson, 1970, Lance y Pearson 1969, Rios y Pearson 1964). Las raíces del algodón no penetran en un suelo deficiente en calcio; quedan restringidas al lugar donde la concentración de calcio en la solución del suelo es menor de 0.5 me/litro. Las raíces crecen con un pH extremadamente ácido, lo cuál reduce la absorción de calcio por las raíces debido a la alta concentración del ión aluminio en la solución del suelo.

Los estudios del efecto de concentraciones elevadas de aluminio en la raíz, re velan una cantidad anormal de células turbulentas en la región meristemática del áp i ce radicular, fudice de iniciación en la división celular, Rios y Pearson (1964), causada por la reacción del aluminio con las sustancias pécticas de las paredes de las células jóvenes, que produce la pérdida prematura de su plasticidad e inhi be su alargamiento. Foy y Brown (1963) encontraron que un exceso de aluminio en la solución nutritiva provoca una disminución en la absorción de fósforo, calcio, potasio, manganeso, hierro, boro y sodio por las plantas de algodón y, que además también la marchitaba, debido a una disminución general en la permeabilidad del protoplasma de las células radiculares.

Bajo condiciones de laboratorio, McLean y Silber, citados por Terry et al (1980), clasificaron dentro de los 12 cultivos de plantas y su sensibilidad al aluminio en cultivos en solución, de los cuales la lechuga, junto con la cebada y remolacha son sensibles a la presencia de 2 ppm de aluminio; intermedios la col, avena, centeno y sorgo, sensibles a 2 ppm y tolerantes al maíz, cacao y pato sensibles a 14 ppm de aluminio.

5. El uso de silicatos y otros aniones sobre la disponibilidad de Fósforo en el suelo.

El problema de la disponibilidad de la nutrición fosfatada, se ha tratado también de resolver mediante aplicaciones muy elevadas de enmiendas "silicofosfatadas". Esto es de particular interés pues las enmiendas silicatadas producen efectos muy importantes sobre la reacción del suelo y fijación de fosfatos. Las enmiendas silicatadas mejoran la agregación de partículas y la estructura, las condiciones de aereación y movimiento de agua, la disponibilidad de Ca y/o Mg, las condiciones de disponibilidad o supresión de la posible toxicidad de Al, Mn y Fe, las condiciones de desarrollo de los microorganismos, especialmente de las bacterias, la mineralización de la materia orgánica, los procesos dinámicos del N y S, la disponibilidad de fosfatos a través de la influencia sobre: la distribución de fosfatos inorgánicos, provocando una hidrólisis de fosfatos de hierro y aluminio y la formación de fosfatos cálcicos, la activación de la mineralización de fosfatos orgánicos, la disminución de la fijación de fósforo y el aumento de la actividad iónica del H_2PO_4^- presente en la solución del suelo. El efecto benéfico de los silicatos en cuanto a fósforo ha sido atribuido a la competencia que se establece entre el ión SiO_3^{2-} y el ión HPO_4^{2-} en las posiciones de sorción del complejo de cambio. (Fassbender y Müller 1967, 1969, Suehisa y col 1963 y Hsu 1979).

Los resultados encontrados con respecto a la aplicación de silicatos son muy diversos y a veces contradictorios. Así Suehisa y col (1963) encontraron que la relación entre la aplicación de silicatos y la producción de materia seca estaba relacionado con la cantidad de SiO_2 total, ya que en suelos con alto (30%) y bajo (1-3%) porcentaje en sílice no se encontró respuesta favorable a la aplicación de silicatos, pero sí en los suelos medios (15-25%) en SiO_2 total aumentando la producción de material vegetal y absorción. Bradfield, citado por Olson y Engelstad (1975), mencionan que parece bastante probable poder paliar la fijación de fósforo en cierta medida, mediante el agregado de los silicatos en los Oxisoles y Ultisoles, que tienen altos niveles de hierro y aluminio y bajos niveles de silicio.

Earl et al (1979), al investigar la influencia de algunos aniones orgánicos, en la modificación de la retención de P en suelos de Nueva Zelandia, encontraron que la eficiencia fué en el orden citrato > tartrato > acetato y que además influyó el rango de concentración usada. Los tres aniones orgánicos son producidos por microorganismos y pueden jugar un papel importante en el incremento del P asimilable.

Así mismo López (1979) indicó en un estudio llevado a cabo en suelos ácidos y calcáreos de Venezuela sobre el efecto de algunos aniones orgánicos sobre la remoción de fosfatos, señalando que el orden de eficiencia en la desorción fué citrato > malato > oxalato y que el citrato desorbió más P en un pH 6 a 9.

Datta et al (1962) encontraron que las aplicaciones de silicato de sodio a algunos suelos, aumentaba significativamente el rendimiento de trigo y arroz, al igual que el contenido de P total en estas plantas cuando se aplicaba el silicato de sodio solo o mezclado con el fertilizante fosfatado del suelo.

Fassbender y Müller (1967) al llevar a cabo algunos experimentos de invernadero con suelos altamente fijadores de fósforo y a los que se les aplicó fos-

factos mezclados con silicatos de sodio (en proporción de 200:200 ppm) de silicato de calcio puro, escorias y fósforo solo, encontraron un aumento mayor en el rendimiento correspondiente al fósforo mezclado con silicato que al fósforo solo, aplicados al suelo y semejantes al obtenido mediante las aplicaciones de silicato de calcio puro y escorias básicas, y observaron además que incrementando los niveles de silicato de sodio en 200, 400 y 800 ppm disminuía el rendimiento en los pastos empleados en algunos de los ensayos conducidos en esos suelos.

Roy et al (1971) estudiando el efecto del silicato de calcio sobre algunos suelos lateríticos de Hawai encontraron que las aplicaciones de este mejorador, disminuían los requerimientos de fósforo desde 9 al 43%. El fósforo extraíble aumentó al incrementarse el silicio aplicado al suelo. Por efecto de este tratamiento se manifestó un ascenso en el rendimiento de materia seca de caña de azúcar.

Silva (1971) menciona que los mecanismos para aumentar el crecimiento y desarrollo vegetativo relacionados con el efecto del silicato aplicado al suelo pueden enumerarse como sigue:

- a) aumentar la solubilidad del fósforo adsorbido y la capacidad de intercambio catiónico,
- b) disminuir la actividad del aluminio y la fijación de fósforo.

En la planta:

- a) aumentar la capacidad de absorción del fósforo por las raíces, el transporte de fósforo a los meristemas y la eficiencia de la fertilización fosfórica,
- b) corregir los desbalances en nutrimentos a través del calcio que es el transportador del silicio.

Miramontes (1972), usando carbonato y silicato de calcio sobre Entisoles, Oxisoles e Inceptisoles de México, indicó que se obtuvieron cambios significativos en el pH, disminución del Al^{3+} cambiante, aumento de la capacidad de intercambio catiónico e incrementos en el rendimiento del sorgo.

III. MATERIALES Y METODOS

Los suelos utilizados en el presente estudio, fueron colectados en los municipios de Tapachula y Unión Juárez de la Zona Cafetalera de Soconusco, Edo. de Chiapas.

Las muestras de suelo fueron tomadas a una profundidad de 0-30 cm, colocadas en bolsas de polietileno y trasladados al invernadero del Instituto de Geología donde se extendieron para su secado.

Los suelos corresponden a los siguientes órdenes: Inceptisoles y Oxisoles de acuerdo con los conceptos del sistema de Clasificación de Suelos (Séptima Aproximación de 1960 y 1975) USDA. En el cuadro No 1 se describen las características físicas y químicas de los mismos. (Ramos 1979 y Ramos y Aguilera 1979)

A continuación se presentan algunas de sus características morfológicas:

INCEPTISOL. Los Inceptisoles estudiados pertenecen al Suborden Andept. Dentro de este Suborden se clasificaron dentro del Gran Grupo de Suelos Umbrandept y Ocran-dept. Estos suelos se caracterizan porque se han desarrollado a partir de cenizas volcánicas del Cuaternario y depósitos recientes. Cuando son muy recientes presentan perfiles AC a menudo sepultando a suelos más evolucionados, pero con la presencia de un epipedón mólico ó úmbrico, en cambio cuando son juveniles presentan perfiles A(B)C.

OXISOL. Los Oxisoles estudiados pertenecen al Suborden Ustox y Gran Grupo Haplustox. Estos suelos de origen volcánico se encuentran muy meteorizados y lixiviados los cuales han perdido casi todos sus minerales alterables manifestándose horizontes de acumulación de arcilla. Son suelos rojos, pardo rojizos, pardo amarillentos, arcillosos, plásticos, bien estructurados; a medida que aumenta la meteorización la estructura se desarrolla más, el color es más claro y/o más brillante y la textura más pesada. Estos suelos altamente intemperizados tienen un horizonte B de un espesor considerable que aumenta a expensas del horizonte A. Las arcillas comúnmente son del tipo 1:1, óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio. También son comunes los revestimientos de arcilla en B debido a la acumulación de arcilla iluvial. (Ramos 1979, Ramos y Aguilera 1979).

Se condujeron tres experimentos: suelo Andosólico I "San Jerónimo", suelo Andosólico II "11 de Abril" y suelo Oxisólico III "Independencia", descritos por Ramos (1979). Para el experimento I se colectaron 38 submuestras, para el experimento II 234 y para el experimento III 202 respectivamente. Los suelos de cada experimento se mezclaron y homogeneizaron para obtener así una sola muestra para cada ensayo.

La planta indicadora que se usó fue lechuga Lactuca sativa var. reat Lakes 407. Al momento de la siembra se dispusieron 15 semillas por maceta, posteriormente a los diez días de emerger las plántulas, se aclaró seleccionándose dos por maceta.

Se utilizaron macetas de plástico con capacidad de 2.5 a 3.0 kg. Se efectuaron cuatro repeticiones por tratamiento variando el tipo de suelo y tratamientos conforme se describe abajo.

Los requerimientos de cal para los suelos fueron determinados usando el método de la curva de titulación de Abruña y Vicente-Chandler, (1955). Este método consiste en tratar una cantidad de suelo con diferentes proporciones de agua y solución de Ca(OH)_2 0.04N. Se determina el pH de la suspensión y luego por interpolación en una curva de neutralización se calculan las diferentes cantidades de cal requeridas para llevar el pH del suelo a un valor deseado. En ésta investigación el pH se llevó a valores de 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 y 7.5.

Materiales de enmienda y fertilizante fosfatado.

Como materiales de enmienda se utilizó carbonato de calcio y metasilicato de sodio de grado técnico de la casa Fisher Scientific Co. EEUU. Como fertilizante fosfatado se utilizó el Fosfato Diamónico como reactivo químico, con un contenido de 53% de P_2O_5 y 18% de N.

Análisis estadístico.

Para el análisis estadístico se utilizó un tratamiento factorial 3^3 en parcelas divididas con cuatro repeticiones por tratamiento. De esta manera se estimó el efecto de fuentes y niveles sobre las variables de respuesta de la materia seca. Los resultados obtenidos en el experimento fueron sometidos a un análisis de varianza para detectar efecto de los tratamientos sobre la variable en estudio. Además mediante la prueba de Tukey se establecieron las diferencias significativas entre tratamientos. Estos cálculos estadísticos fueron realizados en el Depto. de Estadística del IIMAS. Se utilizó una computadora IBM 1620.

EXPERIMENTO I. Se utilizó suelo Andosólico I con los siguientes tratamientos: 1) control, 2) aplicación de 0, 80, 160 y 240 ppm de P_2O_5 , 3) aplicación de 0, 10 y 20 meq Ca/100 g de suelo, 4) 200 y 300 ppm Si, 5) aplicación de 0, 80, y 160 ppm de P_2O_5 más las dosis de Si en forma combinada.

EXPERIMENTO II. Se utilizó suelo Andosólico II con los siguientes tratamientos: 1) control, 2) aplicación de dosis crecientes de fosfato 0, 80, 160 y 240 ppm P_2O_5 , 3) 0, 10, 20 y 30 meq Ca/100 g de suelo, 4) 200, 300 y 400 ppm Si, 5) las dosis de fosfatos en forma combinada con las dosis de enmienda calcárea y 6) las dosis de fosfatos en forma combinada con las dosis de enmiendas silicatadas.

EXPERIMENTO III. Se utilizó suelo Oxisólico III, con los siguientes tratamientos: 1) control, 2) aplicación de 0, 80, 160 y 240 ppm P_2O_5 , 3) 0, 10, 20 y 30 meq Ca/100 g de suelo, 4) 0, 200, 300 y 400 ppm Si, 5) las dosis de fosfatos en forma combinada con las dosis de enmienda calcárea, 6) las dosis de fosfatos en forma combinada con las dosis de enmiendas silicatadas y 7) las dosis de enmiendas calcáreas en forma combinada con las dosis de enmiendas silicatadas.

Todas las sustancias se aplicaron en forma de polvo a 5 cm de profundidad en las macetas. Durante todo el período vegetativo se mantuvieron los suelos a su capacidad de campo mediante riego.

Las plantas se cosecharon a los 110 días de sembradas y la totalidad de la materia verde se secó en una estufa a 70°C. El rendimiento se determinó como materia seca.

A los suelos que quedaron después de cosechar las plantas, se les secó a la temperatura ambiente, se mezclaron las repeticiones de cada tratamiento, se les tamizó y se efectuaron las siguientes determinaciones químicas en el laboratorio.

Análisis foliar.

La materia seca fué molida en un molino Wiley, malla 20. La digestión de la materia seca se efectuó con una mezcla de ácido nítrico y perclórico en relación 5:1 según las recomendaciones descritas por Jackson (1964), y luego analizados en cuanto a contenidos de P y Ca mediante espectrofotometría de absorción atómica, en un espectrofotómetro Perkin Elmer Mod. 303.

Reacción del suelo (pH).

Se efectuó en KCl 1N pH 7, usando la relación 1:2.5 en un potenciómetro Corning, con electrodos de vidrio y calomel.

Contenido de Materia Orgánica.

Fuó estimado por el método oficial de Dicromato de Potasio en el que se titula su exceso con Sulfato Ferroso, de acuerdo al método de Walkey y Black, (1947).

Capacidad de intercambio catiónico total.

Se estimó por el método del versenato 0.02 N, Jackson (1964), empleando CaCl_2 1N pH 7, para saturar la muestra luego lavando con alcohol etílico y saturando de nuevo con NaCl 1N pH 7.

Bases cambiables.

Se extraen por el método de acetato de amonio 1N pH 7. El calcio y magnesio desplazados se titulan por el método del versenato. El potasio y sodio intercambiables se determinan en un flamómetro Coleman, Mod. Junior.

Aluminio intercambiable.

Por el método de aluminón, Smith et al (1949), en el cuál se agita la muestra con KCl 1N pH 8, determinándose con aluminón pH 4.9.

Para la determinación de las formas de fósforo inorgánico en el suelo se utilizó la metodología de Chang, Jackson, con las modificaciones propuestas por Sen Gupta y Cornfield, (1962), en el sentido de extraer los fosfatos no apatíticos antes de la extracción de los fosfatos de aluminio. Las fracciones determinadas mediante ésta metodología y los solventes utilizados fueron: Fosfatos solubles: con ácido acético 0.5 N; fosfatos de calcio no apatíticos con ácido acético 0.5 N; fosfatos de aluminio con NH_4F , 0.5 N, pH 7; fosfato de hierro con NaOH 0.1 N; fosfatos de calcio apatíticos con H_2SO_4 0.5 N.

Fósforo total, fusión con carbonato de sodio, descrito por Jackson (1964).

Fósforo orgánico, se determinó a partir del método de ignición de Saunders y Williams (1958), tratando el suelo residual con H_2SO_4 0.5 N. El fósforo inor-

te se calculó por diferencia entre el fósforo total y la suma de las fracciones inorgánicas y orgánica. Sen Gupta y Cornfield (1962).

Fijación de Fosfatos, se determinó de acuerdo a la recomendación de Fassbender e Igue (1967), determinándose el P colorimétricamente. Se pesan 0.5 g de suelo, se le agregan 25 ml de una disolución de KH_2PO_4 conteniendo 100 mg P/l, se agita durante 6 horas, se centrifuga y decanta. En el decantado se determina la fracción de P no fijada por el suelo.

Fósforo aprovechable. Por el método de Bray I, determinándose colorimétricamente en un colorímetro Leitz Mod. M, por el método de azul de molibdeno en medio clorhídrico. Jackson (1964).

Análisis mineralógico. Aparato Rayos-X.

CUADRO No. 1 CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DE LOS SUELOS.

DETERMINACION	ANDOSOLICO I "SAN JERONIMO"	ANDOSOLICO II "11 DE ABRIL"	OXISOLICO III "INDEPENDENCIA"
SECO	10 YR 3/3	2,5 Y 4/2	5 YR 4/3
COLOR	Pardo oscuro	Pardo grisáceo obsc.	Pardo rojizo
HUMEDO	10 YR 3/3	10 YR 3/2	5 YR 3/2
	Pardo oscuro	Pardo grisáceo muy obscuro.	Pardo rojizo obsc.
% ARC.	12.2	16.0	34.0
TEXTURA % LIMO	32.0	28.4	30.0
% ARENA	55.8	55.6	36.0
	Migajón Arenoso	Migajón Arenoso	Migajón Arcilloso
POROSIDAD %	63.00	64.80	61.60
D.A. gr/cc	0.76	0.88	0.90
D.R. gr/cc	2.10	2.50	2.33
pH H_2O 1:2.5	4.2	5.2	4.6
KCl 1:2.5	4.5	4.4	4.1
MO %	9.8	5.69	4.82
CICT meq/100 g	20.2	14.40	14.60
Ca^{++} meq/100 g	4.4	5.0	2.0
Mg^{++} meq/100 g	2.0	1.0	0.5
K^{+} meq/100 g	0.2	0.66	0.11
Al^{+++} meq/100 g	3.12	3.01	8.1
P-aprovechable ppm	1.2	2.1	1.2
Alofano	4x	4x	4x

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

Para facilitar la presentación, interpretación y discusión de los resultados se analizó primero cada fuente de tratamiento en los suelos experimentales Andosólico I, Andosólico II y Oxisólico III, en el siguiente orden:

1. Efecto del Fertilizante Fosfatado en los suelos Andosólico I, II y Oxisólico III.
2. Efecto de la Enmienda Calcárea en los suelos Andosólico I, II y Oxisólico III.
3. Efecto de la Enmienda Silicatada en los suelos Andosólico I, II y Oxisólico III.
4. Efecto del Fertilizante Fosfatado y Enmienda Calcárea en los suelos Andosólico I, II y Oxisólico III.
5. Efecto del Fertilizante Fosfatado y Enmienda Silicatada en los suelos Andosólico I, II y Oxisólico III.
6. Efecto de la Enmienda Silicatada y Enmienda Calcárea en el suelo Oxisólico III.
7. Análisis de Rayos X de los suelos Andosólico I, II y Oxisólico III.

El efecto de dichas fuentes de tratamiento se discute en función de las variables de respuesta:

- 1) materia seca, absorción de fósforo y calcio por la planta indicadora Lactuca sativa y pH del suelo.
- 2) pH, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, bases cambiables y aluminio extrafue, y,
- 3) pH, P-total, P-orgánico, P-inorgánico, P-Al, P-Fe, P-Ca, P-ocluidos, P-fijado y P-aprovechable.

1. EFECTO DEL FERTILIZANTE FOSFATADO EN LOS SUELOS ANDOSOLICO I, ANDOSOLICO II Y OXISOLICO III.

1) Efecto de los niveles de P_2O_5 sobre las variables de respuesta materia seca, absorción de P y Ca por la planta indicadora Lactuca sativa y pH del suelo, en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

El fósforo es un elemento esencial para el desarrollo de las plantas. En los suelos derivados de cenizas volcánicas este elemento es generalmente limitante en la producción ya que el nivel de su disponibilidad para las plantas es generalmente bajo, de forma que el fósforo aplicado como fertilizante es rápidamente "fijado" en el suelo.

La alta capacidad de los suelos derivados de cenizas volcánicas para suplir el

MATERIA SECA vs. FERTILIZANTE FOSFATADO.

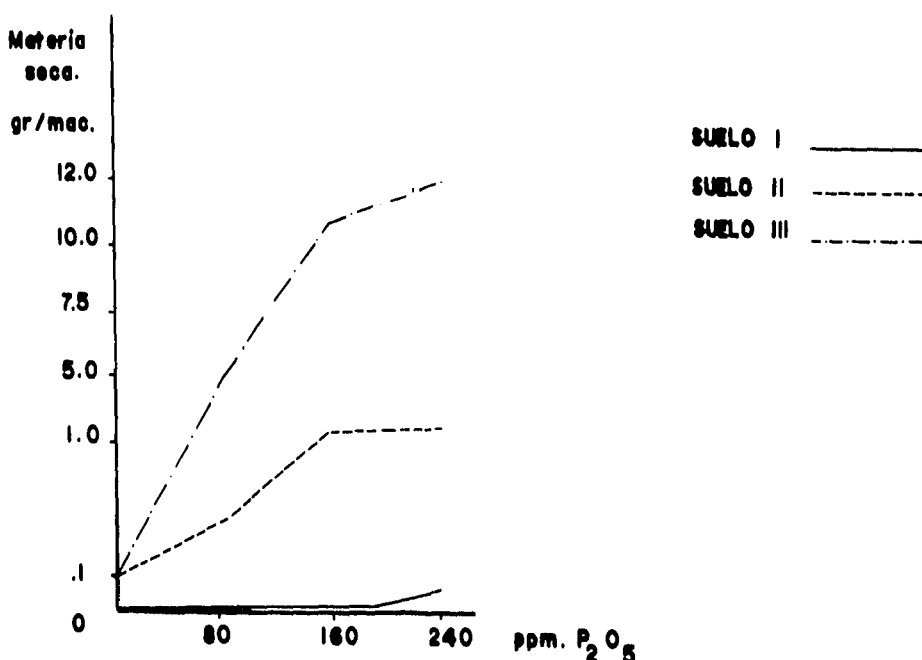


Fig. No. 1. Efecto del fertilizante fosfatado sobre la materia seca de la planta indicadora Lactuca sativa en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

fósforo necesario para los cultivos y las deficiencias que se derivan de ello han sido observados por muchos autores en suelos de América Latina y Europa.

La deficiencia de fósforo determina que en tales suelos éste sea un factor limitante para el crecimiento normal de plantas cultivadas comercialmente. En la mayoría de los casos, cuando no se aplica fósforo la producción de cultivos es extremadamente baja y no es posible lograr beneficios apreciables con el uso de variedades mejoradas.

En el cuadro No. 2 se indican los efectos de las dosis del fertilizante fosfatado sobre la materia seca, absorción de P y Ca^{2+} por la planta de lechuga y pH de los suelos experimentales Andosólico I, Andosólico II y Oxisólico III.

La gran deficiencia en fosfatos de los suelos utilizados se refleja en la escasa cosecha que se alcanzó en ausencia de fertilizantes fosfatados cuyas producciones de materia seca sólo llevaron a 0.01, 0.1 y 0.1 g de materia seca/maceta para los tres suelos respectivamente. Las plantas de estas macetas mostraron síntomas evidentes de deficiencia de fósforo, debido a la falta de este elemento el factor limitante en la producción.

En el presente experimento, la respuesta a las aplicaciones ascendentes de P_2O_5 en forma de tofato diamónico, llevaron a aumentos crecientes de producción de materia seca y absorción de P y Ca^{2+} por las plantas de lechuga, de forma altamente significativa para los tres suelos, con una considerable variación entre los diferentes suelos por la naturaleza de los mismos, indicado por la respuesta en

CUADRO No. 2 EFECTO DEL FERTILIZANTE FOSFATADO SOBRE LA PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA Y ABSORCIÓN DE P Y Ca^{2+} POR LA PLANTA INDICADORA Lactuca sativa EN TRES SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS.

SUELO	Dosis fertilizante fosfatado ppm P_2O_5	pH KCl 1:2.5	Producción materia seca (g /maceta).	Absorción	
				P (%)	Ca^{2+} (%)
Andosólico I	0	4.40	0.01 N.S.	0.01	0.10
	80	4.35	0.02 "	0.04	0.44
	160	4.35	0.02 "	0.04	0.44
	240	4.45	0.75 **	0.09	0.70
Andosólico II	0	4.40	0.10 N.S.	0.01	0.10
	80	4.35	0.45 "	0.10	0.63
	160	4.32	1.90 "	0.12	0.64
	240	4.32	2.40 **	0.13	0.69
Oxisólico III	0	4.40	0.10 N.S.	0.015	0.14
	80	4.30	5.25 **	0.10	0.57
	160	4.37	10.73 **	0.12	0.57
	240	4.30	11.98 **	0.14	0.57

N.S. No significativo

** Diferencias altamente significativas al 1 %.

el crecimiento y absorción de P y Ca^{2+} por la planta siendo notable el que la fijación del P agregado sea largamente responsable de las diferencias observadas en la producción.

La limitación fue mayor en los suelos Andosólico I, ya que éstos alcanzaron en promedio el menor rendimiento, fue media en los Andosólico II y menos aguda en los Oxisólico III. En el caso del Andosólico I posiblemente mayores dosis de fósforo logre igualar los rendimientos con los otros suelos. (Fig. No. 1).

En los casos de los suelos Andosólico I y II no se logró llegar a la cosecha máxima a pesar de la dosis de 240 ppm P_2O_5 pues sólo incrementaron la materia seca en 0.75 y 2.40 g/maceta respectivamente, por el contrario la misma dosis llevó a la máxima producción posible al suelo Oxisólico III con 11.98 g/maceta. Estos resultados reflejan el comportamiento diferente de los suelos experimentales en la capacidad de fijación de fosfatos (Cuadro No. 4, Figs. 9, 10 y 11) reteniendo la mayor parte del fertilizante aplicado, el cuál no puede ser utilizado por las plantas. En un papel intermedio se sitúa el Andosólico II.

Con respecto a lo anterior, de acuerdo con Wada, 1959, el alofano y haloisita, al reaccionar con los iones fosfato, forman las llamadas taranakitas, que concuerda con las apreciaciones de Gamboa y Blasco, (1976); estos autores encontraron que los suelos que contenían alofano retenían mayores cantidades de fósforo que los suelos con altos contenidos de goethita, hematita y apreciables cantidades de óxidos hidratados de hierro.

ABSORCION DE P vs FERTILIZANTE FOSFATADO.

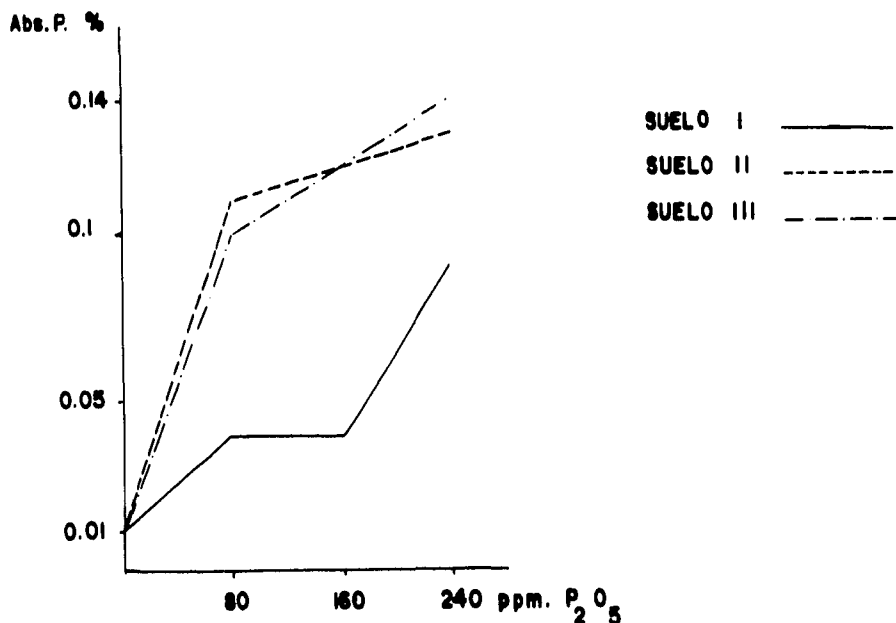


Fig. No. 2. Efecto del fertilizante fosfatado sobre la absorción de P en tejidos foliares de la planta indicada—tabaco nativo en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

Por otro lado, la aplicación del fertilizante fosfatado produjo cambios en el pH del suelo durante el lapso del experimento, disminuyendo ligeramente al aumentar la dosis del fertilizante debido a la reacción ácida inicial del fertilizante.

Las fuentes de acidez en este caso pueden ser generados por la reacción inicial ácida del fertilizante, a los propios ácidos debidos al crecimiento radicular y los ácidos producidos por la mineralización de la materia orgánica.

Con respecto a las aplicaciones de enmiendas, si la planta encuentra en el suelo todo el fósforo que necesita durante su desarrollo temprano y restante no habría diferencia en las enmiendas que se aplicaran, pero como no ocurre de este modo y aún habiendo riqueza de fósforo en el suelo, la planta requerirá un mayor nivel de este nutriente, en consecuencia entra en juego la porción hidrosoluble del fertilizante durante el desarrollo temprano, lo que ocurrió en el presente experimento.

La planta después de la fertilización fosfatada incorpora primeramente la fracción hidrosoluble que entre otras ventajas tiene la de una considerable difusión del P del suelo de la gránula de fertilizante fosfatado, consecuentemente el sistema radicular se ve estimulado en su desarrollo; más tarde se utiliza la porción citrato-soluble valiéndose de las excreciones de C_2 de la raíz.

Cuando no aplican fertilizantes con mayor porcentaje de fósforo hidrosoluble, la planta siempre encuentra un mayor gradiente de actividad de los iones $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} y PO_4^{3-} sobre sus membranas radiculares y por tanto una mayor absorción de fósforo durante su desarrollo temprano en comparación con el uso

SUELO I

P TOTAL vs P ORGANICO E INORGANICO.

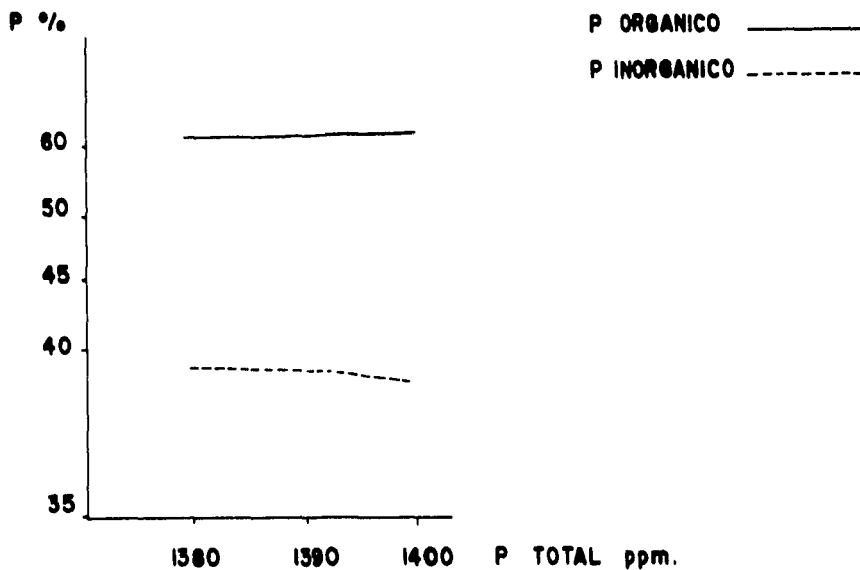


Fig. No. 3. Efecto del fertilizante fosfatado, sobre el P-organico e inorganico en el Suelo Andosólico I.

de fertilizantes de menor nivel de fósforo hidrosoluble. Estas evidencias norman el criterio en el sentido de tomarse en cuenta a los agentes de retención o fijación como los de quíoxido, arcillas, materia orgánica y alofano. Turrent, (1963).

El fosfato diamónico utilizado como fertilizante en la respuesta de las plantas pertenece a los fertilizantes fosfóricos tipo A, los cuales tienen un mayor porcentaje de fósforo hidrosoluble y proporcionan consecuentemente una mayor cantidad de fósforo rápidamente asimilable por las plantas en su desarrollo temprano. Los fertilizantes de tipo B tienen menor contenido de fósforo hidrosoluble pero mayor contenido soluble en citrato, los cuales se ven en desventaja durante el mencionado desarrollo inicial, pero llegan a igualar la cantidad total de fósforo aportado por los fertilizantes tipo A durante el lapso del cultivo gracias a la mencionada fracción citrato-soluble.

También sucede, como lo señala Fausbender (1977), que al aplicar fertilizantes fosfatados a un suelo ácido, prácticamente la fracción que no es absorbida por la planta reacciona con el Al^{3+} y Fe^{3+} para formar precipitados cristalinos o amorfos de menor solubilidad.

Es de notar también que el fertilizante fosfatado usado, contiene aproximadamente el 23 % de N, razón por la cual a mayores dosis de fertilizante fosfatado, mayor es la absorción de fósforo extraído del fertilizante ya que, el nitrógeno aumenta el crecimiento radicular.

La absorción de Ca^{2+} sigue la misma tendencia que la producción de materia seca aumentando hasta un determinado valor, que depende de la naturaleza misma de los suelos. El suelo I con una alta capacidad de fijación se ve limitado en la absor-

SUELO II

P TOTAL vs P ORGANICO E INORGANICO.

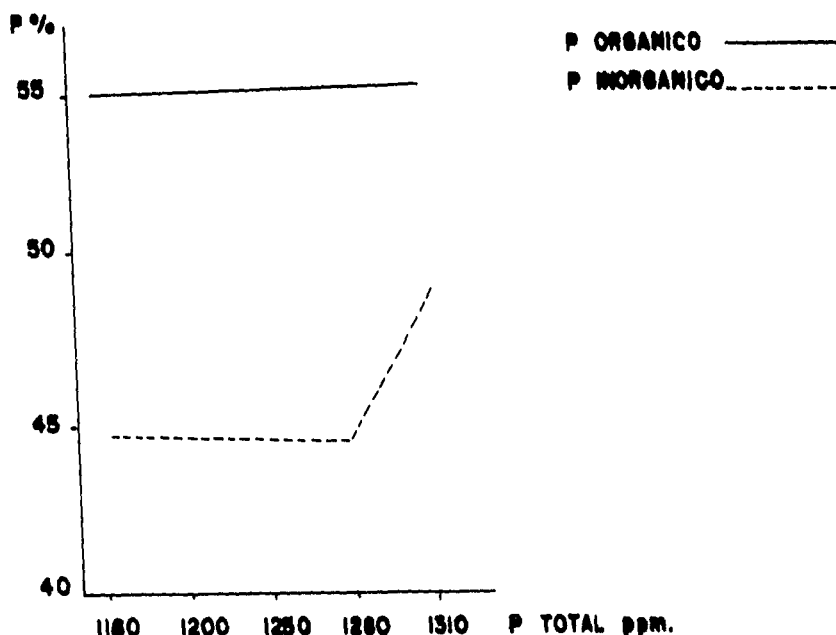


Fig. No. 4. Efecto del fertilizante fosfatado, sobre el P-orgánico e inorgánico en el suelo Andosólico II.

ción de Ca^{2+} , ya que es deficiente en dichos suelos, no así para la absorción de P del fertilizante.

En resumen la respuesta a las adiciones de P por la planta indicadora fueron:

Materia seca:

Oxisólico III (11.98 g mat. seca/mac.) > Andosólico II (2.40 g mat. seca/mac.)
> Andosólico I (0.75 g mat. seca/mac.).

Absorción de fósforo (%):

Oxisólico III (0.14) > Andosólico II (0.13) > Andosólico I (0.09).

Absorción de calcio (%):

Andosólico I (0.20) > Andosólico II (0.69) > Oxisólico III (0.69).

Estadísticamente (Cuadro Nos. 21, 22 y 23 del apéndice), se encontró que 240 ppm del fertilizante fosfatado usado fue la fuente que elevó los rendimientos, sobre todo en el suelo Oxisólico III. En el suelo Andosólico I la estadística t al 1% fué de 0.293149, para el Andosólico II, de 2.0175686 y para el Oxisólico III fue de 1.287507.

SUELO III

P TOTAL vs P ORGANICO E INORGANICO.

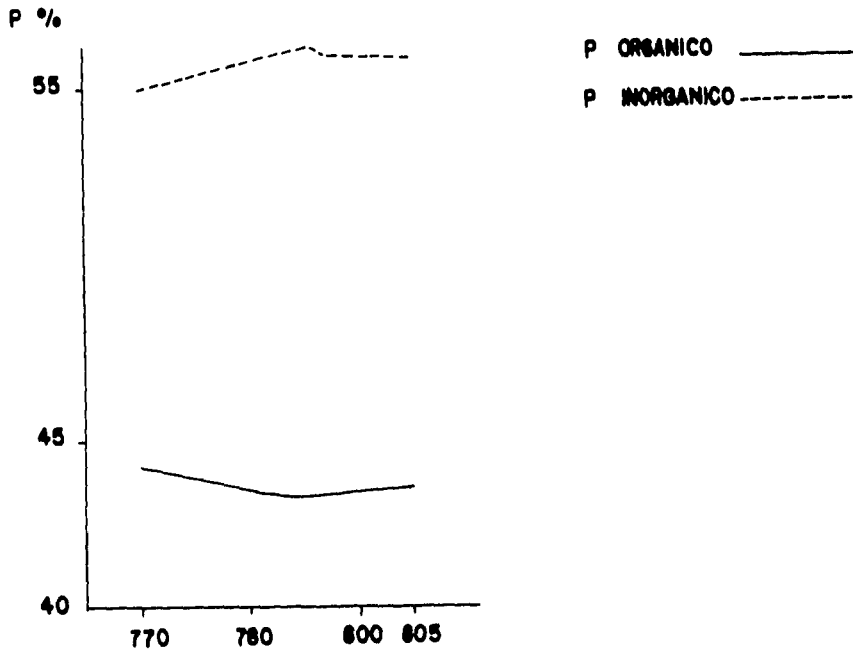


Fig. No. 1. Efecto del fertilizante fosfatado, sobre el P-orgánico e inorgánico en el suelo Oxisólico III.

- 2) Efecto de los niveles de P_2O_5 sobre las variables de respuesta pH, M.O., Al, Fe, Mn, Ca e intercambiable y aluminio extrafijo en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

Las dosis de fosfato de amonio aplicado acidificaron ligeramente los suelos. Este efecto fue mucho mayor en el suelo III. Cuadro No. 3.

La materia orgánica aumenta ligeramente en los tres suelos a medida que hay un mayor crecimiento, posiblemente por el aporte de materiales del crecimiento radicular. La materia orgánica es muy alta en el Andosólico I, media en el Andosólico II y baja en el Oxisólico III.

El pH y bases intercambiables aumentan ligeramente. El H^+ y Al^{3+} disminuyen ligeramente por el efecto del consumo durante el crecimiento de la planta.

El aluminio disminuye solo ligeramente, pues al no haber grandes cambios en la reacción del suelo no hay disminución de esta iones.

En resumen la materia orgánica, H^+ , Al^{3+} , Mg^{++} aumentan con las dosis de fósforo en lo diferente suelo como sigue:

Andosólico I > Andosólico II > Oxisólico III.

El aluminio libre disminuye ligeramente en parte debido a su posible precipitación por el P agregado.

SUELO III

P TOTAL vs P ORGANICO E INORGANICO.

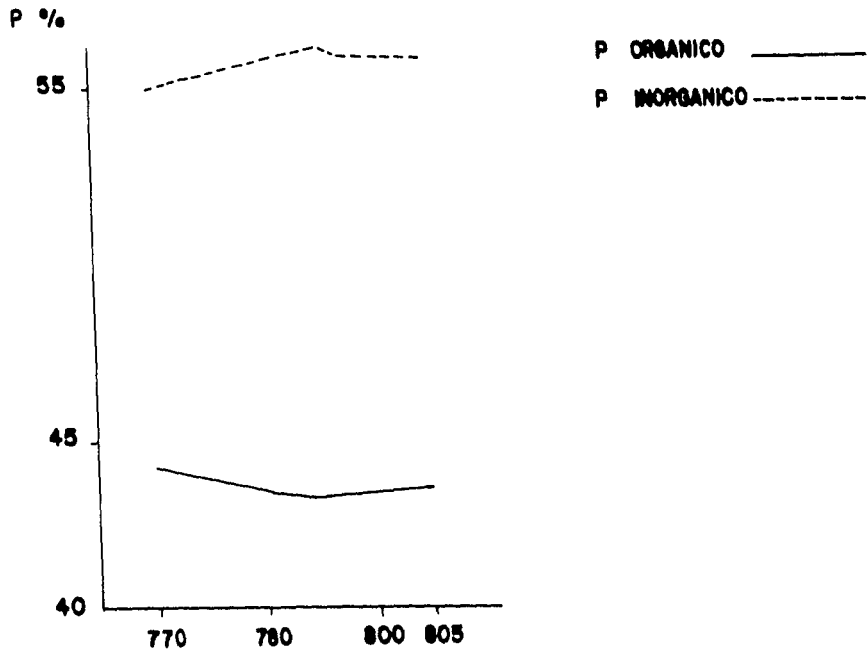


Fig. No. 1. Efecto del fertilizante fosfatado, sobre el P-orgánico e inorgánico en el suelo Oxisólico III.

2) Efecto de los niveles de P_2O_5 sobre la variación de respuesta pH, M.O., A.E.C., Fe e intercambiables y aluminio extractible en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

Las dosis de fosfato de amonio aplicado modificaron ligeramente los suelos. Este efecto fue mucho mayor en el suelo III. Cuadro No. 3.

La materia orgánica aumentó ligeramente en los tres suelos a medida que hay un mayor crecimiento, posiblemente por el aporte de materiales del crecimiento radicular. La materia orgánica es mayor en el Andosólico I, media en el Andosólico II y baja en el Oxisólico III.

El pH y las bases intercambiables aumentan ligeramente. El H^+ y Ca^{++} disminuyen ligeramente por el efecto del consumo durante el crecimiento de la planta.

El aluminio disminuye solo ligeramente, pues no hay grandes cambios en la reacción del suelo ni hay disminución de extractores.

En resumen la materia orgánica, H^+ , Ca^{++} , Mg^{++} aumentan con las dosis de fósforo en los diferentes suelos como sigue:

Andosólico I > Andosólico II > Oxisólico III.

El aluminio libre disminuye ligeramente en parte debido a su posible precipitación con el P agregado.

CUADRO No.3 EFECTO DE LA FERTILIZACION FOSFATADA SOBRE EL pH, M.O., C.I.C.T., BASES CAMBIABLES Y ALUMINIO EXTRAIBLE DE TRES SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS.

SUELO	Dosis fertilizante	pH	M.O	C.I.C.T.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺
	fosfatado	KCl			miliequivalentes/100 g				
	ppm P ₂ O ₅	1:2.5	%						
Andosólico I	0	4.40	6.98	18.40	7.0	2.1	0.85	0.50	1.86
	80	4.35	7.11	18.42	7.6	1.9	0.35	0.51	1.86
	160	4.35	7.13	18.50	7.8	1.8	0.84	0.52	1.85
	240	4.45	7.31	18.75	7.9	1.6	0.80	0.53	1.85
Andosólico II	0	4.40	5.21	18.2	5.0	1.40	0.30	0.15	3.55
	80	4.35	5.70	18.3	5.0	1.38	0.28	0.14	3.54
	160	4.32	5.80	18.4	5.2	1.38	0.23	0.15	3.54
	240	4.32	5.84	18.7	5.6	1.37	0.22	0.15	3.51
Oxisólico III	0	4.40	4.34	14.8	3.5	2.0	0.25	0.17	6.50
	80	4.30	4.34	15.0	3.8	2.18	0.23	0.17	6.48
	160	4.37	4.46	15.6	4.0	2.16	0.22	0.18	6.47
	240	4.30	4.48	15.8	4.2	2.15	0.20	0.18	6.41

- 3) Efectos de los niveles de P₂O₅ sobre las variables de respuesta: P-total, P-orgánico, P-inorgánico, P-Al, P-Fe, P-Ca, P-ocluidos, P-fijado y P-aprovechable.

En el cuadro No. 4 se puede observar que la fuente fosfatada incrementó la cantidad de P-total del suelo, produciendo efectos diferenciables detectables sobre el P-aprovechable, suministrado desde luego a través del fertilizante fosfatado, consecuencia como ya se observó, hay efectos favorables sobre la producción de materia seca y absorción de P por la planta, comprobándose que la aplicación del fertilizante fosfatado produce incrementos sostenidos de los cultivos.

El estudio de la intensidad con que los diferentes fosfatos del suelo contribuyen a la precipitación del P se presenta en el mismo cuadro.

Por lo que se refiere a las formas de P y las adiciones del fertilizante, se observan variaciones en las formas de P y la precipitación de éstos. Para el caso del suelo Andosólico I, se observa un incremento apreciable del P-total, debido a la adición del fertilizante fosfatado. El aumento del P-orgánico es una consecuencia del alto contenido de materia orgánica (Fig. No. 3), tan común en los andosoles típicos, mientras que el P-inorgánico disminuye, así como el P-ocluido, lo que indica una cierta solubilización de esta forma. Asimismo las formas de P-Al y P-Ca aumentan (Fig. 6), lo cuál indica que parte del P adicionado en el fertilizante es rápidamente retenido en estas formas, mientras que los P-Fe disminuyen probablemente debido a una menor cantidad de Fe libre en este suelo. La fijación se reduce en un porcentaje de sólo 6 %.

Figura No. 4. Efecto del Fertilizante Fosfatado sobre las Formas (P ppm) y Retención de Fosfatos en Tres Suelos de Volcanes Volcánicas.

