

**EFFECTO DE LA ADICION DE CAL Y SILICE SOBRE FORMAS Y FIJACION
DE FOSFORO EN SUELOS DE NARIÑO Y PUTUMAYO**

Por

**EDGAR A. BURBANO ORJUELA
ALFONSO MAFLA BECERRA**

**Tesis de Grado presentada como requisito
parcial para optar al título de
INGENIERO AGRONOMO**

Presidente de Tesis

RICARDO GUERRERO RIASCOS I.A., M.Sc.

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS
PASTO - COLOMBIA**

1.973

T
E-637.75
83946
Ej. 1

- II -

"Las ideas y conclusiones aportadas en la Tesis de Grado, son de responsabilidad exclusiva de sus autores".

Art. 10. del Acuerdo 324 de 1.966, de Octubre 11, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

A MIS AMIGOS

D E D I C O

EDGAR ALFREDO BURBANO ORJUELA

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

A MIS FAMILIARES

A MIS AMIGOS

DEDICO

ALFONSO MAFLA BECERRA

ACRADECIMIENTOS A:

RICARDO GUERRERO RIASCOS I.A., M.Sc.

HERNAN BURBANO ORJUELA I.A., M.Sc.

FRANCISCO CORTES DE LA ESPRIELLA

RITHA DELGADO DE HURTADO

LA UNIVERSIDAD DE NARIÑO

Al personal del Laboratorio de Suelos
de la Facultad de Ciencias Agrícolas.

Todas las personas que en una u otra
forma colaboraron en el desarrollo del
presente trabajo.

CONTENIDO

	Pág.
I. INTRODUCCION	1
II. REVISION DE LITERATURA	2
2.1 Naturaleza del fenómeno de fijación de fos- fatos	2
2.2 Magnitud de fijación de fosfatos y sus for- mas	3
2.3 Factores que inciden en la fijación de fós- foro	6
2.4 Efecto del encalado sobre la fijación de fos- fatos	8
2.5 Efecto de las aplicaciones de sílice sobre la fijación de fosfatos	11
III. MATERIALES Y METODOS	14
3.1 Suelos	14
3.1.1 Suelos del Altiplano de Pasto	14
3.1.2 Suelos de la Llanura del Pacífico	14
3.1.3 Suelos del Bajo Putumayo	15
3.2 Procedimiento experimental	15
3.2.1 Incubación y Tratamientos	15
3.2.2 Determinación de la capacidad y de - las formas de fijación del fósforo	16
3.2.3 Análisis Estadístico	16
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	19
4.1 Efecto del encalamiento sobre los fosfatos del suelo	19
4.1.1 Fosfatos de Calcio	19
4.1.2 Fosfatos de Aluminio	20
4.1.3 Fosfatos de Hierro	22
4.1.4 Fósforo Orgánico	23
4.1.5 Fósforo fácilmente reemplazable y a- provechable	23

	Pág.
4.2 Efecto de la adición de sílice sobre los fosfatos del suelo.	24
4.2.1 Fosfatos de Calcio.	25
4.2.2 Fosfatos de Aluminio.	25
4.2.3 Fosfatos de Hierro.	26
4.2.4 Fósforo Orgánico.	27
4.2.5 Fósforo fácilmente reemplazable y Fósforo Aprovechable	27
4.3 Efecto del encalamiento sobre los parámetros de fijación de fosfatos.	28
4.3.1 Formas de "precipitación"	28
a) Fosfatos de Calcio.	28
b) Fosfatos de Aluminio.	29
c) Fosfatos de Hierro.	31
4.3.2 Precipitación Total	32
4.3.3 Fijación por Adsorción.	32
4.3.4 Fijación Total.	33
4.4 Efecto de la adición de sílice sobre los parámetros de fijación	33
4.4.1 Formas de "precipitación"	34
a) Fosfatos de Calcio.	34
b) Fosfatos de Aluminio.	34
c) Fosfatos de Hierro.	35
4.4.2 Precipitación Total	36
4.4.3 Fijación por Adsorción.	36
4.4.4 Fijación Total.	36
V. CONCLUSIONES.	57
VI. RECOMENDACIONES	59
VII. RESUMEN	60
SUMMARY	62
VIII. BIBLIOGRAFIA.	64
APENDICE	74