Suelo	Dosis		pH	P-total		P-org		P-Inorg		P-Al		P-Fe		P-Ca		P-Cl		P-Fij.		P-aprovech.	
	fertilizante	ppm		ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%		
	to fardo	kg/100		ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%		
Andosólico I	0	4,46	1300	83,4	60,43	54,6	39,14	137	9,73	106	7,60	17	1,00	292	20,94	90	3,00				
	80	4,3	1302	83,8	60,49	54,8	39,51	138	9,76	106	7,62	17	1,00	291	20,98	90	3,00				
	160	4,3	1302	83,8	60,49	54,8	39,51	138	9,76	106	7,62	17	1,00	290	20,93	90	3,00				
	240	4,4	1400	84,1	61,64	56,1	39,35	140	10,00	106	7,62	17	1,00	291	20,98	90	3,00				
Andosólico II	0	4,40	1100	74,0	51,17	47	44,82	112	9,65	110	8,02	10	0,06	298	20,60						
	80	4,3	1200	79,0	52,20	50	44,80	124	9,92	110	8,00	17	1,20	311	24,00	90	16,00				
	160	4,32	1200	79,0	52,20	50	44,80	128	10,00	116	9,06	16	1,20	312	24,32	90	16,00				
	240	4,32	1310	82,0	53,34	50	48,77	134	10,22	119	9,00	18	1,37	314	25,26	94	20,16				
Oxisólico III	0	4,40	720	46,4	44,34	43	51,64	70	9,09	115	14,93	15	1,7	238	29,49	80	21,00				
	80	4,30	780	47,4	43,16	44	51,03	72	9,11	118	14,93	15	1,70	244	30,00	80	21,00				
	160	4,32	780	47,4	43,16	44	51,03	73	9,18	120	15,09	15	1,80	247	30,44	80	21,00				
	240	4,36	800	48,0	43,48	44	51,52	75	9,31	125	15,42	16	1,77	239	29,68	80	20,00				

Se aprecia también un considerable aumento del P-total para el suelo Andosólico II en función de la adición del P del fertilizante; la fracción de P-orgánico (Fig. No. 4) aumenta debido al incremento (Fig. No. 7) en las fracciones de P-Al, P-Fe y P-Ca por la adición del fertilizante fosfatado. Las formas de P-ocluidas disminuyen ligeramente.

En este suelo el P-fijado disminuye solo en un 2 % aunque existe en el suelo una alta cantidad de P-aprovechable por la adición intensa del fertilizante fosfatado.

En el suelo Oxisólico III, hay un aumento importante de P-total asociado con el alto contenido de P-aprovechable adicionado como fertilizante. El P-orgánico (Fig. No. 5) disminuye ya que estos suelos contienen bajos contenidos de materia orgánica y son más importantes las fracciones de P-inorgánicas por el aumento (Fig. No. 7) en las fracciones de P-Al, P-Fe y P-Ca causado por la adición del fertilizante fosfatado. Las formas ocluidas disminuyen ligeramente.

En este suelo el P-fijado disminuye solo en un 2 % aunque existe en el suelo una alta cantidad de P-aprovechable por la adición intensa del fertilizante fosfatado.

En el suelo Oxisólico III, hay un aumento importante de P-total asociado con el alto contenido de P-aprovechable adicionado como fertilizante. El P-orgánico (Fig. No. 5) disminuye ya que estos suelos contienen bajos contenidos de materia orgánica y son más importantes las fracciones de P-inorgánicas debido a los altos contenidos de Fe³⁺, Al³⁺ y arcillas. La precipitación se lleva a cabo de manera especial sobre los P-Fe y P-Al (Fig. No. 8), y solo una pequeña fracción del P retenido se encuentra en forma de P-Ca. Los P-ocluidos no tienen una tendencia definida a aumentar o disminuir.

El P-ocluido (insoluble e inerte) obviamente no aporta P a la planta a causa

SUELO I

P TOTAL vs FORMAS DE FOSFORO .

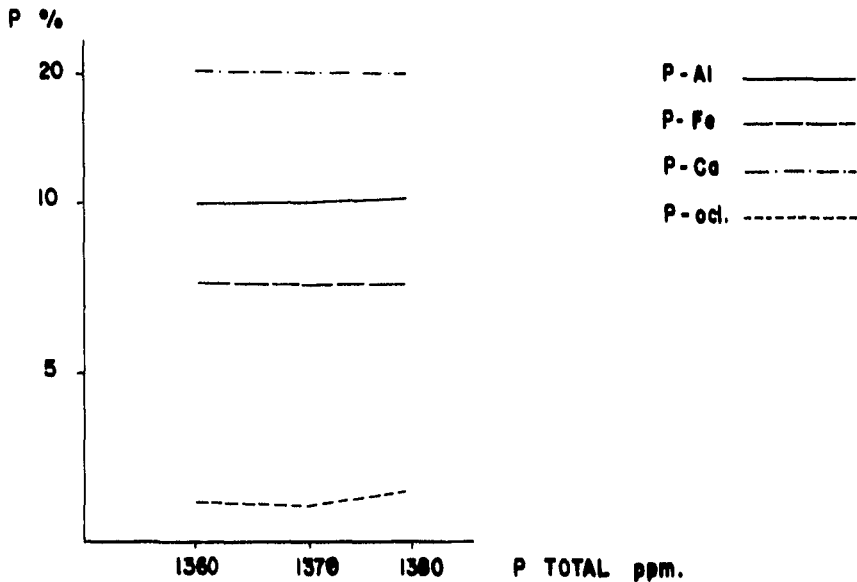


Fig. No. 6. Efecto de la adición del fertilizante fosfatado en la precipitación de las formas inorgánicas en el suelo Andosólico I.

de su insolubilidad. Este es mayor en el Andosólico II y menor en el Andosólico I.

En resumen, los fosfatos del suelo se precipitaron en el siguiente orden de importancia:

Suelo Andosólico I: P-orgánico (60.43 %) > P-inorgánico (39.56 %) > P-ocluido (20.94 %) > P-Al (9.93 %) > P-Fe (7.60 %) > P-Ca (1.08 %).

Suelo Andosólico II: P-orgánico (55.17 %) > P-inorgánico (44.82 %) > P-ocluido (25.68 %) > P-Al (9.65 %) > P-Fe (8.62 %) > P-Ca (0.86 %).

Suelo Oxisólico III: P-inorgánico (55.64 %) > P-orgánico (44.35 %) > P-ocluido (29.49 %) > P-Fe (14.93 %) > P-Al (9.09 %) > P-Ca (1.95 %).

Para el caso de la precipitación de las diferentes fracciones inorgánicas varió entre límites relativamente amplios como sigue:

Suelo Andosólico :

P-Al > P-Fe > P-Ca

Suelos Oxisólicos :

P-Fe > P-Al > P-Ca

De acuerdo a los resultados obtenidos para los tres suelos, los fosfatos de aluminio fueron los que más relacionados estuvieron con la retención de P por

SUELO II

P TOTAL vs FORMAS DE P.

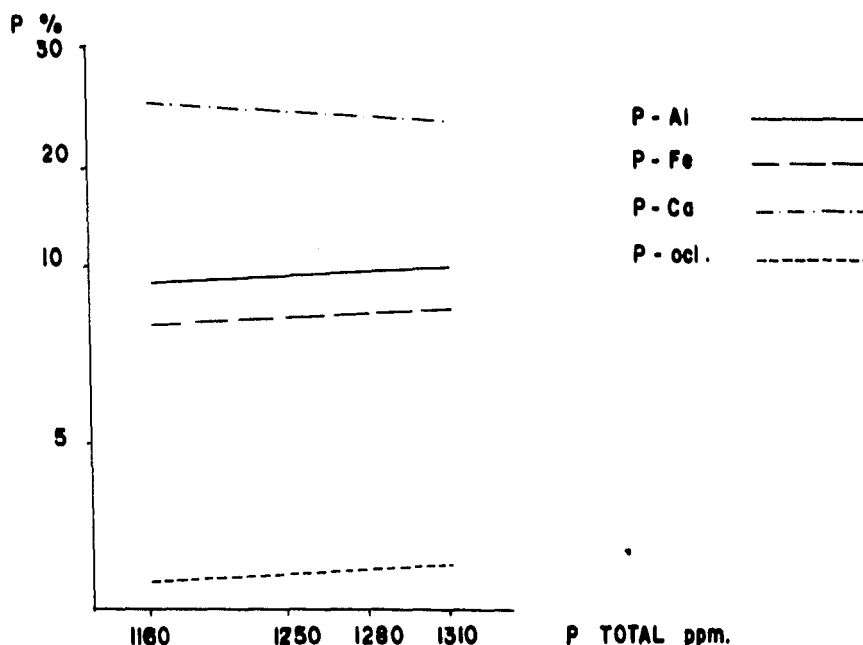


Fig. 10. 11. Efecto de la adición del fertilizante fosfatado en la precipitación de las formas inorgánicas en el suelo Andosólico II.

la planta en los suelos I y II, en cambio para los suelos Oxisólicos III, tuvieron más importancia los fosfatos de hierro lo que implica la dominancia en estos suelos de altas cantidades de hierro activo. Los fosfatos de calcio contribuyeron en un porcentaje muy bajo indicando que esta forma de fosfatos no aportó a la nutrición fosfatada de la planta en la medida que lo hacen las otras fracciones. Esto es explicable por cuanto la solubilidad de las apatitas es mucho más baja que la correspondiente a los otros factores.

El papel de la materia orgánica en la fijación de fósforo ha sido puntualizada por otros autores. La presencia de cargas electropositivas lleva a la adsorción de los iones $H_2PO_4^-$. Al considerar los suelos estudiados se encontró que ésta es más elevada en el caso de los Andosoles y por consiguiente la fijación en éstos. Para los suelos Oxisólicos la asociación es menor.

La importancia de la materia orgánica se destacó así en los Andosoles y será un factor decisivo en la limitación de la producción agrícola de estos suelos cuando se acumule en el horizonte superficial sin mineralizar.

Para los suelos respectivos se ha encontrado que los procesos de fijación predominan notablemente en la siguiente secuencia: (Figs. 9, 10 y 11).

Suelo Andosólico I > Suelo Andosólico II > Suelo Oxisólico III.

SUELO III

P TOTAL vs FORMAS DE P.

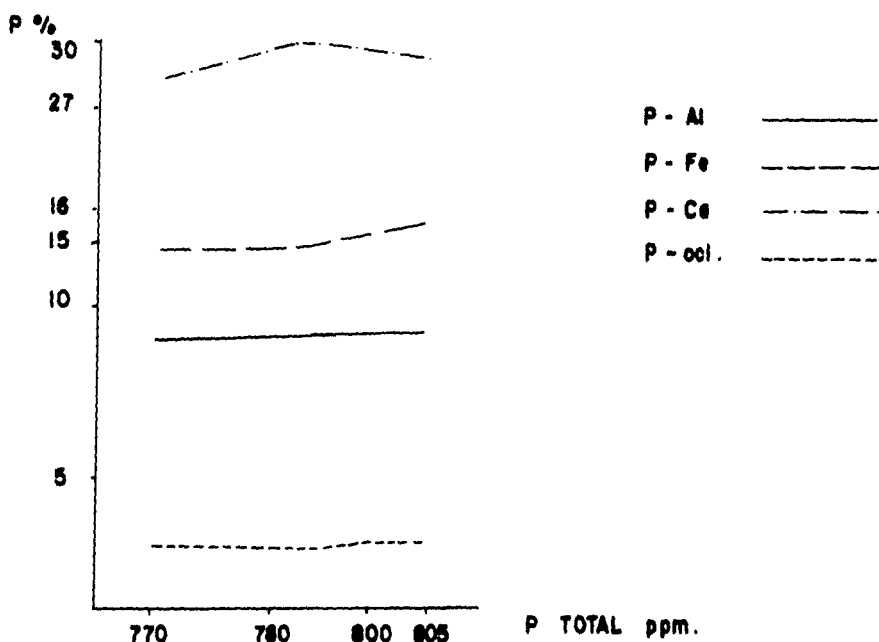


Fig. No. 8. Efecto de la adición del fertilizante fosfatado en la precipitación de las formas inorgánicas en el suelo Oxisólico III.

Se deduce que, el fosfato de amonio se retuvo con una mayor intensidad hacia los fosfatos de aluminio y de calcio en los suelos Andosólicos I y II, aunque si bien es cierto, que el fertilizante fosfatado se precipitó en gran parte hacia fosfatos de aluminio, hierro, calcio, estas fracciones pueden solubilizar su fósforo aportándolo a la planta, en función de las constantes de solubilidad. Es de esta forma como algunos autores afirman que la precipitación operada en el suelo hacia estas fracciones no puede calificarse como "fijación", ya que, al menos parte de este P-precipitado es solubilizado y aprovechado por la planta.

En estas circunstancias, los resultados obtenidos concuerdan con los planteamientos de Joo y Ellis (1967), según los cuales mientras los productos de precipitación hacia fosfatos de hierro y aluminio en suelos ácidos, permanezcan en un estado coloidal y hasta tanto no se cristalicen, son fácilmente aprovechables por la planta.

Los resultados de la determinación de la fijación de fosfatos en los suelos de acuerdo a Fassbender e Igue (1969), indican que la magnitud de la fijación del P en los suelos estudiados es muy alta. Presenta un rango que varía entre 80 y 96 % del P agregado. Este alto valor se explica por las características de los suelos estudiados y la naturaleza del fenómeno de la fijación. Las arcillas, óxidos, materia orgánica, óxidos e hidróxidos de Fe^{3+} y Al^{3+} , Al^{3+} y Fe^{3+} tienen un carácter electropositivo y actúan como sorbentes del $H_2PO_4^-$, precipi-

SUELO I

P TOTAL vs. FIJACION DE P.

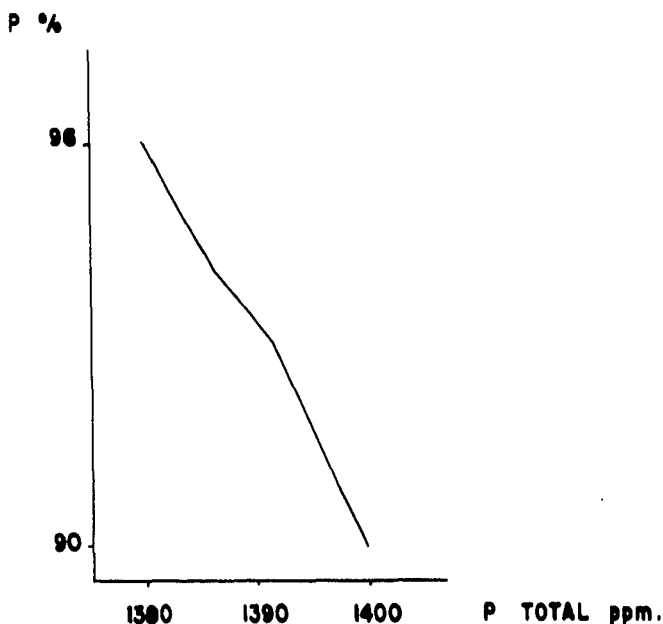


Fig. No. 9. Fijación de fósforo bajo la adición de fertilizantes fosfatados en el suelo Andosólico I.

tando a estos últimos en compuestos de menor solubilidad, lo que indica que mayor será la fijación de fosfatos y menor el efecto del fertilizante fosfatado.

Las relaciones entre la absorción de P por la planta y las fracciones de P-aprovechable fueron prácticamente constantes en todos los tratamientos. Se incrementó (Fig. No. 12) en los tres suelos conforme a las dosis del fertilizante, lo que significa que en estas condiciones los suelos requieren de considerables aportes de P como fertilizante y que de acuerdo con los cultivos en particular, tienen que tenerse en cuenta, dosis, cultivo, tamaño del gránulo del fertilizante, forma y época de aplicación.

Estos resultados están de acuerdo con los encontrados en suelos ácidos por otros investigadores, no obstante hay que tener en cuenta que el esquema obtenido en este estudio es con adición intensa de fertilizante fosfatado.

Así mismo se pudo comprobar que el comportamiento que pueden tener las fracciones de fósforo, en relación al suministro de P a la planta dependió del suelo utilizado.

SUELO II

P TOTAL vs FIJACION P

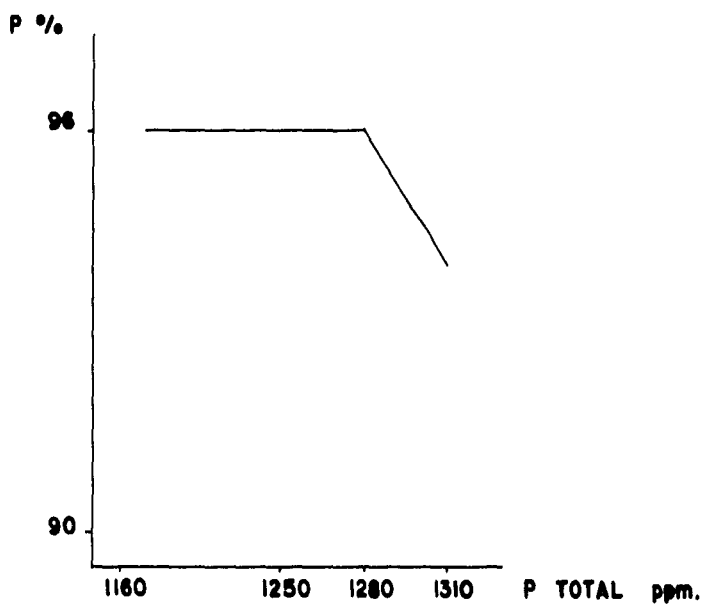


Fig. No. 10. Fijación de fósforo bajo la adición de Fertilizante fosfatado en el suelo Andosólico II.

SUELO III

P TOTAL vs FIJACION P .

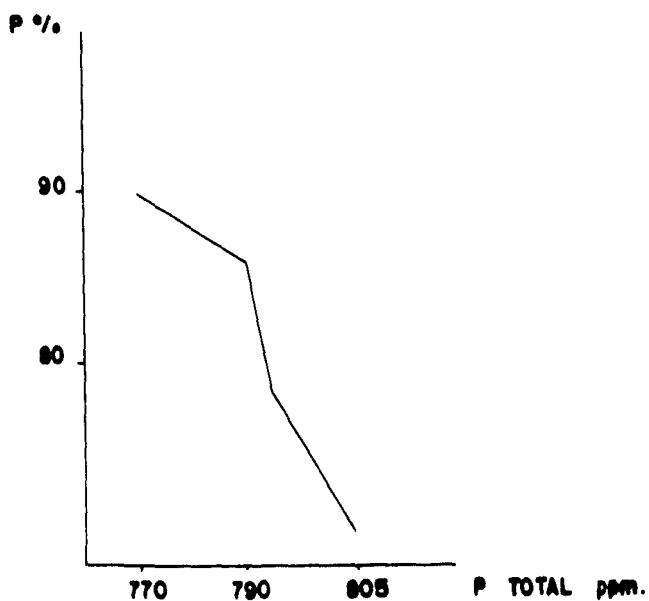


Fig. No. 11. Fijación de fósforo bajo la adición de Fertilizante fosfatado en el suelo Andosólico III.

P APROVECHABLE (BRAY I)

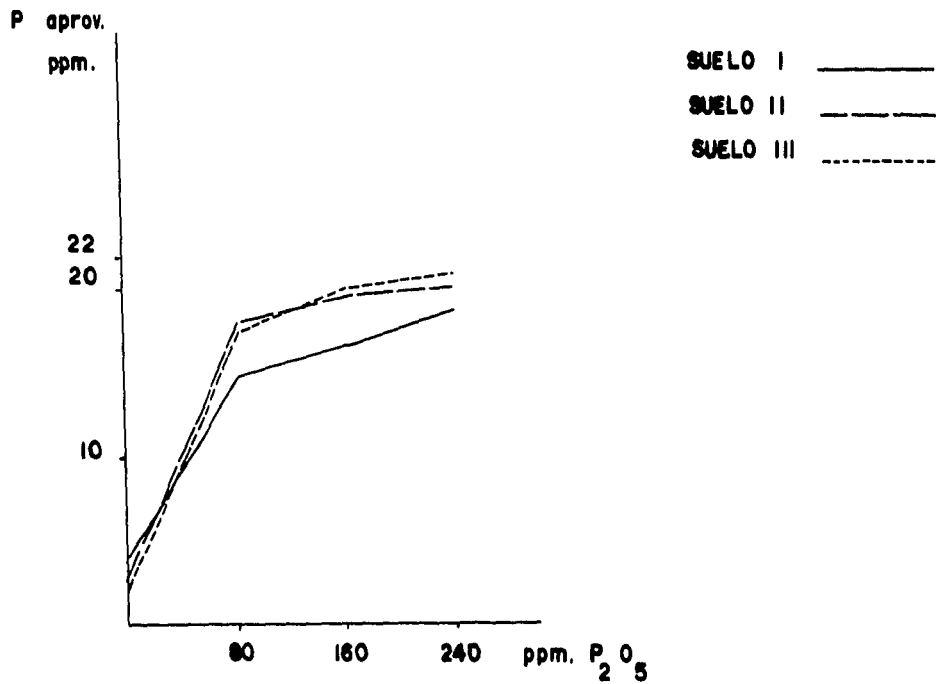


Fig. No. 12. Efecto de la adición del fertilizante fosfatado en el incremento de P-aprovechable en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

CUADRO No. 5 EFECTO DEL ENCALADO SOBRE LA PRODUCCION DE MATERIA SECA Y ABSORCION DE P y Ca^{2+} POR LA PLANTA INDICADORA Lactuca sativa EN TRES SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS,

SUELO	Dosis enmienda calcárea meq Ca/100 g	pH KCl 1:2.5	Producción materia seca (g /maceta).	Absorción	
				P (%)	Ca^{2+} (%)
Andosólico I	0	4.40	0.01 N.S.	0.01	0.10
	10	5.90	0.03 "	0.01	0.10
	20	6.92	0.02 "	0.01	0.10
Andosólico II	0	4.40	0.10 "	0.03	0.28
	10	6.38	0.48 "	0.09	0.38
	20	6.54	0.16 "	0.03	0.28
	30	7.10	0.08 "	0.02	0.18
Oxisólico III	0	4.40	0.10 "	0.015	0.14
	10	6.88	0.35 "	0.018	0.16
	20	6.95	0.15 "	0.015	0.14
	30	7.10	0.08 "	0.015	0.12

N.S. No significativo.

2. EFECTO DE LA ENMIENDA CALCAREA EN LOS SUELOS ANDOSOLICO I, ANDOSOLICO II Y OXISOLICO III.

- 1) Efecto de los niveles de encalado (meq Ca/100 g) sobre las variables de respuesta materia seca, absorción de P y Ca^{2+} por la planta indicadora Lactuca sativa y pH del suelo, en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

Los suelos inicialmente contienen una baja cantidad de fósforo aprovechable producto de la alta fijación, como se puede observar en los resultados presentados en el cuadro No. 5. Las plantas que no recibieron fertilización fosfatada y sólo enmienda calcárea, alcanzaron en todos los suelos una producción muy baja, ésta llegó a ser sólo de 0.01 , 0.013 y 0.015 para los testigos de los suelos Andosólicos I, II y Oxisólico III respectivamente.

La mayor producción de materia seca con el encalado se obtuvo en el suelo Andosólico II, con 0.48 g materia seca/maceta bajo una dosis de 10 meq Ca/100 g, siguiendo el Oxisólico III con 0.35 g, bajo la misma dosis de encalado, y el Andosólico I con 0.01 g materia seca/maceta.

La absorción de fósforo y calcio siguió la misma tendencia que la producción de materia seca, como sigue, considerando la primera dosis de encalado (10 meq Ca/100 g) que fué la que más se asoció con la mayor producción vegetal.

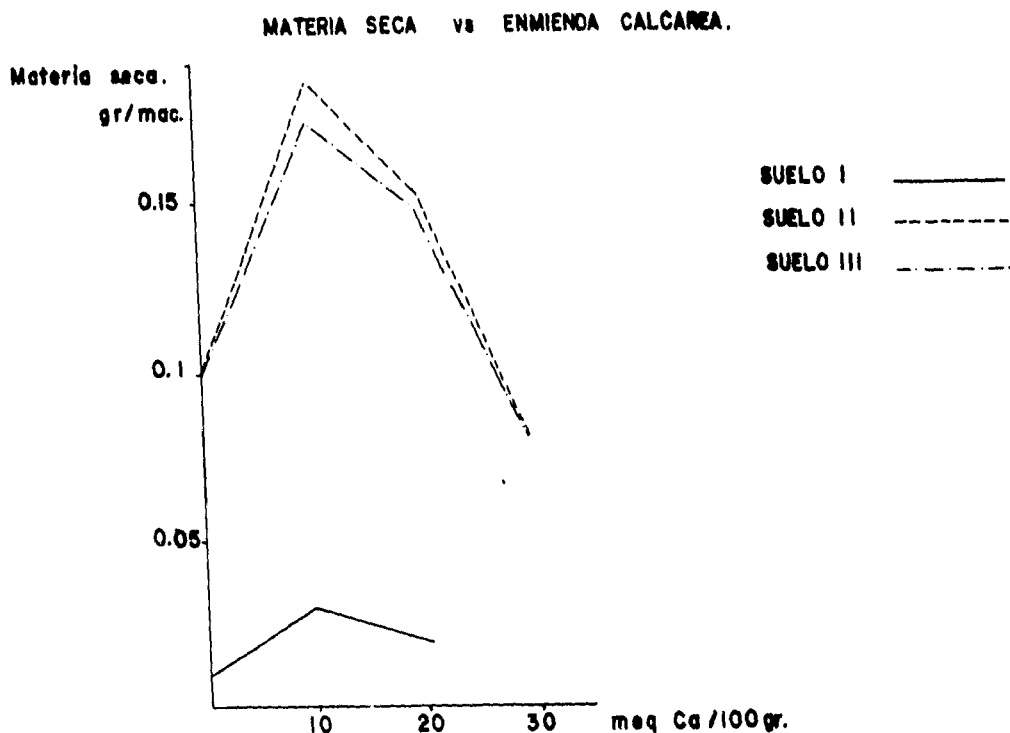


Fig. No. 13. Efecto de la enmienda calcárea sobre la producción de materia seca de la planta indicadora Lactuca sativa en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

Materia seca (Fig. No. 13):

Andosólico II (11.49 g mat. seca/mac.) > Oxisólico III (0.3% g mat. seca/mac.)
> Andosólico I (0.01 g mat. seca/mac.)

Absorción de P (Fig. No. 14):

Andosólico II (0.09 %) > Oxisólico III (0.019 %) > Andosólico I (0.01 %).

Absorción de Ca:

Andosólico II (0.38 %) > Oxisólico III (0.16 %) > Andosólico I (0.10 %).

Con el grado de neutralización del aluminio, disminuye ligeramente la concentración de fósforo en los tejidos vegetales.

La evidencia experimental indica que aunque la cal actúa como mineralizador y fertilizador de P, por sí sólo no es un buen índice para incrementar la producción de materia seca y absorción de fósforo y calcio requeridos por las plantas en estos suelos, por lo que en algunos casos será necesario aplicar fósforo como fertilizante una vez que el suelo haya sido encalado, ya que se han encontrado respuestas significativas a la aplicación de mezclas de fertilizante fosfatado y la enmienda calcárea.

Los resultados en el p se discuten más adelante. Estadísticamente no se

ABSORCION P vs ENMIENDA CALCAREA.

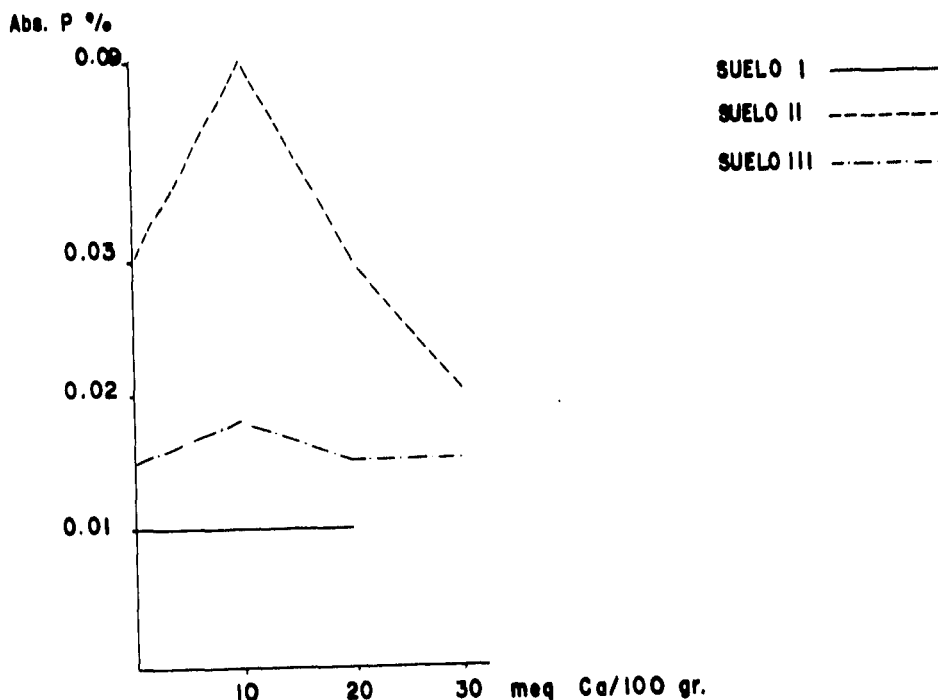


Fig. No. 14. Absorción de P en los tejidos de la planta indicadora Lactuca sativa en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

encontraron respuestas significativas en el análisis de varianza para la adición de Ca^{2+} (Cuadro No. 21, 22 y 23) en la producción de materia seca.

- 2) Efectos del encalado (meq Ca/100 g) sobre las variables de respuesta pH, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, bases cambiables y aluminio extraíble en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

Los resultados se presentan en el cuadro No. 6. De acuerdo con los datos encontrados en otros suelos derivados de cenizas volcánicas, concuerdan con los aquí obtenidos, observándose que los suelos tuvieron una significativa respuesta al cambio de pH o sea en la neutralización de la acidez. (Fig. No. 15).

La aplicación de estos materiales tiene un efecto múltiple a través de las variaciones en la reacción del suelo, produciendo aumentos progresivos de pH conforme se aumentan las dosis aplicadas, debido al incremento de cargas negativas. Al mismo tiempo, el aumento de carga negativa explica mejor la retención de cationes observada como resultado del encalado, y de ello, la capacidad de intercambio aumentada. Asimismo, hay una disminución del aluminio cambiante que es reemplazado por el calcio aplicado.

Hay una asociación positiva entre el pH y el calcio, entre el calcio y la capacidad de intercambio de cationes, entre el calcio y el porcentaje de saturación de bases y entre el pH y materia orgánica.

CUADRO No. 6 EFECTO DEL ENCALADO SOBRE EL pH, M.O., C.I.C.T., BASES CAMBIABLES Y ALUMINIO EXTRAIBLE EN TRES SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS.

SUELO	Dosis enmienda calcrea meq Ca/100 g	pH KCl 1:2.5	M.O. %	C.I.C.T.	Ca ²⁺ Mg ²⁺ K ⁺ Na ⁺ Al ³⁺ miliequivalentes/100 g				
Andosólico I	0	4.40	6.98	18.4	7.0	2.1	0.85	0.50	1.85
	10	5.90	7.91	20.2	10.0	3.0	0.95	0.56	1.30
	20	6.92	8.15	23.8	14.0	4.0	1.01	0.58	1.11
Andosólico II	0	4.40	5.21	18.2	5.0	1.4	0.30	0.15	3.55
	10	6.38	5.97	22.2	8.0	3.0	0.27	0.15	2.31
	20	6.54	6.12	24.2	12.0	3.8	0.47	0.17	1.96
	30	7.10	6.75	25.5	19.0	4.1	0.63	0.20	1.42
Oxisólico III	0	4.40	4.34	14.8	3.5	2.0	0.25	0.17	6.5
	10	6.88	4.39	18.8	6.5	2.5	0.39	0.17	2.6
	20	6.95	5.21	21.3	9.5	3.0	0.42	0.21	2.3
	30	7.10	6.24	22.8	13.5	3.8	0.48	0.24	1.95

La variación de la acidez con respecto a las dosis de encalado obtenidos fué notoria. En los tres suelos hubo incrementos en el pH conforme se aumentarion las dosis de encalado.

El encalado calculado para elevar el pH con una dosis de 10 meq Ca/100 g en el experimento I solamente provocó un cambio de 1.5 unidades de pH, mientras que en el Andosólico II y Oxisólico III, las variaciones fueron de 1.98 y 2.48 unidades de pH respectivamente. Para la dosis de 20 meq Ca/100 g, las variaciones fueron de 2.52, 2.14 y 2.55 unidades de pH respectivamente para los tres suelos. Para la dosis de 30 meq Ca/100 g, las variaciones fueron para el Andosólico II y Oxisólico III, de 2.7 unidades de pH respectivamente, llegando a un valor de pH de 7.10.

La diferencia de acidez provocada con una dosis de 10 meq Ca/100 g de suelo, para los tres suelos, podría explicarse debido a que en general los Andosoles tienen alto poder amortiguador pues ocurre que parte de la cal añadida al suelo, se utiliza en el desarrollo de cargas negativas que luego absorben más cal. Este hecho explica la capacidad amortiguadora sumamente alta observada y en general en los suelos de carga variable.

La dosis de encalado aumentaron la materia orgánica en los tres suelos debido a una mayor mineralización de ésta, presentándose los valores en la siguiente secuencia de acuerdo a la dosis de encalado ascendente:

Andosólico I > Andosólico II > Oxisólico III.

Los valores de la capacidad de intercambio catiónico también están presentados en el cuadro No. 6. Se observa un aumento progresivo en todos los suelos al aumentar las dosis de cal o el valor de pH resultante. Esto es explicable por

EFFECTO pH vs ENMIENDA CALCAREA .

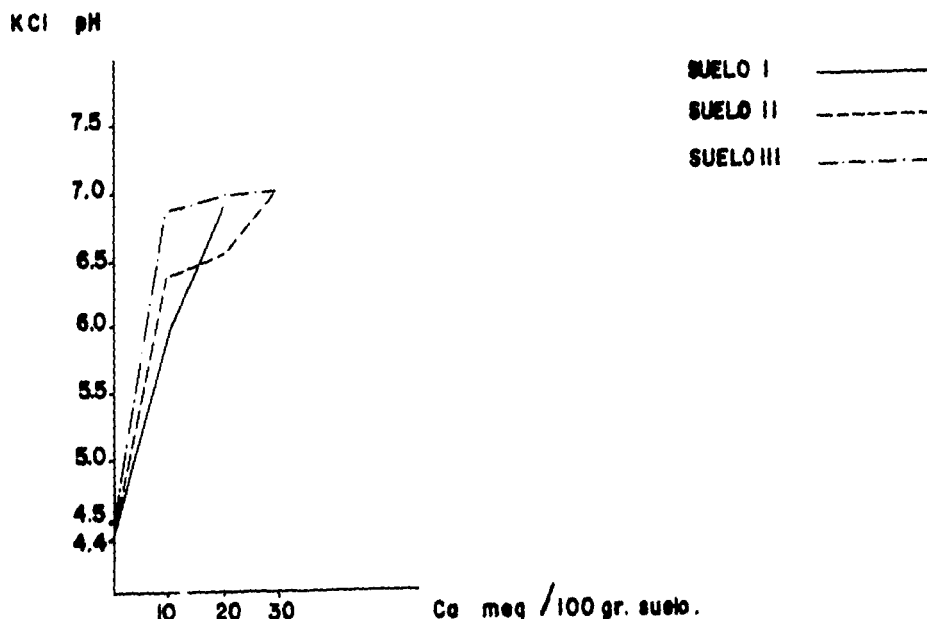


Fig. No. 15. Efecto del encalado sobre el pH en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

la formación de nuevas cargas electronegativas dependientes del pH en el complejo coloidal de los suelos y por el aumento tanto de los porcentajes de materia orgánica como de las bases cambiables. La secuencia en este caso es como sigue:

Andosólico II Andosólico I Andosólico III.

Las bases cambiables calcio y magnesio sufren aumentos proporcionales a las aplicaciones ascendentes del carbonato. Así mismo el K^+ y Na^+ se incrementan gradualmente debido a la mineralización causada por el encalado.

El aluminio de intercambio sufrió una disminución severa al aumentar las dosis de cal aplicada al suelo en los tres casos. El nivel óptimo de neutralización de acidez se alcanzó para los tres suelos en el nivel de pH 6.5, disminuyendo el aluminio en un 40, 60 y 70 % para los tres suelos respectivamente.

- 3) Efectos del encalado (meq Ca/100 g) sobre las variables de respuesta: P-total, P-orgánico, P-inorgánico, P-Al, P-Fe, P-ocultos, P-fijado y P-aprovechable.

Los resultados indican una interrelación muy específica entre el pH y los factores que determinan la fijación de P. (Cuadro No. 7).

Con las variaciones en el pH del suelo por efecto de las adiciones de encalado, hubieron modificaciones en el contenido de P-total aumentado por efectos de la mineralización de los fosfatos orgánicos e inorgánicos. (Fig. No.16).

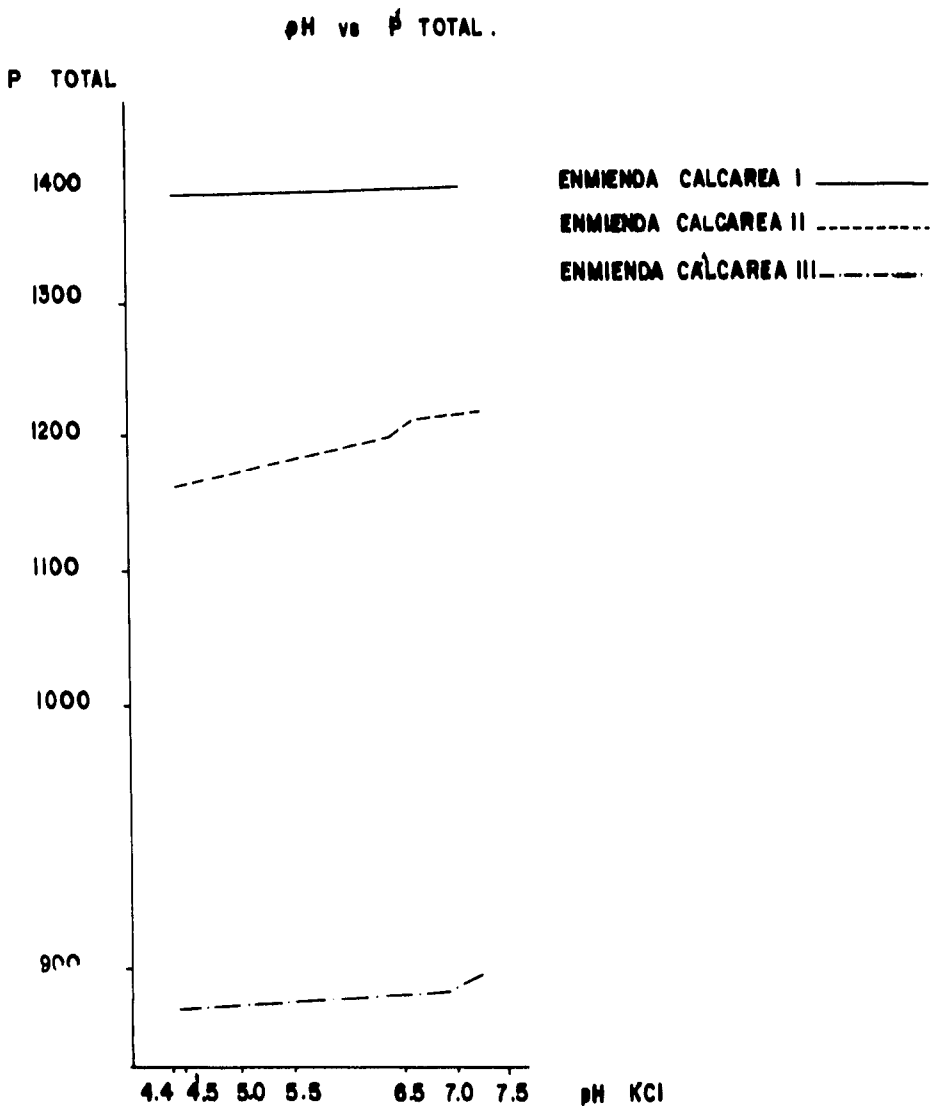


Fig. No. 16. Efecto del encalado sobre el P-total en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

Los datos sobre la capacidad de fijación de fosfatos también se encuentra en el cuadro No. 7 (Fig. No. 22). Los suelos muestran grandes variaciones pero en general se observa una disminución notable con el incremento del pH resultante del encalado, en la forma siguiente:

Suelo Andosólico I > Suelo Andosólico II > Suelo Oxisólico III.

Lo anterior implica que la disminución de la fijación de P por efecto del encalado como consecuencia de la disminución del Al^{3+} cambiante en las variaciones del pH se consiguió en el suelo Oxisólico III (Fig. No. 22), en parte porque este suelo tiene también inicialmente el porcentaje más bajo de fijación.

La fijación varió de acuerdo con las características propias de cada suelo, como sigue, considerando el % que disminuye.

CUADRO No. 5 EFECTO DEL ENCALADO SOBRE LAS FORMAS (P ppm) Y RETENCION DE FOSFATOS EN TRES SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS.

SUELO	Dosis enmienda calcárea meq Ca/100 g	pH KCl 1:2.5	P-total ppm	P-Org		P-Inorg		P-Al		P-Fe		P-Ca		P-ocl.		P-Fij.	P-aprov. ppm
				ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%		
Andosólico I	0	4.40	1380	834	60.43	546	39.56	137	9.93	105	7.60	15	1.08	289	20.94	96	3.81
	10	4.90	1384	850	61.41	534	38.58	130	9.39	100	7.22	20	1.94	284	20.52	94	3.81
	30	6.92	1305	850	64.25	495	35.74	105	7.58	90	6.50	25	1.80	275	19.85	86	3.91
Andosólico II	0	4.40	1160	740	65.17	520	44.82	112	9.65	100	8.62	10	0.86	298	25.68	96	2.87
	10	6.38	1200	684	56.16	516	43.00	95	7.91	105	8.75	16	1.33	300	25.00	90	3.02
	20	6.64	1210	700	57.10	510	42.14	90	7.44	100	8.26	20	1.65	300	24.79	88	3.08
	30	7.10	1220	710	58.19	510	41.80	85	6.96	95	7.78	25	2.04	305	25.00	82	3.18
Oxisólico III	0	4.40	770	346	44.35	435	55.64	70	9.09	115	14.93	15	1.94	234	30.49	90	2.78
	10	6.88	785	342	43.56	443	56.43	65	8.28	112	14.26	16	2.03	250	31.84	84	2.78
	20	6.95	785	347	43.92	443	56.07	64	8.10	108	13.67	18	2.78	253	32.02	80	2.80
	30	7.10	795	350	44.02	445	55.97	62	8.00	104	13.08	20	2.51	259	32.68	80	2.80

El P-orgánico e inorgánico presentan variaciones importantes en los tres suelos Andosólico I y II (Fig. No. 18) y en consecuencia las fracciones de P-Al, P-Fe y P-ocluidos, no así los fosfatos de calcio que se incrementaron con una tendencia también lineal, implicando que conforme se aumentó la dosis de aplicación de calcio también se aumentó en forma consistente las dosis precipitadas hacia esta fracción.

Como se observa en el cuadro No 6, la materia orgánica incrementa sus porcentajes a medida que la dosis de cal asciende, por lo cuál las formas de P-orgánico incrementa notablemente.(Fig. No. 17)

Los fosfatos ocluidos disminuyen con las dosis mayores de encalado en los suelos Andosólico I y II, mientras que en el Oxisólico III aumenta ligeramente, debido posiblemente a que en este suelo se encontró más cantidades de P-Ca precipitadas a formas apatíticas las cuales son menos solubles que las otras formas.

El nivel de precipitación del P-total hacia las diferentes formas y su asociación con la dosis de 20 meq Ca/100 g para el Andosólico I y 30 meq Ca/100 g para el Andosólico II y Oxisólico III fue como sigue:

Andosólico I: P-org. (65.25 %) > P-inorg. (35.74 %) > P-ocl. (19.85 %)
> P-Al (9.93 %) > P-Fe (6.15 %) > P-Ca (1.80 %). (Fig. No. 19).

Andosólico II: P-org. (58.19 %) > P-inorg. (41.80 %) > P-ocl. (25.00 %)
> P-Fe (7.78 %) > P-Al (6.96 %) > P-Ca (2.04 %). (Fig. No. 20).

Oxisólico III: P-inorg. (55.97 %) > P-org. (44.02 %) > P-ocl. (32.58 %)
> P-Fe (13.08 %) > P-Al (8.00 %) > P-Ca (2.51 %). (Fig. No. 21).

pH vs P ORGANICO.

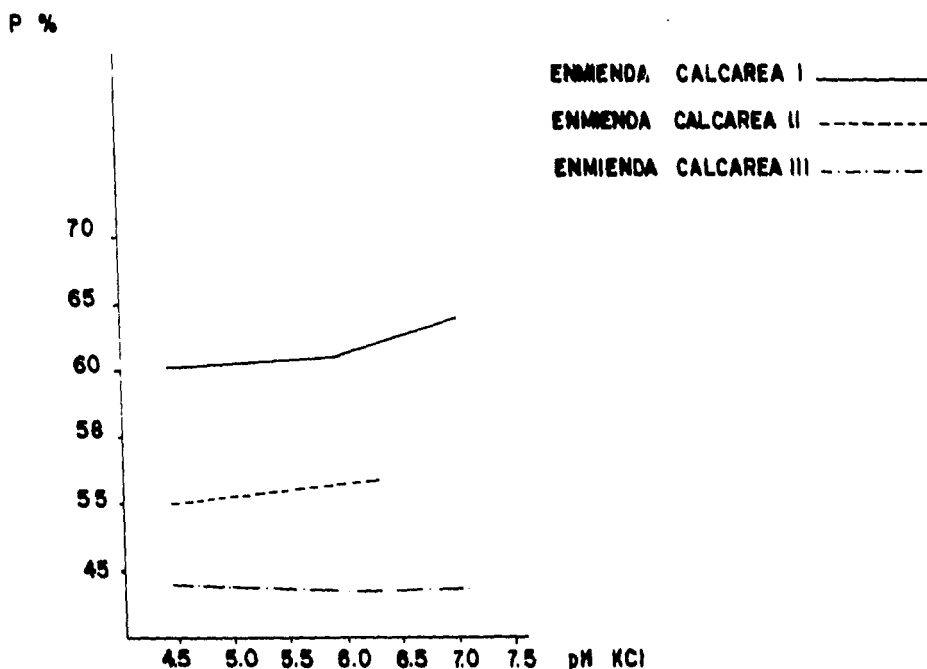


Fig. No. 12. Efecto del encalado sobre el P-orgánico en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

Andosólico II (12 %) > Andosólico I (10 %) > Oxisólico III (10 %).

De acuerdo a lo anterior, las formas precipitadas con una mayor intensidad, fueron hacia los fosfatos de aluminio y hierro, en menor intensidad hacia formas de P- a, mientras que se solubilizaron mayores cantidades de P-orgánico. En el suelo Oxisólico III las formas precipitadas con mayor intensidad fueron P-Fe y P-Al.

El P-aprovechable no presentó variaciones de consideración cuando se incrementaron las cantidades de cal agregadas al suelo, debido a las bajas cantidades de P existente.

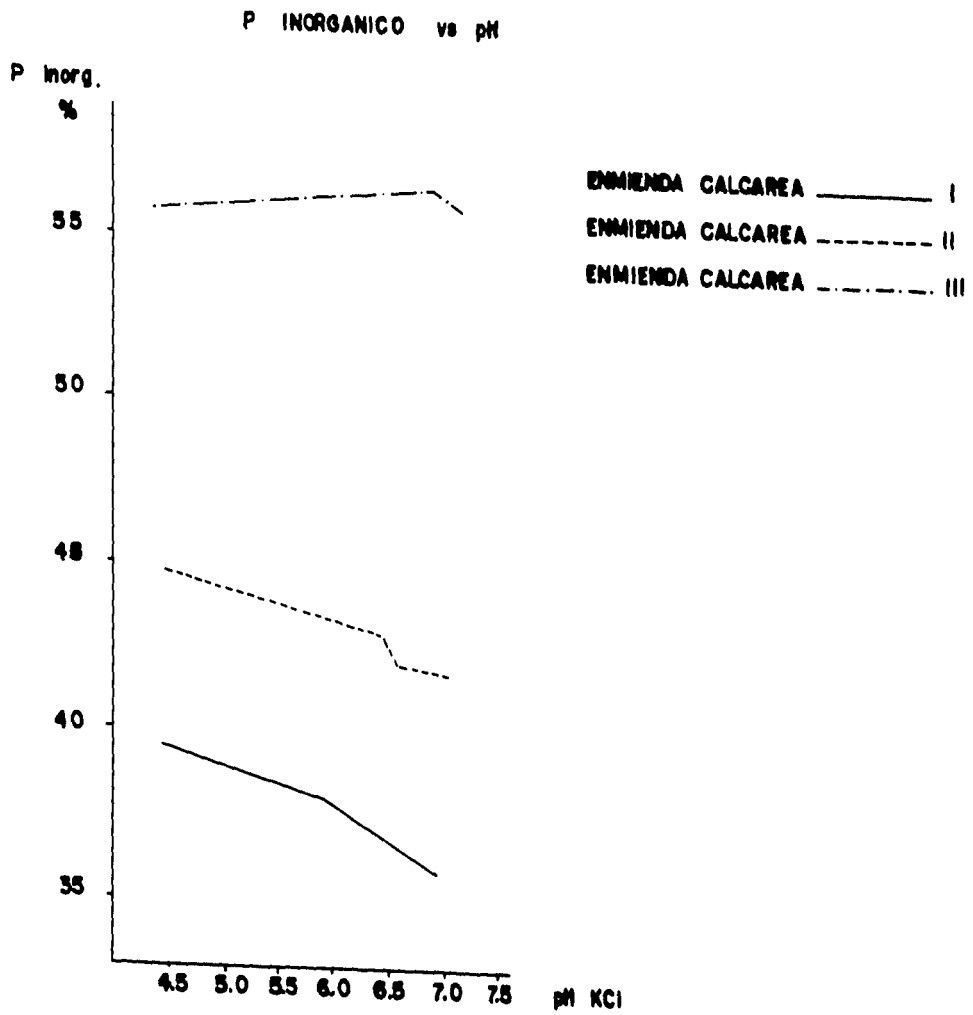


Fig. No. 18. Efecto del encalado sobre el fósforo inorgánico en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

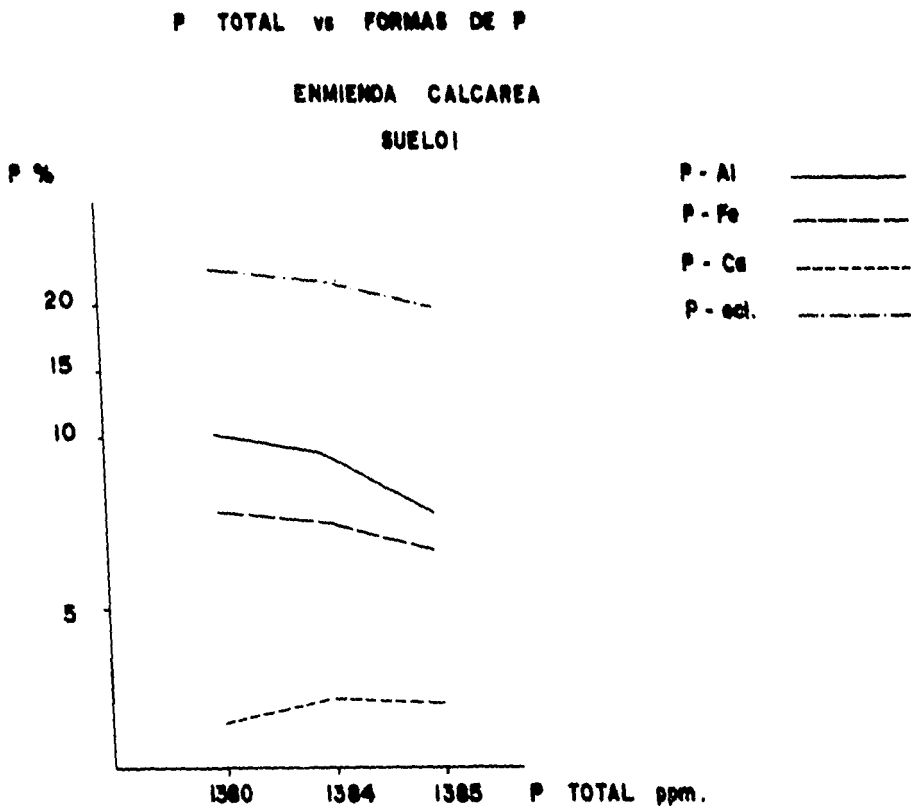


Fig. No. 19. Efecto del encalado sobre las formas inorgánicas de fósforo en el suelo Andosólico I.

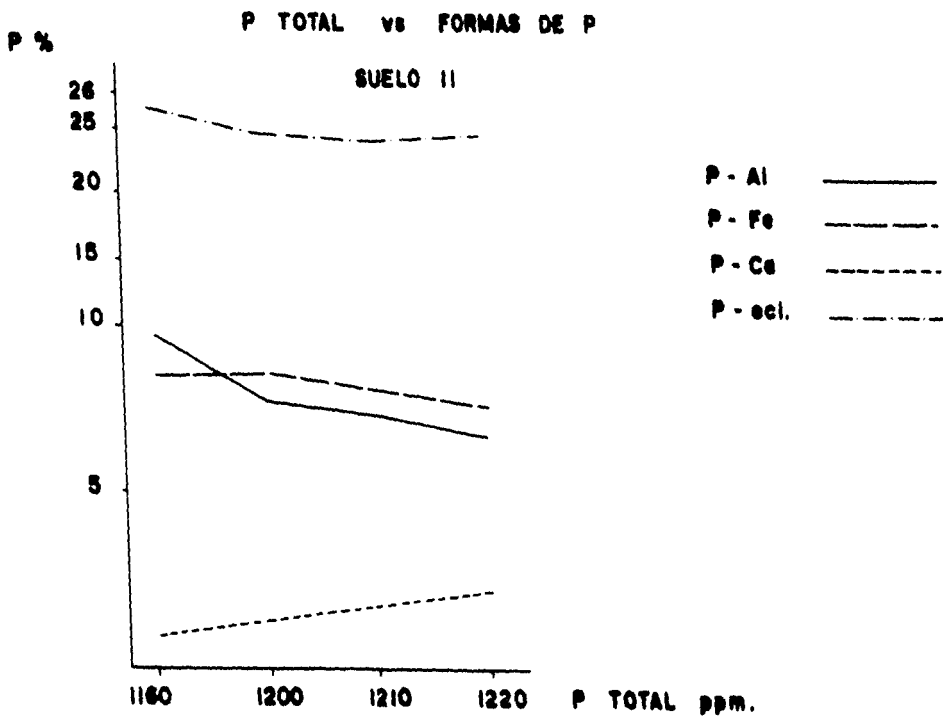


Fig. No. 20. Efecto del encalado sobre las formas inorgánicas de fósforo en el suelo Andosólico II.

ENMIENDA CALCAREA

P TOTAL vs FORMAS DE P. SUELO III

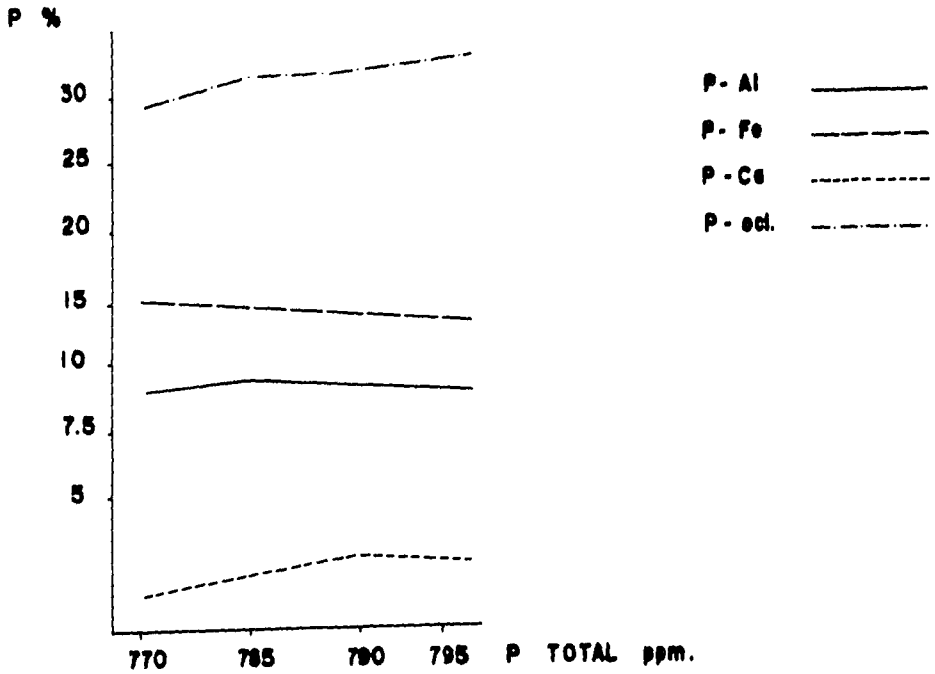


Fig. No. 21. Efecto del encalado sobre las formas inorgánicas de fósforo en el suelo Oxisólico III.

pH vs FIJACION DE P

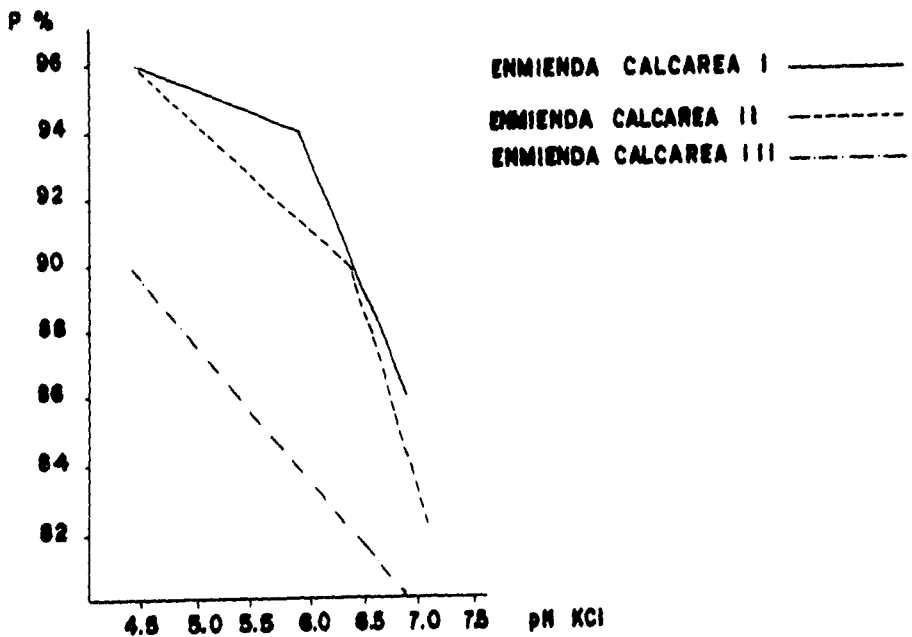


Fig. No. 22. Efecto del encalado sobre la disminución de la capacidad de fijación de fósforo en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

CUADRO No. 8 EFECTO DE LA ENMIENDA SILICATADA SOBRE LA PRODUCCION DE MATERIA SECA Y ABSORCION DE P Y Ca^{2+} POR LA PLANTA INDICADORA Lactuca sativa EN TRES SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS.

SUELO	Dosis enmienda silicatada ppm Si	pH KCl 1:2.5	Producción materia seca (g /maceta).	Absorción Ca^{2+}	
				P (%)	Ca^{2+} (%)
Andosólico I	0	4,40	0.01 N.S.	0.01	0.10
	200	4,50	0.10 "	0.01	0.10
	300	4,50	0.10 "	0.01	0.10
Andosólico II	0	4,40	0.10 "	0.03	0.28
	200	4,50	0.43 "	0.08	0.30
	300	4,50	0.23 "	0.03	0.28
	400	4,52	0.18 "	0.03	0.26
Oxisólico III	0	4,40	0.10 "	0.015	0.14
	200	4,40	0.50 "	0.028	0.14
	300	4,52	0.09 "	0.016	0.15
	400	4,55	0.05 "	0.014	0.11

N.S. no significativo.

3. EFECTO DE LA ENMIENDA SILICATADA EN LOS SUELOS ANDOSOLICO I, ANDOSOLICO II Y OXISOLICO III.

- 1) Efectos de los niveles de Si (ppm) sobre las variables de respuesta materia seca, absorción de P y Ca^{2+} por la planta indicadora Lactuca sativa y pH del suelo, en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

Con respecto a los silicatos, Farsbender y Müller (1969), mencionan que además del efecto favorable de las aplicaciones de los silicatos sobre: la estructura y agregación de las partículas, condiciones de aereación, movimiento del agua, supresión de la posible toxicidad del Al^{3+} , Mn^{2+} y Fe^{3+} , condiciones de desarrollo de los microorganismos, especialmente bacterias, mineralización de la materia orgánica y los procesos dinámicos de N y S, produce efectos muy importantes sobre la reacción del suelo, previniendo la adsorción de P, favoreciendo la desorción del P fijado al competir con éste elemento por las posiciones de sorción en el complejo coloidal, mayor disponibilidad de fosfatos inorgánicos, a través de la hidrólisis de fosfatos de hierro y aluminio, así como la activación de la mineralización del fosfato orgánico, aumentando la actividad iónica del H_2PO_4^- presente en la solución del suelo.

Sin embargo los resultados encontrados en la literatura con respecto a la aplicación de silicatos son muy diversos y a veces contradictorios. Así Suehisa et al (1963), encontraron que la relación entre la aplicación de silicatos y la producción de materia seca estaban relacionados con la cantidad de SiO_2 total, ya que en suelos con alto (30 %) y bajo (13 %) porcentaje de sílice

MATERIA SECA vs ENMIENDA SILICATADA

Materia seca

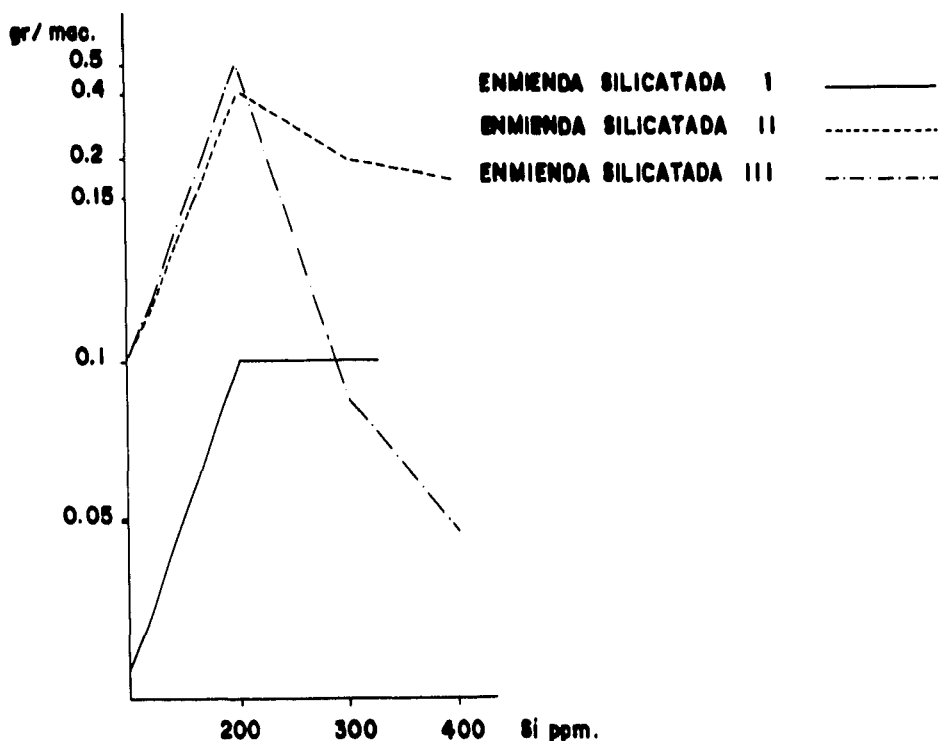


Fig. No. 23. Efecto de la enmienda silicatada sobre la producción de materia seca de la planta indicadora Lactuca sativa en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

no se encontró respuesta favorable a la aplicación de silicatos, pero sí en los suelos medios (15-25 %) en SiO_2 total, aumentando la producción de materia vegetal y la absorción de P .

Según Heckwith y Reeve (1964), la disolución de silicatos nativos del suelo y la adsorción del ácido silícico aplicado al suelo dependen en primer lugar de las condiciones de acidez en las que ocurren estos procesos. Al aumentar las condiciones de acidez del suelo aumenta la adsorción del ácido silícico y de manera especial sobre los hidróxidos de aluminio y hierro; bajo condiciones de un pH menor que 4 se disuelve también grandes cantidades de sílice nativa del suelo. Al existir una acidez manifiesta se puede suponer que se establece un equilibrio silicatos-fosfatos en el complejo de adsorción del suelo de tal forma que al aplicarse cantidades de silicatos solubles se produce un intercambio con los fosfatos en el complejo coloidal y éstos pasan a ser disponibles para la planta.

Como se puede observar e interpretar de los datos del experimento (Cuadro No. A) las primeras dosis de enmienda silicatada sobre la producción de materia seca (Fig. No. 23) en ausencia de fertilizante sólo llevaron a ligeros

ABSORCION DE P vs ENMIENDA SILICATADA.

Abs. P %

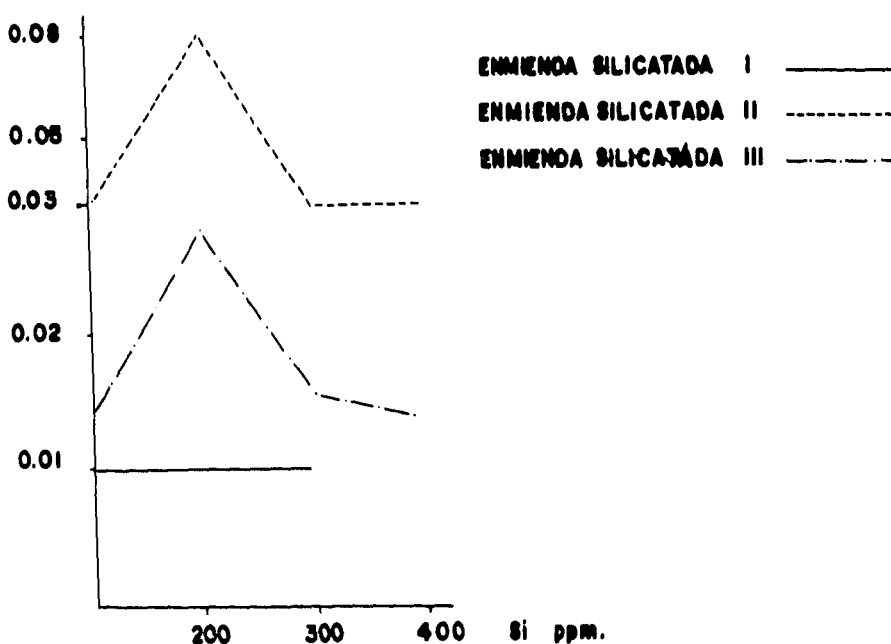


Fig. No. 24. Efecto de la enmienda silicatada sobre la absorción de P por la planta indicadora Lactuca sativa en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

aumentos así como en la absorción de P (Fig. No. 24) y Ca^{2+} por la planta.

Al aumentarse la dosis de silicatos se podría haber esperado un efecto positivo pues la mayor cantidad de ácido silícico en la solución del suelo equilibra la habría podido desorber el P del complejo de adsorción, sin embargo esto no ocurrió.

El pH de las muestras del suelo determinado después del período vegetativo indica que el uso del silicato condujo a un ligero aumento de la acidez del suelo ya que se encontraron solo diferencias de 0.15 unidades de pH. Posiblemente haya sido necesario agregar mayor cantidad de silicatos para promover un mayor cambio de pH y una mayor mineralización del P nativo o mayor desorción del P agregado, pero autores como Fassbender y Müller (1969), indican que puede presentarse una mayor depresión de las cosechas a mayores dosis. A este respecto es necesario mayores investigaciones al uso de altas dosis.

En resumen la producción de materia seca y absorción de P y Ca por la adición de la enmienda silicatada fue como sigue:

Materia seca:

Oxisólico III > Andosólico II > Andosólico I

CUADRO No. 9 EFECTO DE LA ENMIENDA SILICATADA SOBRE EL pH, M.O., C.I.C.T., BASES CAMBIABLES Y ALUMINIO EXTRAIBLES DE TRES SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS.

SUELO	Dosis enmienda	pH	M.O.	C.I.C.T.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺
	silicatada	KCl							
	ppm Si	1:2.5	%	miliequivalentes/100 g					
Andosólico I	0	4.40	6.98	18.4	7.0	2.1	0.85	0.50	1.86
	200	4.50	7.24	18.8	7.3	2.7	0.86	1.51	1.30
	300	4.50	7.28	19.1	7.6	2.8	0.87	1.41	1.20
Andosólico II	0	4.40	5.21	18.2	5.0	1.4	0.30	0.15	3.55
	200	4.50	5.81	18.4	5.2	2.1	0.32	1.24	3.15
	300	4.50	5.82	18.8	5.6	2.6	0.35	1.34	3.10
	400	4.52	5.88	19.0	5.8	2.8	0.36	1.54	3.00
Oxisólico III	0	4.40	4.34	14.8	3.5	2.0	0.25	0.17	6.5
	200	4.40	4.37	15.0	3.8	2.1	0.31	1.03	5.8
	300	4.52	4.62	15.8	4.4	2.2	0.37	1.15	5.2
	400	4.55	4.83	16.1	4.5	2.5	0.40	1.25	5.0

Absorción de P:

Oxisólico III Andosólico II Andosólico I

Absorción de Ca:

Andosólico II > Oxisólico III > Andosólico I

La variación en la absorción de Ca²⁺ fue debida a que el suelo III lo contiene en bajas cantidades.

Estadísticamente (Cuadro Nos. 21, 22 y 23 del apéndice), los silicatos por sí solos no fueron significativos en el rendimiento de materia seca, ya que no se encontró respuesta.

- 2) Efectos de la enmienda silicatada (Si ppm) sobre las variables de respuesta pH, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, bases cambiables y aluminio extraíble de tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

Como se puede observar de los datos del experimento bajo la adición de enmiendas silicatadas, (Cuadro No. 9) sólo llevó a un ligero aumento en el pH, siendo éste más notorio en el Oxisólico III. (Fig. No. 25).

Se debió encontrar mayor variación en el pH como lo corroboran otros autores, sin embargo no fué así, debido en parte quizá porque haya sido necesario un mayor tiempo de reacción de la enmienda en los suelos, para que produjese una disminución de la acidez.

pH vs ENMIENDA SILICATADA.

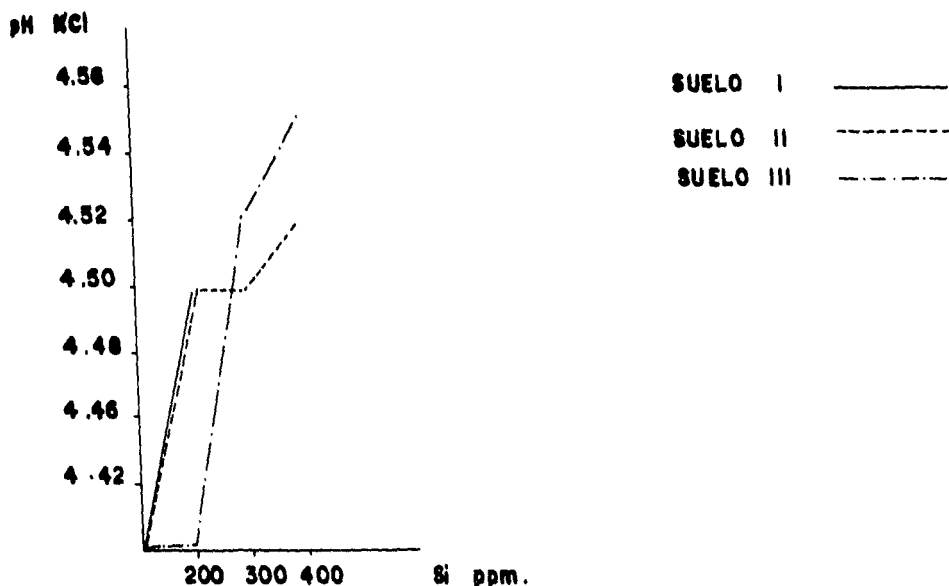


Fig. No. 2'. Efecto de la enmienda silicatada sobre el pH en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

La variación de la acidez debida a la dosis de la enmienda varió en unidades de pH, como sigue:

Suelo Oxidólico III (0.16) > Suelo Andosólico II (0.12) > Suelo Andosólico I (0.10)

Debido a lo cambio ligero de pH, se produjeron solo pocas variaciones en materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico y base cambiante, aunque hubo un aumento considerable en la cantidad de Na^+ intercambiable por la adición del catión complementario del silicato empleado.

El Al^{3+} cambiante disminuye solo ligeramente a mayor cantidad de silicatos, siendo más apreciable en el Andosólico I, posiblemente por un reemplazo de los silicatos aplicados, aunque no hubo incremento en la producción, explicable por los altos porcentaje de fijación que tienen estos suelos.

3) Efecto de la enmienda silicatada (ppm Si) sobre la variación de respuesta en forma de: P-total, P-orgánico, P-inorgánico, P-ácido, P-Al, P-Fe, P-Cu y P-aprovechable.

En el estudio de la intensidad con que las diferentes formas se precipitan en el suelo durante el experimento, bajo la adición de silicato, la contribución a la fijación total de la planta, se muestra en el cuadro No. 10.

La aplicación de silicato de sodio, no condujo a resultados iguales en la movilización de las fracciones de P para todos los suelos estudiados debido a la heterogeneidad de los mismos.

CUADRO No. 10 EFECTO DE LA ENMIENDA SILICATADA SOBRE LAS FORMAS (P ppm) Y RETENCION DE FOSFATOS EN TRES SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS,

SUELO	Dosis enmienda silicatada ppm Si	pH KCl	P-total ppm	P-Org ppm %	P-Inorg % %	P-Al %	P-Fe %	P-Ca %	P-ocl. %	P-Fij. %	P-aprov. ppm
Andosólico I	0	4,40	1380	834 60,43	546 39,56	137 9,93	105 7,60	15 1,08	289 20,94	96	3,81
	200	4,50	1382	853 61,72	529 38,27	130 9,40	100 7,23	15 1,08	284 20,54	92	3,95
	300	4,50	1386	858 61,90	528 38,09	100 7,11	90 6,49	12 0,86	326 23,52	82	3,99
Andosólico II	0	4,40	1160	640 55,17	520 44,82	112 9,65	100 8,62	10 0,86	298 25,68	96	2,97
	200	4,50	1185	642 54,17	543 45,83	105 8,86	100 8,44	15 1,26	323 27,65	91	3,02
	300	4,50	1197	650 54,30	547 45,69	100 8,35	98 8,19	15 1,25	334 27,90	84	3,82
	400	4,52	1200	652 54,33	548 45,66	95 7,91	95 7,91	15 1,25	343 28,58	80	4,02
Oxisólico III	0	4,40	770	346 44,35	425 55,64	70 9,09	115 14,93	15 1,95	238 29,49	90	2,94
	200	4,40	778	335 43,06	443 56,94	70 8,99	115 14,78	16 2,05	242 31,10	90	2,90
	300	4,52	782	336 42,96	446 57,03	68 8,69	110 14,06	16 2,04	252 32,22	88	2,95
	400	4,55	790	338 42,78	452 57,21	65 8,22	105 13,29	17 2,15	265 33,54	85	2,98

Para los suelos respectivos se ha encontrado que en los procesos de fijación de fosfatos, la precipitación hacia las formas de aluminio predominan en los suelos Andosólico I y II y los de hierro predominan notablemente en el Oxisólico III, los de calcio sólo persisten en una pequeña fracción. Las variaciones en la acidez del suelo encontrados de sólo 0,15 unidades de pH no permiten suponer que hayan conducido a una aceleración notable de la mineralización de los fosfatos orgánicos ó una reducción notable de la actividad del hierro y aluminio libres del suelo para controlar la fijación de fosfatos y aumentar su disponibilidad. Fassbender (1969), encontró que en un suelo Juan Viñas de Costa Rica, cambios de una unidad de pH que no influyen grandemente a los procesos mencionados.

De acuerdo a los resultados obtenidos para los tres suelos tomados en su conjunto, el P-total aumentó ligeramente con las adiciones de silicatos, posiblemente debido a la mineralización de la materia orgánica y variación en el pH. (Fig. No. 26).

Asimismo se observa un efecto por la dosis del silicato sobre las fracciones de fósforo. Esto implica que el efecto de la adición de niveles ascendentes de SiO_2 sobre la solubilización de las diferentes formas, es importante, ya que, con las mayores dosis hay una disminución importante en forma significativa de las fracciones de P-Al y P-Fe, teniendo sin duda este fenómeno una relevancia sobre la nutrición vegetal. En general todas las formas de P fueron afectados por las aplicaciones de silicatos.

La adición de silicatos modificó las formas de fósforo en los diferentes suelos ya que con las dosis, el P-almacenado en el suelo Oxisólico III y Andosólico II disminuyen, mientras que en el Andosólico I aumenta (Figs. 27 y 28). Asimismo, el P-inorgánico disminuye en el Andosólico I, mientras que aumenta

pH vs P TOTAL .

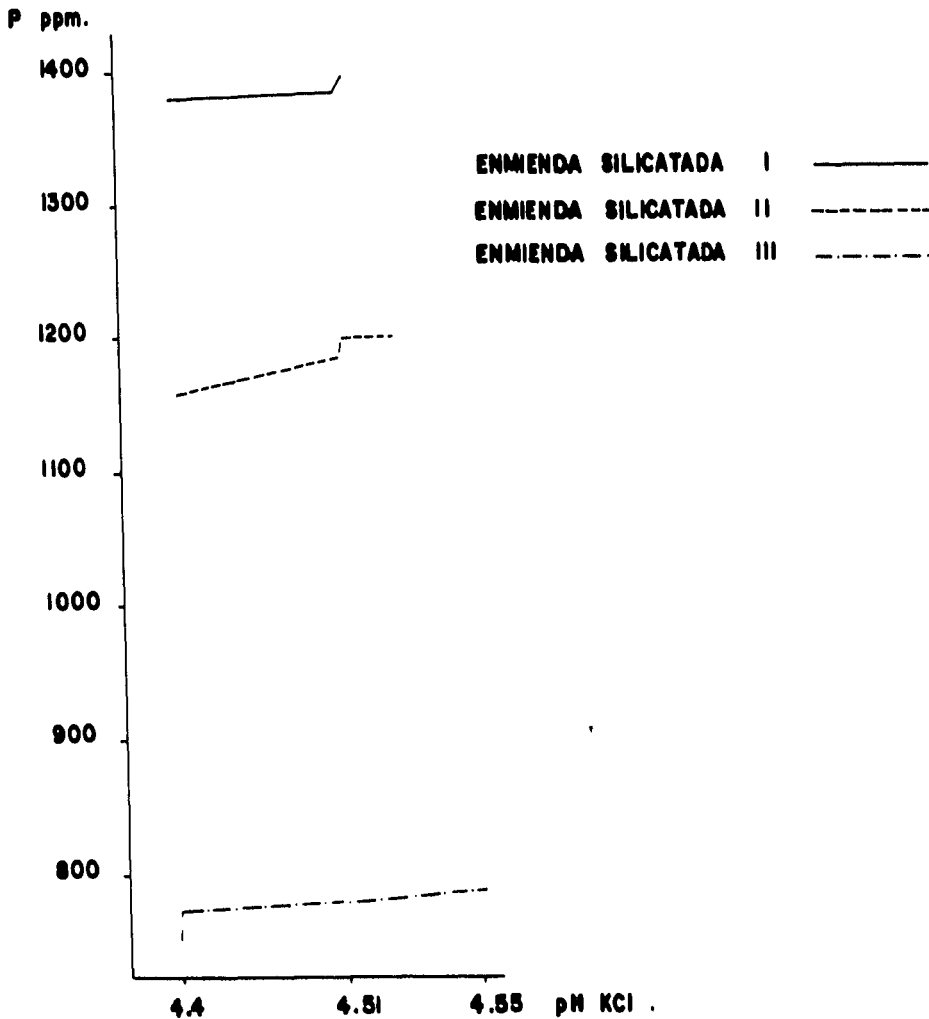


Fig. No. 26. Efecto de la enmienda silicatada sobre el P-total en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

en el Oxisólico III y Andosólico II. El P-Ca sigue la misma tendencia, mientras que los P-acidúlos aumentan en todos los suelos quizá debido a que los aniones SiO_3^{2-} reaccionan con las fracciones de Fe^{3+} y Al^{3+} hacia sus formas poco solubles.

Los fosfatos de calcio son bajos en los tres suelos indicando que esta forma de fosfato no aporta a la nutrición fosfatada de la planta en la medida que lo hacen las otras fracciones. Esto es explicable por cuanto la solubilidad de las posibles apatitas formadas es mucho más baja que la correspondiente a los otros fosfatos.

Es importante tener en cuenta que las fracciones de los fosfatos difieren grandemente en la intensidad de su aporte de P a la planta de acuerdo a sus grados de solubilidad, teniendo sin duda alguna una retención importante para la

pH vs P ORGÁNICO.

P ORG. %

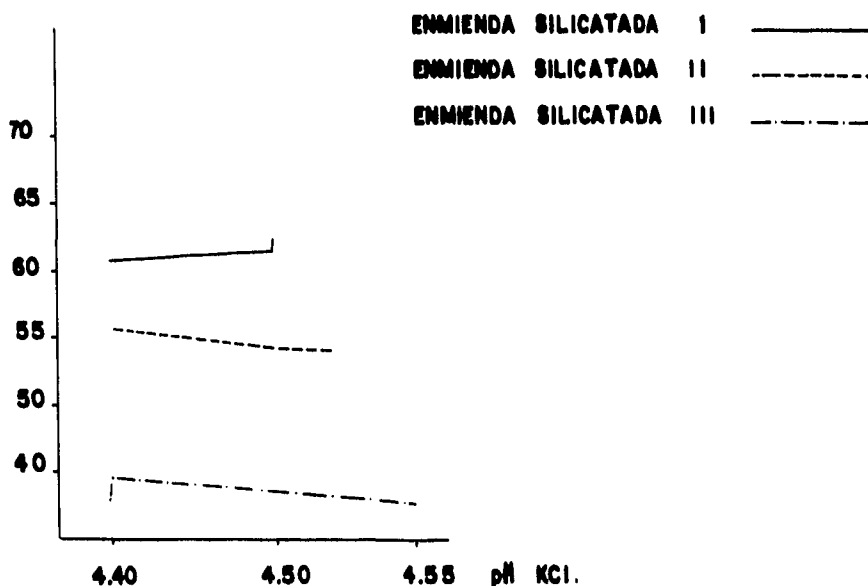


Fig. No. 27. Efecto de la enmienda silicatada sobre el fósforo orgánico en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

nutrición vegetal.

Por otro lado, dentro de los fosfatos inorgánicos que predominan en los Oxisólicos, dominan los fosfatos ocluidos, los de hierro y aluminio, (Fig. No. 31) mientras que en los Andosólicos, predominan los fosfatos orgánicos, luego los inorgánicos y dentro de éstos los de aluminio y hierro. (Figs. 29 y 30). Estos resultados indican que la materia orgánica que en los Andosoles resulta ser muy grande y los fosfatos de aluminio y hierro, están relacionados como factores que gobiernan el fenómeno de precipitación de P, implicando que entre mayores sean la concentración de éstos en el suelo, mayor será la intensidad del fenómeno de fijación y en tanto no se modifique la reacción del suelo para que la materia orgánica sea mineralizada y se disminuyan la cantidad de Al^{3+} y Fe^{3+} libres.

En resumen, los fosfatos del suelo se precipitaron hacia las diferentes formas de P y aportaron P a la planta por efecto de las dosis de silicatos en el siguiente orden de importancia (300 ppm Si en el Andosólico I y 400 ppm Si en el Andosólico II y Oxisólico III):

Andosólico I: P-org. (61.90 %) > P-inorg. (38.09 %) > P-ocl. (23.52 %)
> P-Al (7.21 %) > P-Fe (6.49 %) > P-Ca (0.86 %).

Andosólico II: P-org. (54.33 %) > P-inorg. (45.66 %) > P-ocl. (28.58 %)
> P-Al (7.91 %) > P-Fe (7.91 %) > P-Ca (1.25 %).

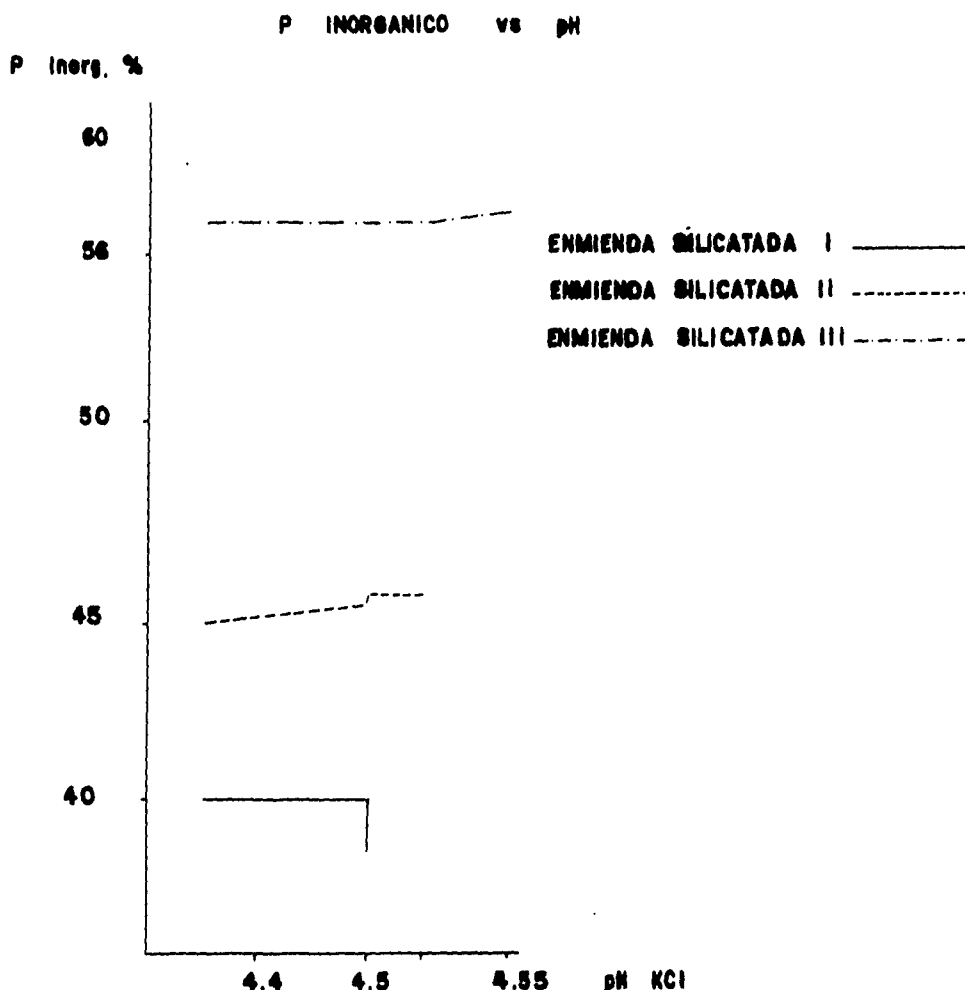


Fig. No. 28. Efecto de la enmienda silicatada sobre el fósforo inorgánico en tres suelos derivados de cenizas volcánicas

Oxisólico III: $P\text{-inorg. (57.21 \%)} > P\text{-org. (42.78 \%)} > P\text{-ocl. (33.54 \%)} > P\text{-Fe (13.29 \%)} > P\text{-Al (8.22 \%)} > P\text{-Ca (2.15 \%)}.$

Con ésto se puede comprobar que el comportamiento de las diferentes fracciones de P, en relación al suministro de P a la planta dependió del suelo utilizado.

La precipitación hacia las diferentes fracciones inorgánicas varió entre límites relativamente amplios, considerando los promedios:

Andosólico: $P\text{-Al} > P\text{-Fe} > P\text{-Ca}$

Oxisólicos: $P\text{-Fe} > P\text{-Al} > P\text{-Ca}$

En el caso de los Oxisólicos los fosfatos de hierro constituyeron la fracción más importante de precipitación, lo que implica la dominancia en este suelo de altas cantidades de hierro activo.

Los promedios obtenidos indican que entre el 80 y 96 % del P añadido fue retenido por el suelo. La variabilidad observada implica la diferencia en la

SUELO I ENMIENDA SILICATADA.

FORMAS DE P vs P TOTAL

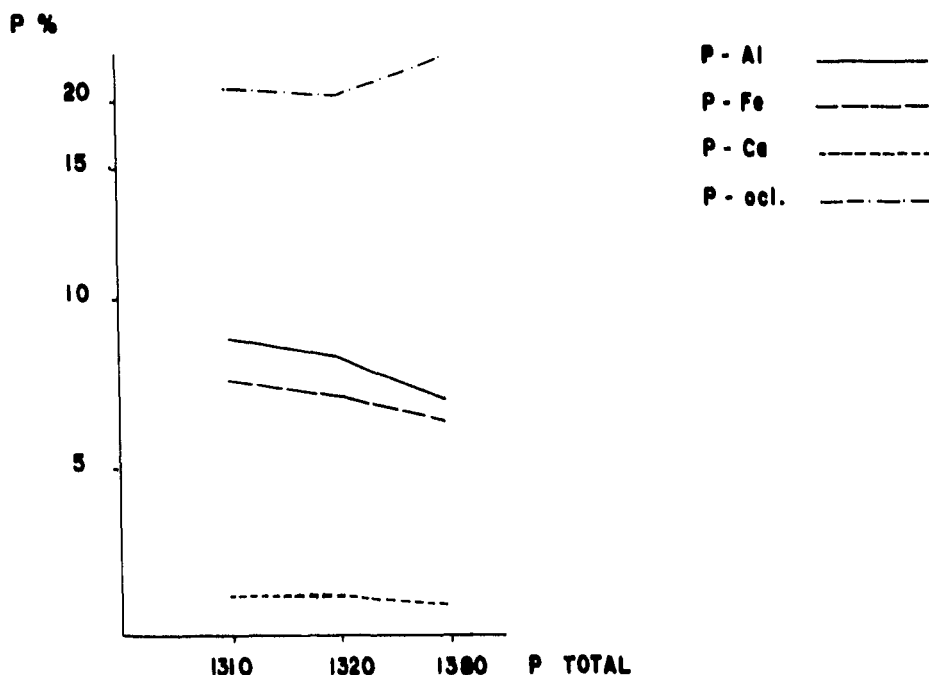


Fig. No. 29. Efecto de la enmienda silicatada sobre las formas de P-inorgánico en el suelo Andosólico I.

características de los suelos en su capacidad de retención de fosfatos, como sigue:

Andosólico II (disminuye 16 %) > Andosólico II (disminuye 14 %) > Oxisólico III (disminuye 9 %).

Los valores iniciales en la magnitud de la fijación de P en los suelos estudiados es muy alta (Fig. No. 32), explicándose por las características de los suelos estudiados y la naturaleza de la fijación. Las arcillas, alofano, materia orgánica, óxidos e hidróxidos de Fe^{3+} y Al^{3+} , Al^{3+} y Fe^{3+} libres presentan cargas electropositivas y pueden actuar como sorbentes del $H_2PO_4^-$ y precipitan a éstos últimos en compuestos de menor solubilidad. Los resultados obtenidos indican que con el aumento de las dosis de silicatos se producen disminuciones apreciables de la fijación.

El papel de la materia orgánica en la fijación de fósforo ha sido puntualizada por otros autores. La presencia de cargas electropositivas lleva a la adsorción de los iones $H_2PO_4^-$. Por ello al considerar los suelos estudiados se encontró una relación significativa, siendo mucho más elevada en el caso de los Andosoles. Para los Oxisólicos otros factores tuvieron mucho más importancia.

SUELO II ENMIENDA SILICATADA.

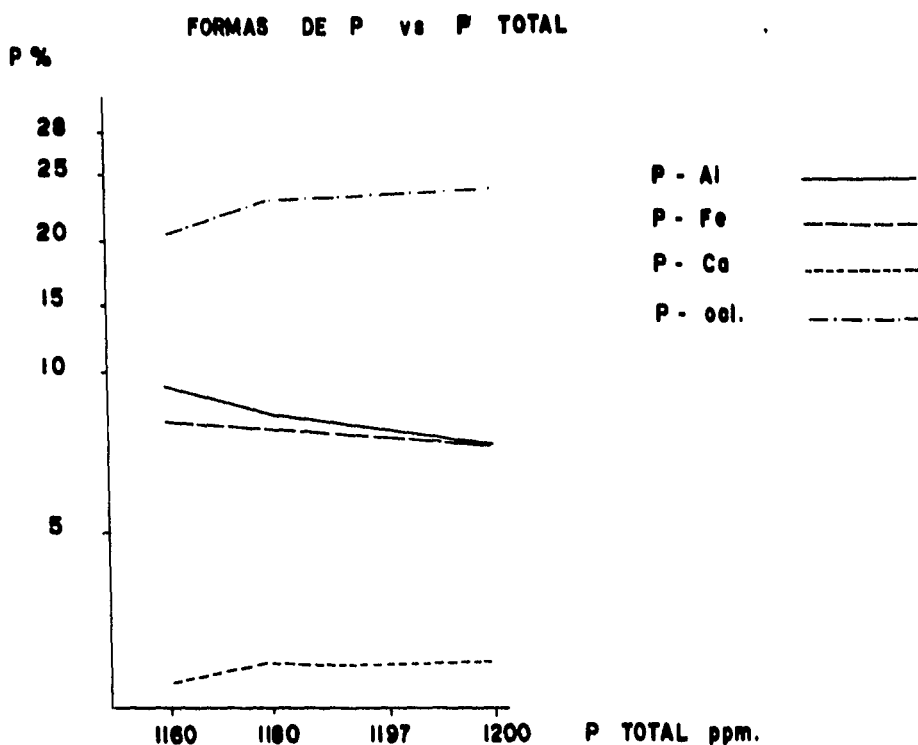


Fig. No. 30. Efecto de la enmienda silicatada sobre las formas de P-inorgánico en el suelo Andosólico II.