TABLAS

	Pág.
Tabla I. Características generales de los suelos estudiados	18
Tabla II. Efecto de los tratamientos sobre las variables de respuesta en los suelos del Altiplano de Pasto (Resultados en ppm.)	39
Tabla III. Efecto de los tratamientos sobre las variables de respuesta en los suelos de la Llanura del Pacífico (Resultados en ppm.)	40
Tabla IV. Efecto de los tratamientos sobre las variables de respuesta en los suelos del Bajo Puturayo (Resultados en ppm.)	41
Tabla V. Cuadrados medios y significación estadística para las fracciones de fósforo.	42
Tabla VI. Cuadrados medios y significación estadística para los parámetros de fijación de fósforo	43

ILUSTRACIONES

	Pág.
Figura 1. Efectos de la adición de Cal y Sílice sobre los fosfatos de Calcio no apatíticos en los suelos estudiados	44
Figura 2. Efectos de la adición de Cal y Sílice sobre los fosfatos de Calcio apatíticos en los suelos estudiados.	45
Figura 3. Efectos de la adición de Cal y Sílice sobre los fosfatos de Aluminio en los suelos estudiados.	46
Figura 4. Efectos de la adición de Cal y Sílice sobre los fosfatos de Hierro en los suelos estudiados.	47
Figura 5. Efectos de la adición de Cal y Sílice sobre el Fósforo fácilmente reemplazable en los suelos estudiados	48
Figura 6. Efectos de la adición de Cal y Sílice sobre el Fósforo aprovechable en los suelos estudiados.	49
Figura 7. Efectos de la adición de Cal y Sílice sobre la fijación de Fósforo por Precipitación hacia los fosfatos de Calcio no apatíticos en los suelos estudiados	50
Figura 8. Efectos de la adición de Cal y Sílice sobre la fijación de Fósforo por Precipitación ha	

	Pág.
cia los fosfatos de Calcio apatíticos en los suelos estudiados.	51
Figura 9. Efectos de la adición de Cal y Sílice sobre la fijación de Fósforo por Precipitación hacia los fosfatos de Aluminio en los suelos estudiados.	52
Figura 10. Efectos de la adición de Cal y Sílice sobre la fijación de Fósforo por Precipitación hacia los fosfatos de Hierro en los suelos estudiados.	53
Figura 11. Efectos de la adición de Cal y Sílice sobre la fijación de Fósforo por Precipitación en los suelos estudiados.	54
Figura 12. Efectos de la adición de Cal y Sílice sobre la fijación de Fósforo por Adsorción	55
Figura 13. Efectos de la adición de Cal y Sílice sobre la fijación total de Fósforo en los suelos estudiados.	56

EFFECTO DE LA ADICION DE CAL Y SILICE SOBRE FORMAS Y FIJACION
DE FOSFORO EN SUELOS DE NARIÑO Y PUTUMAYO (")

Por

EDGAR A. BURBANO ORJUELA

ALFONSO MAFLA BECERRA

I. INTRODUCCION

Es conocido el hecho de que los suelos tropicales presentan varios problemas relacionados con el fósforo. La baja concentración de P-disponible a la planta, la alta capacidad de fijación del fósforo aplicado y la escasa intensidad en la reposición del P-absorbido por la planta, son los principales.

Lo anterior exige un esfuerzo tendiente no solo a conocer la magnitud de los problemas en los diferentes suelos, sino también a generar una tecnología que conduzca a la solución de los mismos.

En la búsqueda de esa tecnología, resulta de particular trascendencia la investigación relacionada con el comportamiento de las fracciones de fósforo y de la capacidad de fijación de fosfatos y sus formas, cuando los suelos son tratados con enmiendas, ya sean calcáreas o silicatadas, temas que fueron objeto del presente trabajo.

(") Tesis de grado presentada como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo, bajo la presidencia de Ricardo Guerrero Riascos I.A., M.Sc.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 Naturaleza del fenómeno de fijación de fosfatos.

La fijación del fósforo consiste en la transformación del fosfato de un fertilizante en forma menos soluble debido a las reacciones entre el fósforo liberado por el fertilizante y algunos componentes del suelo. La causa de este proceso radica en la presencia de cargas electropositivas en la materia orgánica, arcillas e hidróxidos del suelo, las cuales provocan la adsorción de los iones H_2PO_4^- , producidos por la dilución del fertilizante. Por otra parte, debido a la presencia de Ca^{++} , Fe^{+++} en la solución del suelo, se forman fosfatos simples con estos cationes, los cuales precipitan, o bien se transforman en fosfatos complejos de baja solubilidad (24).