La importancia de la materia orgánica se destacó así en los suelos derivados de cenizas volcánicas y será un factor decisivo en la limitación de la producción agrícola cuando no haya una debida mineralización.

La fuente silicatada produjo un efecto diferencial detectable sobre el aprovechable, incrementándose con las dosis de silicatos.

SUELO III ENMIENDA SILICATADA

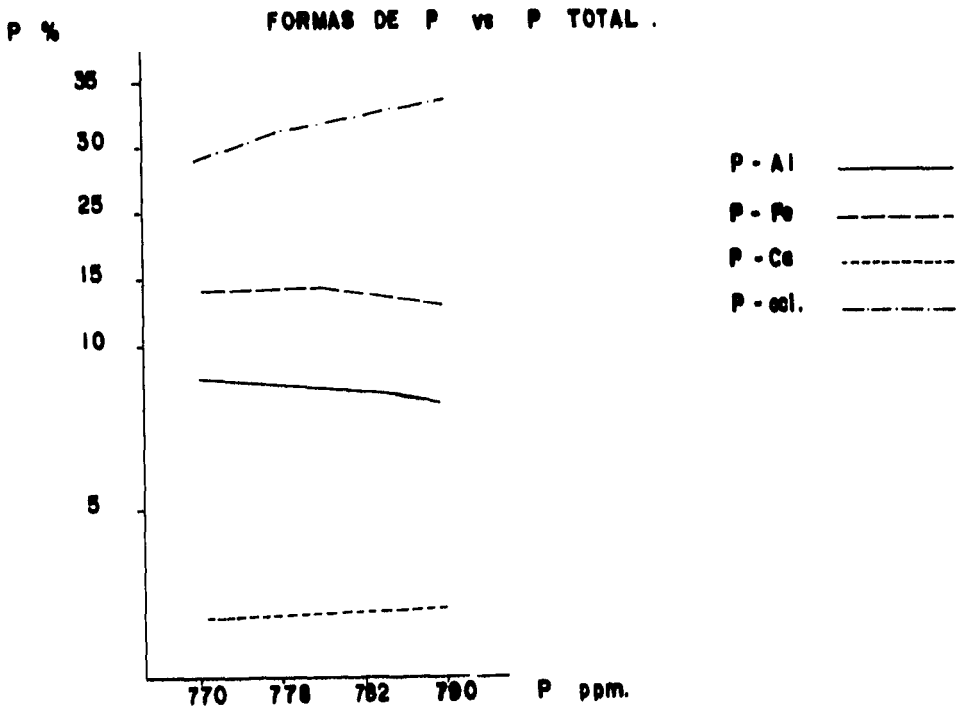


Fig. No. 31. Efecto de la enmienda silicatada sobre las formas de P-inorgánico en el suelo Oxisólico III.

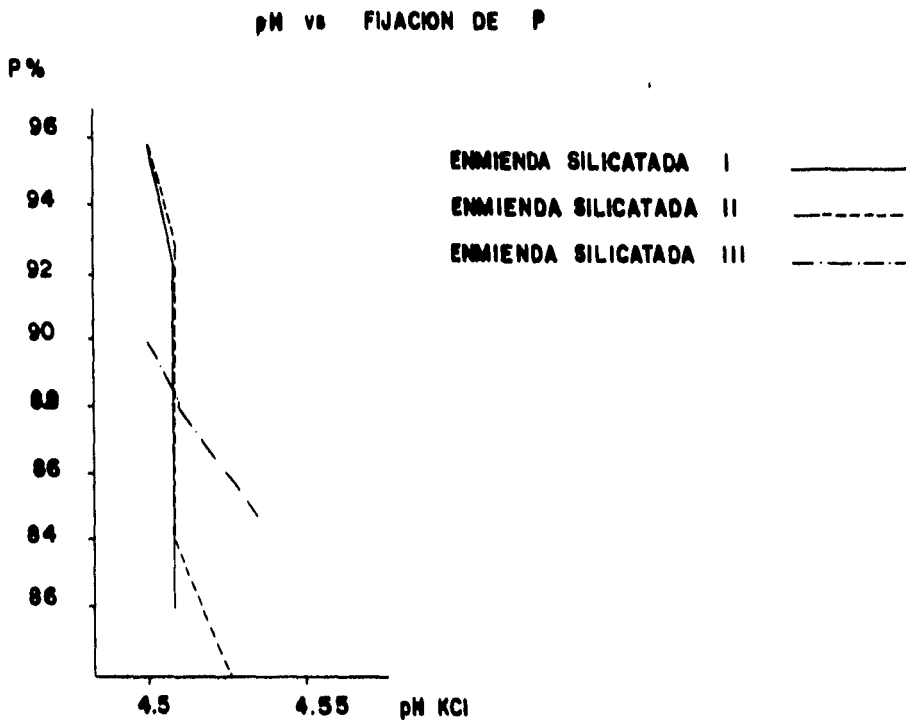


Fig. No. 32. Efecto de la enmienda silicatada en la disminución de la fijación de fósforo en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

4. EFECTO DEL FERTILIZANTE FOSFATADO Y ENCALADO EN LOS SUELOS ANDOSÓLICO I, ANDOSÓLICO II Y OXISÓLICO III.

- 1) Efectos de los niveles de P_2O_5 y Encalado (meq Ca/100 g) sobre materia seca, absorción de fósforo y calcio por la planta indicadora Lactuca sativa y pH del suelo, en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

La mezcla del fertilizante fosfatado y las dosis de enmiendas calcáreas, señaladas en el cuadro No. 11, produjeron variaciones significativas de acuerdo con la naturaleza particular de los suelos experimentales, sobre la materia seca. En todos ellos la máxima dosis de 240 ppm P_2O_5 llevó a la mayor producción posible.

Las macetas que no recibieron fertilización fosfatada tuvieron una producción muy baja en todos los suelos experimentales; ésta llegó a ser 0.01, 0.1 y 0.1 g de materia seca/maceta para los tres suelos respectivamente.

Considerando conjuntamente los tres suelos, las primeras dosis de encalado con el incremento de la fertilización fosfatada llevaron a un aumento muy marcado en la producción de materia seca. La absorción de P y Ca^{++} por las plantas no siguió el mismo patrón en cada suelo como se verá más adelante.

Se puede observar que alrededor de un pH promedio de 6.4 se produce el incremento más elevado, considerando la dosis intermedia de encalado. Se observa que encalados que eleven el pH a valores superiores a 7.0 punto en el cuál se disminuye considerablemente el Aluminio, no contribuyen a mejores rendimientos.

La producción de materia seca para los tres suelos refleja el comportamiento diferente de los suelos como sigue:

Oxisólico III (11.48 g mat. seca/mac.) > Andosólico II (6.53 g mat. seca/mac.)
> Andosólico I (0.40 g mat. seca/mac.).

El suelo Oxisólico alcanzó el mayor rendimiento con la dosis de 240 ppm P_2O_5 y 10 meq de Ca/100 g. Estos resultados indican el comportamiento particular de los suelos experimentales en la fijación de fosfatos, cuadro No. 13, cuya secuencia es:

Oxisólico III (79 %) > Andosólico II (98 %) < Andosólico I (90 %).

De acuerdo a lo anterior, el suelo Oxisólico III tiene una capacidad de fijación menor que los otros dos suelos razón por la cuál el P del fertilizante ha sido más aprovechable, obteniéndose así una magnífica respuesta a la aplicación de ambos materiales, mientras que en el suelo Andosólico I que presenta una capacidad muy alta de fijación, retiene la mayor parte del fertilizante aplicado el cuál no puede ser utilizado por las plantas no obstante la modificación en la reacción del suelo, ya que no se tiene prácticamente respuesta. En un papel intermedio se sitúa el Andosólico II.

CUADRO No.11 EFECTO DEL ENCALADO Y FERTILIZACION FOSFATADA SOBRE LA PRODUCCION DE MATERIA SECA Y ABSORCION DE P Y Ca²⁺ POR LA PLANTA INDICADORA Lactuca sativa EN TRES SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS.

SUELO	Dosis		pH KCl 1:2.5	Producción materia seca (g /maceta).	Absorción	
	enmienda cal cárea meq Ca/100 g	fertilizante fosfatado ppm P ₂ O ₅			P (%)	Ca ²⁺ (%)
Andosólico I	0	0	4.40	0.01 N.S.	0.01	0.10
	10	80	5.00	0.33 *	0.03	0.38
	20	80	6.70	0.05 N.S.	0.03	0.30
	0	0	4.40	0.01 N.S.	0.01	0.10
	10	160	5.80	0.15 "	0.03	0.35
	20	160	6.73	0.40 *	0.07	1.21
Andosólico II	0	0	4.40	0.10 N.S.	0.03	0.28
	10	80	5.60	0.60 "	0.038	0.29
	20	80	6.30	0.73 "	0.06	0.55
	30	80	6.90	0.60 "	0.04	0.61
	0	0	4.40	0.10 "	0.03	0.28
	10	160	5.90	5.03 **	0.14	0.68
	20	160	6.80	3.38 **	0.08	0.81
	30	160	6.95	2.28 *	0.07	0.99
	0	0	4.40	0.10 N.S.	0.03	0.28
	10	240	6.20	6.53 **	0.13	0.63
	20	240	6.80	4.35 **	0.10	0.99
	30	240	6.98	1.25 N.S.	0.09	1.17
Oxisólico III	0	0	4.40	0.10 N.S.	0.015	0.14
	10	80	6.40	5.48 **	0.11	0.74
	20	80	7.20	5.85 **	0.11	0.88
	30	80	7.32	5.25 **	0.11	0.75
	0	0	4.40	0.10 N.S.	0.015	0.14
	10	160	6.30	10.32 **	0.14	0.87
	20	160	7.30	8.18 **	0.12	0.81
	30	160	7.31	6.70 **	0.13	0.80
	0	0	4.40	0.10 N.S.	0.015	0.14
	10	240	6.40	11.48 **	0.16	0.84
	20	240	7.24	7.30 **	0.14	0.74
	30	240	7.40	10.30 **	0.15	0.72

PRODUCCION DE MATERIA SECA
ABSORCION DE P vs ENMIENDA CALCAREA

SUELO I

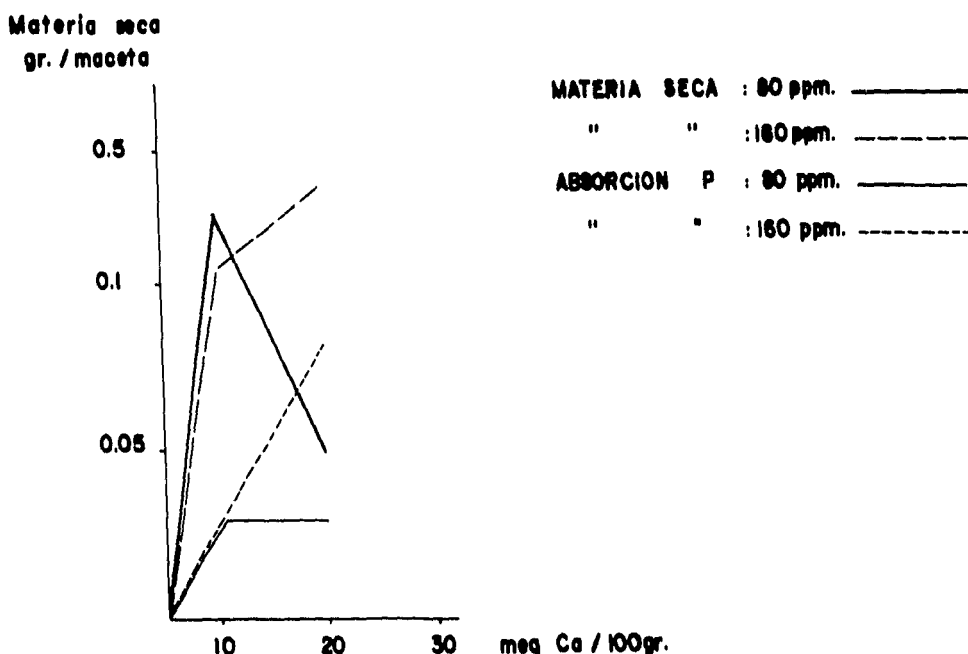


Fig. No. 34. Efecto de la enmienda calcárea y fertilizante fosfatado sobre la producción de la materia seca y absorción de P por la planta indicadora Lactuca sativa en el suelo Andosólico I.

Por otro lado se deduce que las cantidades de cal y fósforo usadas provocaron incrementos en la producción de materia seca por lo que se puede suponer que el mayor contenido de P aprovechable por efecto de las fuertes encaladuras proviene de la materia orgánica mineralizada y P adicionado. Esta mayor mineralización no sólo se debe a una mayor actividad bacteriana sino también por una oxidación a mayor pH. Asimismo, también el aprovechamiento del fósforo en el aumento de la producción de materia seca se asoció con la disminución del aluminio cambiante, ya que, en el suelo Oxidólico III y Andosólico II se presentaron los mayores incrementos de materia seca (Figs. Nos. 35 y 36) y a la vez los mayores grados de neutralización de la acidez, de forma que el aumento puede ser atribuido por un lado por la adición del fertilizante y por otro porque la cal en la dosis de 10 meq Ca/100 g, pudo haber actuado como mineralizador y solubilizador del fósforo. En el suelo II las dosis mayores de encalado parece tuvieron un efecto depresor sobre los incrementos, si los comparamos con los resultados obtenidos con el cuadro No. 2, en el que se muestra que mientras con la sola dosis del fertilizante en el suelo II, la máxima dosis con 240 ppm P_2O_5 fue de 2.40 g mat. seca/mac.; la mezcla de 30 meq Ca/100 g más 240 ppm P_2O_5 fue de 1.26 g, no así la dosis de 10 meq Ca/100 g y 240 ppm de P_2O_5 la cual presentó la máxima producción en este suelo con 0.93 g.

PRODUCCION DE MATERIA SECA ABSORCION DE P vs ENMIENDA CALCAREA

SUELO II

Materia seca
gr / maceta

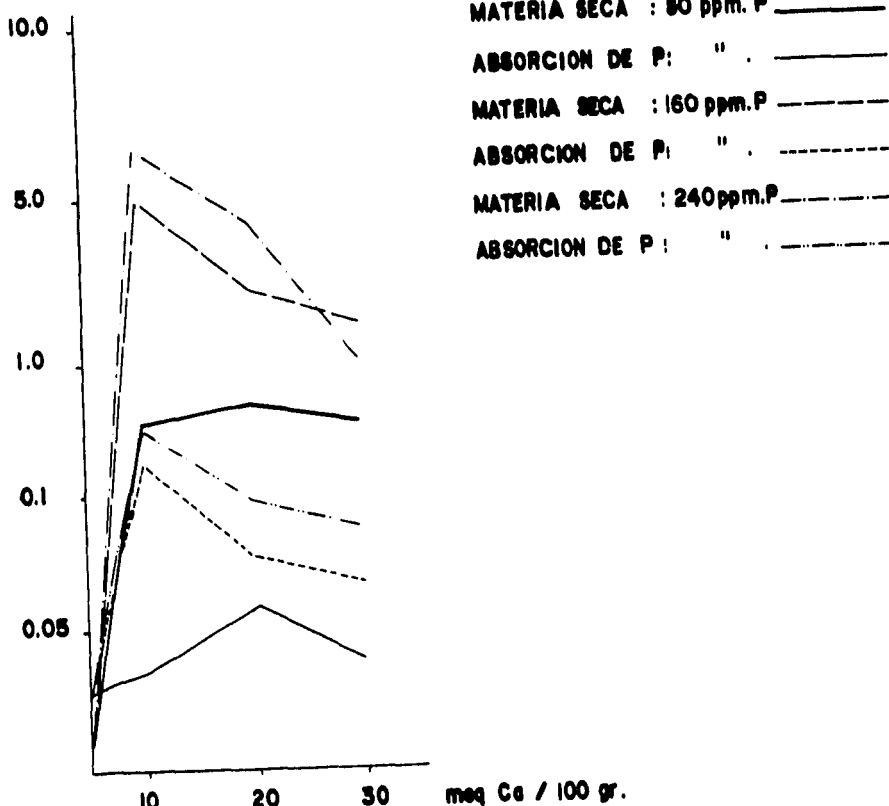


Fig. No. 3 . Efecto de la enmienda calcárea y fertilizante fosfatado sobre la producción de materia seca y absorción de P por la planta indicadora Lactuca sativa en el suelo Andosólico II.

En el Oxisólico III, con bajo porcentaje de fijación de P la producción de materia seca y 240 ppm P_2O_5 del fertilizante fosfatado más la dosis de 10 meq Ca^{2+} por 100 g de suelo fue solo ligeramente diferente a la presentada por la adición del fertilizante fosfatado en su dosis máxima, al igual que el suelo II; la dosis arriba de 20 meq Ca/100 g causaron disminuciones en la producción. (Fig. No. 3f).

Con respecto al encalado y la posible baja producción de materia seca (Fig. No. 3d) con el fertilizante fosfatado en el suelo Andosólico I y el posible efecto positivo o negativo del suelo sobre la cosecha puede estar relacionado con la existencia de varios fenómenos paralelos, por un lado la fuerte fijación de fósforo, el alto poder amortiguador que éstos presentan, pues ocurre que parte de la cal añadida al suelo se utiliza en el desarrollo de cargas negativas que luego absorben más cal. Los suelos II y III también tiene pH extremadamente ácidos, pero son suelos con mayor desarrollo e intemperismo y con un poder de fijación menores que el primero. En éstos dos también se presentan depresiones en las cosechas a mayores dosis de encalado, lo cual ha sido notado por otros

PRODUCCION DE MATERIA SECA
ABSORCION DE P vs ENMIENDA CALCAREA.
SUELO III

Materia seca
gr./maceta.

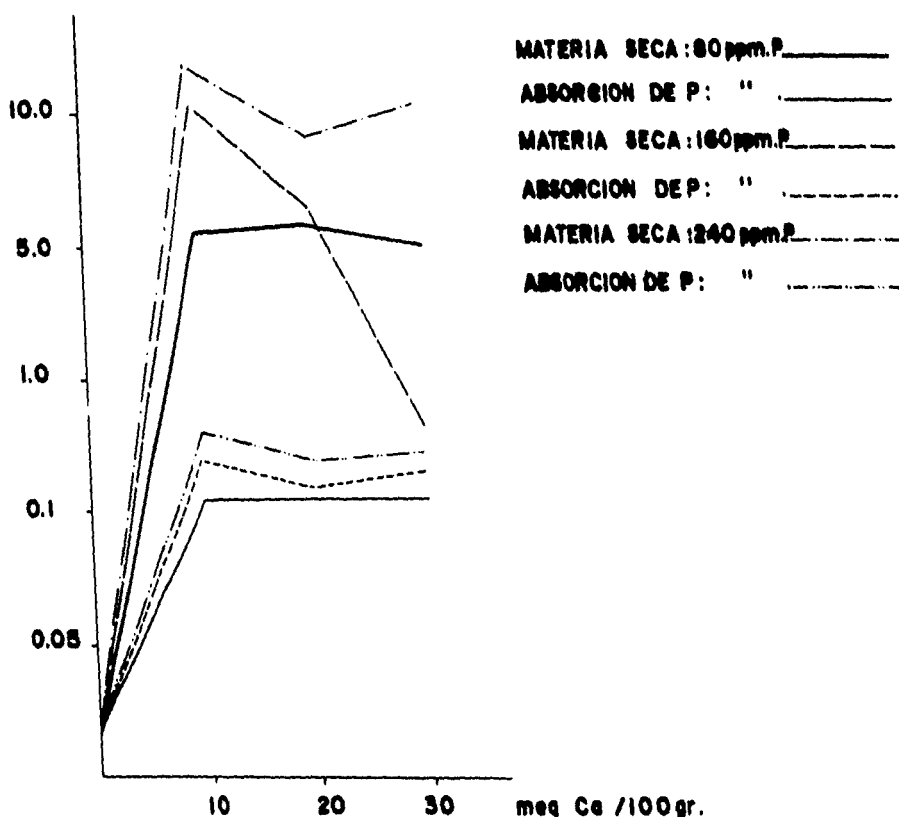


Fig. No. 30. Efecto del encalado y fertilizante fosfatado sobre la producción de materia seca y absorción de P por la planta indicadora Lactuca sativa en el suelo Oxisólico III.

autores atribuyéndose a una reducción del P-asimilable por la formación de fosfatos de calcio en el suelo y por otro a la existencia de antagonismos entre los elementos por la presencia de altas cantidades de Ca^{++} en el suelo.

Es posible que dosis mayores de 20 me Ca/100 gr. de suelo en los experimentos produzcan sobreencalado, por lo que las primeras dosis de cal son más decisivas en tanto que las máximas dosis de fósforo son más importantes en todos los suelos. Por consiguiente se evidencia en éstos suelos el papel esencial del fósforo y resalta la importancia del encalado como factor que influye en el proceso en forma positiva a través de las modificaciones químicas del suelo. Estas observaciones confirman la necesidad de encalado a niveles moderados.

Así mismo, la aplicación de éstas dos fuentes, sobre la disminución del aluminio cambiante que es reemplazado por el calcio tiene seguramente un efecto múltiple a través de las variaciones del pH del suelo.

CUADRO No. 1. Efecto del ENCALADO y FERTILIZANTE FOSFATADO SOBRE EL pH, M.O., C.I.C.T., BASES CAMBIABLES y ALUMINIO EXTRAÍBLE EN TRES SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS.

Suelo	BASES INTERCAMBIABLES DEL SUELO POR EL GRADO VALORADO									
	Dosis de enmienda cal cárea	Dosis fertilizante fosfatado	pH KCl	M.O.	C.I.C.T.	Bases intercambiables/100 g				
	mg Ca/100 g	ppm P_2O_5	1:2.5	%		Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	Al^{3+}
Andosólico I										
	0	0	4,40	6,98	18,4	5,0	2,1	0,85	0,50	1,86
	10	80	5,00	7,82	20,8	11,0	3,4	1,00	0,96	1,27
	20	80	6,70	8,02	24,1	15,0	3,2	1,00	0,93	1,01
	0	0	4,40	6,98	18,4	5,0	2,1	0,85	0,50	1,86
	10	160	5,80	8,03	20,8	11,8	3,2	1,00	1,15	1,18
	20	160	6,73	8,18	24,6	15,8	3,8	1,03	1,05	0,98
Andosólico II										
	0	0	4,40	5,21	18,2	5,0	1,40	0,30	0,15	3,55
	10	80	5,60	6,08	23,6	9,0	3,01	0,40	0,17	2,31
	20	80	6,30	6,18	26,0	12,8	2,98	0,30	0,14	1,95
	30	80	6,90	6,80	29,1	19,8	2,75	0,20	0,13	1,41
	0	0	4,40	5,21	18,2	5,0	1,40	0,30	0,15	3,55
	10	160	5,90	6,18	24,2	9,2	2,90	0,30	0,18	2,18
	20	160	6,80	6,80	27,2	13,01	2,80	0,35	0,12	1,90
	30	160	6,95	7,24	29,8	20,4	2,60	0,30	0,13	1,38
	0	0	4,40	5,21	18,2	5,0	1,40	0,30	0,15	3,55
	10	240	6,20	6,38	24,0	9,8	2,81	0,30	0,14	2,01
	20	240	6,80	6,92	28,2	14,8	2,79	0,30	0,15	1,86
	30	240	6,98	7,30	31,2	21,01	2,65	0,30	0,13	1,30
Oxisólico III										
	0	0	4,40	4,34	14,8	3,5	2,0	0,25	0,17	6,50
	10	80	5,40	4,41	17,0	6,8	2,6	0,40	0,32	2,58
	20	80	7,20	5,42	21,5	9,6	2,3	0,40	0,30	2,37
	30	80	7,32	6,31	23,0	13,6	2,1	0,38	0,25	1,98
	0	0	4,40	4,34	14,8	3,5	2,0	0,25	0,17	6,50
	10	160	6,74	4,56	19,2	7,0	2,6	0,37	0,38	2,42
	20	160	7,30	5,36	22,2	10,0	2,2	0,37	0,33	2,22
	30	160	7,31	6,35	23,2	13,8	2,1	0,36	0,31	1,92
	0	0	4,40	4,34	14,8	3,5	2,0	0,25	0,17	6,50
	10	240	6,40	4,61	20,0	7,4	2,8	0,36	0,38	2,40
	20	240	7,25	5,82	22,5	10,4	2,3	0,35	0,36	2,20
	30	240	7,40	6,42	24,0	14,0	2,2	0,35	0,34	1,90

El comportamiento del encalado indica que el nivel adecuado para llevar a un aumento de productividad de los mismos es particular para cada suelo. Se evidencia en éstos suelos la gran necesidad del fertilizante fosfatado para los cultivos. Para el caso del Suelo Andosólico I, con necesarias mayores dosis de fertilizante fosfatado que el encalado mismo, para el suelo Andosólico II, es adecuado llegar a la primera dosis de enmienda calcárea y la tercera dosis de fósforo; para el suelo Oxisólico III, también es adecuado utilizar la primera dosis de enmienda calcárea y una dosis que varíe de 160 a 240 ppm de P_2O_5 .

En general para evitar efectos de sobreencalado es adecuado llegar a valores de pH de alrededor de 6.5, dosis medias de 200 ppm de P_2O_5 ; por ello es recomendable profundizar, aumentar los estudios en campo de este tipo de suelos derivados de cenizas volcánicas. La aplicación necesaria para algunos casos, en cuanto del fertilizante fosfatado como de la enmienda calcárea a fin de que ésta última enmienda neutralice el aluminio y a favorecer una mayor utilización del fósforo nativo de los suelos.

pH vs ENMIENDA CALCÁREA Y FERTILIZANTE P.

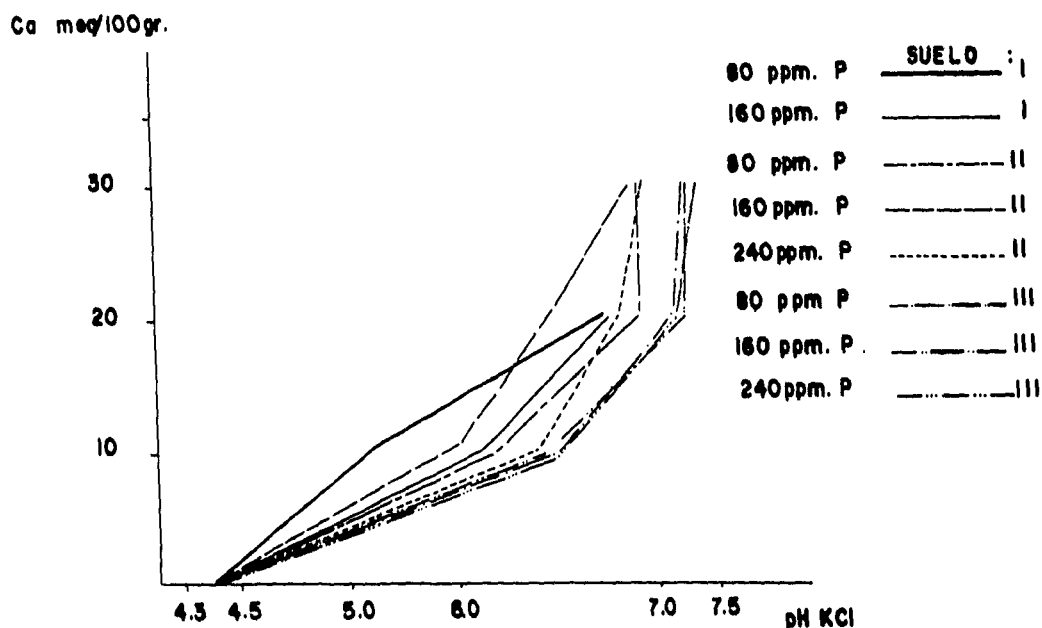


Fig. No. 37. Efecto de la enmienda calcárea y fertilizante fosforado sobre el aumento del pH en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

Se debió de haber encontrado mayor producción de materia seca conforme se aumentaba la cantidad de cal, así lo corroboran otros autores, ya que, la cal actúa como mineralizador y solubilizador del fósforo; sin embargo, no fué así, por lo que los efectos pueden ser debidos a un mayor tiempo de interacción con la enmienda calcárea o bien efectos detrimentes por sobreencalado.

La concentración de fósforo en tejidos foliares aumentó con las primeras dosis de neutralización del aluminio, es decir con las dosis de 10 a 20 meq Ca/100 g. Así mismo, la fertilización fosfórica aumentó la concentración foliar de este elemento llegando a valores máximos con las dosis más altas (Fig. No. 36), aunque la concentración varió de acuerdo con la naturaleza de los diferentes suelos en relación a la máxima producción de materia seca en cada suelo:

Andosólico I (0.07 %) - Andosólico II (0.13 %) - Oxisólico III (0.16 %)

Se puede deducir que la mayor absorción de P por las plantas se obtuvo en los suelos con menor porcentaje de fijación que fueron los Oxisólicos.

Las aplicaciones de fósforo y encalado, aumentaron la concentración de calcio foliar. La mayor concentración se obtuvo en los suelos II y III. La absorción de Ca^{2+} sigue la misma tendencia que la producción de materia seca, aumentando hasta un determinado valor de pH en el suelo I y II, mientras que en el suelo III se conserva en un promedio de 0.80 %. La secuencia es la siguiente considerando

ENCALADO vs MATERIA ORGANICA Y FERTILIZANTE FOSFATADO.

Ca meq / 100 gr.

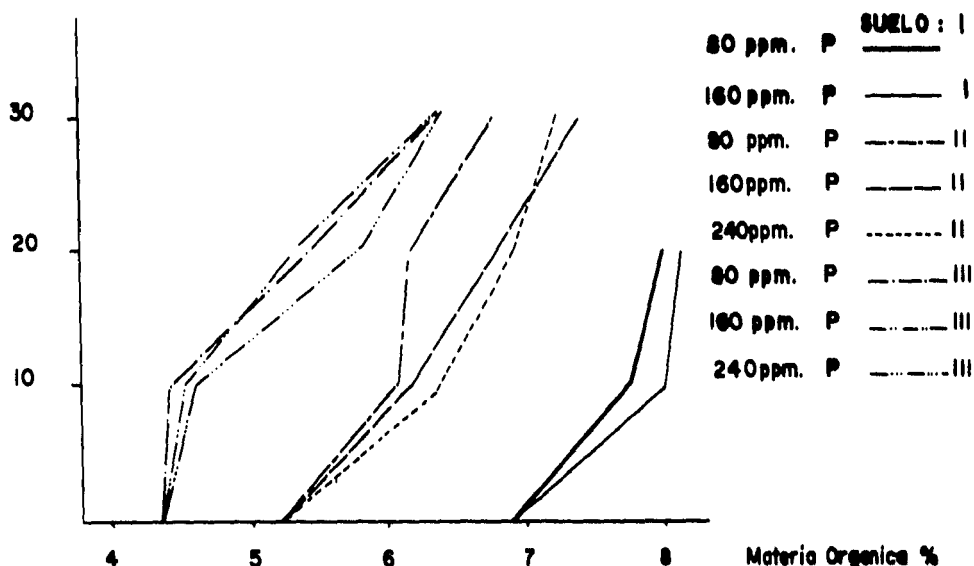


fig. No. 38. Efecto de la enmienda calcárea y fertilizante fosfatado sobre el aumento en el porcentaje de materia orgánica en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

la máxima producción de materia seca para los diferentes suelos:

Andosólico I (1.21 %) > Oxisólico III (0.84 %) > Andosólico II (0.63 %)

Es posible suponer ante éstos resultados que al efectuarse el crecimiento, pueden haber incorporado con diferente velocidad éste nutriente. Así mismo, se observa que la absorción de Ca^{2+} por la planta fué más sostenida en el suelo Oxisólico debido probablemente a la gran necesidad de absorción de éste nutriente cuya presencia en los suelos es muy baja.

Con respecto a las aplicaciones de enmiendas, si la planta encuentra en el suelo todo el fósforo que necesita durante su desarrollo temprano y restante no habrá diferencias a las enmiendas que se usen, pero como no ocurre de éste modo y aún habiendo riqueza de fósforo en el suelo, la planta requerirá un mayor nivel de éste nutriente, en consecuencia la aplicación de carbonatos en combinación con la aplicación de las dosis de fosfatos condujo a resultados significativos sobre todo en el suelo Andosólico II y Oxisólico III.

Estadísticamente se observaron diferencias significativas para los tratamientos IP_2Ca_1 al 1 % y %, altamente significativos para IP_2Ca_2 al 1%. Para el suelo II, existen diferencias altamente significativos al 1 % para

CUADRO No. 17 EFECTO DEL ENCALADO Y FERTILIZANTE FOSFATADO SOBRE LAS FORMAS (P ppm) Y RETENCION DE FOSFATOS EN TRES SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS.

SUELO	Dosis		pH	Dosis		P-total	P-org		P-Inorg	P-Al		P-Fe	P-Ca		P-Ocl.	P-Fij.		P-aprov.		
	fertilizante calcáreo			fertilizante for. foliar			ppm			ppm			ppm			ppm			ppm	
	meq Ca/100 g	ppm P_2O_5		1:2.5	ppm		ppm %	ppm %		ppm %	ppm %		ppm %	ppm %		ppm %	%		ppm	
ANDOSOLIC I	0	0	4.40	1380	834 60.43	546 39.56	137	9.93	105	7.60	15 1.00	289	20.94	96	3.81					
	10	80	4.00	1387	850 61.28	537 38.71	135	9.73	100	7.21	20 1.44	282	20.33	96	14.93					
	20	80	4.70	1380	860 61.95	528 38.04	130	9.36	100	7.20	25 1.80	273	19.66	92	16.29					
	0	0	4.40	1380	834 60.43	546 39.56	137	9.93	105	7.60	15 1.00	289	20.94	96	3.81					
	10	160	5.80	1390	844 60.71	546 39.28	136	9.78	105	7.55	20 1.44	285	20.50	92	18.80					
	20	160	6.73	1405	862 61.35	543 38.64	134	9.54	105	7.47	25 1.78	279	19.85	90	18.90					
ANDOSOLICO II	0	0	4.40	1160	640 55.17	520 44.82	112	9.65	100	8.62	10 0.86	298	25.58	96	2.97					
	10	80	5.60	1240	742 59.83	498 40.16	114	9.19	100	8.06	15 1.21	260	21.49	90	14.15					
	20	80	6.30	1248	750 60.09	498 39.90	116	9.29	102	8.17	15 1.20	265	21.23	86	14.60					
	30	80	6.90	1253	755 60.25	498 39.74	118	9.41	104	8.30	20 1.59	256	20.43	84	14.88					
	0	0	4.40	1160	640 55.17	520 44.82	112	9.65	100	8.62	10 0.86	298	25.58	96	2.97					
	10	160	5.90	1285	765 59.33	520 40.66	114	8.87	102	7.94	15 1.16	289	22.49	90	15.80					
ANDOSOLICO III	0	0	4.40	1160	640 55.17	520 44.82	112	9.65	100	8.62	10 0.86	298	25.58	96	2.97					
	10	160	6.80	1295	778 60.07	517 39.92	116	8.96	104	8.03	18 1.39	279	21.54	84	15.90					
	20	160	6.95	1300	783 60.23	517 39.76	118	9.07	107	8.23	20 1.54	272	20.91	83	15.90					
	0	0	4.40	1160	640 55.17	520 44.82	112	9.65	100	8.62	10 0.86	298	25.58	96	2.97					
	10	240	6.20	1310	780 59.59	530 40.40	112	8.55	103	7.86	17 1.30	298	22.75	88	17.20					
	20	240	6.80	1318	785 59.50	533 40.44	118	8.95	105	7.96	20 1.52	290	22.00	86	17.80					
OXISOLICO I	0	0	4.40	1320	787 59.62	533 40.38	120	9.09	108	8.24	22 1.66	283	21.43	85	17.90					
	0	0	4.40	770	346 44.35	435 55.64	70	9.09	115	14.93	15 1.95	238	29.49	90	2.78					
	10	80	6.40	785	357 45.48	428 54.52	72	9.17	115	14.64	16 2.04	225	28.66	79	13.80					
	20	80	7.20	790	362 45.92	428 54.08	75	9.49	120	15.19	18 2.28	225	28.48	80	13.90					
	30	80	7.32	795	367 46.16	428 53.83	76	9.60	125	15.72	20 2.51	207	26.03	80	13.98					
	0	0	4.40	770	346 44.35	435 55.64	70	9.09	115	14.93	15 1.95	238	29.49	90	2.78					
OXISOLICO II	0	0	4.40	770	346 44.35	435 55.64	70	9.09	115	14.93	15 1.95	238	29.49	90	2.78					
	10	160	6.54	792	364 45.95	428 54.04	74	9.34	115	14.52	17 2.14	222	28.03	80	15.01					
	20	160	7.30	797	370 46.41	427 53.57	78	9.78	116	14.55	18 2.26	215	26.97	79	15.40					
	30	160	7.31	801	374 46.69	427 53.30	86	10.73	120	14.98	20 2.49	201	25.09	77	15.80					
	0	0	4.40	770	346 44.35	435 55.64	70	9.09	115	14.93	15 1.95	238	29.49	90	2.78					
	10	240	6.40	797	370 46.42	427 53.57	74	9.28	115	14.43	17 2.13	221	27.73	79	16.00					
OXISOLICO III	0	0	4.40	770	346 44.35	435 55.64	70	9.09	115	14.93	15 1.95	238	29.49	90	2.78					
	10	240	7.23	808	382 47.27	426 52.72	80	9.90	115	14.23	19 2.35	212	26.64	78	16.08					
OXISOLICO IV	0	0	4.40	810	384 47.41	426 52.59	88	10.86	120	14.81	21 2.59	197	24.32	76	16.18					

IIP_2Ca_2 , IIP_2Ca_3 , IIP_3Ca_1 y IIP_3Ca_2 . Para el suelo Oxisólico III no existen diferencias significativas con respecto a los P, ya que éstos por sí solo incrementan la materia seca; en cuanto al testigo sí se observan diferencias altamente significativas para $IIIP_2Ca_1$, $IIIP_3Ca_1$ y $IIIP_3Ca_2$.

- 2) Efectos de los niveles de P_2O_5 , encalado (meq Ca/100 g) sobre el pH, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, bases cambiables y aluminio extraíble, en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

Los resultados están presentados en el cuadro No. 17. La variación de la acidez fué debida a la adición de las dosis de encalado como consecuencia del aumento de carga negativa. En los tres suelos hubo incrementos en el pH conforme aumentan los niveles de encalado, sin embargo los incrementos más altos fueron logrados en el suelo Oxisólico III. Fig. No. 31. Para los Inceptisoles estudiados

ENMIENDA CALCAREA vs CICT Y FERTILIZANTE FOSFATADO.

Ca meq/100gr.

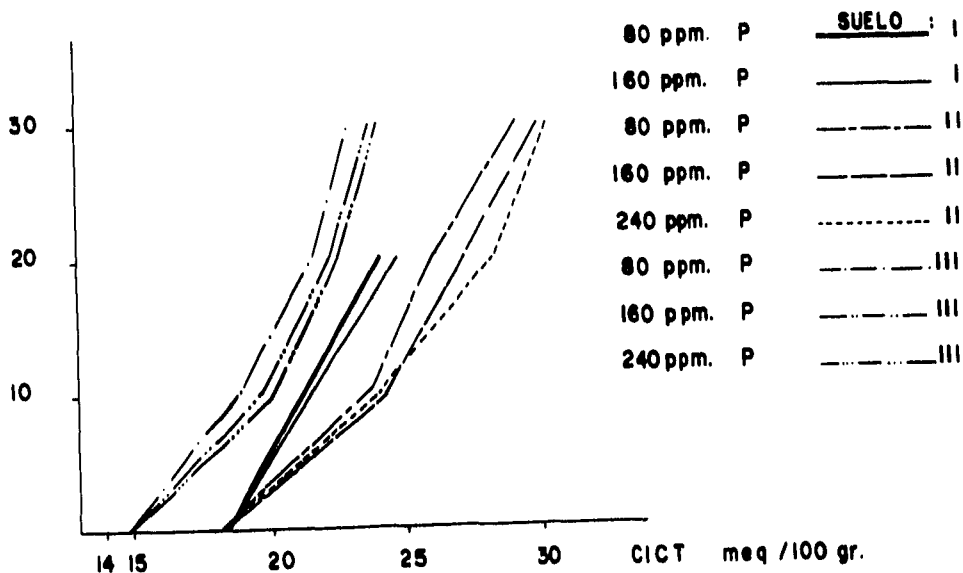


Fig. No. 39. Efecto de la enmienda calcárea y fertilizante fosforado sobre el aumento de la capacidad de intercambio catiónico en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

se han encontrado altos porcentajes de materia orgánica, éstos aumentan con la adición de encalado como consecuencia de la mineralización y producción de materia seca por adiciones de restos orgánicos de éstos suelos.

La secuencia a mayor dosis de los tratamientos (Fig. No. 38) en los diferentes suelos fué:

Andosólico I (8.18 %) > Andosólico II (7.30 %) > Oxisólico III (6.42 %).

Así mismo, se encontró un aumento en las cantidades de calcio conforme se aumentaron las cantidades de carbonato de calcio aplicado (Figura No. 40)

Cuando aumentaron las cantidades de carbonato de calcio aplicado a los suelos ocurrió una disminución del aluminio cambiante en mayor proporción que cuando se aplicó los tratamientos a base de encalado sólo. Hay una asociación positiva entre el pH y el calcio, entre el calcio y la capacidad de intercambio de cationes, entre el pH y materia orgánica.

Los valores de capacidad de intercambio catiónico muestran un aumento progresivo en todos los suelos al aumentar las dosis de cal. Esto es explicable como ya se dijo antes por la formación de nuevas cargas electronegativas dependientes del pH en el complejo coloidal de los suelos. Al mismo tiempo el aumento de car-

ENMIENDA CALCÁREA vs Ca INTERCAMBIABLE- FERTILIZANTE P.

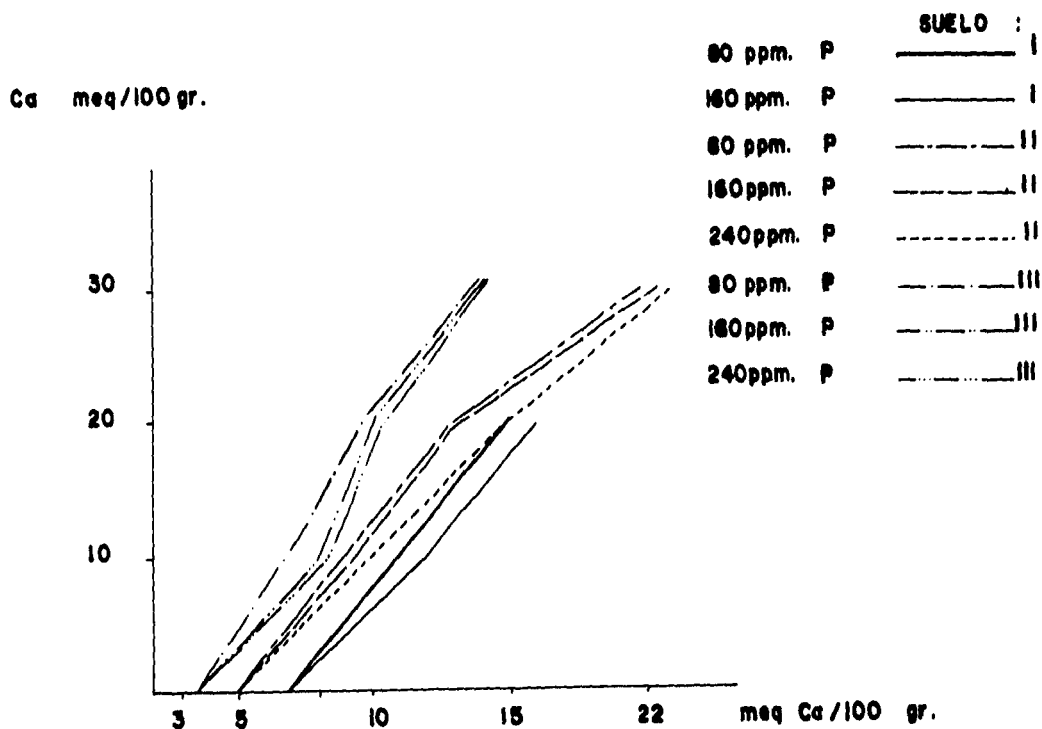


Fig. No. 40. Efecto de la enmienda calcárea y fertilizante fosforado sobre el aumento de Ca^{2+} intercambiable en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

ga negativa explica mejor la retención de cationes como resultado del encalado y de ello la capacidad de intercambio aumentado.

El contenido de bases cambiables en general aumenta con las dosis de enmienda calcárea. El calcio aumentó de acuerdo a la cantidad de cal aplicada en los tres suelos.

Como la CICT es función de materia orgánica y arcillas principalmente, el suelo Andosólico II, presentó los mayores valores de CICT (Fig. No. 39). La secuencia es la siguiente con la máxima adición de encalado y fertilizante fosforado:

Andosólico II (31.2 meq/100 g) > Andosólico I (24.6 meq Ca/100 g) > Oxisólico III (24.0 meq/100 g).

En el experimento II y III donde se obtuvieron aumentos de materia seca, las cantidades de Mn^{2+} , K^{+} y Na^{+} disminuyen conforme a la cantidad de producción de materia seca posiblemente debido a la mayor utilización de éstos elementos en el desarrollo de la planta ocurrido cuando se aumentaba la cantidad de fósforo aplicado.

ENMIENDA CALCAREA vs Al^{3+} EXTRAIBLE

Ca meq/100gr.

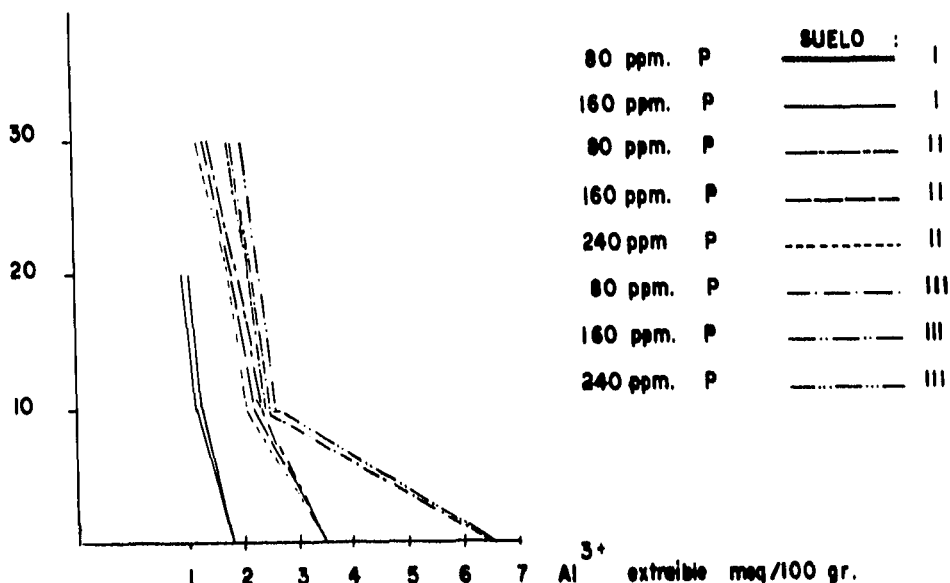


Fig. No. 41. Efecto de la enmienda calcárea y fertilizante fosfatado en la disminución del Al^{3+} extraíble en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

Los datos sobre el aluminio también han sido incluidos en el cuadro No. 12. Se observa que el aluminio intercambiable desciende con las dosis progresivas de cal, (Fig. No. 41) en forma exponencial, siendo la disminución notable de 0.88, 2.25 y 4.60 meq Al^{3+} /100 g, lo que representa un 47, 63 y 70 % para los tres suelos respectivamente.

El nivel óptimo de neutralización de acidez se alcanzó para los tres suelos en el nivel de pH 6.5 lo cuál se asocia los máximos incrementos de materia seca. Estas tendencias se han comprobado por otros autores.

- 3) Efecto de los niveles de P_2O_5 (ppm) y encalado (meq Ca/100 g) sobre las formas de fósforo: P-total, P-orgánico, P-inorgánico, P-Al, P-Fe, P-Ca, P-oculto, P-fijado y P-aprovechable, en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

Los resultados están presentados en el cuadro No. 13. El nivel de relación de las fracciones con la precipitación de P, varió considerablemente en los tres suelos, teniendo en cuenta las diferentes características químicas de cada una de ellas.

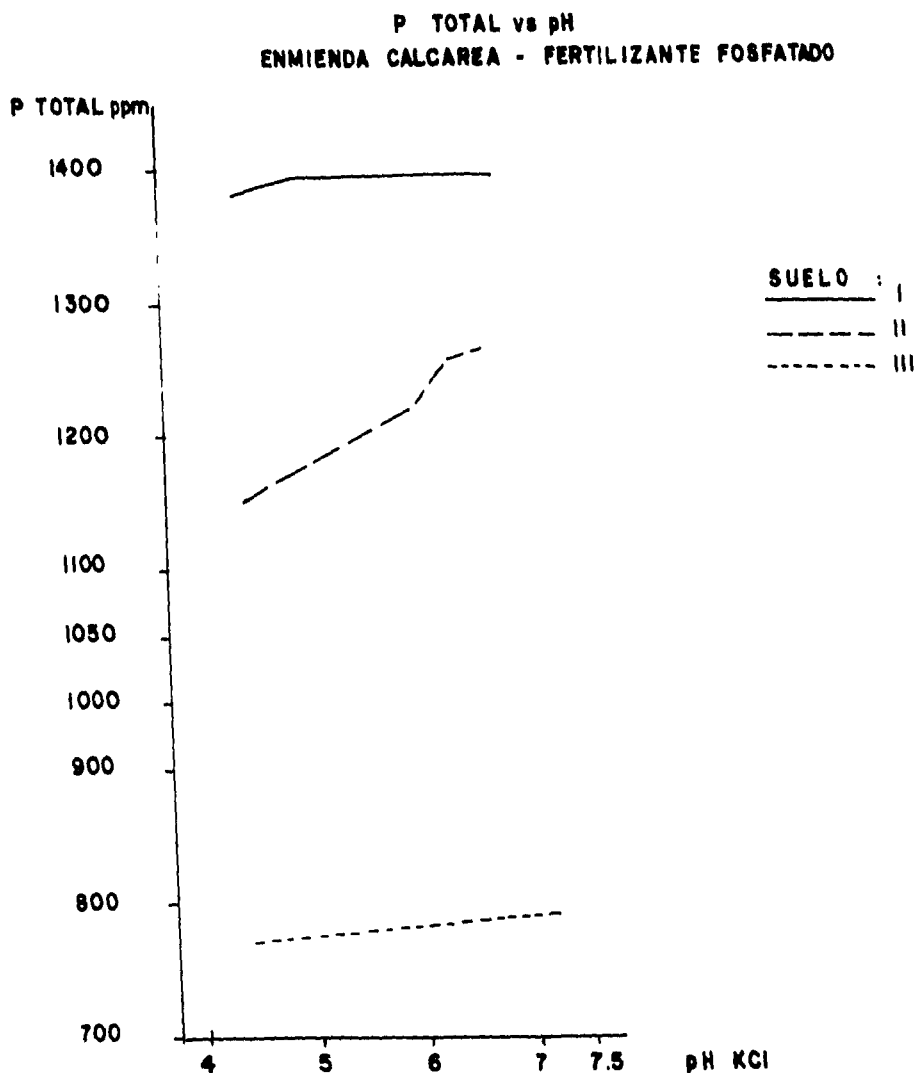


Fig. No. 42. Efecto de la enmienda calcárea y fertilizante fosfatado sobre el P-total en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

En el suelo Andosólico I se tuvo el máximo incremento en el P-total con 1405 ppm P, ya que éstos presentan el mayor porcentaje de materia orgánica y por consiguiente de P-orgánico (Fig. No. 42), los cuales se ven aumentados con las dosis ascendentes tanto de encalado, como del fertilizante fosfatado.

El P-inorgánico (Fig. No. 43) disminuye y en particular los ocultos, los P-Al y los P-Fe, en tanto que los P-Ca aumentan en función del encalado. (Fig. Nos. 46, 47 y 48).

La disminución de los fosfatos de aluminio se efectúa con las dosis de 10 a 20 meq Ca/100 g y 80 ppm P_2O_5 , que con la adición de 160 ppm P_2O_5 la misma dosis de Ca⁺⁺, lo cual podría implicar que a mayor P aplicado se precipita en forma de P-Al. En general, la secuencia de precipitación con la mayor dosis tanto de enmienda calcárea en presencia del fertilizante fosfatado es:

ENMIENDA CALCAREA vs P ORGANICO E INORGANICO.
SUELO I

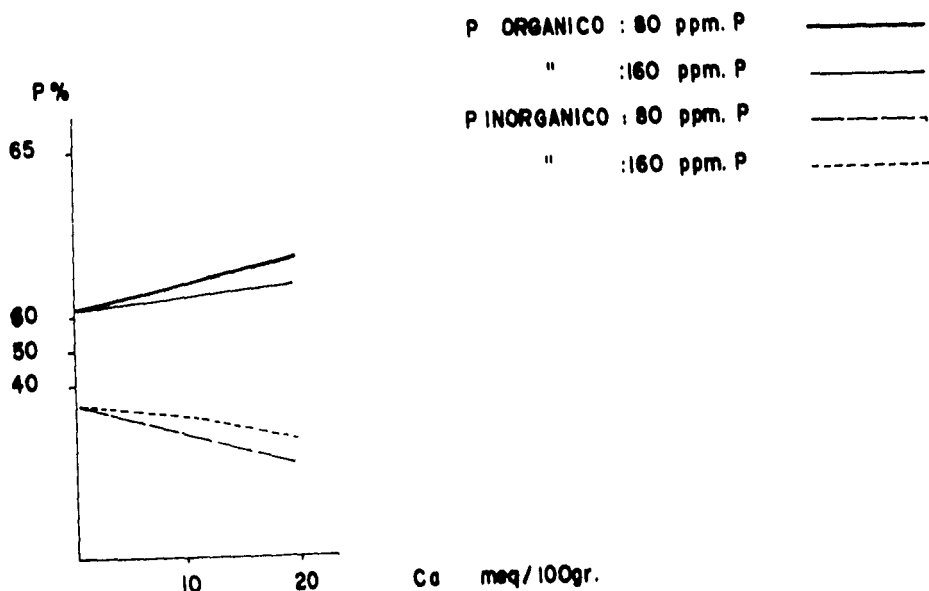


Fig. No. 43. Efecto de la enmienda calcárea y fertilizante fosforado sobre las formas P-orgánicas e inorgánicas en el suelo Ando ólico I.

P-orgánico (61.35%) P-Inorgánico (39.64 %) P-ocluídos (19.85 %) > P-Al (9.54 %)
P-Fe (7.47 %) P-Ca (1.78 %).

Para el suelo Andoólico II con 1160 ppm iniciales de P-total obtiene un incremento hasta de 1320 ppm con las dosis máximas de encalado y fertilizante P.

El P-inorgánico (Fig. No. 44) disminuye y en particular los ocluidos, significando que en parte, a través del encalado éste fósforo inerte puede ser mineralizado y aprovechado para las plantas. Los P-Al y P-Fe disminuyen (Fig. 46, 47 y 48) gradualmente pero tienen tendencia a aumentar posiblemente debido a que habiendo grandes concentraciones de P hidrosoluble en el suelo sean precipitadas ciertas cantidades de éstos por los iones existentes de Fe^{3+} y Al^{3+} en el suelo o bien es posible que se hayan producido una hidrólisis de fosfatos de Hierro y Aluminio en los suelos pero existiendo aún iones libres de Fe^{3+} y Al^{3+} en la solución del suelo se produjeron reprecipitaciones de éstos fosfatos.

Por otro lado en el caso de los Oxisólicos los fosfatos de hierro constituyen la fracción más importante de precipitación a pesar de las variaciones ofrecidas por los cambios en el pH, lo que implica la dominancia en éste suelo de altas cantidades de Hierro activo. Fig. No. 47.

ENMIENDA CALCAREA VS P ORGANICO E INORGANICO

SUELO II

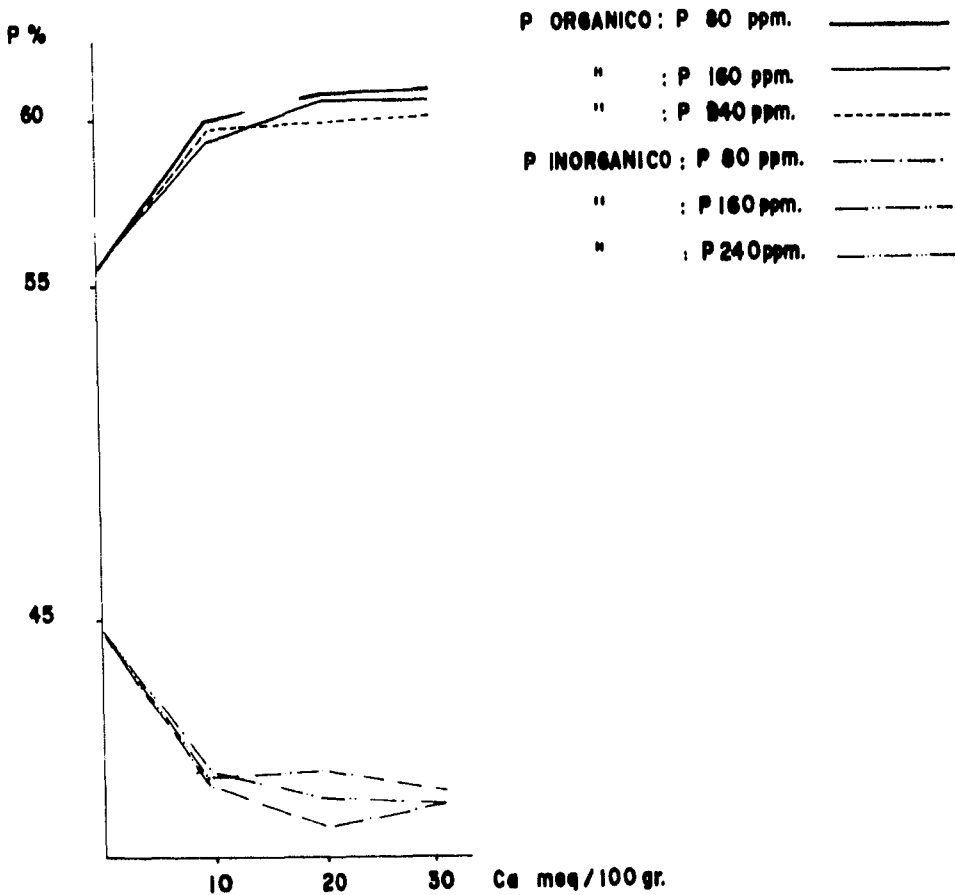


Fig. No. 44. Efecto de la enmienda calcárea y fertilizante fosfatado sobre las formas de P-orgánico e inorgánico en el suelo Andosólico II.

Los fosfatos de calcio son como hemos visto antes, aumentados linealmente en función de las dosis ascendentes de los carbonatos. Los fosfatos ocluidos tienen una tendencia general a ser disminuidos (Fig. No. 49) en los tres suelos; se puede deducir que un porcentaje considerable de éste fósforo insoluble fué mineralizado y aprovechado por la planta.

En general la secuencia de precipitación para éste suelo es, considerando la máxima adición tanto de la enmienda calcárea como del fertilizante:

P-org. (19.62 %) > P-inorg. (40.38 %) > P-ocluido (21.43 %) > P-Al (9.09 %)
 > P-Fe (8.24 %) > P-Ca (1.6 %).

En relación a lo anterior el carbonato de calcio y el fosfato de amonio NH_4^+ solubilizaron con una mayor intensidad los fosfatos inorgánicos de aluminio, Fe^{3+}

ENCALADO vs P ORGÁNICO E INORGÁNICO

SUELO III

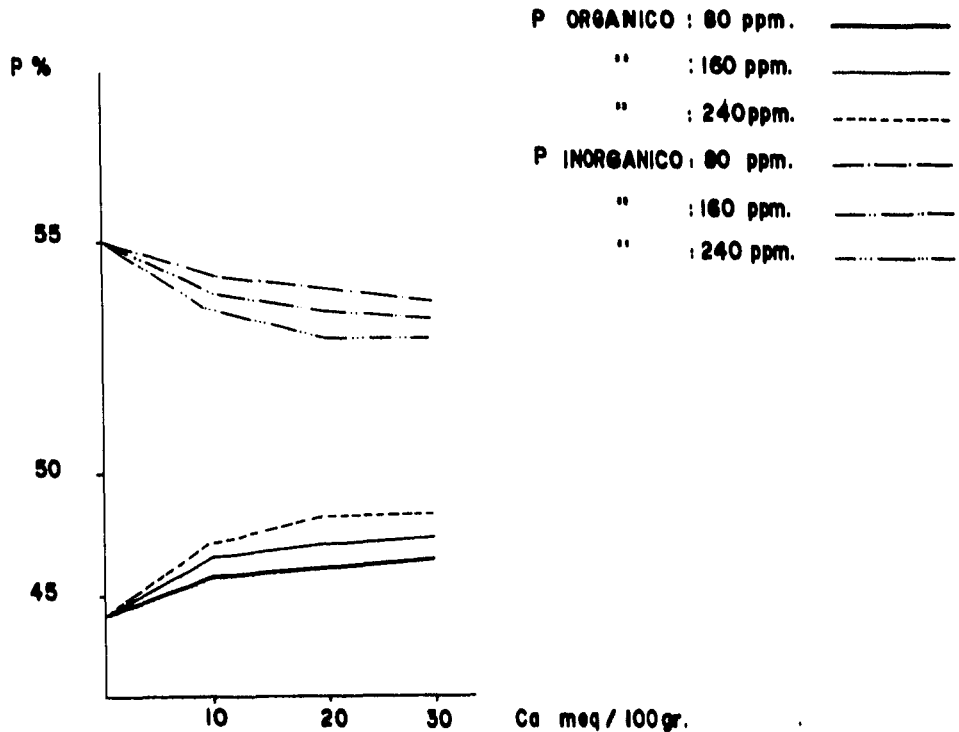


Fig. No. 4'. Efecto de la enmienda calcárea y fertilizante fosfatado sobre las formas de P-orgánico e inorgánico en el suelo Oxisólico III.

y ocluidos en el suelo Andosólico I y II en tanto que los fosfatos de Fe^{3+} y Al^{3+} , se precipitaron más intensamente en el suelo Oxisólico III, aunque los ocluidos fueron solubilizados a formas solubles a mayor adición de carbonatos.

La forma de P-Ca aumentó en función de la adición de carbonatos a formas posiblemente menos solubles.

El diferente comportamiento del carbonato y fosfato de amonio en lo relativo a la solubilización ó precipitación de las fracciones de P-Al, P-Fe, y P-Ca, está relacionado, en gran parte con el incremento en el pH causado por la adición del carbonato de calcio.

Si bien al agregarse una fertilización fosfatada se conducen a la precipitación de gran parte del P aplicado hacia fosfatos de aluminio, hierro ó calcio, éstas fracciones solubilizan su fósforo a través de las modificaciones del pH y lo aportan a la planta. De ésta manera, se puede afirmar que la precipitación operada en el suelo hacia éstas fracciones no podría calificarse como "fijación", ya que, al menos, parte del P-precipitado se solubiliza y lo toma la planta.

ENCALADO vs P-Al SOBRE LAS DOSIS DE FERTILIZANTE P.

P - Al %

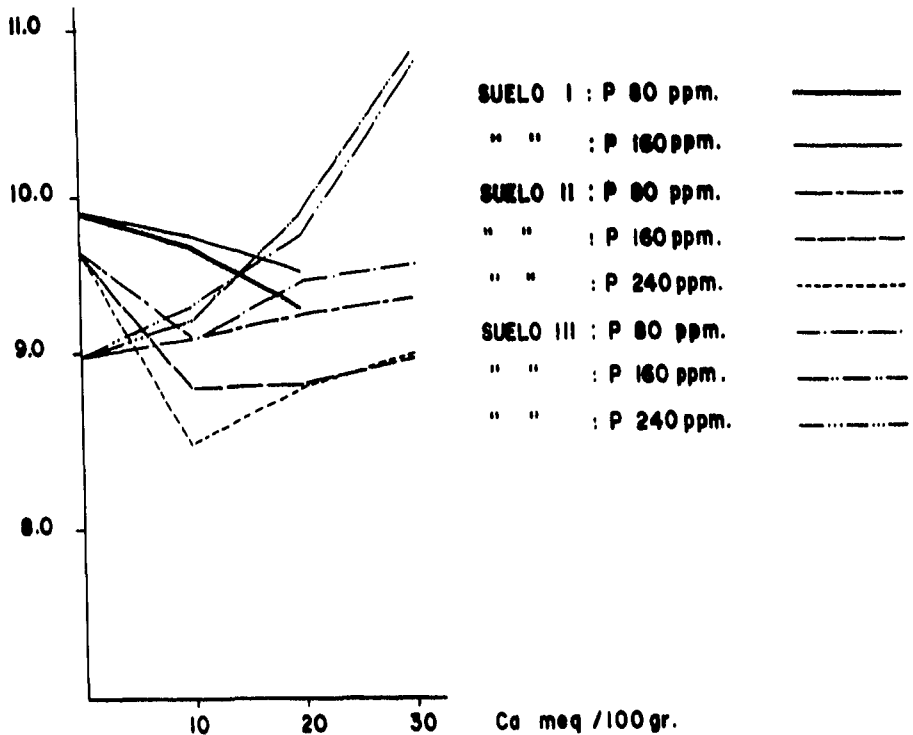


Fig. No. 46. Efecto de la enmienda calcárea y fertilizante fosfatado sobre los P-Al en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

Estas circunstancias, concuerdan con los planteamientos de Juo y Ellis (1968) según los cuáles mientras los productos de precipitación hacia fosfatos de Hierro y Aluminio en suelos ácidos, permanezcan en un estado coloidal y hasta tanto no se cristalicen, son fácilmente aprovechables por la planta.

Para el suelo Oxisólico III, el P-total se vió incrementado al ascende las dosis tanto de enmienda calcárea y fertilizante fosfatado de 770 a 910 ppm. Sin embargo siguen predominando las fracciones inorgánicas aunque se observa cierta tendencia a disminuir a mayor dosis de encalado y fertilizante fosfatado. Por el contrario el P-orgánico aumenta (Fig. No. 46). Como ya hemos visto antes, en éstos suelos la precipitación hacia las formas de P-Fe tienen más importancia, (Figs. Nos. 47, 46 y 48); en éstos suelos se observó que ésta forma no disminuye, sino que tienen tendencia a aumentar, que bien podría deberse a que son suelos con un elevado intemperismo y a pesar de que el Al y Fe libres puedan disminuir con el encalado, pueden quedar en el suelo cantidades apreciables que precipitan el fósforo agregado.

La secuencia general de precipitación de P en éste suelo con las máximas adiciones de carbonatos y fertilizante fosfatado, es:

ENCALADO vs P-Fe SOBRE LAS DOSIS DE FERTILIZANTE P.

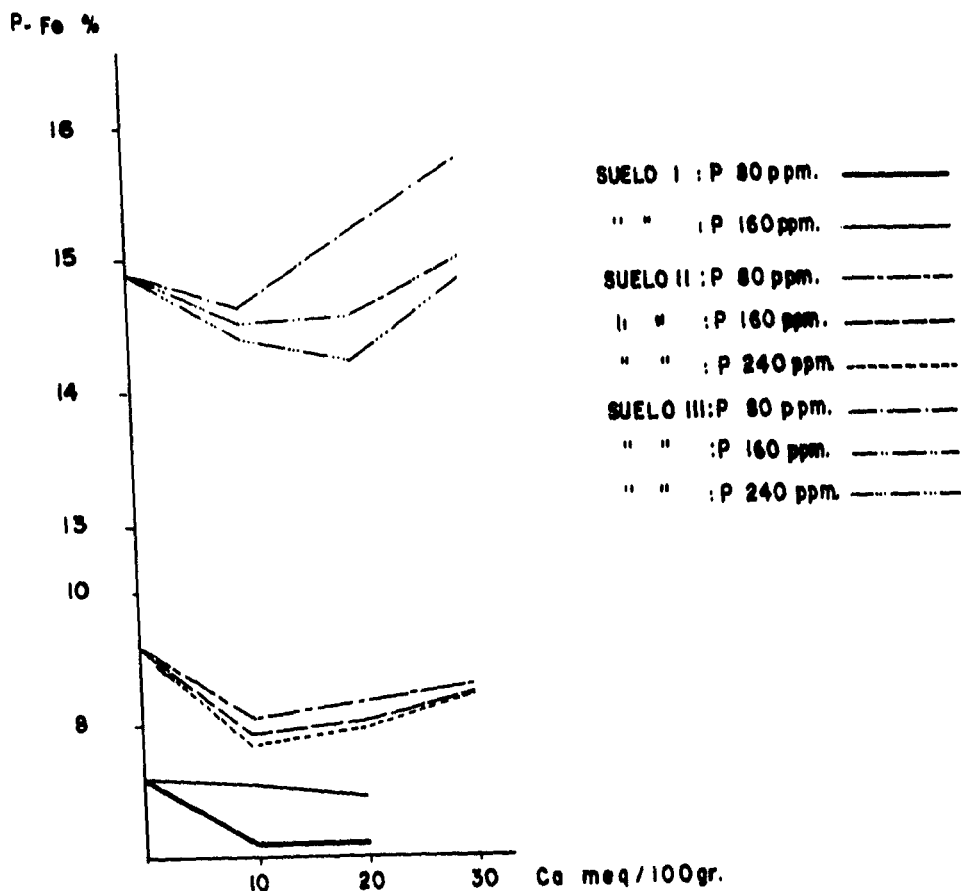


Fig. No. 47. Efecto de la enmienda calárea y fertilizante fosfatado sobre los P-Fe en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

P-inorg. (52.59 %) - P- org. (42.41 %) - P-ocluido (24.32 %) - P-Fe (14.81 %)
 P-Al (10.86 %) - P-Ca (2.59 %).

Por otro lado, de los factores que más significación tuvieron o no en la fijación destacan por su importancia pH, contenido de aluminio y presencia de P. La secuencia en la intensidad de la disminución (Figura No. 50) en la fijación de fosfatos con las enmiendas y el fosfato, es la siguiente:

Oxisólico III (disminuye 14 %) - Andosólico II (disminuye 11 %) - Andosólico I (disminuye 6 %).

La capacidad de fijación de fósforo es muy acentuada en los tres suelos. Los promedios obtenidos indican que entre el 76 y 96 % del P-añadido fue retenido por el suelo. La variabilidad observada implica la diferencia entre las características químicas de los tres suelos.

ENMIENDA CALCÁREA - P-Ca vs DOSIS DE FERTILIZANTE FOSFATADO.

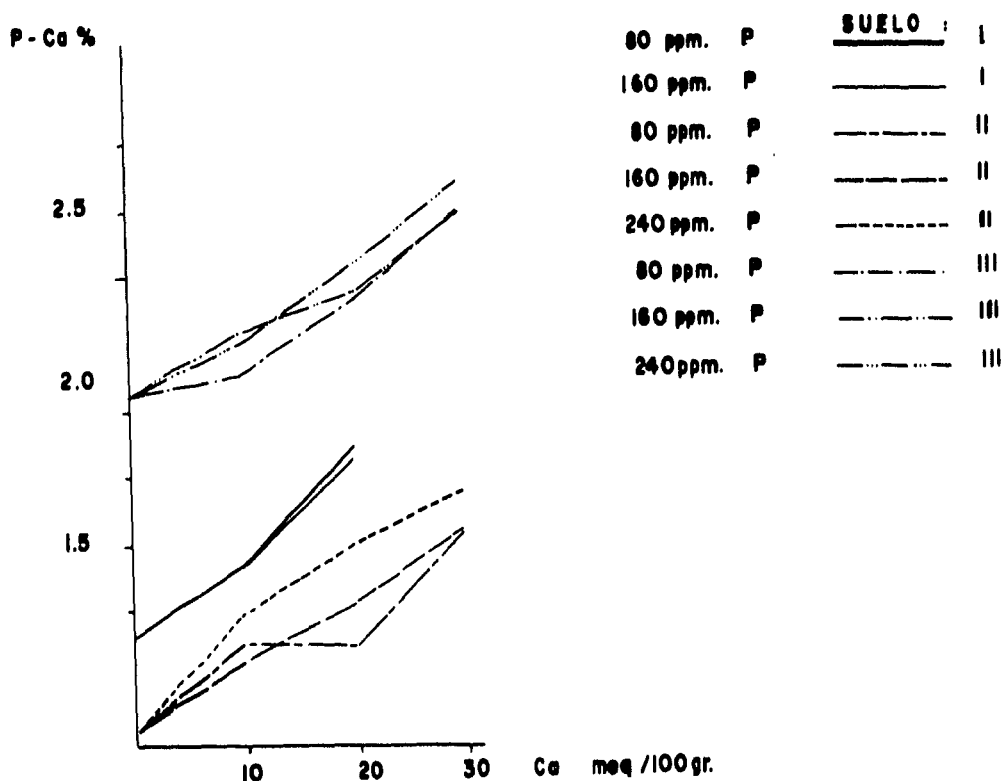


Fig. No. 48. Efecto de la enmienda calcárea y fertilizante fosfatado sobre el P-Ca en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

Como se indicó anteriormente los resultados muestran al mismo tiempo interrelaciones muy específicas con los valores encontrados de pH, materia orgánica, arcillas, hierro y aluminio cambiables con la fijación de fosfatos. La influencia de éstos factores sobre la fijación de P en los suelos estudiados es muy alto. Estos valores se explican por las características de los suelos estudiados y la naturaleza del fenómeno de la fijación. Las arcillas, alofano, materia orgánica, óxidos e hidróxidos de Fe^{3+} y Al^{3+} , Al^{3+} y Fe^{3+} libres, presentan cargas electropositivas y pueden actuar como sorbentes del $H_2PO_4^-$ y precipitan a éstos últimos en compuestos de menor solubilidad. Lo que indica que a mayor contenido de aquellos en los suelos, mayor será la fijación de fosfatos y menor será el efecto de los fertilizantes fosfatados, siendo mucho más elevada desde luego en los Andosoles, lo que significa que de no controlarse la presencia de éstos factores puede significar efectos perjudiciales para la productividad agrícola.

**ENMIENDA CALCAREA
P-OCLUIDO vs FERTILIZANTE FOSFATADO.**

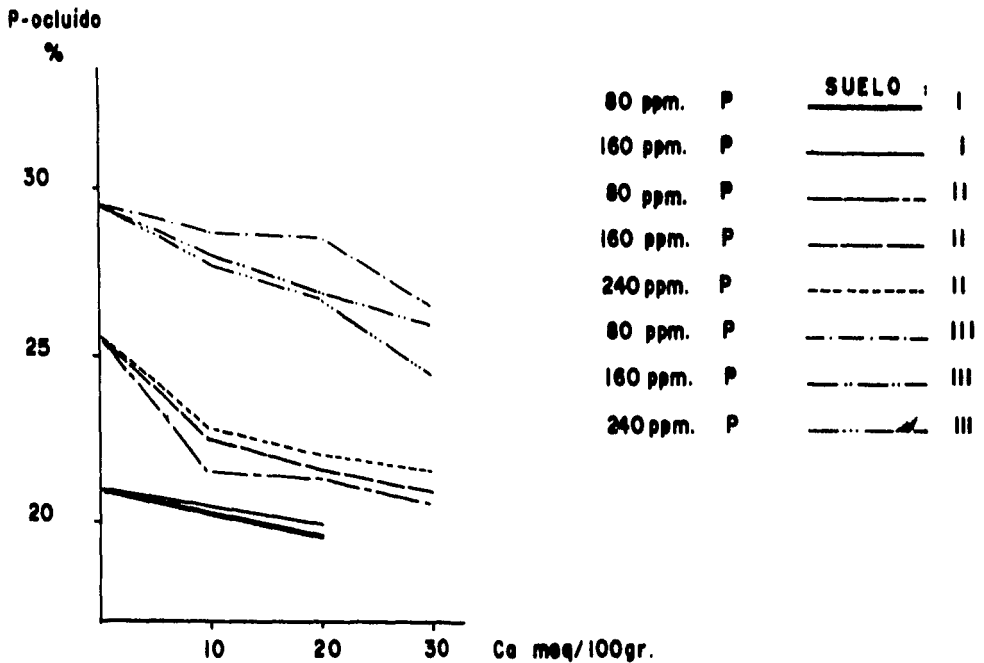


Fig. No. 49. Efecto de la enmienda calcárea y fertilizante fosfatado sobre lo P-ocluídos en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

Como era de esperarse el efecto de la adición de fósforo produjo incrementos significativos del P-aprovechable. Esta forma se incrementó ligeramente con el aumento de las dosis del encalado y desde luego se manifiesta en la producción de materia seca:

La secuencia con las mayores dosis tanto de encalado como de fertilizante fosfatado fué como sigue:

Andosólico I (13.90 ppm) > Andosólico II (17.90 ppm) > Oxisólico III (16.18 ppm).
(Fig. No. 51).

ENMIENDA CALCAREA FIJACION DE P vs FERTILIZANTE FOSFATADO.

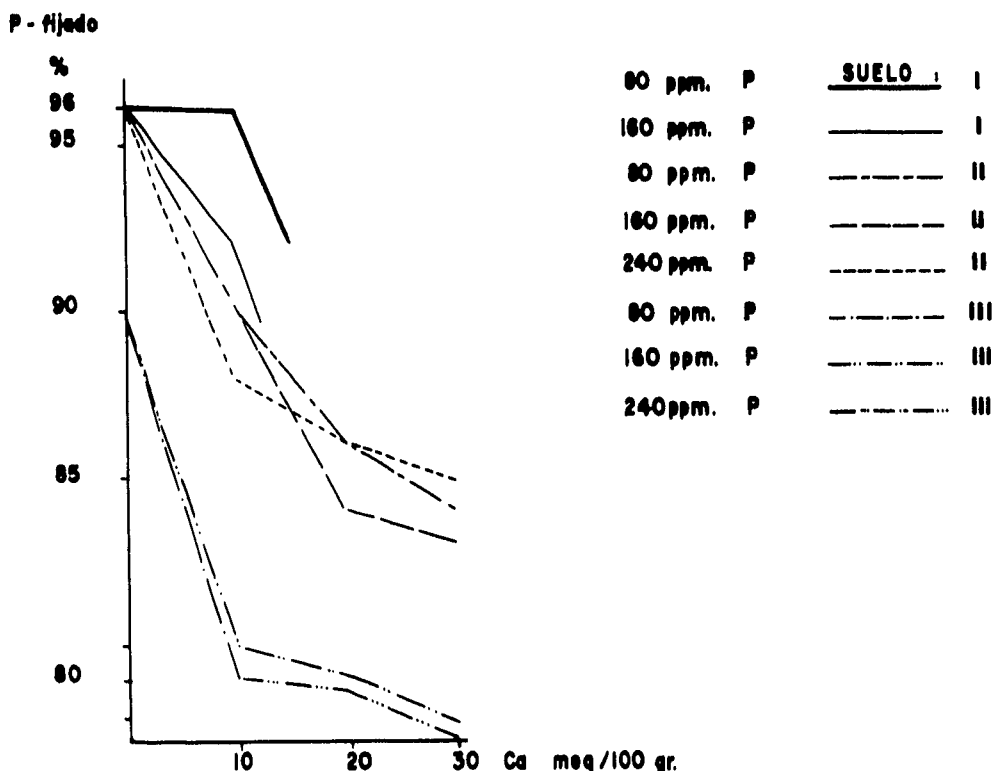


Fig. No. 50. Efecto de la enmienda calcárea y fertilizante fosfatado sobre la fijación de fósforo en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

P - APROVECHABLE vs FERTILIZANTE P Y ENMIENDA CALCAREA

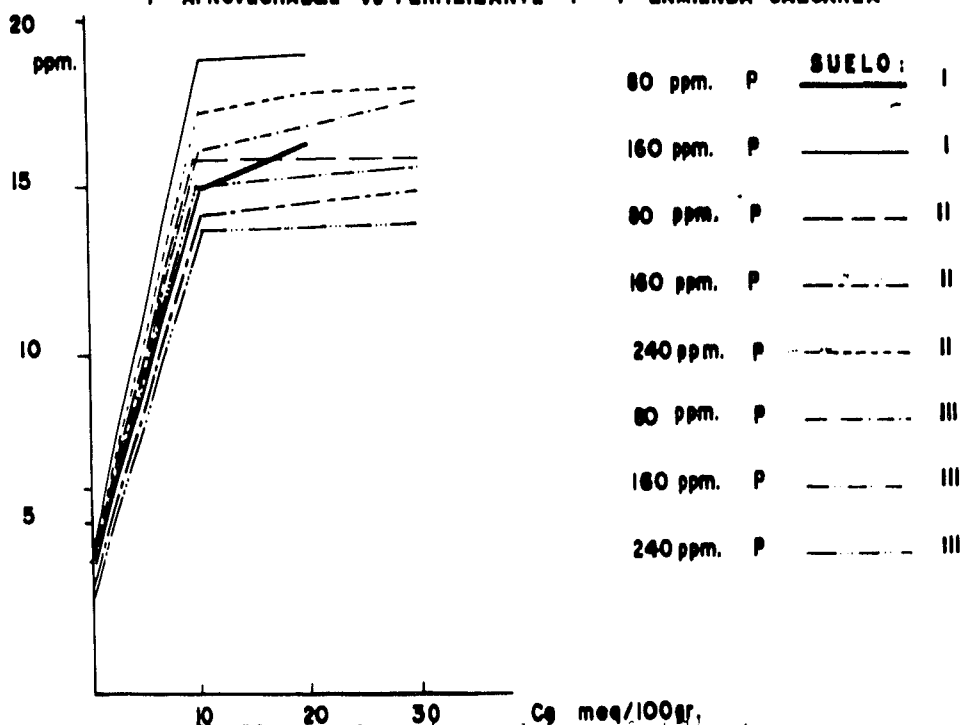


Fig. No. 51. Efecto de la enmienda calcárea y fertilizante fosfatado sobre el P-aprovechable en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

5. EFECTO DEL FERTILIZANTE FOSFATADO Y ENMIENDA SILICATADA EN LOS SUELOS ANDOSOLICO I, ANDOSOLICO II Y OXISOLICO III.

- 1) Efecto de los niveles de P_2O_5 (ppm) y Si (ppm) sobre materia seca, absorción de fósforo y calcio por la planta indicadora Lactuca sativa y pH del suelo, en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

Las aplicaciones de silicato de sodio, sólo, no condujeron en general a diferencias en el peso seco, como se vió en el cuadro No. 8.

Sin embargo, como se observa en el cuadro No. 14, la adición de mezclas de silicatos y fósforo provocaron incrementos en la producción de materia seca, conforme se aumentó las dosis de éstos; aún con las dosis más bajas tanto de fósforo como de silicatos los incrementos fueron notables sobre todo en los suelos II (Fig. No. 53) y III (Fig. No. 54) lo cuál indica que el fósforo aplicado fué más utilizable por la planta debido a la acción "preventiva" de los aniones silicatos empleados que fueron eficientes para evitar la fijación inmediata de fósforo aplicado y quizá de desorción del P nativo del suelo, pese a que los niveles de neutralización del aluminio están muy por debajo de los producidos por el encalado.

Los resultados encontrados indican que las macetas que no recibieron fertilización fosfatada alcanzaron producciones muy bajas. La respuesta a las aplicaciones de P_2O_5 y silicatos fue muy favorable. Dosis crecientes llevaron a incrementos crecientes notables de producción de materia seca y absorción de P por las plantas. En el suelo Oxisólico III que tiene el menor porcentaje de fijación, de P, se llegó a la máxima producción (Fig. No. 54). Estos resultados reflejan el comportamiento diferente de los suelos experimentales, el suelo III tiene el menor porcentaje de fijación por lo cuál ha sido más eficiente la fuente de enmienda y el fertilizante fosfatado, obteniéndose así una magnífica respuesta a la utilización del fósforo, mientras que el suelo Andosólico I (Fig. No. 52) que presenta el mayor porcentaje de fijación y retiene por tanto la mayor parte del fertilizante aplicado, el cuál no es utilizado por las plantas no teniéndose prácticamente respuesta la adición de la enmienda silicatada con una producción de materia seca extremadamente baja quizá también debido por un menor grado de neutralización del aluminio. Los suelos II y III tienen menores porcentajes de fijación, por lo cuál el fósforo y la enmienda silicatada fueron más eficientes. Es pues necesario investigar más a fondo el efecto de dosis mayores de fósforo y enmiendas silicatadas.

Estadísticamente (Cuadro 21, 22 y 23) no se observaron diferencias para el experimento I. Para el experimento II, todas las dosis de P y silicatos causaron una diferencia altamente significativa al 1%. Sin embargo en el experimento III no fueron significativos con respecto a las dosis III de P, pero sí fueron altamente significativos con respecto a los III o.

La secuencia en la producción de materia seca con mayores dosis de fosfatos y silicatos es la siguiente :

CUADRO No.14 EFECTO DE LA ENMIENDA SILICATADA Y FERTILIZACION FOSFATADA SOBRE LA PRODUCCION DE MATERIA SECA Y ABSORCION DE P Y Ca^{2+} POR LA PLANTA INDICADORA Lactuca sativa EN TRES SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS

SUELO	Dosis enmienda silicatada ppm Si	Dosis fertilizante fosfatado ppm P_2O_5	pH KCl 1:2.5	Producción materia seca (gr/maceta).	Absorción	
					P (%)	Ca^{2+} (%)
Andosólico I	0	0	4.40	0.01 N.S.	0.01	0.10
	200	80	4.45	0.10 "	0.01	0.10
	300	80	4.50	0.03 "	0.01	0.10
	0	0	4.40	0.01 "	0.01	0.10
	200	160	4.45	0.10 "	0.01	0.10
Andosólico II	0	0	4.40	0.10 N.S.	0.03	0.28
	200	80	4.45	2.85 "	0.09	0.42
	300	80	4.50	4.50 **	0.10	0.47
	400	80	4.53	4.65 **	0.11	0.53
	0	0	4.40	0.10 N.S.	0.03	0.28
	200	160	4.45	4.95 **	0.12	0.44
	300	160	4.48	5.23 **	0.11	0.46
	400	160	4.48	4.65 **	0.11	0.51
	0	0	4.40	0.10 N.S.	0.03	0.28
	200	240	4.48	7.15 **	0.14	0.56
	300	240	4.40	6.73 **	0.13	0.58
	400	240	4.50	10.00 **	0.18	0.65
Oxisólico III	0	0	4.40	0.10 N.S.	0.015	0.14
	200	80	4.50	5.30 **	0.10	0.38
	300	80	4.55	8.43 **	0.12	0.42
	400	80	4.65	8.60 **	0.11	0.42
	0	0	4.40	0.10 N.S.	0.015	0.14
	200	160	4.46	10.95 **	0.14	0.46
	300	160	4.52	11.23 **	0.15	0.49
	400	160	4.56	12.73 **	0.19	0.50
	0	0	4.40	0.10 N.S.	0.15	0.14
	200	240	4.56	10.13 **	0.14	0.47
	300	240	4.52	11.00 **	0.15	0.47
	400	240	4.55	10.10 **	0.15	0.45

N.S. no significativo

** Diferencias altamente significativas al 1 %.

PRODUCCION DE MATERIA SECA Y ABSORCION DE P vs ENMIENDA SILICATADA.

SUELO I

Materia seca
gr./maceta

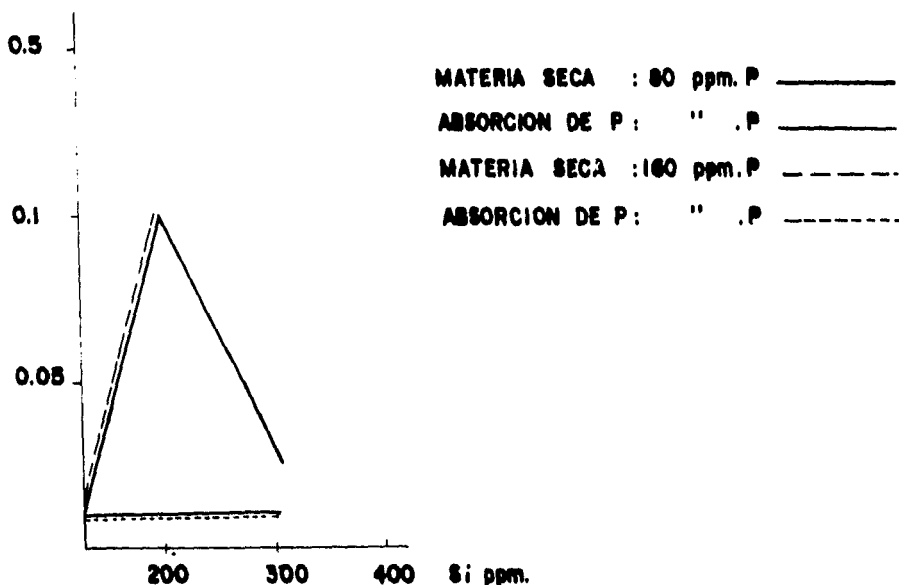


Fig. No. 52. Efecto de la enmienda silicatada y fertilizante fosfatado sobre la producción de materia seca y absorción de P por la planta indicadora Lactuca sativa en el suelo Andosólico I.

Oxisólico III (12.73 g mat. seca/mac.) > Andosólico II (10.00 g mat. seca/mac)
Andosólico I (0.01 g mat. seca/mac.).

La secuencia para la fijación de fosfatos es la siguiente:

Oxisólico III (69 %) < Andosólico II (78 %) < Andosólico I (93 %).

Quizá se debió de haber encontrado aún mayor producción de materia seca conforme se aumentaba la cantidad de silicatos, así lo corroboran otros autores por la acción que ya se ha mencionado de los aniones silicatos, eficientes en la competencia por los sitios de fijación del fósforo.

En el presente estudio tanto el silicato como del carbonato son necesarios con más tiempo de interacción en los suelos para observar mejor su acción. Así mismo, se debe considerar el catión complementario constituyente del silicato empleado. El uso del silicato de sodio implica la aplicación de Na^+ , un catión de poca importancia en la nutrición de las plantas; en cambio el uso de fertilizantes comerciales silicofosfatados implica la aplicación de Ca^{++} , un catión mu-

PRODUCCION DE MATERIA SECA Y ABSORCION DE P vs ENMIENDA SILICATADA.

SUELO II

Materia seca
gr. /maceta

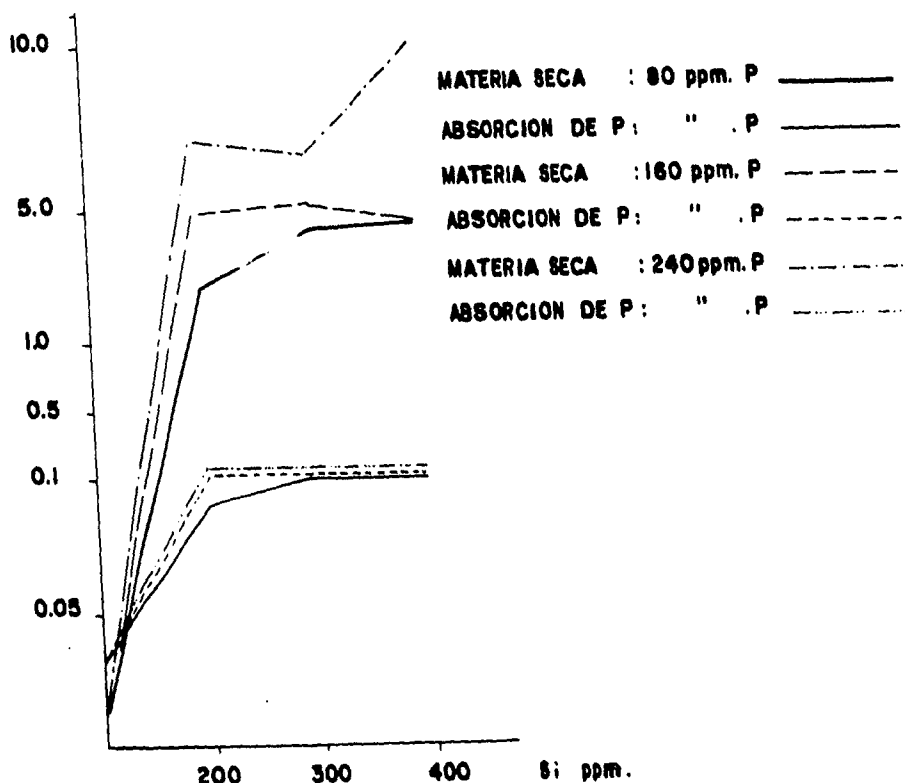


Fig. No. 13. Efecto de la enmienda silicatada y fertilizante fosfatado sobre la materia seca y absorción de P por la planta indicadora Lactuca sativa en el suelo Andosólico II.

chas veces deficiente en suelos tropicales, favoreciendo aún más la producción vegetal. Los resultados presentados y discutidos indican la importancia práctica en éste campo, de las relaciones silicato fosfato en el suelo y su impacto en la nutrición vegetal.