La importancia de este fenómeno es obvia, ya que gran parte de los fosfatos aplicados son menos disponibles para las plantas al ser fijados, causando una gran pérdida económica (22).

Los investigadores han considerado de gran importancia conocer cuál de las reacciones, adsorción o precipitación, son de mayor importancia en la fijación del fósforo.

Hsu (42) ha reportado que la adsorción y la precipitación de los fosfatos son reacciones simultáneas producidas por las mismas fuerzas y que, en esencia, difieren en el grado de polimerización de los hidróxidos de hierro y aluminio del suelo que provocan la fijación.

Sin embargo, el mismo autor (43), posteriormente, señala que la fijación se debe principalmente a fenómenos de naturaleza química (precipitaciones) y que la adsorción física

no debería considerarse como un proceso significativo de fijación.

Otros autores (7, 40, 60) sostienen que los fenómenos de adsorción y precipitación ocurren en forma consecutiva.

De acuerdo a Bache (7) ocurren por lo menos tres reacciones durante el proceso de fijación:

- a) Una quimiosorción de fosfatos.
- b) Una precipitación de una nueva fase de fosfatos.
- c) Una adsorción a un nivel bajo de energía.

Hsu (42) sostiene que el proceso de retención de P es mas bien el resultado de dos reacciones; la primera de las cuales se completa en tiempo mas o menos corto (6 horas) y que corresponde a la adsorción del P a los hidróxidos del suelo. La segunda corresponde a la adsorción por hidróxidos amorfos, siendo una reacción más lenta.

Fassbender (25) concluye en un amplio estudio sobre la fijación de fósforo en suelos volcánicos de América Central, que la precipitación de fosfatos es más importante que su adsorción.

Wada (73) ha encontrado que como resultado de la precipitación de fosfatos, en presencia de alófana y halloisita, se producen fosfatos complejos de baja solubilidad llamados tarakanitas.

2.2 Magnitud de fijación de fosfatos y sus formas.

Varios autores (16, 23, 51, 71, 76) han encontrado que bajo condiciones de alta acidez en los suelos, la retención de fosfatos ocurre predominantemente como precipitación de fosfatos de aluminio y hierro.

Fassbender (23) estudiando la capacidad de fijación en suelos de Costa Rica, ha encontrado que el fenómeno es muy intenso y que ocurre asociado principalmente al aluminio. La retención fué más alta en Andosoles (86,4%) que en Latosoles (58,2%) y Aluviales (42,0%).

El mismo autor (26), en un estudio amplio de los suelos de América Central, encontró que la capacidad de fijación de P varió entre 9,7% a 94,1% del P adicionado, con un promedio general de 37,1%. Los diferentes grupos de suelos (Andosoles, Fluviosoles y otros suelos) presentaron promedios de capacidad de fijación similares.

Chang y Chu (16) encontraron, en suelos de Taiwan, que hasta el 60% del P retenido estaba asociado al hierro. Yuan et al (76), en suelos de Florida, reportaron que más de 80% del P retenido se encontraba en formas de fosfatos de aluminio y hierro.

En suelos del Brasil, Roeder y Bornemisza (64) encontraron valores muy altos de retención que oscilaban entre 84,2 y 91,8% del P añadido.

Fassbender (24) determinó la capacidad de fijación de algunos suelos tropicales de Costa Rica y Brasil. Encontró que la retención del P oscilaba entre 43 y 86% del P añadido, siendo máxima en los andosoles de Costa Rica (promedio 86,4%). La fijación estuvo asociada en un 90% con la precipitación de fosfatos de aluminio y hierro, en tanto que la precipitación de fosfatos de calcio fué muy pequeña (1,6 - 3,8%). Por otra parte, los resultados demostraron que la fijación por adsorción es mucho menos importante (3,0 - 14,5%) que la correspondiente a precipitación.