Aunque varios autores como Fassbender y Müller (1967), mencionan un efecto múltiple en las variaciones del pH del suelo y la subsiguiente considerable disminución del aluminio cambiante, es posible que haya faltado un período mayor de interacción de la enmienda para lograr una mayor solubilización de los silicatos aplicados. Sin embargo a pesar de la aplicación máxima de 400 ppm de Si, el pH sólo aumentó ligeramente en 0.1, 0.13 y 0.2^o unidades de pH respectivamente para los tres suelos.

En éste estudio también se encontró que la neutralización del Aluminio no necesariamente provocó una mayor utilización del fósforo nativo y agregado a

PRODUCCION DE MATERIA SECA Y ABSORCION DE P vs ENMIENDA SILICATADA.

SUELO III

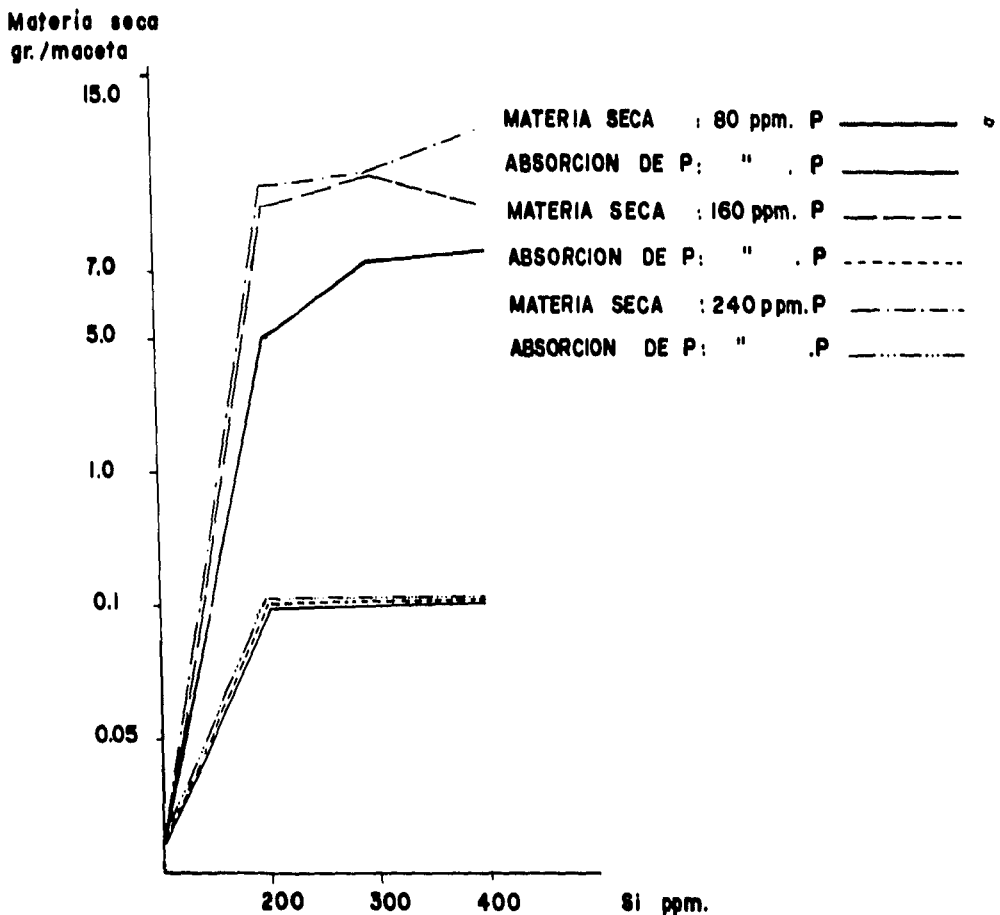


Fig. No. 54. Efecto de la enmienda silicatada y fertilizante fosfatado sobre la producción de materia seca y absorción de P por la planta indicadora Induca patula en el suelo Oxidólico III.

los suelos, sino más bien el aumento de P debido a mayores concentraciones de P y silicatos en el suelo, por la competencia específica de éstos aniones en sitios de fijación.

En general la eficiencia en la absorción de P fue más evidente en éste experimento, ya que, como puede observarse de los valores representados en el cuadro No. 14, los límites de absorción para el Andosólico II (Fig. No. 52) y Oxidólico III (Fig. No. 54) variaron entre 0.10 a 0.1 %, mientras que en el caso de la enmienda calcárea y fertilizante fosfatado los límites fueron más amplios de 0.04 a 0.1 %.

La secuencia para la absorción de P del fertilizante fosfatado y la eficacia de la enmienda, es la siguiente:

ENMIENDA SILICATADA vs pH Y FERTILIZANTE P.

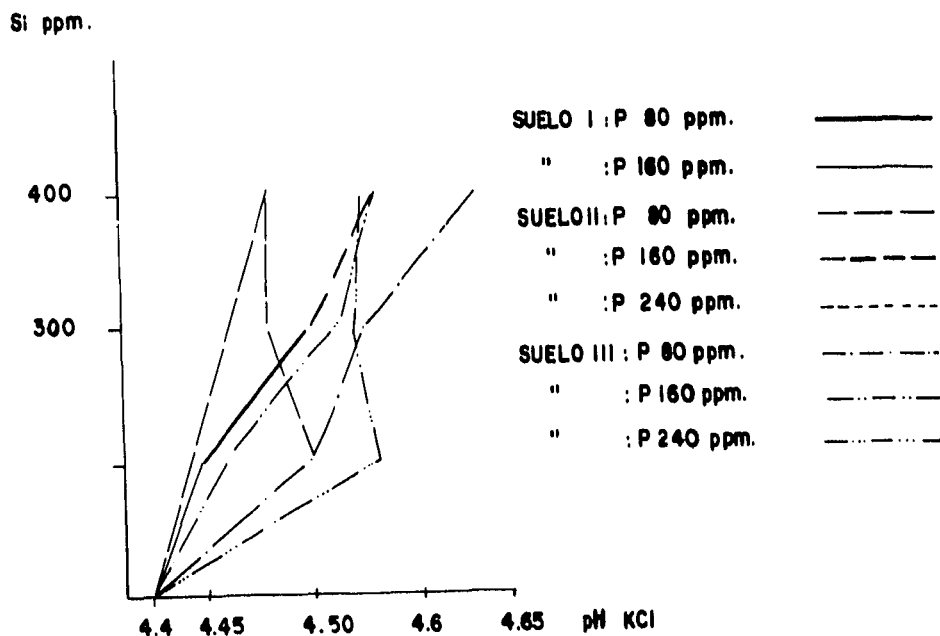


Fig. No. 11. Efecto de la enmienda silicatada y fertilizante fosforado sobre las variaciones del pH en tres suelos derivados de ceniza volcánicas.

Oxisólico III (0.19 %) > Andosólico II (0.18 %) > Andosólico I (0.01 %).

Así mismo, se observa en la Fig. No. 12 y 14 el efecto del pH en la materia y absorción de P. Con todo ello se puede deducir que los silicatos son más eficientes en la absorción de fósforo. En éste experimento la velocidad de síntesis de materia seca fué mayor, reflejándose en los altos volúmenes de materia seca, ya que las plantas incorporaron más fósforo.

Al no haber una considerable variación en el pH, los grados de neutralización del aluminio sólo fueron ligeros, por lo cuál no hubo una concentración alta de calcio se obtuvo en los suelos II con la mayor dosis de enmienda silicatada y fertilizante fosfatado, debido posiblemente a que en éstos suelos hay más Ca^{++} disponible que el Oxisólico III. La secuencia de absorción de Ca^{++} con respecto a mayores rendimientos fué:

Andosólico II (0.65 %) > Oxisólico III (0.19 %) > Andosólico I (0.10 %)

En el suelo Andosólico I, al no haber respuesta en el crecimiento por deficiencias en el P, no hay prácticamente respuesta a la absorción de Ca^{++} .

**ENMIENDA SILICATADA
MATERIA ORGÁNICA % Vs FERTILIZANTE FOSFATADO.**

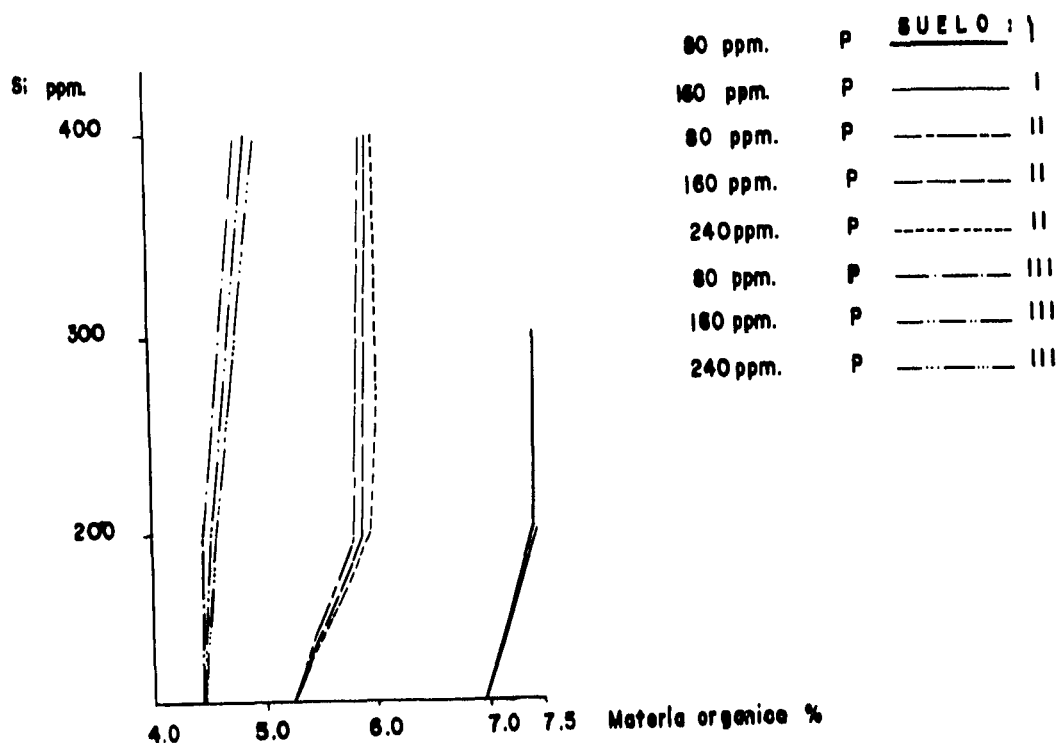


Fig. No. 16. Efecto de la enmienda silicatada y fertilizante fosfatado, sobre la Materia Orgánica en tres suelos derivados de lava volcánica.

De acuerdo con Beckwith y Reeve (1964), con respecto a las mejores respuestas obtenidas, cualquier con la adición de los silicatos en la absorción de fertilizantes fosfatados, tiene un efecto importante en la nutrición vegetal por el intercambio entre los iones silicato y fosfato, resultando de todo ello, aumentos en la producción.

Para la comprensión de los efectos de los silicatos, según Beckwith y Reeve (1964), la disolución de los silicatos nativos del suelo y la adsorción del ácido silfónico al suelo dependen de las condiciones de acidez. Así, al aumentar las condiciones de acidez del suelo aumenta la adsorción del ácido silfónico, sobre todo hacia los hidróxidos de aluminio y hierro, sucediendo que con un pH menor que 4 se disuelven grandes cantidades de sílice nativa del suelo. Cuando hay una acidez manifiesta se supone se establece un equilibrio silicatos-fosfatos en el complejo de cambio del suelo, por lo que al aplicarse cantidades de silicatos solubles se produce un intercambio con los fosfatos en éste complejo coloidal y éstos pasan a ser disponibles para la planta. En los suelos ácidos utilizados en el presente experimento se logra un efecto de aumento de la producción de materia seca sobre todo en el Andosólico II y Oxisólico III. En las condiciones de menor acidez la disolución de silicatos nativos disminuye, así como tam-

ENMIENDA SILICATADA - CICT vs FERTILIZANTE FOSFATADO.

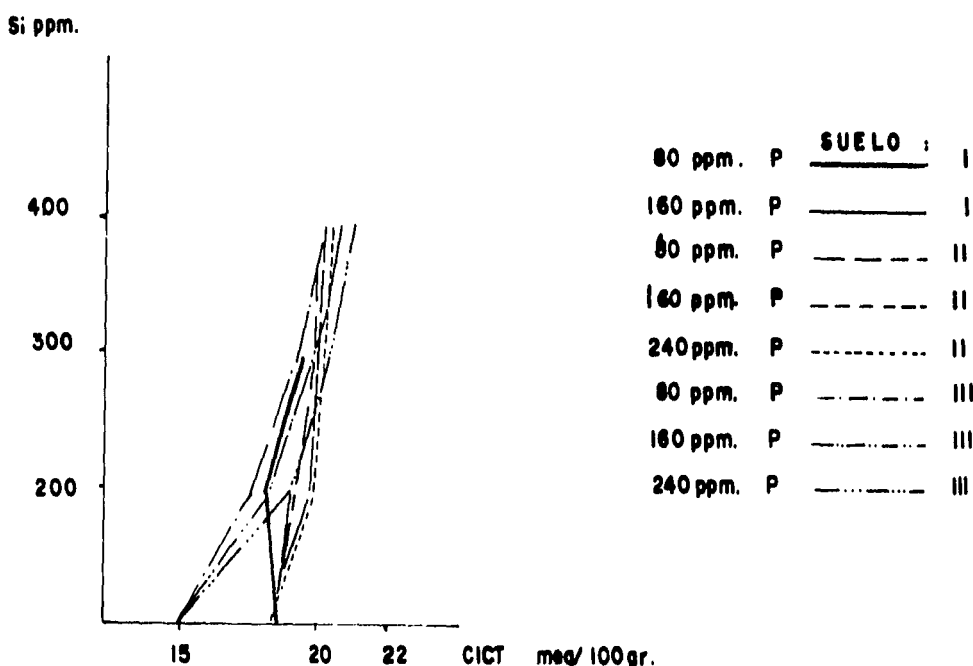


Fig. No. 11. Efecto de la enmienda silicatada y fertilizante fosfatado sobre la capacidad de intercambio catiónico en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

bién, la tendencia a la adsorción de silicatos aplicados al suelo como enmienda. Como resultado al aplicarse dosis pequeñas de silicatos no hay efecto sobre la desorción de P adsorbido.

Así mismo, bajo el concepto anterior se explica que en los suelos del experimento II se presentaron aumentos en la cosecha con las dosis más altas tanto de SiO_2 como de P. Al aumentarse la dosis de aplicación de silicatos en los experimentos I y II se podría haber esperado un efecto mayor pues la mayor cantidad de ácido silícico en la solución del suelo equilibrada habría podido desorber el P del complejo de adsorción, sin embargo, esto no ocurrió, pues es posible que las dosis requeridas para desorber una mayor cantidad de fósforo sean más elevadas.

c) Efectos del fertilizante fosfatado (P_2O_5 ppm) y enmiendas silicatadas (Si ppm) sobre el pH, M.P., CICT, bases cambiantes y Aluminio extraíbles de tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

Los datos pueden observarse e interpretar en el cuadro No. 12. La aplicación de la enmienda silicatada no produjo cambios aparentes en las condiciones de reacción del suelo, el pH sólo varió ligeramente (Fig. No. 12), por lo cuál su efecto sobre las demás propiedades químicas también sólo varió ligeramente, tanto en la

CUADRO No. 15 EFECTO DE LA ENMIENDA SILICATADA Y FERTILIZANTE FOSFATADO SOBRE EL pH, M.O., C.I.C.T., BASES AMBIALES Y ALUMINIO EXTRAIBLE EN TRES SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS.

CAMBIALES Y ALUMINIO EXTRAIBLE EN TIRES SECAS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS.											
SUELO	Dosis enmienda	Dosis fertilizante	pH	M.O.	C.I.C.T.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺	
	calcareo	fosfatado	KCl								
	meq Ca/100 g	ppm P ₂ O ₅	1:2.5	%		miliequivalentes/100 g					
Andosólico I	0	0	4,40	6,98	18,4	7,0	2,1	0,85	0,50	1,86	
	200	80	4,45	7,43	18,7	7,8	2,8	0,88	1,37	1,35	
	300	80	4,50	7,44	19,2	8,02	2,9	0,91	1,42	1,28	
	0	0	4,40	6,98	18,4	7,0	2,1	0,85	0,50	1,86	
	200	160	4,45	7,45	18,8	8,0	2,9	0,94	1,32	1,38	
Andosólico II	0	0	4,40	5,21	18,2	5,0	1,4	0,30	0,15	3,55	
	200	80	4,45	5,82	19,0	5,6	2,2	0,32	1,39	3,05	
	300	80	4,50	5,84	19,4	5,8	2,5	0,30	1,42	2,90	
	400	80	4,53	5,92	19,6	5,9	2,3	0,28	1,70	2,71	
	0	0	4,40	5,21	18,2	5,0	1,4	0,30	0,15	3,55	
	200	160	4,45	5,89	19,3	5,8	2,4	0,30	1,55	2,91	
	300	160	4,48	5,93	19,6	6,0	2,3	0,28	1,63	2,61	
	400	160	4,48	5,97	20,0	6,01	2,1	0,28	1,76	2,41	
	0	0	4,40	5,21	18,2	5,0	1,4	0,30	0,15	3,55	
	200	240	4,48	5,96	19,7	6,01	2,3	0,28	1,58	2,89	
	300	240	4,48	6,01	20,0	6,08	2,2	0,25	1,78	2,41	
	400	240	4,50	6,01	20,2	6,14	2,1	0,24	1,82	2,01	
	Oxisólico III	0	0	4,40	4,34	14,8	3,5	2,0	0,25	0,17	6,50
		200	80	4,50	4,40	15,5	4,1	2,1	0,31	0,98	5,80
300		80	4,55	4,62	16,0	4,8	2,0	0,28	1,30	5,40	
400		80	4,65	4,80	16,8	4,9	2,0	0,28	1,30	5,20	
0		0	4,40	4,34	14,8	3,5	2,0	0,25	0,17	6,50	
200		160	4,46	4,47	15,8	4,5	2,3	0,30	1,28	5,40	
300		160	4,52	4,61	16,6	4,8	2,1	0,28	1,38	5,02	
400		160	4,56	4,86	17,2	5,1	2,1	0,27	1,48	5,01	
0		0	4,40	4,34	14,8	3,5	2,0	0,25	0,17	6,50	
200		240	4,56	4,55	16,6	4,7	2,1	0,29	1,48	5,40	
300		240	4,52	4,72	17,1	4,8	2,0	0,26	1,56	5,20	
400		240	4,55	4,95	17,7	5,1	2,0	0,25	1,80	5,00	

ENMIENDA SILICATADA-Ca vs FERTILIZANTE FOSFATADO.

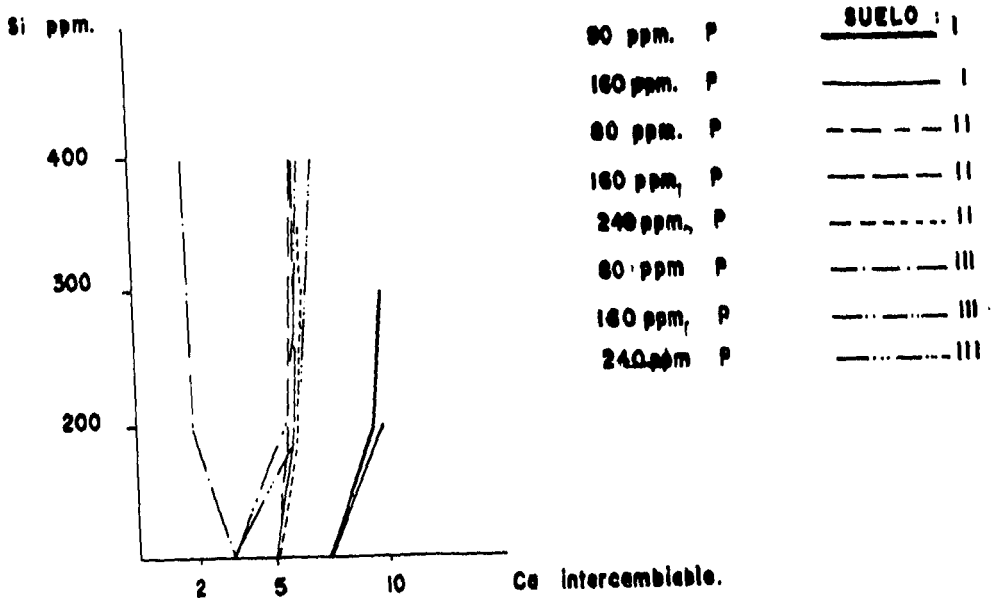


Fig. No. 58. Efecto de la enmienda silicatada y fertilizante fosfatado sobre el Ca intercambiable en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

mineralización de la materia orgánica (Fig. No. 56), capacidad de intercambio catiónico (Fig. No. 57) y bases cambiables.

El contenido de Ca^{++} aumenta ligeramente por la pequeña variación de la acidez (Fig. No. 58), mientras que el Mg^{2+} y K^+ , descienden en su concentración en el suelo, debido posiblemente a una mayor utilización de éstos en virtud del mayor desarrollo vegetal ocurrido cuando se aumentaba la cantidad de silicatos y fósforo aplicados. El Na^+ , incrementa considerablemente su concentración conforme se aumentaba la dosis de silicatos, pues es el catión complementario constituyente del silicato.

El aluminio varió aunque ligeramente (Fig. No. 59), descendiendo con las dosis de silicatos. Estas tendencias se han comprobado por otros autores en suelos derivados de cenizas volcánicas.

ENMIENDA SILICATADA - Al^{3+} vs FERTILIZANTE FOSFATADO.

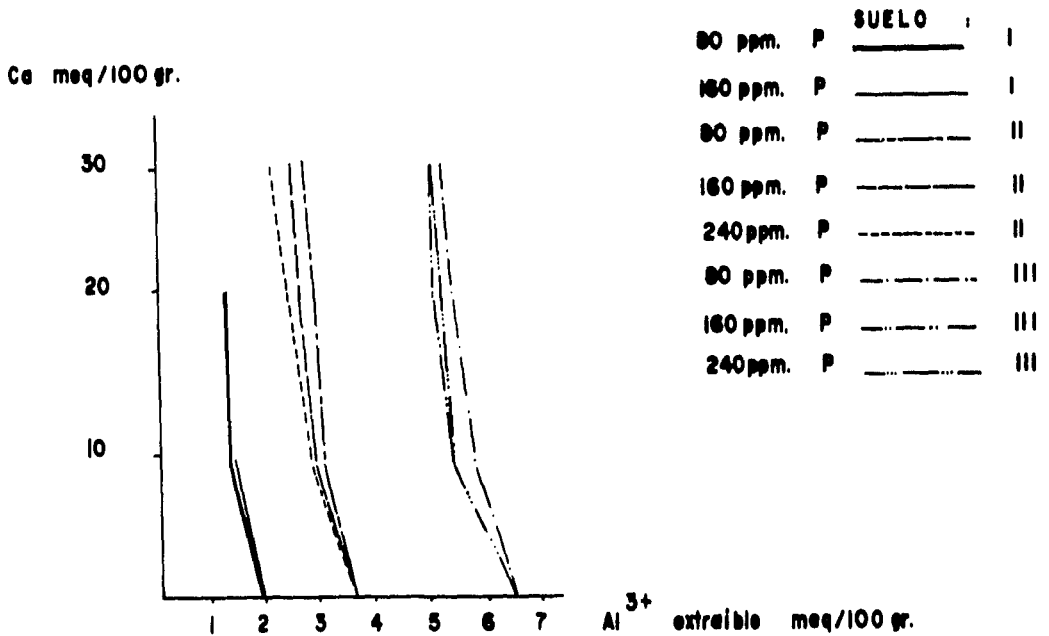


Fig. No. 59. Efecto de la enmienda silicatada y fertilizante fosfatado sobre el Al^{3+} intercambiable en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

- 3) Efectos de los niveles de P_{25} (ppm) y Si (ppm) sobre las formas de P; P-total, P-orgánico, P-Inorgánico, P-Al, P-Fe, P-Ca, P-ocluido, P-fijado, P-aprovechable, en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

Se deduce que las cantidades de silicatos y fósforo usados provocaron incrementos en el P-total (Fig. No. 60), variando de acuerdo a la naturaleza propia de los suelos como se ha venido describiendo, sin embargo éstos incrementos no fueron tan acentuados como los presentados con las adiciones de enmiendas calcáreas y fertilizante fosfatado. Cuadro No. 16.

La secuencia es la siguiente:

Andosólico I (1400 ppm P) > Andosólico II (1318 ppm P) > Oxisólico III (810 ppm P)

Se observa que el aumento en éste P-total, está influenciado por las cantidades de P adicionado y a la materia orgánica mineralizada por los ligeros cambios en el pH. Estas variaciones aumentaron la cantidad de P-orgánico, así mismo, cabe suponer que los incrementos en la materia seca hayan adicionado mayores cantidades de residuos orgánicos que aumenten ésta fracción:

La secuencia para el P-orgánico en los tres suelos es:

CUADRO No. 16 EFECTO DE LA ENMIENDA SILICATADA Y FERTILIZANTE FOSFATADO SOBRE LAS FORMAS (ppm P) Y RETENCION DE FOSFATOS EN TRES SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS.

SUELO	Dosis		Dosis		pH	P-total			P-Inorg		P-Al		P-Fe		P-Ca		P-act.		P-fij.		P-aprov.		
	enmienda	fertilizante	KCl	1:2.5		P-total	P-Org.		P-Inorg		P-Al		P-Fe		P-Ca		P-act.		P-fij.		P-aprov.		
	silicatada	fosfatado		ppm		ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	%	%	ppm	%		
AMODOLICO I	0	0	4.40	1380	834	60.43	546	39.56	137	9.93	105	7.60	15	1.17	289	20.94	96	3.81					
	200	80	4.45	1390	836	60.14	554	39.85	134	9.64	100	7.19	20	1.44	300	21.58	92	15.20					
	300	80	4.50	1400	839	59.92	561	40.07	132	9.42	100	7.14	20	1.43	309	22.05	93	16.90					
	0	0	4.40	1380	834	60.43	546	39.56	137	9.93	105	7.60	15	1.08	289	20.94	96	3.81					
	200	160	4.50	1400	844	60.28	556	39.71	135	9.64	100	7.14	20	1.43	301	21.50	93	18.30					
AMODOLICO II	0	0	4.40	1160	640	55.17	520	44.82	112	9.65	100	8.62	10	0.86	298	25.68	96	2.97					
	200	80	4.45	1260	705	58.89	520	41.10	110	8.69	105	8.30	15	1.18	290	22.92	92	16.20					
	300	80	4.50	1270	705	59.21	520	40.78	110	8.63	105	8.23	15	1.17	290	22.74	84	16.80					
	400		4.53	1285	707	60.46	508	39.53	105	8.17	100	7.78	15	1.16	288	22.41	80	17.80					
	0	0	4.40	1160	640	55.17	520	44.82	112	9.65	100	8.62	10	0.86	298	25.68	96	2.97					
	200	160	4.45	1260	709	60.62	506	36.38	110	7.94	103	7.43	10	0.72	283	22.00	85	17.00					
AMODOLICO III	0	0	4.40	1160	640	55.17	520	44.82	112	9.65	100	8.62	10	0.86	298	25.68	96	2.97					
	200	160	4.48	1290	707	61.39	498	38.60	105	8.14	100	7.75	15	1.16	278	21.55	82	18.00					
	300	160	4.48	1280	706	61.62	497	37.38	100	7.72	98	7.56	15	1.15	284	21.93	79	19.25					
	0	0	4.40	1160	640	55.17	520	44.82	112	9.65	100	8.62	10	0.86	298	25.68	96	2.97					
	200	240	4.48	1200	798	61.40	502	38.57	110	8.46	100	7.69	10	0.78	281	21.64	83	18.18					
	300	240	4.48	1310	813	62.06	497	37.94	105	8.01	98	7.48	15	1.14	279	21.29	79	19.80					
AMODOLICO IV	0	0	4.40	1318	830	62.97	488	37.02	102	7.59	95	7.21	15	1.13	278	21.09	78	21.84					
	0	0	4.40	770	346	44.35	435	55.64	70	9.09	115	14.93	15	1.95	238	29.49	90	2.78					
	200	80	4.50	794	357	44.96	437	55.04	70	8.81	115	14.48	16	2.01	236	29.72	80	17.20					
	300	80	4.55	800	361	45.12	439	54.87	72	9.00	120	15.00	18	2.25	229	28.62	74	17.80					
	400	80	4.65	804	365	45.40	439	54.60	75	9.33	130	16.17	20	2.48	214	26.61	72	18.40					
AMODOLICO V	0	0	4.40	770	346	44.35	435	55.64	70	9.09	115	14.93	15	1.95	238	29.49	90	2.78					
	200	160	4.46	798	359	44.49	439	55.01	70	8.77	120	15.03	15	2.00	237	29.19	75	18.40					
	300	160	4.52	802	363	45.26	439	54.74	74	9.22	125	15.58	18	2.24	222	27.68	71	18.80					
	400	160	4.56	810	370	45.67	440	54.32	78	9.62	130	16.04	20	2.47	212	26.17	69	19.80					
	0	0	4.40	770	346	44.35	435	55.64	70	9.09	115	14.93	15	1.95	238	29.49	90	2.78					
	200	240	4.56	800	360	45.00	440	55.00	74	9.25	110	13.75	16	2.00	236	29.50	74	19.40					
AMODOLICO VI	300	240	4.52	810	370	45.67	440	54.32	76	9.38	115	14.19	18	2.22	235	29.00	70	20.60					
	400	240	4.55	810	370	45.67	440	54.32	80	9.87	120	14.81	20	2.47	220	27.10	68	21.80					

P TOTAL vs ENMIENDA SILICATADA

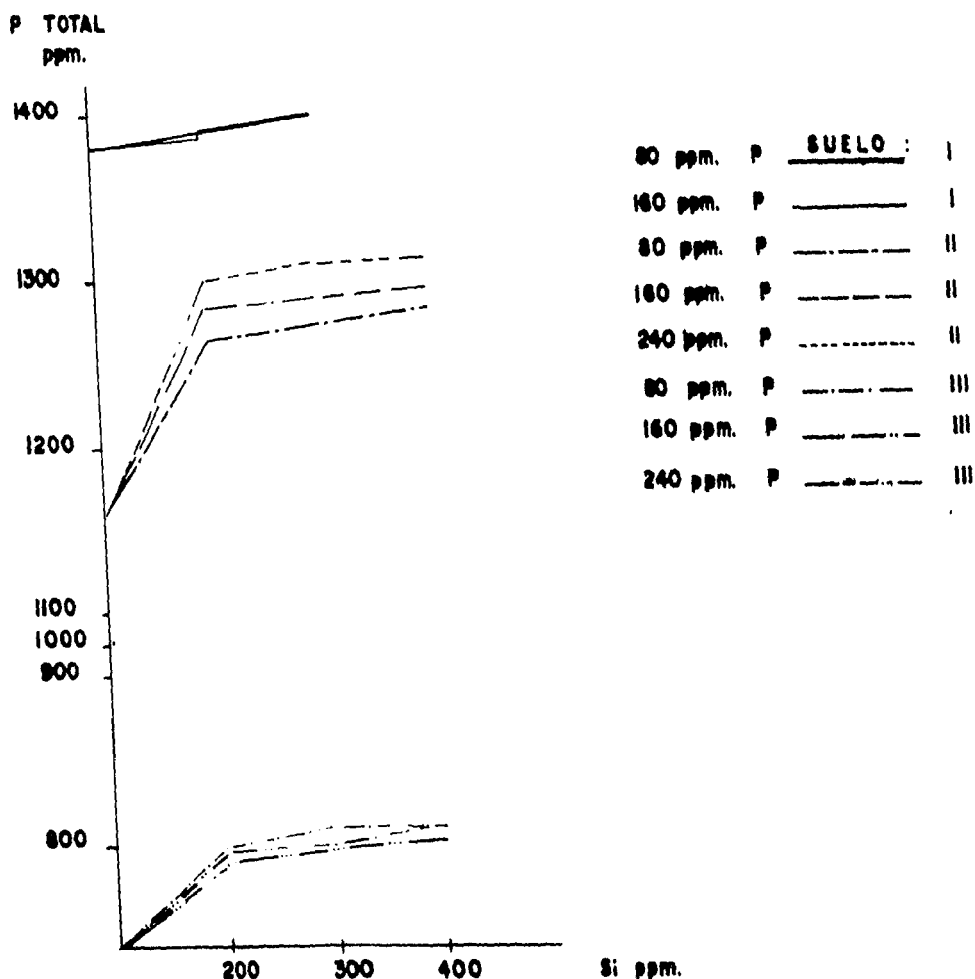


Fig. No. 60. Efecto de la enmienda silicatada y fertilizante fosforado sobre el P-total, en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

Andosólico II (62.97 %) > Andosólico I (60.28 %) > Oxisólico III (45.67 %).

En éste caso los mayores aumentos se obtuvieron en el Andosólico II (Fig. No. 62), pues el Andosólico I (Fig. No. 61) pudo haber incrementado la materia orgánica a través del mayor crecimiento, sin embargo en el suelo II, había una cantidad inicial alta de materia orgánica en el suelo la cuál fue aumentada por la adición de restos orgánicos debidos a un mayor desarrollo vegetal.

La fracción inorgánica tiene una tendencia notable a disminuir en los suelos Andosólicos II (Fig. No. 62) y III (Fig. No. 63), esta disminución vá paralela a la disminución en los fosfatos ocultos (Fig. No. 67), presentando las máximas fracciones de éstos en el suelo Oxisólico.

ENMIENDA SILICATADA - P ORG. E INORG. vs FERTILIZANTE P.

SUELO I

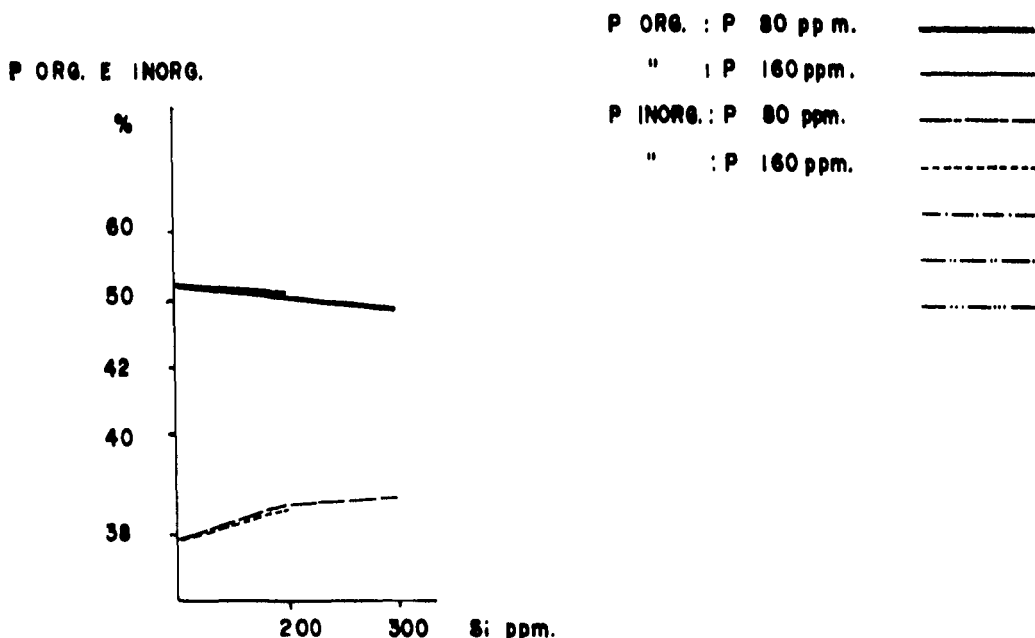


Fig. No. 61. Efecto de la enmienda silicatada y fertilizante fosfatado sobre las formas de P-orgánico e inorgánico en el suelo Andosólico I.

La intensidad con que los fosfatos inorgánicos disminuyen se presentó en el suelo Andosólico II (Fig. No. 62) ya que la variación es de 7.8 % menos, mientras que en el Oxisólico III (Fig. No. 63) la variación fue de 1.32. Por el contrario en el suelo Andosólico I (Fig. No. 61) hubo un ligero aumento de los fosfatos inorgánicos de 0.57 %, quizá debido a que no habiendo un aumento considerable de los fosfatos orgánicos, no disminuya ésta fracción inorgánica.

Por otro lado los fosfatos ocluidos disminuyen 4.54 y 2.39 % para los suelos Andosólico II y Oxisólico III respectivamente (Fig. No. 67), mientras que el Andosólico I aumentó 0.96 %. Esta tendencia refleja lo que se menciona en el párrafo anterior.

Para los suelos respectivos se ha encontrado que en los procesos de fijación de fosfatos, la precipitación hacia fosfatos de aluminio y hierro predominan notablemente y que sólo una pequeña fracción del P retenido se encuentra adsorbido al complejo de cambio del suelo. Las pocas variaciones en la acidez del suelo encontrados de sólo 0.25 unidades de pH no permiten suponer que se hayan conducido a una aceleración notable de la mineralización de los fosfatos orgánicos o a una reducción notable de la actividad del hierro y aluminio libres del suelo para controlar la fijación de fosfatos y aumentar su disponibilidad.

ENMIENDA SILICATADA - P ORG. E INORG. vs. FERTILIZANTE P.

SUELO II

P ORG. E INORG.

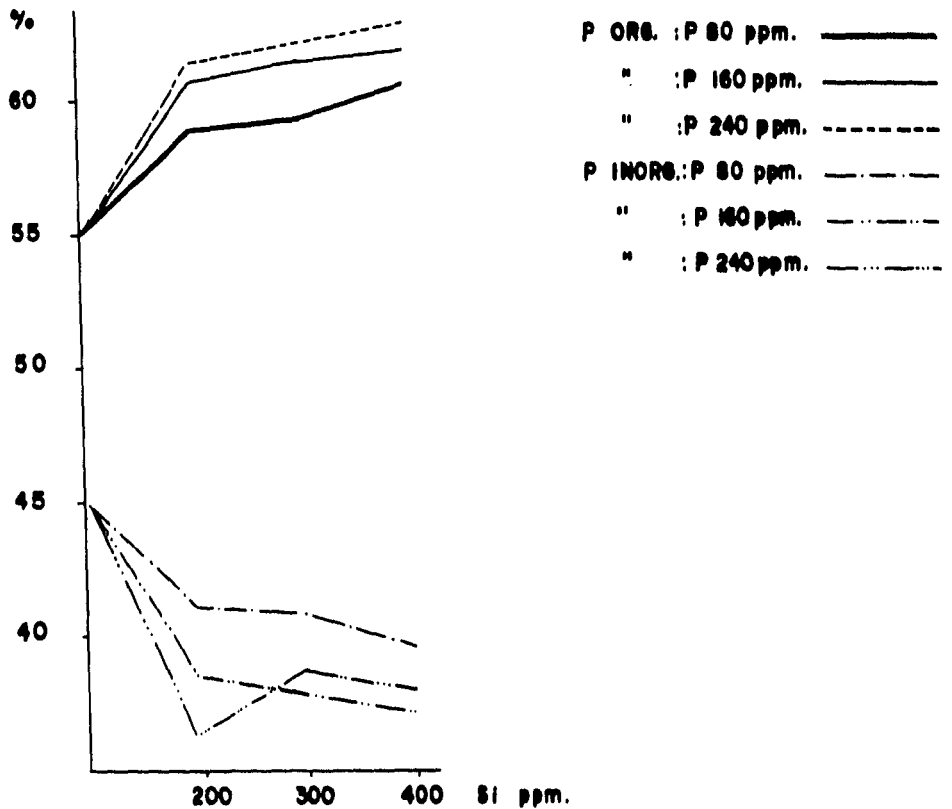


Fig. No. 62. Efecto de la enmienda silicatada y fertilizante fosfatado sobre las formas de P-orgánico e inorgánico en el suelo Andosólico II.

La relación entre el parámetro de retención, en el que el aluminio cambiante y el con tenido de Al^{3+} y Fe^{3+} está relacionado con el contenido y su variabilidad, determina la relación en la adsorción de P en la superficie de los coloides y la precipitación de fosfatos menos solubles.

El P-Al (Fig. No. 64) tiende a disminuir conforme a las dosis de enmienda silicatada y fósforo en los suelos I y II, 0.51 y 2.09 %, respectivamente, mientras que en el suelo Oxisólico hay una tendencia definitiva al aumentar 0.78 %, implicando que entre mayores sea la concentración de fosfatos de aluminio en éste caso, mayor será la intensidad del fenómeno de precipitación pero será equilibrada si se adicionan con enmiendas silicatadas.

Los P-Fe (Fig. No. 65) presentan el mismo fenómeno, pero es diferente a la

ENMIENDA SILICATADA - P ORGÁNICO E INORGÁNICO vs FERTILIZANTE P.

SUELO III

P ORG. E INORG.

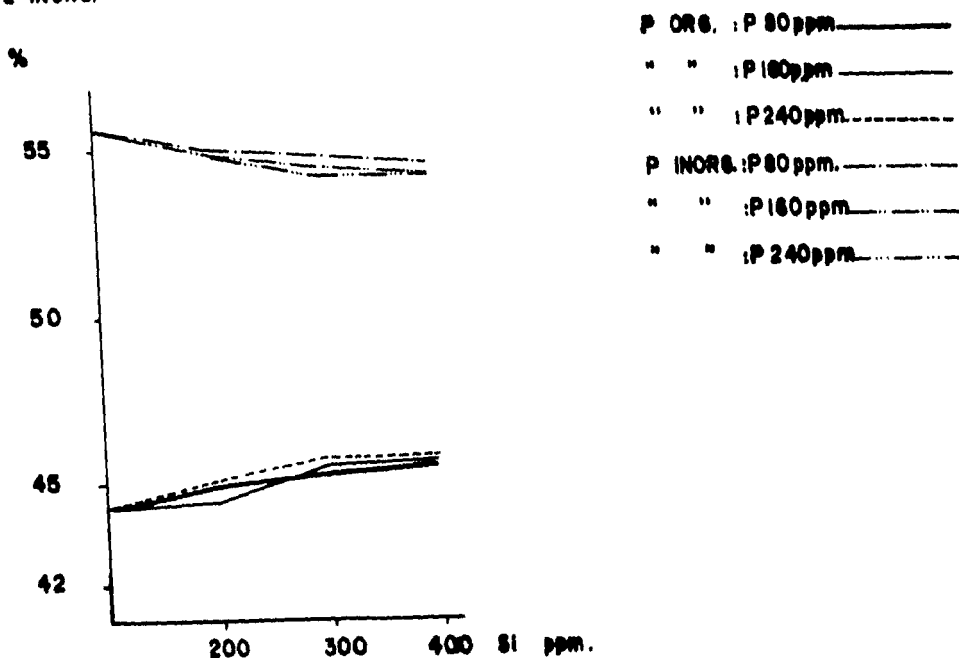


Fig. No. 63. Efecto de la enmienda silicatada y fertilizante fosfatado sobre las formas de P-orgánico e inorgánico en el suelo Oxidólico III.

forma anterior, disminuye en el Andosólico II 1.41 % y en el Andosólico I 0.46 %, mientras que, en el Oxidólico III con las dosis de silicatos y dosis medias de P los P-Fe aumentan, por lo que ésta fracción constituye en este suelo la fuente más importante de precipitación, lo que implica la dominancia en éstos suelos de altos contenidos de hierro activo, aunque en éste mismo experimento dosis elevadas de P con las dosis de silicatos, los P-Fe disminuyen.

Los P-Ca (Fig. No. 66) aumentan ligeramente a mayores adiciones de silicatos y fósforo, posiblemente debidos a una mayor mineralización por los cambios ocurridos en el pH.

En general la precipitación varió entre límites amplios, considerando los máximos incrementos de materia seca de las plantas, se tiene la siguiente secuencia:

Oxidólico III:

P-Inorg. (54.32 %) P-Org. (45.67 %) P-oculto (26.17 %) P-Fe (16.04 %)
 > P-Al (9.62 %) P-Ca (2.47 %).

ENMIENDA SILICATADA - P-Al vs FERTILIZANTE FOSFATADO.

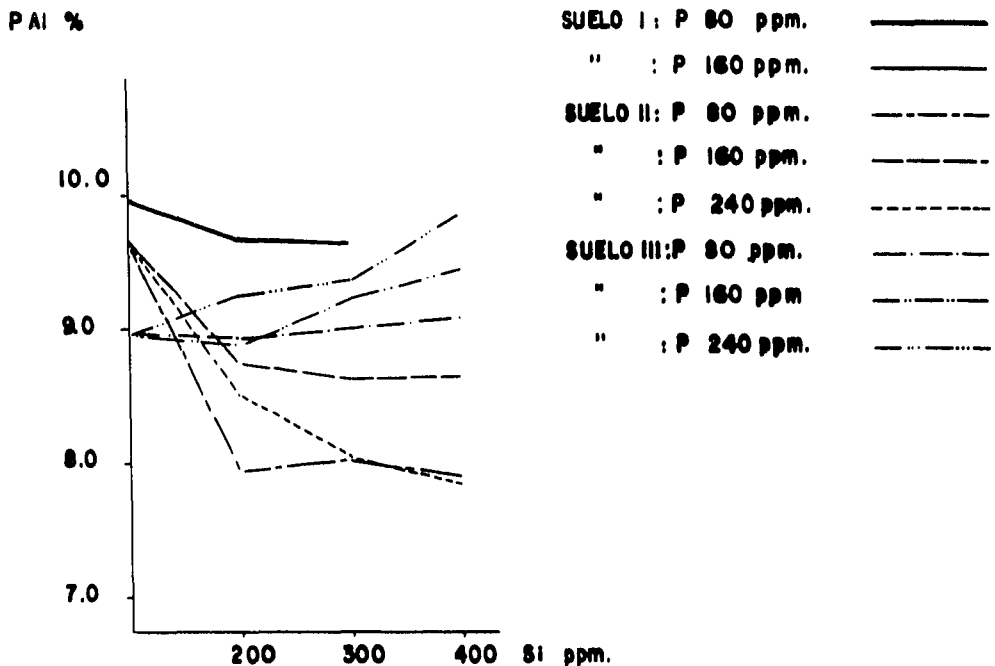


Fig. No. 64. Efecto de la enmienda silicatada y fertilizante fosforado sobre el P-Al, en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

Andosólico II:

P-Org. (62.97 %) P-Inorg. (37.02 %) P-ocluído (21.09 %) P-Al (7.59 %)
P-Fe (7.21 %) P-Ca (1.13 %).

Andosólico I:

P-Org. (60.28 %) P-Inorg. (39.71 %) P-ocluído (21.50 %) P-Al (9.64 %)
P-Fe (7.14 %) P-Ca (1.43 %).

Los datos sobre la capacidad de fijación de fosfatos se encuentra también en el cuadro No. 16. Los resultados obtenidos para el suelo I y II demuestran variaciones amplias (Fig. No. 68). Para el suelo III se observa una disminución en el porcentaje de fijación de fosfatos, de 22 %, mientras que para el I y II es de 3 y 19 % respectivamente.

La magnitud de la fijación de P en los suelos estudiados es muy alta. Presenta un rango de variación entre 68 y 76 % del P aplicado. Este valor alto se explica por la variabilidad de los suelos estudiados y la naturaleza del fenómeno de fijación. Las arcillas, alofano, materia orgánica, óxidos e hidróxidos de Fe^{3+} y Al^{3+} presentan carga electropositiva y actúan como sorbentes del

ENMIENDA SILICATADA - P - Fe - vs FERTILIZANTE FOSFATADO.

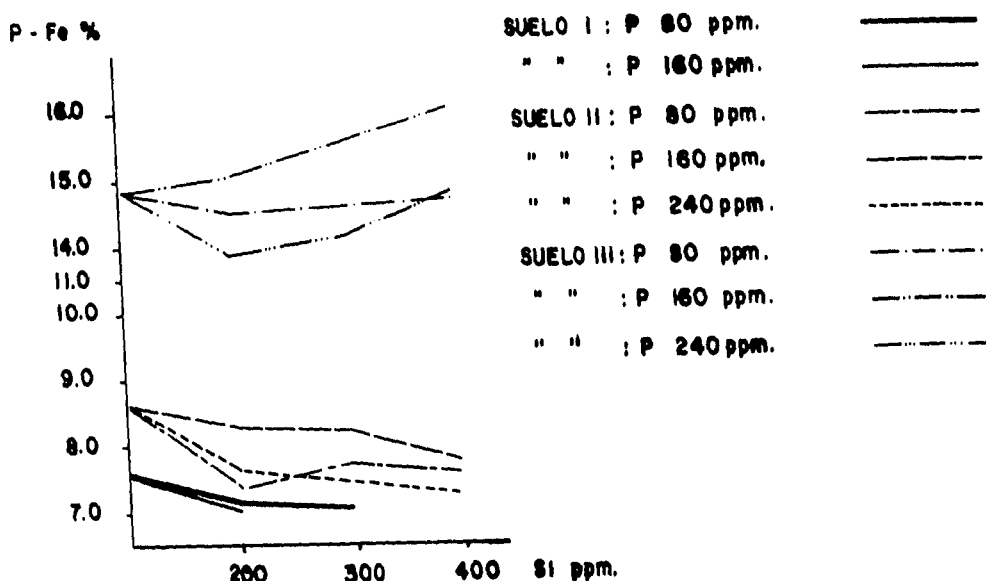


Fig. No. 65. Efecto de la enmienda silicatada y fertilizante fosfatado, sobre el P-Fe en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

$H_2PO_4^-$ y precipitan a éstos últimos en compuestos de menor solubilidad. Lo que indica que a mayor contenido de aquellos en los suelos, mayor será la fijación de fosfa-
 fosfatos y menor será el efecto en los suelos del fertilizante fosfatado.

Ya se ha mencionado el papel de la materia orgánica en la fijación de fós-
 foro y que mientras que en los suelos se produzca una gran acumulación sobre
 todo en el horizonte superficial, será decisivo para la precipitación de fos-
 fatos debido a la presencia de cargas electropositivas que lleva a la adsor-
 ción de los iones $H_2PO_4^-$, siendo mucho más elevada en el caso de los Andosoles.

La importancia de la materia orgánica se destaca así, en los suelos deri-
 vados de cenizas volcánicas.

Si bien, la fertilización fosfatada condujo a la precipitación de gran par-
 te del P aplicado hacia fosfatos de aluminio, hierro, calcio, estas fracciones
 solubilizaron su fósforo a medida que se incrementaba la dosis de silicatos y lo
 aportaron a la planta produciéndose incrementos en la materia seca, lo que
 indica que la adición de ésta fuente de enmienda fué más efectiva para la dismi-
 nución del porcentaje de fijación que la enmienda calcárea a pesar de que los
 cambios en la reacción del suelo, pH , con ésta enmienda solo fueron ligeros.

ENMIENDA SILICATADA - P-Ca vs FERTILIZANTE FOSFATADO.

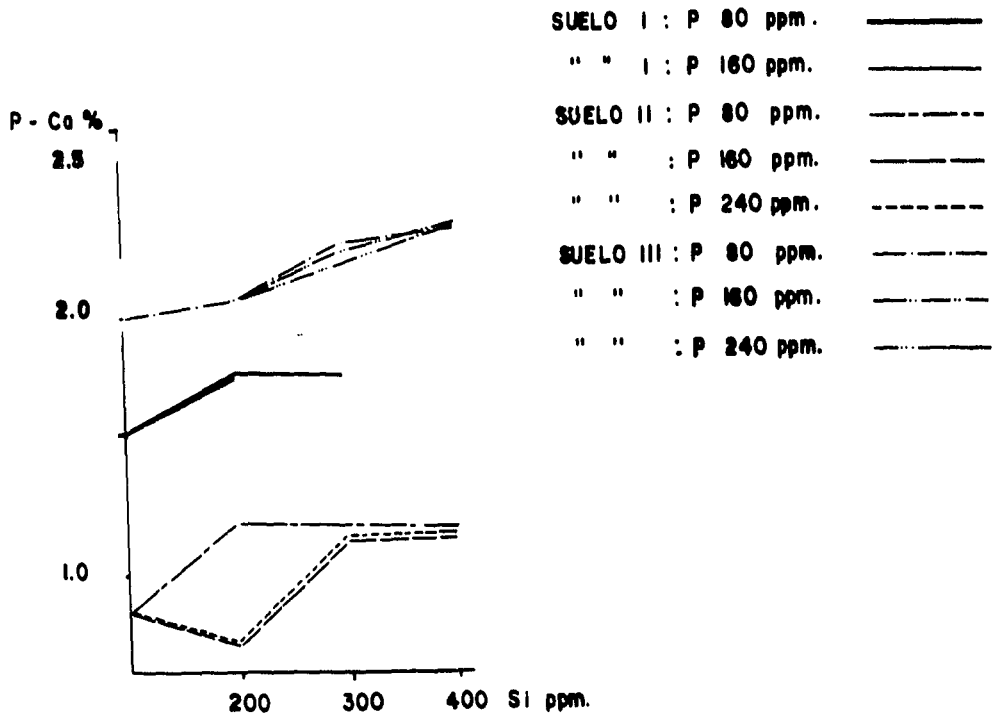


Fig. No. 66. Efecto de la enmienda silicatada y fertilizante fosfatado sobre los P-Ca, en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

De ésta manera, se puede afirmar que la precipitación operada en el suelo hacia éstas fracciones no podría calificarse como "fijación", y que, al menos parte de éste P-precipitado es solubilizado y tomado por la planta con las dosis de enmienda silicatada. Estas circunstancias, ya han sido mencionadas, y concuerdan con las apreciaciones de Joo y Ellis (1963), según los cuales mientras los productos de la precipitación hacia fosfatos de Hierro y Aluminio en suelos ácidos, permanezcan en un estado coloidal y hasta tanto no se cristalicen, son fácilmente aprovechables por la planta, por lo que, de los resultados obtenidos una gran proporción de fósforo puede que se encuentre simplemente adsorbido al suelo.

En relación a las fracciones de P-Al, P-Fe y P-Ca, variaron entre límites relativamente amplios, considerando los valores promedios con los máximos rendimientos:

Andosólicos:

P-Al (8.8 %) P-Fe (7.17 %) P-Ca (1.33 %).

ENMIENDA SILICATADA - P OCLUIDO vs FERTILIZANTE FOSFATADO.

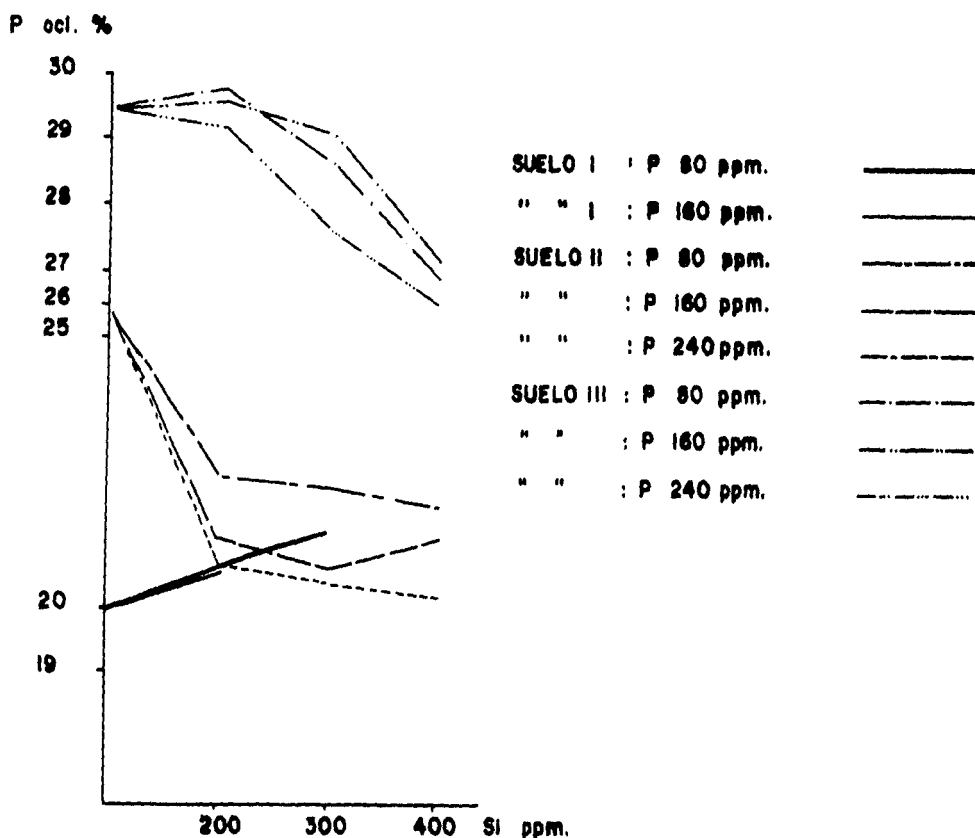


Fig. No. 67. Efecto de la enmienda silicatada y fertilizante fosfatado sobre los P-ocluídos en tres suelos derivados de cenizas volcánicas.

Oxisólicos:

P-Fe (16.04 %) P-Al (9.62 %) P-Ca (2.47 %)

Con relación a lo anterior, el fosfato de amonio se precipitó con una mayor intensidad hacia los fosfatos de aluminio y hierro principalmente, pero a la vez éstas fracciones se solubizaron cuando se les adicionó silicato de sodio.

Con la adición de silicatos en el suelo, la concentración de éstos tiende a disminuir la capacidad de retención total, significativamente mayor que el provocado por el encalado.

Lo anterior significa que los silicatos inducen a una disminución en la intensidad de la precipitación de los fosfatos, especialmente hacia las formas de fosfatos de hierro y aluminio y ocluidos, como consecuencia, éstos elevados contenidos de SiO_2 llevan a una baja intensidad en el fenómeno de "precipitación" y un incremento en el P-aprovechable. Así, ésta circunstancia explica los resultados obtenidos por algunos autores sobre los incrementos significativos

ENMIENDA SILICATADA

P - FIJACION vs FERTILIZANTE FOSFATADO.

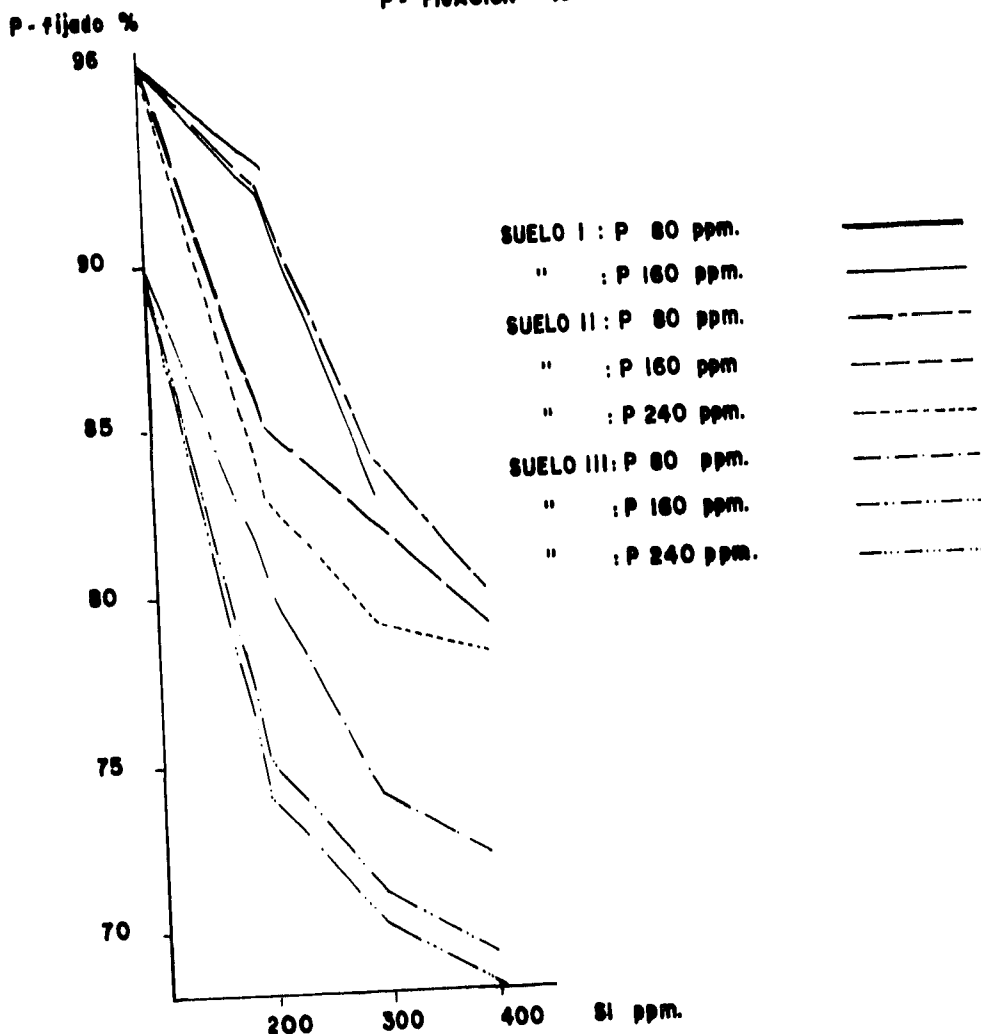


Fig. No. 68. Efecto de la enmienda silicatada y fertilizante fosfatado sobre la disminución en la capacidad de fijación de fosfatos, en tres suelos derivados de cerizas volcánicas.

en la producción vegetal como resultado del uso de compuestos silicatados.

Considerando lo antes mencionado, el P-aprovechable (Fig. No. 69) resultó aumentado como consecuencia de la adición por el fertilizante fosfatado, hidrosoluble y por la eficacia posible de los silicatos en la desorción de los fosfatos nativos y aplicados al suelo, lo cual resulta en un aumento del P-aprovechable, considerablemente mayor que en el caso de los obtenidos por las enmiendas calcáreas y adición de fertilizante fosfatado.

En general, la secuencia de disminución en la fijación de fosfatos para los tres suelos considerando la máxima producción de materia seca es:

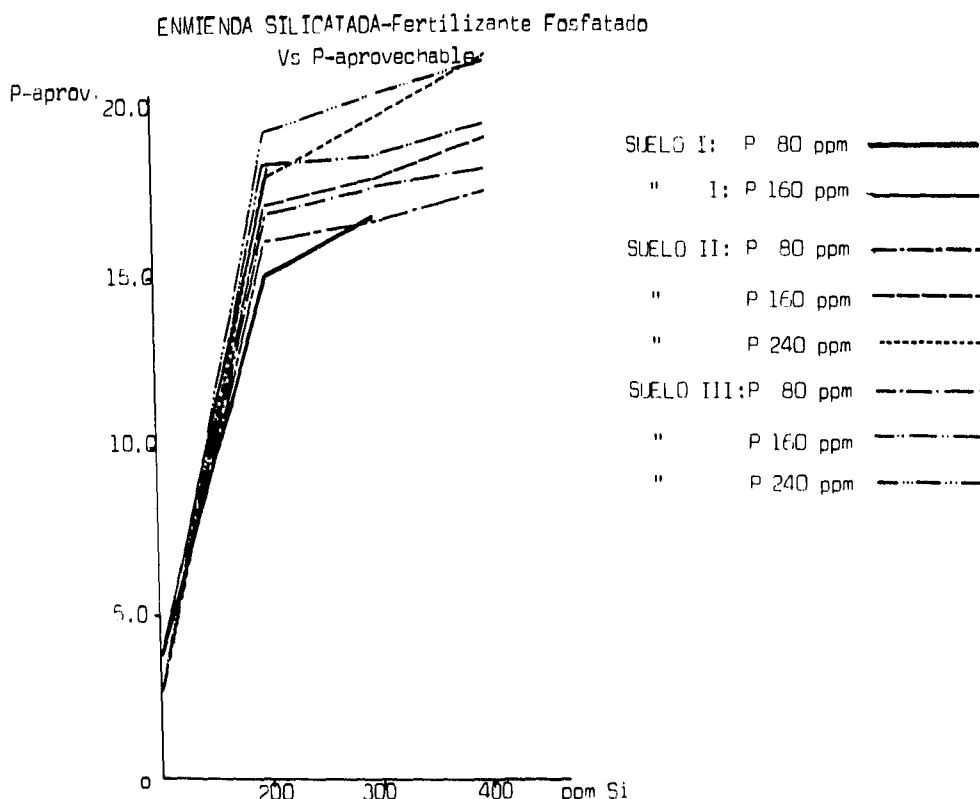


Fig. No. 109. Efecto de la enmienda silicatada y fertilizante fosfatado sobre el P-aprovechable, en tres suelos derivados de cerizas volcánicas.

Oxisólico III (69 %) Andosólico II (79 %) Andosólico I (93 %).

asimismo, para el caso del P-aprovechable es como sigue:

Oxisólico III (19.80 ppm) Andosólico II (19.25 ppm) Andosólico I (18.30 ppm)

Este fenómeno paralelo entre P-aprovechable y disminución en el porcentaje de fijación de fósforo nos indica que hay cierta tendencia a una estabilidad relativa del fósforo hidrosoluble y la aplicación de los silicatos, ya que se encontró menor cantidad de P-aprovechable, mientras el porcentaje de fijación no disminuya y se conserve sin variaciones, aún así es de suponer que la concentración de silicatos en la solución del suelo ayude a evitar que se fije rápidamente el fósforo aplicado.

6. EFECTO DE LA ENMIENDA CALCÁREA (meq Ca/100 g) Y ENMIENDA SILICATADA (ppm Si) EN EL SUELO OXISÓLICO III.

Por separado se efectuó un experimento en éste suelo Oxisólico en el cuál sólo se adicionaron las enmiendas (calcárea y silicatada) sin fertilizante fosfatado para observar la influencia en el suelo y la eficiencia en la absorción de P y producción de materia seca.

- 1) Efectos de los niveles de encalado y silicatos sobre la materia seca, absorción de P y Ca por la planta y pH del suelo.

Aún cuando hay considerables variaciones en el pH del suelo y la consiguiente disminución del aluminio cambiables, siendo suelos bastante deficientes en fósforo, no se provocó una mayor utilización del fósforo nativo ya que, no se obtuvieron respuestas apreciables a la adición de ambas enmiendas, pues otros autores reportan mayores producciones de materia seca y absorción de fósforo conforme se aumentaba las enmiendas, ya que, el encalado actúa como mineralizador y solubilizador del fósforo y los silicatos actúan en la desorción del P fijado, sin embargo se debe tener en cuenta que éstos suelos contienen inicialmente muy bajos contenidos de fósforo soluble.

Considerando la máxima producción, es de sólo 0.25 g mat. seca/maceta.

CUADRO No.17 EFECTO DE LA ENMIENDA CALCÁREA Y SILICATADA SOBRE LA PRODUCCION DE MATERIA SECA Y ABSORCION DE P y Ca²⁺ POR LA PLANTA INDICADORA Lactuca sativa EN EL SUELO OXISOLICO III.

Dosis enmienda calcárea meq Ca/100 g	Dosis enmienda silicatada ppm Si	pH KCl 1:2.5	Producción materia seca (gr/maceta).	Absorción P (%)	Ca ²⁺ (%)
0	0	4.40	0.10 N.S.	0.015	0.14
10	200	6.85	0.10 "	0.015	0.13
10	300	6.90	0.13 "	0.015	0.13
10	400	6.95	0.25 "	0.015	0.13
0	0	4.40	0.10 "	0.015	0.14
20	200	7.20	0.25 "	0.015	0.13
20	300	7.15	0.23 "	0.015	0.13
20	400	7.10	0.13 "	0.015	0.13
0	0	4.40	0.10 "	0.015	0.14
30	200	6.90	0.20 "	0.015	0.13
30	300	6.80	0.08 "	0.015	0.13
30	400	6.75	0.23 "	0.015	0.13

N.S. No significativo.

CUADRO No. 16 EFECTO DEL ENCALADO Y ENMIENDA SILICATADA SOBRE EL pH, M.O., C.I.C.T., BASES CAMBIABLES Y ALUMINIO EXTRAIBLE DEL SUELO OXISÓLICO III.

Dosis enmienda calárea meq Ca/100 g	Dosis enmienda silicatada Si ppm	pH KCl 1:2.5	M.O. %	C.I.C.T.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺
millequivalente, 100 g									
0	0	4.40	4.34	14.8	3.5	2.0	0.25	0.17	6.5
10	200	6.85	4.62	19.0	7.2	2.2	0.30	1.04	2.4
10	300	6.90	4.65	21.5	10.6	2.6	0.33	1.14	2.3
10	400	6.95	4.68	22.5	13.8	3.0	0.36	1.24	2.0
0	0	4.40	4.34	14.8	3.5	2.0	0.25	0.17	6.5
20	200	7.20	4.86	19.8	8.4	2.4	0.32	1.08	2.3
20	300	7.15	4.92	22.8	11.2	3.0	0.35	1.16	2.12
20	400	7.15	5.02	23.8	14.2	3.2	0.38	1.36	2.01
0	0	4.40	4.34	14.8	3.5	2.0	0.25	0.17	6.5
30	200	6.90	4.96	20.0	12.0	2.8	0.33	0.12	2.21
30	300	6.80	5.06	22.1	14.8	3.2	0.36	1.18	2.01
30	400	6.75	5.31	23.9	15.2	3.6	0.39	1.28	1.99

Por otro lado, la absorción de P y Ca⁺⁺ fué similar para todos los suelos en cantidades muy bajas, debido a la limitación en la absorción del P por la deficiencia en los suelos y por consiguiente también de Calcio, absorbiendo solamente 0.015 % de P y 0.13 % de Ca⁺⁺.

Los resultados se muestran en el cuadro No. 17.

La evidencia experimental indica que el pH por sí mismo no es el único índice de las necesidades de los cultivos. Se vuelve con ello a comprobar que para los suelos estudiados con altas capacidades de fijación, es necesario la aplicación de cantidades adecuadas que satisfagan las necesidades en la nutrición vegetal, que en éstos suelos son grandes, para aumentar la producción.

Estadísticamente (Cuadro No. 23) no se encontró diferencias significativas en el rendimiento ocasionado por los efectos de la aplicación de una fuente u otra.

2) Efectos del encalado (meq Ca/100 g) y enmiendas silicatadas sobre pH, M.O., C.I.C.T., bases cambiables y aluminio extraíble en el suelo Oxisólico III.

La aplicación de carbonato y silicatos produjeron aumentos progresivos de pH conforme a las dosis crecientes aplicadas. El efecto en este caso sobre la reacción del suelo es debido al encalado y una pequeña proporción, por los silicatos. Los resultados se observan en el cuadro No. 18.

La aplicación de estos materiales tiene un efecto múltiple a través de las variaciones del pH del suelo y la subsiguiente disminución del aluminio cambiabile que es reemplazado por el calcio aplicado, sin que ello implicara un aumento de la producción de materia seca debidos a la fuerte deficiencia de fósforo. El valor de pH más alto fué de 7.15.

Aún cuando se obtuvieron considerables variaciones en el pH, mineralización de materia orgánica aumento de bases cambiabiles y disminución del Al cambiabile, la respuesta no fué apreciable sobre la cosecha.

Las fuertes aplicaciones de carbonatos producen un aumento en la mineralización de materia orgánica aumento de bases cambiabiles y disminución de Al cambiabile, la respuesta no fué apreciable sobre la cosecha.

Las fuertes aplicaciones de carbonatos producen un aumento en la mineralización de materia orgánica, a través de las variaciones en el pH, pero los incrementos son solo ligeras de sólo 0.9 %.

La capacidad de intercambio catiónico aumenta conforme a la adición de ambas enmiendas considerando que a medida que se eleva el encalado, aumentan las cargas negativas, reflejándose en la retención de cationes observada como resultado del encalado. La aplicación de los silicatos solos, indican un aumento ligero. El máximo valor fué de 23.9 meq/100 g.

El encalado aumentó la concentración de Cam cambiabile en el suelo, así como de Mg y K. En el suelo se incrementan las cantidades de Na^+ debido al ión acompañante del silicato. El Ca^{++} incrementó sus valores por efectos del encalado a 15.2 meq Ca/100 g. Por otro lado en este estudio se encontró que la neutralización del aluminio, como aquí se observa, no necesariamente implica una mayor utilización del P nativo del suelo.

- 3) Efectos del encalado (meq Ca/100 g) y enmienda silicatada (ppm Si) sobre las formas de fósforo: P-total, P-orgánico, P-inorgánico, P-Al, P-Fe, P-Ca, P-ocuidos, P-fijado y P-aprovechable del suelo Oxisólico III.

Los resultados se muestran en el cuadro No. 12.

El P-total incrementa sólo ligeramente en función de la poca cantidad de P existente en el suelo, en solo un 6 %. De igual forma el P-orgánico incrementa sólo ligeramente en un 8 %.

El P-inorgánico disminuye en una pequeña proporción de sólo 0.70 %. De éstas formas los de Al^{3+} y Fe^{3+} disminuyen notablemente en un porcentaje de 1.36 y 2.06 % respectivamente. Los P-ocuidos aumentan en un 2.78 %, mientras que los fosfatos de calcio aumentan linealmente de acuerdo con las dosis de carbonatos adicionados como enmienda.

CUADRO No. 19 EFECTO DEL ENCALADO Y ENMIENDA SILICATADA SOBRE LAS FORMAS (ppm P) Y RETENCION DE FOSFATOS EN EL SUELO OXISOLICO III.

Dosis enmienda calcárea meq Ca/100 g	Dosis enmienda silicatada ppm Si	pH KCl 1:2.5	P-total ppm	P-Org. ppm %	P-Inorg. ppm %	P-Al ppm %	P-Fe ppm %	P-Ca ppm %	P-ocl. ppm %	P-Fij. %	P-aprov ppm
0	0	4.40	770	346 44.35	435 55.64	70 9.09	115 14.93	15 1.95	238 29.49	90	2.70
30	200	6.85	773	335 43.33	438 56.66	70 9.05	125 16.17	16 2.07	227 29.36	88	2.79
30	300	6.90	774	337 43.54	437 56.46	65 8.39	120 15.50	18 2.32	234 30.23	86	2.80
30	400	6.95	774	338 43.66	436 56.33	60 7.75	115 14.85	20 2.58	241 31.13	84	2.81
0	0	4.40	770	346 44.35	435 55.64	70 9.09	115 14.93	15 1.95	238 29.49	90	2.70
20	200	7.20	774	336 43.41	438 56.59	68 8.78	118 15.24	16 2.06	236 30.49	85	2.80
20	300	7.15	775	387 43.48	438 56.57	65 8.39	115 14.83	20 2.58	238 30.70	84	2.82
20	400	7.10	776	338 43.55	438 56.44	62 7.99	112 14.43	23 2.96	241 31.05	83	2.91
0	0	4.40	770	346 44.35	435 55.64	70 9.09	115 14.93	15 1.95	238 29.49	90	2.70
30	200	6.90	773	336 43.07	437 56.93	64 8.28	114 14.74	19 2.46	240 31.04	82	2.83
30	300	6.80	774	338 43.66	436 56.33	62 8.01	112 14.47	23 2.97	239 30.87	81	2.86
30	400	6.75	776	340 43.81	436 56.18	60 7.73	100 12.88	25 3.22	251 32.34	80	2.89

Se deduce que las fuentes de tratamientos son efectivos en la disminución de apreciables cantidades de formas precipitadas de P-Fe y P-Al, lo cuál puede tener una repercusión positiva sobre la absorción de P en presencia de fertilizantes fosfatados sobre la producción vegetal.

La secuencia de éstas formas, considerando los cambios más acentuados con las dosis mayores de ambas enmiendas es:

P-Inorg. (56.18 %) P-Org. (43.81 %) P-ocluido (32.34 %) P-Fe (12.88 %)
P-Al (7.73 %) ; P-Ca (3.22 %)

Si consideramos las formas precipitadas de Fe^{3+} y Al^{3+} con respecto a la disminución, tenemos que:

P-Fe (disminuyen 2.06 %) P-Al (disminuyen 1.36 %).

En el presente experimento la fijación disminuye notablemente en un 10 %, lo cuál puede dar una cierta idea del efecto de la adición de éstas enmiendas, y la eficacia en la utilización de fertilizantes fosfatados.

La sólo adición de éstas enmiendas por el contrario no ha provocado aumentos en el P-aprovechable para la nutrición de las plantas, por lo que las necesidades de fertilizantes fosfatados en los rendimientos son necesarios. El incremento bajo la influencia de las enmiendas es de sólo 0.18 %.

7. ANALISIS DE RAYOS X.

Se corrieron Difractogramas de muestras de suelos correspondientes a los mejores tratamientos, para observar los efectos de éstos. Los resultados para cada experimento, indicaron que:

Suelo Andosólico I. Se efectuaron 8 análisis de la fracción arcilla. Por los resultados de los difractogramas se observa que no hubo variaciones sustanciales entre las muestras.

Todas las muestras analizadas mostraron un débil pico de difracción a 14.2 Å que se colapsa a 10 Å por calentamiento a 450°C por 1 hora, y exparte a 18-19 Å con Etilen Glicol, lo que nos permite identificar a la Esmeclita.

Aparece otro pico de Difracción a 7.18 Å, pequeño, asimétrico hacia el lado de baso ángulo, de base ancha que corresponde a una Metahaloisita.

Suelo Andosólico II. Se analizaron 10 muestras. Los resultados indican que no hubo variaciones sustanciales entre las muestras.

Presentan Esmeclita, Metahaloisita y Caolinita desordenada. La cristalinidad de la Kandita (caolinita desordenada) es mayor que en el Andosol I, la cuál se refleja en el intemperismo. La intensidad del pico a 7.18 Å también es notablemente mayor, lo que evidenciaría una mayor cantidad de éste mineral que en el Andosol I.

Suelo Oxisólico III. Las muestras analizadas fueron 10. No aparece Esmeclita, únicamente se detecta Caolinita desordenada. La mayor intemperización de este suelo eliminó la Esmeclita, y la Caolinita adquirió una cristalinidad algo mejor que en el Andosol II.

CUADRO No. 20 VALORES DE d/N EN UNIDADES Å POR DIFRACCION DE RAYOS-X EN LAS FRACCIONES ARCILLOSAS MENORES DE 2 MICRAS EN EL SUELO ANDOSOLICO I, ANDOSOLICO II Y OXISOLICO III.

SUELO	E S M E C T I T A			METAHALOISITA	CAOLINITA
	Sin calentam.	Calentam. a 450°C.	Etylen Glicol		
ANDOSOLICO I	14.2	10.0	17.7 - 19.0	7.2	-
ANDOSOLICO II	14.2	-	-	7.2	7.18
OXISOLICO III	-	-	-	-	7.18

Para el caso de los suelos estudiados se observa que, la presencia de los minerales arcillosos depende del tipo de suelo. Los Andosoles con un intemperismo menor que los Oxisoles contienen apreciables cantidades de Esmeclita y Metahaloisita. Los Oxisoles, suelos más maduros, contienen en su fracción arcilla

V. CONSIDERACIONES GENERALES

Los resultados de las investigaciones se presentan en función de las siguientes variables:

Efecto de la interacción de los niveles del fósforo y fuentes de enmiendas sobre las variables de respuesta.

1) Efectos sobre la producción de materia seca y absorción del P.

La interacción de los niveles de los fertilizantes fosfatados usados en los suelos causó diferencias estadísticamente significativas sobre la producción de materia seca y absorción de P por la planta indicadora Lactuca sativa.

En efecto, se pudo comprobar que la aplicación de la fuente calcárea y silicatada sólo a cualquier nivel, tuvo un efecto nulo sobre la producción de materia seca y absorción del P. Por el contrario, las fuentes mezcla de fosfato-encalado y fosfato-silicatos incrementaron sostenidamente éstas dos variables. Esto evidencia en éstos suelos el papel esencial del fósforo.

Además, la interacción se hace evidente cuando se observa que el efecto de la fuente sobre materia seca y absorción del P depende del nivel de aplicación del fertilizante, fuente de enmienda y suelo utilizado. Así, en el caso de materia seca, los niveles de los fertilizantes fosfatados superaron en algunos casos a la mezcla fosfato-enmienda. En el caso de los Andosólicos I, los efectos fueron nulos.

La concentración de P y Ca^{++} en tejido foliares aumentaron con los grados de neutralización del Aluminio y los fertilizantes fosfatados.

En relación a las aplicaciones de enmiendas, si la planta encuentra en el suelo todo el fósforo que necesita durante su desarrollo temprano y posterior, no habrá diferencias a las enmiendas que se usen, pero de no ocurrir de éste modo y, aún habiendo riqueza de fósforo en el suelo, la planta requerirá un mayor nivel de éste nutriente. Por ello, es necesario la adición del fertilizante durante el desarrollo temprano, ya sea su forma hidrosoluble, citrato soluble ó ambos.

La aplicación de silicatos de Sodio y carbonatos de Calcio en combinación con la aplicación de las dosis de fosfatos, no condujo, a resultados iguales para todos los suelos estudiados, pero siempre se logró un aumento considerable en la cosecha comparando con el testigo, mientras que la aplicación de mezcla de silicatos y carbonatos sólo en el Oxisólico III no condujo a respuestas significativas.

- 2) Efectos sobre el pH, la materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, las bases cambiables y Aluminio extraíble de las fuentes de tratamiento.

pH y Al^{3+} extraíble.

Se encontró una asociación positiva considerando todos los suelos con las adiciones progresivas de enmienda. Los resultados indican al mismo tiempo interrelaciones muy específicas entre el pH y los factores que determinan la fijación del P. Se observa las tendencias a disminuir el aluminio extraíble conforme se aumenta el pH y también una mayor mineralización de materia orgánica. De ello resulta que al aumentar el pH arriba del valor de 5 la fijación de P disminuye notablemente en los suelos y viceversa. La aplicación de estos materiales tiene un efecto múltiple sobre las variaciones del pH y otras características como mineralización de materia orgánica, aumentos de la capacidad de intercambio catiónico, bases cambiables y la subsiguiente disminución del Al^{3+} cambiable que es reemplazado por el calcio aplicado y el intercambio entre los iones silicato y fosfato, resultando de todo ello un aumento de la producción.

Sin embargo, en éste estudio se encontró que la neutralización del Aluminio no necesariamente va a provocar una mayor utilización del P nativo, ya que la respuesta de la planta fué significativo siempre que se aplicó fósforo hidrosoluble.

Se puede indicar que la máxima producción de materia seca y absorción del P se obtuvo a un pH de 6.5 y a dosis intermedias de encalado y muy altas de silicatos.

Materia orgánica.

La importancia de la materia orgánica se destacó en los suelos derivados de cenizas volcánicas por lo que representa un factor decisivo en la limitación de la producción agrícola de éstos suelos, cuando se produzca una gran acumulación sin una mineralización, por su papel en la fijación del fósforo, la cuál ha sido puntualizada por otros autores. La presencia de cargas electropositivas lleva a la adsorción de los iones $H_2PO_4^-$, siendo mucho más elevada en los Andosoles que los Oxisoles, por lo que es importante la adición de las enmiendas para obtener P-aprovechable por efecto de la materia orgánica mineralizada, aumentando la actividad bacteriana esencial para las transformaciones en el sistema redox del suelo.

- 3) Efecto sobre las formas de fósforo, fijación y su relación con algunas características edáficas.

Siendo el suelo un sistema complejo y dinámico, en el cuál se suceden al mismo tiempo gran cantidad de reacciones, es posible evaluar la fijación del P como una función de los diferentes factores que la determinan. Como se ha in-

dicado, la capacidad de fijación de los fosfatos se asocia a los valores del pH, materia orgánica, arcillas y Aluminio cambiante. La influencia de éstos factores sobre la fijación del P en los suelos estudiados se ha discutido.

Los resultados obtenidos en el contenido del P-total para el suelo I, II y III demuestran grandes variaciones. Sin embargo para el suelo III se observa una disminución considerable pues, se trata de suelos extremadamente intemperizados.

La secuencia en el contenido del P-total inicial expresado en ppm fué como sigue:

Andosólico I (1385 ppm P) > Andosólico II (1220 ppmP) > Oxisólico III (795 ppm P).

En lo referente al P-orgánico, los tratamientos a base de fertilizante fosfatado y enmienda calcárea sugiere que en el transcurso del desarrollo de la planta hubo un aporte sostenido del P aprovechable, como resultado tanto de la mineralización del P-orgánico en razón de las variaciones del pH, como del P agregado en el fertilizante.

La secuencia fué como sigue:

Andosólico I (862 ppm de P, 61.35 %) > Andosólico II (787 ppm de P, 59.63 %)
> Oxisólico III (384 ppm de P, 47.41 %).

Considerando cada una de las formas, el comportamiento de las diferentes fracciones del fósforo varió en relación al suelo utilizado.

La intensidad con que los fosfatos inorgánicos del suelo contribuyen a la precipitación de los fosfatos fué variable de acuerdo a la naturaleza de las características particulares de los suelos. Se presentó en mayor concentración en el Oxisólico III. El nivel de asociación en la disminución de éstos y las fuentes de enmienda usadas fueron:

Andosólico I:

Encalado	>	Silicatos	>	Fosfatos-encalado	>	Fosfatos-silicatos
(37.02 %)		(38.09 %)		(38.64 %)		(39.71 %)

Andosólico II:

Fosfato silicato	>	Fosfatos-encalado		Encalado	>	Silicatos
(37.02 %)		(40.38 %)		(41.80 %)		(45.66 %)

Oxisólico III:

Fosfato-encalado	>	Fosfato-silicato	>	Encalado	>	Silicatos
(52.59 %)		(54.32 %)		(55.97 %)		(57.21 %)

El fosfato de Amonio precipitó con mayor intensidad hacia los fosfatos de Al^{3+} , Fe^{3+} y Ca^{2+} , en tanto que con las adiciones de enmiendas se solubilizaron en forma más intensa cuando se les adicionó enmiendas calcáreas. Por otra parte, la adición de silicatos de Sodio y encalado llevó a la menor solubilización de las tres formas de fosfatos. Es probable que el diferente comportamiento del carbonato de Calcio y Silicato de Sodio en lo relativo a la solubilización ó precipitación de las fracciones de P-Al, P-Fe y P-Ca estén relacionados, en parte, con el intercambio en el pH causado por la adición de Carbonato de Calcio.

Finalmente, cabría concluir que, si bien la fertilización fosfatada condujo a la precipitación de gran parte del P aplicado hacia fosfatos de Aluminio, Hierro, Calcio, éstas fracciones solubilizan su Fósforo y lo aportan a la planta. De ésta manera, se puede afirmar que la precipitación operada en el suelo hacia éstas fracciones, hasta tanto no permanezcan en un estado coloidal y no se cristalicen, son fácilmente aprovechables por la planta, ya que, al menos, parte de éste P-precipitado se solubiliza por las enmiendas y se toma por la planta.

Para los suelos estudiados se deduce que en los procesos de fijación de fosfatos, la precipitación de fosfatos de Hierro y Aluminio predominan notablemente y que sólo una pequeña fracción del P retenido se encuentra en forma de P-Ca.

La asociación entre la fracción de fosfatos de Calcio baja, indica que ésta forma de fosfato no aportó a la nutrición fosfatada de la planta en la medida que lo hicieron las otras fracciones. Además que, la solubilidad de las formas apatíticas es mucho más baja.

Es importante tomar en cuenta que las fracciones P-Al, P-Fe y P-Ca difieren grandemente en la intensidad de su precipitación y por consiguiente de su aporte de P a la planta. Estos resultados están en correlación con el modelo obtenido en suelos ácidos por otros investigadores, no obstante hay que tener en cuenta que el modelo aquí obtenido en éste estudio, es con adición intensa de fertilizante fosfatado y enmiendas. La precipitación hacia las diferentes fracciones varió entre límites relativamente amplios. Considerando los Andosólicos:

P-Al P-Fe P-Ca

Para los Oxisólicos

P-Fe P-Al P-Ca

En el caso de los Oxisólicos los fosfatos de Hierro constituyen la fracción más importante de precipitación en suelos muy arcillosos, lo que implica la dominancia en éste suelo de altas concentraciones de hierro activo.

Además los fosfatos de aluminio se asocian con la precipitación en los Andosólicos. Este resultado indica que el Al^{3+} está relacionado con factores que gobiernan la precipitación del P, implicando que entre mayor sea la concentración de éste en el suelo, mayor será la intensidad del fenómeno de precipitación.

El P-ocluido insoluble a pesar de estar en un porcentaje elevado en los tres suelos, no aporta P a la planta a causa de su insolubilidad, pero disminuyen sensiblemente a las adiciones de enmiendas.

En resumen los fosfatos del suelo se precipitaron y aportaron P a la planta en el siguiente orden de importancia:

Suelos Andosólicos:

P-ORG. P-INORG. P-OCCL. P-AL P-Fe P-Ca

Suelos Oxisólicos:

P-INORG. P-ORG. P-OCCL. P-Fe P-AL P-Ca.

La capacidad de retención fué muy acentuada. Las posibilidades de predicción de la fijación de fósforo en relación con los otros factores como pH, arcillas, hidróxidos de hierro, aluminio extraíble destacan por su asociación con la fijación, por lo que su estudio es básico. Los promedios obtenidos con las adiciones de enmiendas indican que entre el 68 y 96 % del P-añadido como fertilizante se retiene por el suelo. La variabilidad observada indica la diferencia entre las características edáficas de los diferentes suelos en su capacidad de retención.

Este elevado valor se explica por las características de los suelos estudiados y por la naturaleza del fenómeno de la fijación. Las arcillas, alofano, materia orgánica, óxidos e hidróxidos de Fe^{3+} y Al^{3+} , Al^{3+} y Fe^{3+} libres presentan cargas electropositivas que actúan como sorbentes del $H_2PO_4^-$ y precipitan a éstos últimos en compuestos de menor solubilidad, lo cual indica que a mayor contenido de éstos mayor será la fijación de fosfato y menor será el efecto del fertilizante fosfatado. De los factores que influyen favorablemente en la disminución de la fijación a través del encalado y adición de fósforo fué el pH, debido a la neutralización del Al^{3+} el cual fija parcialmente el fósforo a todas las dosis aplicadas.

Las variaciones en la acidez del suelo obtenidas con las enmiendas silicatadas fué de solo 0.25 unidades de pH, promedio que no permite suponer que haya conducido a una aceleración notable de la mineralización de los fosfatos orgánicos o a una reducción de los fosfatos inorgánicos. La reducción de la actividad del Hierro y Aluminio libres del suelo para controlar la fijación de fosfatos y aumentar su disponibilidad, sin embargo el efecto para la materia seca fué más eficiente en su mezcla fosfato-silicato, que el fosfato-encalado,

lo que permite deducir que a pesar de la poca variación en la reacción del suelo, al aplicarse cantidades de silicatos solubles hay un intercambio con los fosfatos en el complejo coloidal del suelo y éstos pasan a ser disponibles para las plantas.

De acuerdo a lo anterior la eficiencia de las fuentes en la disminución de la fijación en los diferentes suelos fué:

Andosólico I

Silicatos	Encalado	Fosfatos-encalado	Fosfatos silicatos
(82 %)	(85 %)	(90 %)	(93 %)

Andosólico II

Fosfatos-silicatos	Silicatos	Encalado	Fosfatos-encalado
(78 %)	(80 %)	(82 %)	(85 %)

Oxisólico III

Fosfatos-silicatos	Fosfatos-encalado	Encalado	Silicatos
(68 %)	(86 %)	(80 %)	(85 %)

Como era de esperar, el efecto de la adición de fósforo produjo un incremento significativo del P-aprovechable. Esta forma aprovechable de la planta se incrementó consistentemente con las dosis de P del fertilizante. Con respecto a las enmiendas aplicadas sólo no produjeron efectos apreciables sobre el P-aprovechable, pero en cambio fueron más eficientes cuando se mezclaron con el fertilizante fosfatado.

Los tratamientos a base de fósforo-encalado y fósforo-silicatos suministraron más fósforo aprovechable que las fuentes de silicatos y carbonatos sólo. Igualmente se puede observar que con la adición de fosfatos y encalado se consiguieron los más altos valores de pH y absorción de P y no así con la adición de carbonatos de Calcio sólo, el cuál sólo incrementa el pH pero no la absorción de P. Estos tratamientos mejoran sustancialmente las condiciones de acidez y esto se reflejó en una mayor extracción de P-aprovechable.

VI. CONCLUSIONES

1. La gran deficiencia en fosfatos de los suelos utilizados se refleja en la escasa cosecha que se alcanzó en ausencia de fertilizantes fosfatados cuyas producciones de materia seca sólo llevaron a 0,01, 0.1 y 0.1 g de materia seca/maceta para los suelos Andosólico I "San Jerónimo", Andosólico II "11 de Abril" y Oxisólico III "Independencia", respectivamente.
2. Las plantas de éstas macetas mostraron síntomas visibles de deficiencia de fósforo, siendo sin duda la falta de éste elemento un factor limitante para la producción de éstos suelos. La limitación de la producción fué mayor en los suelos Andosólico I, ya que en éstos, alcanzaron en promedio el menor rendimiento, fué media en los Andosólicos II y menos aguda en los Oxisólicos III.
3. Los niveles de P_2O_5 incrementaron significativamente y en forma lineal la materia seca y la absorción de P por las plantas. El testigo según análisis foliar, incorporó la menor cantidad de tal elemento.
4. En los tres suelos ácidos derivados de materiales volcánicos al añadirseles 80, 160 y 240 mg de P_2O_5 solos y mezclados con las enmiendas calcáreas y silicatadas, se encontró respuestas significativas en la producción de materia seca y absorción del P.
5. Las dosis de las fuentes de enmiendas y el fertilizante fosfatado influyó en la cantidad incorporada de éste elemento en el tiempo del experimento. Se encontraron valores altos estadísticamente significativos para el peso de la materia seca.
6. Los suelos Andosólico I "San Jerónimo" presentaron las mayores concentraciones de P-total (1380 ppm de P), duplicando las correspondientes a los suelos Oxisólicos III "Independencia".
7. La concentración de los P-Al, P-Fe, P-Ca, así como su participación en el P-total resultaron dependientes del suelo utilizado.
8. Los P-orgánicos dominaron sobre los P-inorgánicos en los suelos Andosólicos. El P-orgánico correlacionó directamente con el contenido de materia orgánica y pH. El P-orgánico respondió significativamente a las adiciones de fósforo. La mineralización de ésta fracción se incrementó con los niveles de P_2O_5 y encalado, hasta conseguir un máximo nivel en cada suelo.
9. Los P-Fe, P-Al y P-ocluidos dominaron sobre los P-orgánicos en el suelo Oxisólico III. La precipitación hacia los fosfatos de Aluminio fueron más intensas que hacia las otras formas del P.

VI. CONCLUSIONES

1. La gran deficiencia en fosfatos de los suelos utilizados se refleja en la escasa cosecha que se alcanzó en ausencia de fertilizantes fosfatados cuyas producciones de materia seca sólo llevaron a 0.01, 0.1 y 0.1 g de materia seca/maceta para los suelos Andosólico I "San Jerónimo", Andosólico II "11 de Abril" y Oxisólico III "Independencia", respectivamente.
2. Las plantas de éstas macetas mostraron síntomas visibles de deficiencia de fósforo, siendo sin duda la falta de éste elemento un factor limitante para la producción de éstos suelos. La limitación de la producción fué mayor en los suelos Andosólico I, ya que en éstos, alcanzaron en promedio el menor rendimiento, fué media en los Andosólicos II y menos aguda en los Oxisólicos III.
3. Los niveles de P_2O_5 incrementaron significativamente y en forma lineal la materia seca y la absorción de P por las plantas. El testigo según análisis foliar, incorporó la menor cantidad de tal elemento.
4. En los tres suelos ácidos derivados de materiales volcánicos al añadirseles 80, 160 y 240 mg de P_2O_5 sólo y mezclados con las enmiendas calcáreas y silicatadas, se encontró respuestas significativas en la producción de materia seca y absorción del P.
5. Las dosis de las fuentes de enmiendas y el fertilizante fosfatado influyó en la cantidad incorporada de éste elemento en el tiempo del experimento. Se encontraron valores altos estadísticamente significativos para el peso de la materia seca.
6. Los suelos Andosólico I "San Jerónimo" presentaron las mayores concentraciones de P-total (1380 ppm de P), duplicando las correspondientes a los suelos Oxisólicos III "Independencia".
7. La concentración de los P-Al, P-Fe, P-Ca, así como su participación en el P-total resultaron dependientes del suelo utilizado.
8. Los P-orgánicos dominaron sobre los P-inorgánicos en los suelos Andosólicos. El P-orgánico correlacionó directamente con el contenido de materia orgánica y pH. El P-orgánico respondió significativamente a las adiciones de fósforo. La mineralización de ésta fracción se incrementó con los niveles de P_2O_5 y encalado, hasta conseguir un máximo nivel en cada suelo.
9. Los P-Fe, P-Al y P-ocluidos dominaron sobre los P-orgánicos en el suelo Oxisólico III. La precipitación hacia los fosfatos de Aluminio fueron más intensas que hacia las otras formas del P.

10. El fertilizante fosfatado y las mezclas de Carbonato de Calcio y Silicato de Sodio fueron igualmente o más eficientes en el suministro de P a la planta y en la producción de materia seca, superando ampliamente a los tratamientos a base de carbonatos y silicatos sólo.

11. Las fuentes de tratamiento utilizada tuvieron un efecto significativo sobre el pH, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, bases cambiables, Aluminio extraíble, fracciones de fósforo, fijación del P y P-aprovechable. El análisis de las interacciones entre las fuentes utilizadas indican que el fenómeno de precipitación del P-aplicado hacia esas formas de fosfato, fué en gran parte, dependiente de la fuente adicionada.

12. La contribución de las formas de fósforo en los diferentes suelos y la absorción del P por la planta operó con la siguiente secuencia:

Andosoles:

P-Orgánico > P-Inorgánico > P-ocluido > P-Al > P-Fe > P-Ca

Oxisoles:

P-Inorgánico > P-Orgánico > P-ocluido > P-Fe > P-Al > P-Ca

13. Los resultados indicaron que gran parte del P añadido al suelo como fertilizante se precipitó hacia las diferentes formas de fosfato, pero éstas liberaron cierta parte del P para ser aprovechable por la planta debido a la influencia de las enmiendas usadas.

14. De los incrementos en el contenido de $\text{SiO}_3^{=}$ aplicados se deduce que disminuyeron a niveles detectables la precipitación, especialmente, la generada hacia los fosfatos de Aluminio y Hierro, provocando así un incremento significativo del P-aprovechable.

15. Se debe contemplar una investigación más intensiva que deberá incluir una variación en el tipo de fertilizantes, dosis, diámetro de partículas, colocación, época, cultivos y otras fuentes de enmiendas orgánicas e inorgánicas directamente en campo.

VII. R E S U M E N

Se estudió la fijación de fósforo y el uso de enmiendas calcáreas y silicatas en la eficiencia de los fertilizantes fosfatados, en suelos volcánicos de la región cafetalera de Soconusco, en el Estado de Chiapas.

Bajo condiciones de invernadero se llevó a cabo un experimento de tipo factorial tendiente a evaluar el efecto de las adiciones de cuatro niveles de tres fuentes de tratamiento: fertilizante fosfatado, carbonato de calcio y silicatos de sodio, estableciéndose asimismo las interacciones de éstas sobre la planta indicadora Lactuca sativa evaluándose a través de:

- 1) efecto sobre producción de materia seca y absorción de P y Ca^{2+} por la planta indicadora.
- 2) efectos sobre pH, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, bases cambiabiles y aluminio extraíble,
- 3) efectos sobre formas de fósforo, P-total, P-Orgánico, P-Inorgánico, P-Al, P-Fe, P-Ca, P-ocluidos, P-Fijado y P-aprovechable.

Los suelos utilizados fueron dos Andosoles y un Oxisol de la región de Soconusco, Edo. de Chiapas. Los resultados de los experimentos pueden resumirse como sigue:

Los niveles de P_2O_5 incrementaron significativamente tanto la producción de materia seca como la absorción de P y Ca^{2+} por la planta.

La mezcla de enmienda calcárea-fosfatos y silicatos-fosfatos fueron igualmente eficientes para incrementar el fósforo a la planta, superando ampliamente a la aplicación de las enmiendas solas, cuya eficacia fue prácticamente nula. El efecto de la interacción nivel por fuente indicó que el fenómeno de precipitación del P-adicionado, hacia las diferentes fracciones de fósforo, fué dependiente de la fuente utilizada, así como del suelo utilizado.

Las formas de fósforo precipitados opera con el siguiente orden en los diferentes suelos:

Andosólico I: $P\text{-Org.} > P\text{-Inorg.} > P\text{-Ocl.} > P\text{-Al} > P\text{-Fe} > P\text{-Ca}$
Andosólico II: $P\text{-Org.} > P\text{-Inorg.} > P\text{-Ocl.} > P\text{-Al} > P\text{-Fe} > P\text{-Ca}$
Oxisólico III: $P\text{-Inorg.} > P\text{-Org.} > P\text{-Ocl.} > P\text{-Fe} > P\text{-Al} > P\text{-Ca}$

El contenido de P-total en los suelos oscilaron entre 700 a 1380 mg P/Kg de suelo. El P-total está condicionado por la composición del material parental, el grado de intemperismo, la materia orgánica y pH del suelo.

Entre las formas de P se diferenciaron los P-orgánicos e inorgánicos. En los suelos de Soconusco la proporción de P-orgánico es variable de acuerdo al estudio, varió entre 44.02 % 60.43% y el promedio es alrededor del 50%.

De entre los fosfatos inorgánicos se diferencian los cristalinos de Ca^{2+} , Al^{3+} y Fe^{3+} ; los ocluidos en las concreciones de sesquióxidos y la pequeña fracción de H_2PO_4^- presente en la solución del suelo. Se presentan los resultados obtenidos: la proporción de fosfatos de Ca^{2+} aumentan con el encalado, mientras que la de Al^{3+} y Fe^{3+} disminuyen en general.

Los suelos también varían en el contenido de fosfatos inorgánicos en función de la edad. En suelos jóvenes predominan los de Ca^{2+} aumentan con el encalado, mientras que con la meteorización aumentan los de Al^{3+} y Fe^{3+} ; en suelos maduros predominan los de Fe^{3+} , Al^{3+} y ocluidos. Los P-Organicos aumentan en suelos jóvenes, mientras que en los suelos maduros disminuyen.

Los resultados indicaron que gran parte del P añadido al suelo como fertilizante precipitó hacia las diferentes formas de fosfatos, pero éstas lo liberaron por efecto de las enmiendas para ser aprovechado por la planta.

El pH aumentó de 2.5 a 3.0 con las aplicaciones máximas de la enmienda calcárea, por lo que el Aluminio extraíble descendió notablemente. Así, se encontró una influencia marcada sobre las diferentes formas inorgánicas y orgánicas de fosfatos por la variabilidad misma de los suelos.

Las fracciones orgánicas dominaron sobre las inorgánicas en los suelos Andosólico I y II, mientras que en el suelo Oxisólico III disminuyó. Los fosfatos de Hierro, Aluminio e inertes predominaron sobre las fracciones cálcicas y orgánicas.

Los trabajos sobre enmiendas silicatadas estuvieron orientados a la evaluación de fertilizantes fosfatados y silicatos, éstos en dosis ascendentes de (0, 200, 300 y 400 ppm Si). Se encontró un efecto favorable de la fertilización fosfatada-enmienda silicatada, las que produjeron los mejores rendimientos de materia seca. Este aspecto juega un papel importante en las relaciones suelo-planta por la absorción de P y el poder de reposición de H_2PO_4^- a través del uso de la enmienda silico-fosfatada.

La capacidad de fijación de fósforo es muy alta en andosoles y mediana en oxisoles los cuales disminuyen por la adición de las enmiendas hasta un 16%. Se discuten los fenómenos de precipitación o fijación de P resultante de la sorción y retención de fosfatos aplicados, con base a los resultados obtenidos en estos suelos.

Los resultados obtenidos indican que gran parte del P-aprovechable que

se puede encontrar en los suelos depende en gran medida del P añadido como fertilizante, grado de fijación de fósforo, solubilidad, forma de aplicación, y tipo de cultivo utilizado.

Se presentan algunas consideraciones entre los factores que gobiernan las reacciones de los fertilizantes fosfatados en los suelos y sobre las prácticas agronómicas para controlar la fijación de P y mejorar el aprovechamiento de fertilizantes fosfatados, y la eficiencia de las enmiendas aplicadas. En este campo se necesitan más investigaciones.

VIII. LITERATURA CITADA

- Adams, F. y Pearson, R.W. 1970. Differential response of cotton and peanuts to subsoil acidity. *Agron. J.* 62:9-12.
- Aguilera H.N. 1969. Geographic distribution and characteristics of volcanic ash soils in Mexico. Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba, Costa Rica. A.6,1-12.
- Aguilera H.N. 1965. Suelos de Ando, Génesis, Morfología y Clasificación. Serie de investig. No. 6. E.N.A. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
- Aguilera H.N. y Jackson, M.L. 1953. Iron oxide removal from soils and clays. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 17(4):359-264.
- Almeida, A.M. de y Bornemisza, E. 1977. Efecto del encalado sobre las cargas eléctricas y otras propiedades químicas de tres Inceptisoles de Costa Rica. Turrialba. 27(4):333-342.
- Barrow, N.J. 1979. The description of desorption of phosphate from soil. *Journal of Soil Sci.* 30:259-270.
- Barrow, N.J. y Shaw, T.C. 1979. Effects of ionic strength and nature of the cation on desorption of phosphate from soil. *Journal of Soil Sci.* 30:53-65.
- Bartlett, R.J. y Riego, D.C. 1972. Toxicity of hydroxy aluminum in relation to pH and phosphorus. *Soil Science* 114(3):194-200.
- Beckwith, R.S. y Reeve, R. 1963. Studies on soluble silica in soils. *Aust. J. Soil Res.* 1:157-168.
- Beckwith, R.S. y Reeve, R. 1964. Studies on soluble silica in soils. II. The release of monosilic acid from soils. *Aust. J. Soil Res.* 2:33-45.
- Birrel, K.S. 1964. Some properties of volcanic ash soils. *FAO. World Soil Resources Report No. 14*:74-81.
- Black, C.A. 1965. *Methods of Soil Analysis*. Amer. Soc. of Agronomy 2-9.
- Black, C.A. 1975. Fósforo. In *Relaciones Suelo-Planta*. Tomo II. Ed. Hemisf. Sur. p. 613-715.
- Bornemisza, E. e Igue, K. 1967. Oxidos libres de hierro y aluminio en suelos tropicales. Turrialba 17(1):23-30
- Bornemisza, E., Laroche, A., y Fassbender, H.W. 1969. Effects of liming on some chemical characteristics of a Costa Rican Latosol. *Soil and Crop Sci. Soc. Florida* 27:216-219.
- Bray, H.R. y Kurtz, L.T. 1945. Determination of total, Organic and Available forms of phosphorus in Soils. *Soil Science*. 59(1):39-45.

- Bromfield, S.M. 1970. The inadequacy of corrections for resorption of phosphate during the extraction of aluminium-bound soil phosphate. *Soil Sci.* 109(6):388-390.
- Buckman y Brady. 1977. El abastecimiento y aprovechamiento del fósforo y potasio. In *Naturaleza y Propiedades de los Suelos*. Ed. Montaner y Simon, S.A. Barcelona. p. 450-466.
- Cavala, P. y Fassbender, H.W. 1970. Formas del fósforo en suelos de la región cacaoatera de Bahía, Brasil. *Turrialba* 20(4):439-444.
- Chang, S.C. y Jackson, M.L. 1957. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Sci.* 84(2):133-144.
- Chang, S.C. y Juo, S.R. 1963. Available phosphorus in relation to forms of phosphorus in soils. *Soil Science* 95:91-96.
- Datta, H.P., Shinde, J.W. y Kanath, M.B. 1962. Effect of sodium silicate on the uptake of soil and fertilizer phosphorus by wheat, rice and berseem. *Indian J. Agric. Sci.* 32:219.
- D'Hoore, J. y Coulter, J.K. 1975. El silicio del suelo y la nutrición vegetal. In: *Suelos de las regiones tropicales húmedas*. Ed. Marymar. Arg. 269 p.
- Earl, K.D., Syers, J.K. y McLaughlin, J.R. 1979. Origin of the effects of citrate, tartrate and acetate on phosphate sorption by Soils and Synthetic Gels. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43:674-678.
- Eaton, F.M., McLean, G.W., Bredell, G.S. y Doner, H.E. 1968. Significance of silica in the loss of magnesium from irrigation waters. *Soil Sci.* 10 (5):260-280.
- Ellies, S.A., MacDonald, H.R., y Vyhmeister, S.E. 1979. Efecto de aplicaciones de CaO sobre la humectación y disponibilidad de fósforo en suelos de cenizas volcánicas. *Agro Sur* 7(2):51-56.
- Fassbender, H.W. 1969. Estudio del fósforo en suelos de América Central. IV. Capacidad de Fijación de fósforo y su relación con características edáficas. *Turrialba* 19(4):497-505.
- _____ 1969. Deficiencias y fijación de fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas en Centroamérica. Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. *Turrialba, Costa Rica.* B.r.1-10.
- _____ 1966. La adsorción de fosfatos en suelos fuertemente ácidos y su evolución usando las isotermas de Langmuir. *Fitotecnia Latinoamericana.* 3:203-216.
- _____ 1975. Química de Suelos con énfasis en suelos de América Latina. San José, IICA. p. 207-268.

- Fassbender, H.W. 1968. Phosphate retention and the different chemical forms under laboratory conditions from 14 Costa Rican Soils. *Agrochimica* 12(6):512-521.
- _____, Beinroth, F. H y Sarmiento, L.S. 1978. Amounts and forms of phosphorus in ten highly weathered soils of Puerto Rico. *Turrialba* 28(2):9-13.
- _____ e Igue, K. 1967. Comparación de métodos radiométricos y colorimétricos en estudios sobre retención y transformación de fosfatos en suelos. *Turrialba* 19(3):368-374.
- _____ y Müller, L. 1967. Use of silicate amendments in soil of high phosphorus-fixing capacity. I. Effect of sodium metasilicate applications. *Turrialba* 17(4):371-378.
- _____ y Müller, L. 1969. Uso de enmiendas silicatadas en suelos altamente fijadores de fosfatos. II. Efecto de fertilizantes silicofosfatados. *Turrialba* 19(3):373-378.
- _____ y Molina, R. 1969. Influencia de enmiendas calcáreas y silicatadas sobre el efecto de fertilizantes fosfatados en suelos derivados de cenizas volcánicas de Costa Rica. Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. *Turrialba*, Costa Rica. 8-3-1-17.
- _____, Müller, L. y Balerdi, F. 1968. Estudio del fósforo en suelos de América Central. II. Formas y su relación con las plantas. *Turrialba* 18(4):333-347.
- Fernández P., Y.L. 1981. Evaluación de invernadero de la roca fosfórica de Baja California Sur mezclada con abonos orgánicos en suelos de Ando de la Meseta Tarasca. Tesis Biólogo. Fac. de Ciencias, UNAM.
- Forsythe, W.M., Gavande, S.A. y González, M. 1969. Propiedades físicas de suelos derivados de cenizas volcánicas. Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. *Turrialba*, Costa Rica. 8-3-1-17.
- Foy, C.D. 1976. General principles involved in screening plants for aluminum and manganese tolerance. In *Plant adaptation to mineral stress in problem soils*. Cornell Univ. Agric. Exp. St. Ithaca, N.Y. p-255-265.
- Gamboa, J. y Blasco, L.M. 1976. Dinámica del fósforo en el suelo después de cinco fertilizaciones consecutivas. *Turrialba* 26(2):150-155.
- Guerrero, R.R., Burbano H.J., y Cabrera, G.T. 1972. Estado y fijación del fósforo en suelos volcánicos del Sur de Colombia. II Panel sobre suelos volcánicos de América Latina. *Pasto*, Colombia. p. 59-81.
- Hayama, T.L. y Aguilera, H.N. 1972. Mineralogía de los suelos del volcán Xinantecatl, Edo. de México. Panel II sobre suelos volcánicos de América. *Pasto*, Colombia. p. 309-347.

- Herbillon, A.J., y Tena Vihn An, J. 1969. Heterogeneity in silicon-iron mixed hydroxydes. *J. Soil Sci.* 20:223-235.
- Holford, I.C.R. y Patrick Jr. W.H. 1979. Effects of reduction and pH changes on phosphate sorption and mobility in an acid Soil. 43:292-297.
- Hsu, P.H. 1979. Effect of phosphate and silicate on the crystallization of gibbsite from OH-Al Solutions. *Soil Sci.* 127(4):219-226.
- Hsu, P.H. 1965. Fixation of phosphate by aluminium and iron in acid soils. *Soil Sci.* 99(6):398-402.
- Jackson, M.L. 1964. *Análisis químico de suelos.* Barcelona. Ed. Omega. 662 p.
- Jones, J.P. y Fox, R.L. 1978. Phosphorus nutrition of plants influenced by manganese and aluminum uptake from an oxisol. *Soil Sci.* 126(4):230-236.
- Juo, A.S.R. y Ellis, G.B. 1968. Chemical and physical properties of iron and aluminum phosphates and their relation to phosphorus availability. *Soil Sci. Soc. of Amer. Proc.* 32(2):216-221.
- Kanehiro, Y. y Mikami, D.T. 1972. Some exchange adsorption and fixation properties of amorphous volcanic ash soils of Hawaii. II Panel sobre suelos volcánicos de América Latina, Pasto, Colombia. p.39-58.
- Kamprath, E.J. 1975. La acidez del suelo y la aplicación de cal. In *Suelos de las Regiones Tropicales húmedas.* Ed. Marymar. Arg. 269 p.
- Kamprath, E.J. 1970. Exchange aluminum as a criterion for liming leached mineral soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34:252-254.
- Kanwar, J.S. 1966. Phosphate retention by some Australian Soils. *Soil Sci.* 82(1):43-50.
- Kawai, K. 1980. The relationship of phosphorus adsorption to amorphous aluminum for characterizing andosols. *Soil Sci.* 129(3):186-190.
- Keyser, H.H. y Munns, D.N. 1979. Tolerance of rhizobia to acidity, aluminum and phosphate. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43:519-523.
- Lance, J.C. y Pearson, R.W. 1969. Effect of low concentrations of aluminum on growth and water and nutrient uptake by cotton roots. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 33:95-98.
- Larry P. Gough, Hansford I., Schakletl and Arthur A.C. 1980. Elements concentration toxic to plants animals and man. *Geological Survey Bull* 1466 W.D.C. Second Printing. pp. 4-7.
- López-Hernández, D., Flores, D., Siegert, G y Rodríguez, J.V. 1979. The effect of some organic anions on phosphate removal from acid and calcareous soils. *Soil Sci.* 128(6):321-326.

- López, M. 1969. Problemas de fertilización en suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Centro de Enseñanza e Investig. Turrialba, Costa Rica. C.1.3-8.
- López R., y López M.J. 1978. Deficiencias Minerales. El diagnóstico de suelos y plantas. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. p. 248-249.
- Martini, J.A. 1969. Distribución y características de los suelos derivados de cenizas volcánicas de Centroamérica. Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba, Costa Rica. A.5.1-19.
- Matsumoto, H. y Hirasawa, E. 1979. Less involved of phosphorus deficiency in the inhibition of root elongation of pea seedlings by aluminum. Soil Sci. Plant Nutr. 25(1):93-101.
- Miller, R.W. 1967. Soluble silica in soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 31:46-50.
- Miramontes, F.B. 1972. Efectos de carbonato y silicato de calcio sobre el rendimiento de sorgo y algunas propiedades químicas de tres suelos de México. Colegio de Postgraduados de Chapingo. Tesis Maestro en Ciencias Agrícolas.
- Monteilh, N.H. y Sherman, G.D. 1972. A comparison on the use of liming material on Hidrol Humic Latosol and Humic Ferruginous latosol in Hawaii. Soil and Fertilizers: 26:
- Mohr, E.C.J., Van Baren, F.A. y Van Schuyenborgh, J. 1972. Tropical Soil. A Comprehensive Study of their Genesis. The Hague, Paris, Diakarta. p. 398-399.
- Morillo, M.R. y Fassbender, H.W. 1968. Formas y disponibilidades de fosfatos de los suelos de la cuenca baja del río Choluteca, Honduras. Turrialba 18(1):26-33.
- Munns, D.N. 1965. Soil acidity and growth of a legume I. Interactions of lime with nitrogen and phosphate on growth of Medicago sativa L. and Trifolium subterraneum L. in solution culture. Australian Journal Agric. Res. 16:733-741.
- Munns, D.N. 1965. Soil acidity and growth of a legume. II. Reactions of aluminum and phosphate in solution and effects of aluminum, phosphate, calcium and pH on Medicago sativa L. and Trifolium subterraneum L. in solution culture. Australian Journal Agric. Res. 16:743-755.
- Munns, D.N. 1965. Soil acidity and growth of a legume. III. Interaction of lime and phosphate on growth of Medicago sativa L. in relation to aluminum toxicity and phosphate fixation. Australian Journal Agric. Res. 16:757-766.
- Navarro, I., Turrent, F.A., Laird, J.R., Ortega, I.E. 1962. Problemas de fertilidad en algunos suelos de la Sierra Parasca. Agric. Tec. No. 12. S.A.G. México.
- Olson, R.A. y Engelstad, O.P. 1975. El fósforo y el azufre del suelo. In Suelos de las regiones tropicales húmedas. Ed. Marymar, Arg. 269 p.

- Ortega E.J., y Guerrero, R.R. 1972. Comportamiento de las formas de fósforo y sus relaciones con la absorción de P por la avena, bajo tres fuentes de fertilización fosfatada en un latosol de Nariño, Colombia. *Turrialba* 22(4):420-430.
- Palencia O., y Martini, J.A. 1970. Características morfológicas, físicas y químicas de algunos suelos derivados de cenizas volcánicas en Centroamérica. *Turrialba* 20(3):279-287.
- Palma, G. y Fassbender, H.W. 1970. Estudio del fósforo en suelos de América Central V. Uso de resinas de intercambio para evaluar la disponibilidad de P. *Turrialba* 20(3):279-287.
- Pastrana, A.L. 1979. Efecto residual de rocas fosfóricas en suelos ácidos de Huimanguillo, Tab. Memorias del XII Congreso Nal. de Ciencias del Suelo. Morelia, Mich. México.
- Pastrana, A.L. 1979. El uso de cal dolomítica en suelos ácidos de la sabana de Huimanguillo, Tab. Memorias del XII Congreso Nal. de Ciencias del Suelo. Morelia, Mich. México.
- Quirós, S. y González, M.A. 1979. Neutralización del aluminio intercambiable y aprovechamiento del fósforo en tres suelos de Costa Rica. *Agron. Costarr.* 3(2):137-149.
- Ramos H., S.G. 1979. Estudios edafológicos de una zona cafetalera de Soconusco, Edo. de Chiapas. Tesis Biólogo, Fac. de Ciencias, UNAM.
- Ramos H., S.G. y Aguilera H.N. 1980. Estudios edafológicos de una zona cafetalera de Soconusco, Edo. de Chiapas. Tomo I. XIII Congreso Nal de la Ciencia del Suelo. Iolucá, Edo. de México. p-258-277.
- Ramos H., S.G. y Aguilera H.N. 1981. Comportamiento de fertilizantes fosfatados y el uso de enmiendas calcáreas y silicatadas en suelos fijadores de fósforo. XIV Congreso Nal. de la Ciencia del Suelo. San Luis Potosí, México.
- Reeve, N.G. y Sumner, M.E. 1970. Effects of aluminum toxicity and phosphorus fixation on Crop growth on Oxisol in Natal. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 34:263-267.
- Ríos, H.W. y Pearson, M. 1964. The effect of some chemical environmental factors on cotton root behavior. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 28:232-235.
- Roy, A.C., Ali, M.Y., Fox, R.L. and Silva, JR. 1971. Influence of calcium silicate on phosphate solubility and availability in Hawaiian latosols. *Int. Symp. on Soil Fertility Ev. Proc. N. Delh* 1:757-765.
- Sánchez S. L. F. y Owen B.E.J. 1978. Estudio comparativo de fuentes de fósforo en un Oxisol de Pie de Monte. *Turrialba* 13(4):641-648.
- Saunders, H.M. y Williams, E.G. 1955. Determination of total organic phosphorus in Soils. *Journal of Soil Science* 6(1):254-260.

- Sen Gupta, M.B. y Cornfield, A.H. Phosphorus in calcareous soils. I. The inorganic phosphorus fractions and their relations to the amount of calcium carbonate present. *Journal of the Science of Food and Agric.* 13(4):652-655.
- Serpa, R. y González, M.A. 1979. Necesidad de cal en tres suelos ácidos de Costa Rica. *Agron. Costarr.* 3(2):101-108.
- Silva, J.R. 1971. Possible mechanisms for crop response to silicate applications. *International Symp. on Soil Fertility. Eval. Proc. New Delhi* 1:757-765.
- Suárez, D., e Igue, K. 1974. Efecto del tamaño de granos en la absorción de fósforo en suelos volcánicos. *Turrialba* 24(2):180-186.
- Suehisa, R.H., Younge, O.R. y Sherman, G.D. 1963. Effects of silicates on phosphorus availability to Sudan grass on Hawaiian Soils. *Agric. Exp. Sta. of Hawaii. Tech. Bull.* 51.
- Swindale, L. 1969. Propiedades de los suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. *Centro de Enseñanza e Investigación. Turrialba, Costa Rica.* 8,9.1-11.
- Swindale, L. 1964. The properties of soil derived from volcanic ash. *Report the Meeting on the Classification and correlation of soil from Volcanic as. World Soil Resources Rep. 14, FAO, Rome.*
- Syers, J.K., Williams, J.D.H., Walker, T.H. and Chapman, J.A. 1970. Mineralogy and forms of inorganic phosphorus in a gray wacke soil-rock weathering sequence. *Soil Sci.* 11(2):110-116.
- Tandon, H.L.S. 1970. Fluoride-extractable aluminum in soils: 2. As a index of phosphate retention by soils. *Soil Sci.* 109(1):13-18.
- Turrent, F.A. 1963. Estudios de las formas de eliminar el retraso del crecimiento de lechugas cuando se trasplantan en el invernadero sobre suelos de la Sierra Tarasca, Mich. *Colegio de Postgraduados E.N.A. Tesis Maestro en Ciencias Agrícolas.*
- Turrent, F.A. 1960. Determinación de los coeficientes de absorción de fósforo de diferentes fuentes por plántulas de sorgo. *Tesis Ing. Agrón. Esp. de Fitotecnia, E.N.A. Chapingo, México.*
- Urrutia, J. e Igue, K. 1972. Reacciones de los fosfatos monocálcico monohidratado y dicálcio anhidro en suelos volcánicos. *Turrialba* 22(2):144-149.
- Vanderdeelen, J., Pino I.N., y Baert, I. 1973. Kinetics of phosphate adsorption in a soil derived from volcanic ash. *Turrialba* 23(3):292-296.
- Villachica, L.H., Quevedo I.F. 1972. Efecto del encalado en el rendimiento y con centración de nutrimentos en el sorgo. *Turrialba* 22(1):11-17.
- Villar, S.A. y Patrana, A.L. 1979. Efecto del encalado sobre algunas propiedades químicas y de aprovechamiento del fósforo en suelos ácidos de la Sabana de Huimanguillo, *Tab. Memorias del XII Congreso Nal. de la*

ciencia del Suelo. Morelia, Mich. México.

- Wada, K. 1959. Reaction of phosphate with allophane and halloysite. *Soil Sci.* 87(6):325-330.
- Wada, K. y Gunkigake, H. 1979. Active aluminum and iron and phosphate adsorption in ando soils. *Soil Sci.* 128(6):331-336.
- Williams, C.H. and Simpson, R.R. 1965. Some effects of cultivation and waterlogging on the availability of phosphorus in pasture soils. *Australian Journal Agric. Res.* 16:757-763.
- Williams, J.D.H., Syers, J.K., Walker, T.W. and Rex, R.W. 1970. A comparison of methods for the determination of soil organic phosphorus. *Soil Sci.* 110(1):13-17.
- Woodruff, J.R. y Kamprath, F.J. 1965. Phosphorus adsorption maximum as measured by the Langmuir isotherm and its relationship to phosphorus availability. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 29:148-150.
- Yamada, S. 1980. Distribution and morphology of Soils Derived from Volcanic ash in Japan. CTMMYT, Edit. Las Américas, Méx.
- Younge, O.R., y Plucknett, D.L. 1966. Quenching the high phosphorus fixation of Hawaiian Latosols. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30:653-655.

- 131 -

IX. A P E N D I C E

CUADRO No. 21 ANALISIS DE VARIANZA EXPERIMENTO I.

Fuente de variación	S.C.	G.L.	C.M.	F	SIGNIF. DE T
Fertilizante fosfatado	2.967	3	0.989	36.059 **	0.000
Enmienda calcárea	0.171	2	0.085	3.113 N.S.	0.054
Enmienda silicatada	0.026	2	0.013	0.470 N.S.	0.628
Fertilizante fosfatado-en calado.	0.359	4	0.090	3.270 *	0.019
Fertilizante fosfatado-silicatos.	0.021	3	0.007	0.256 N.S.	0.857
Residual	1.234	45	0.27		
TOTAL	5.046	59	0.086		

CUADRO No. 22. ANALISIS DE VARIANZA DEL EXPERIMENTO II.

Fuente de variación	S.C.	G.L.	C.M.	F	SIGNIF. DE T
Fertilizante fosfatado	382.394	3	127.465	41.408 **	0.000
Enmienda Calcárea	50.859	3	16.953	5.507 N.S.	0.002
Enmienda Silicatada	108.391	3	36.130	11.737 N.S.	0.000
Fertilizante fosfatado-En calado.	46.313	9	5.146	1.672 *	0.109
Fertilizante fosfatado-Silicatos.	68.393	9	7.599	2.469 **	0.015
Residual	258.576	84	3.078		
TOTAL	959.188	111	8.641		

** Altamente significativo al 1%

CUADRO No. 23 ANALISIS DE VARIANZA DEL EXPERIMENTO III

Fuente de variación	S.C.	G.L.	C.M.	F.	SIGNIF. DE T
Fertilizante fosfatado	2253.396	3	751.132	235.561 **	0.000
Enmienda calcárea	22.721	3	1.574	2.375 N.S.	0.074
Enmienda silicatada	14.909	3	4.970	1.559 N.S.	0.204
Fertilizante fosfatado- Enmienda calcárea.	35.946	9	3.994	1.253 N.S.	0.271
Fertilizante fosfatado- Enmienda Silicatada.	47.380	9	5.264	1.651 N.S.	0.110
Enmienda calcárea- Enmienda silicatada.	0.660	9	0.073	0.023 N.S.	1.00
Residual	353.996	111	3.169		
TOTAL	3671.942	147	24.979		

** Altamente significativo al 1%

N.S. No significativo.

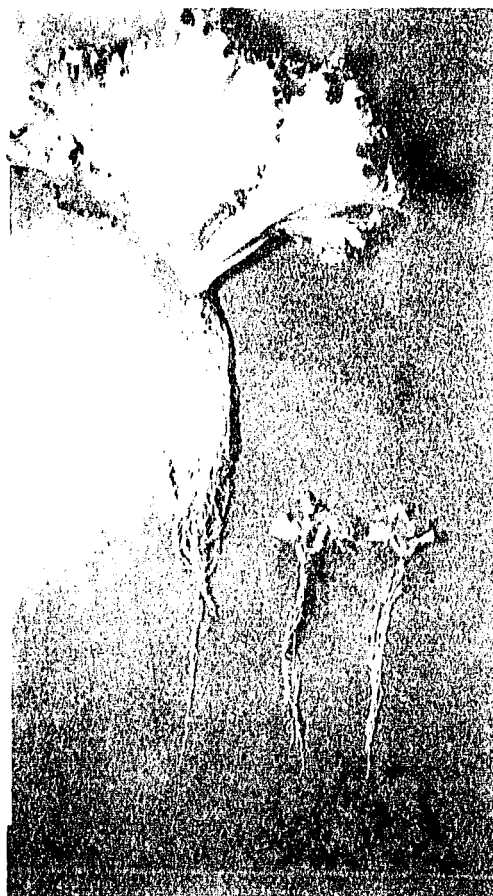


Fig. No. 2. Las raíces de la planta de lechuga no desarrollaron en la no fertilización fosfatada (derecha), en tanto que la planta que recibió la máxima cantidad de fósforo, incrementaron su crecimiento.



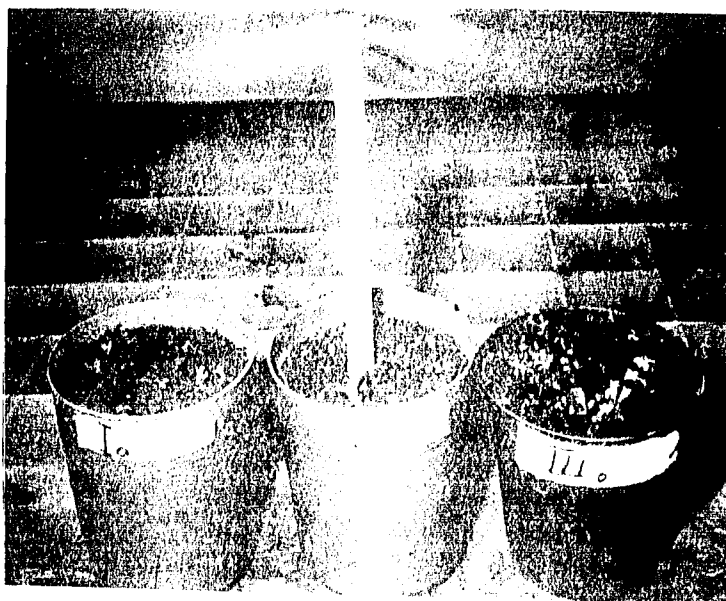


Fig. 10. 1. Plants of the first generation in the greenhouse. 2. Plants of the second generation in the greenhouse. 3. Plants of the third generation in the greenhouse.



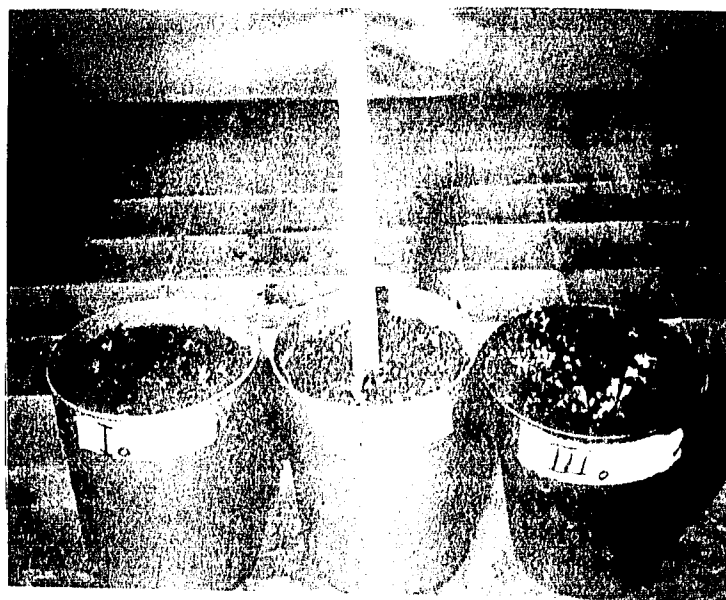


Fig. No. 1. Plantas en crecimiento normal en los cuencos testigo I, II, III, con el mismo tipo de crecimiento.



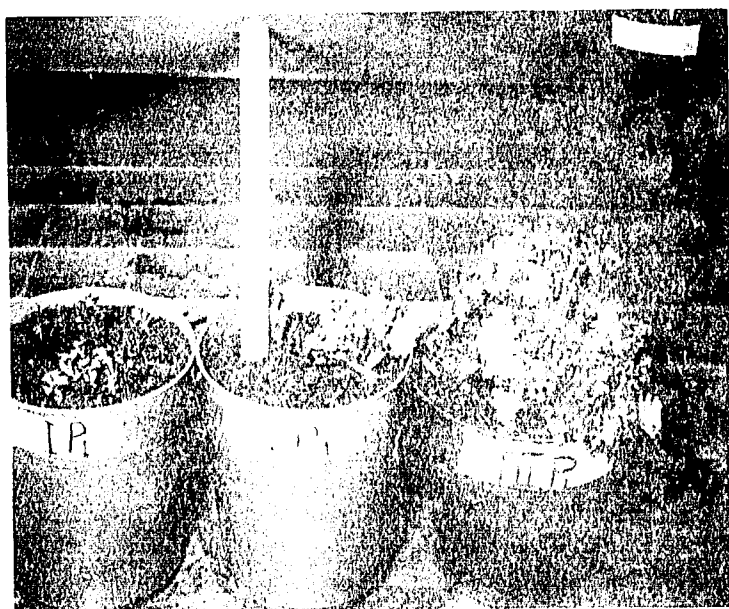
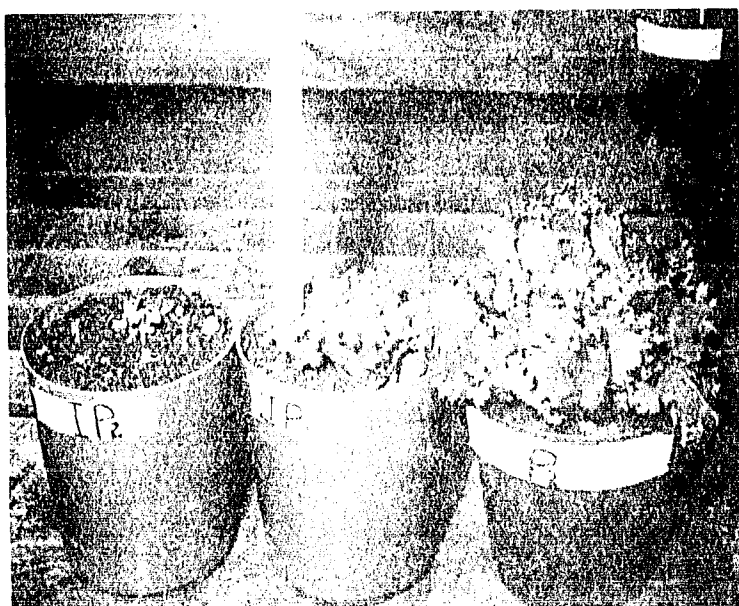
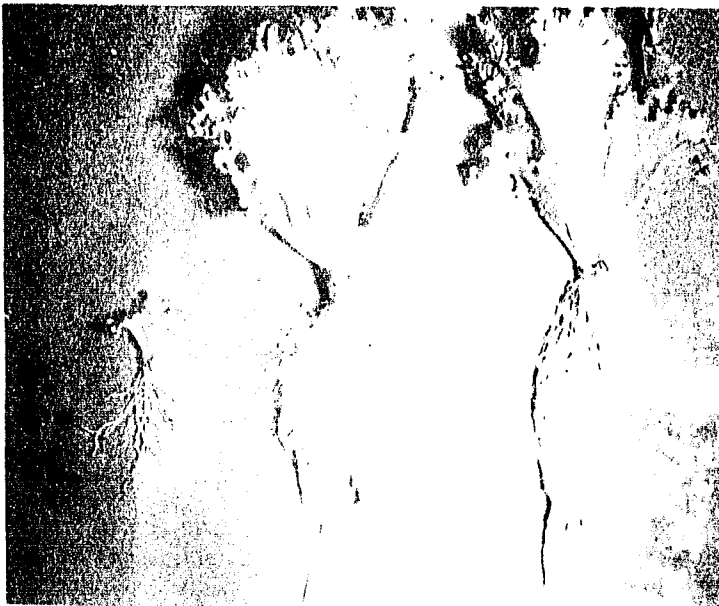


Figure 1. Seedling emergence and growth of *Phaseolus vulgaris* L. in response to different concentrations of Ca^{2+} and Mg^{2+} .





Lám. No. 3. El efecto de 20 ppm Ca^{++} y 20 meq $Ca/100$ g de suelo, como fertilizante foliar, incrementó los rendimientos en el suelo oxisólico III.

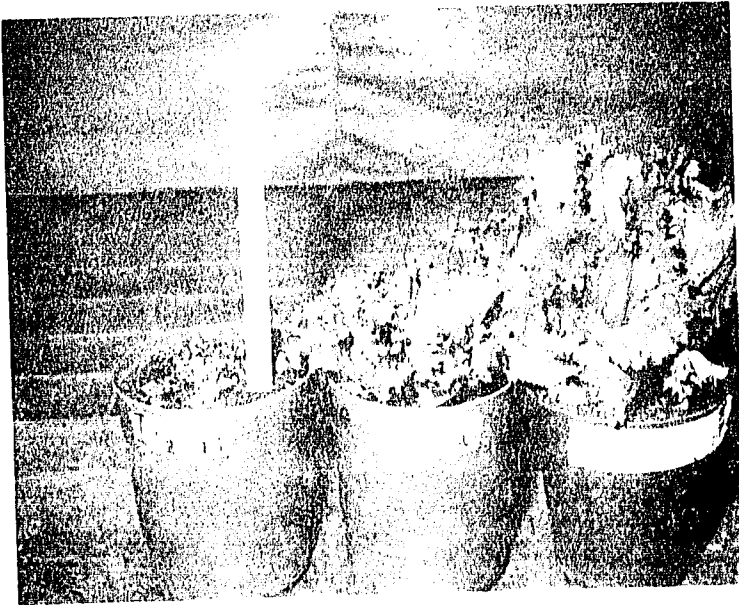


Lám. No. 4. El efecto de 20 ppm Ca^{++} y 20 meq $Ca/100$ g de suelo, como fertilizante foliar, incrementó el desarrollo de las raíces en el suelo oxisólico III.



Lám. No. 11. Efecto de la aplicación de 100 y 300 ppm Si en los tres suelos. La deficiencia es notoria en el caso del Suelo A (pH 5.1) en el Oxisólico III.





1. The α and β components of the α -ketoglutarate dehydrogenase complex are encoded by the same gene, but are expressed at different times during the cell cycle.