El mismo autor (27) encontró que 8 latosoles del Brasil fijaban entre el 26,83 y el 41,89% del P añadido. El 63% de

la retención estuvo asociada con la precipitación hacia fosfatos de hierro, el 27,6% hacia fosfatos de aluminio, en tanto que la precipitación hacia fosfatos de calcio no tuvo importancia (2,6 - 4,4%). La retención por adsorción fué mucho menos importante (2,0 - 7,9%) que la asociada con precipitación.

Bornemisza y Fassbender (12) estudiaron la adsorción de fósforo por planta de maíz, en un experimento de invernadero, trabajando con suelos de Costa Rica (andosoles, latosoles y aluviales) y utilizando como fertilizante el fosfato monocalcico marcado con ^{32}P , encontraron que solo un 0,91 a un 1,4% del P absorbido por la planta provenía del fertilizante agregado.

A conclusiones similares llegaron Fox y Sherman (34) utilizando bajo condiciones de invernadero, pirofosfato de sodio marcado con ^{32}P y como planta indicadora Sorghum vulgare Var. sudanense.

Un estudio de la capacidad de fijación de fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas de América Central, Fassbender (25) demostró que la precipitación de fosfatos de aluminio y hierro son las causas principales de fijación. Cinco andosoles de Costa Rica fijaron un promedio de 86,4% del P añadido. La precipitación hacia P-Al, P-Fe y P-Ca, representó el 82,5%, 14,4% y 1,64% de la fijación total, respectivamente, en tanto que la adsorción solo representó el 2,95% del fenómeno.

En suelos volcánicos de cuatro regiones de Nariño, Guerrero (37) encontró que la capacidad de fijación total de fósforo fué del 90%. La fijación por adsorción representó en promedio el 31% de la fijación total y la fijación por precipitación el 67%. Los fosfatos de hierro constituyeron la forma más importante de precipitación (29% de la fijación total), en

tanto que los fosfatos de aluminio solo respondieron por una pequeña proporción del proceso (8%) y los de calcio por el 25% de la fijación total.

En perfiles desarrollados de materiales provenientes de cuatro volcanes del Sur de Colombia, Guerrero y colaboradores (38) encontraron que el suelo retenía entre el 90 y el 99% del fósforo añadido. Entre el 30 y el 50% de la fijación total se debió a fenómenos de adsorción y un 50% de la misma estuvo relacionada con fenómenos de precipitación. Tanto la fijación total, como la precipitación y la adsorción fueron independientes de la profundidad en el perfil. Los fosfatos de hierro constituyeron la forma más importante de precipitación (30% de la fijación total).

2.3 Factores que inciden en la fijación de fósforo.

Son varios los factores edáficos que inciden en la magnitud de la fijación de fosfatos. Así, numerosos autores (1, 2, 18, 23, 24, 25, 26, 27, 40, 64) han encontrado que la fijación correlaciona positivamente con el % de carbono orgánico, % de arcillas, % Fe_2O_3 y contenido de aluminio extraíbles, mientras que con el pH la relación es inversa.

Además de los factores ya anotados, Guerrero y colaboradores (38) encontraron en suelos volcánicos del Sur de Colombia que entre mayor era la concentración de fosfatos de aluminio, mayor era la intensidad del fenómeno de precipitación de fosfatos y que, por otra parte, un incremento en el contenido de SiO_2 significa una disminución estadísticamente detectable en la precipitación de fosfatos.

Sin embargo, la magnitud del efecto de las propiedades del suelo sobre la fijación depende de las condiciones o naturaleza del suelo. Así, Fassbender (26) indica que el efecto

positivo de la materia orgánica y el negativo del pH, es mucho más importante en los suelos andosoles que en los fluvisoles y otros tipos de suelos.

Si bien las arcillas relacionan directamente con la capacidad de fijación de fósforo, el grado de esta relación depende del tipo de arcilla. Así, Tisdale y Nelson (70) señalan que el fósforo es retenido en una mayor cantidad por las arcillas tipo 1:1 que por las arcillas tipo 2:1. A este respecto, Coleman (14) afirma que el fósforo fijado por la montmorillonita y caolinita está relacionado con el hierro y el aluminio libres en tales arcillas. Por otra parte, León (51) sostiene que en gran parte, la alta capacidad de fijación de fósforo encontrado en algunos suelos colombianos está seguramente asociada con la presencia de apreciables cantidades de alófana.

En lo pertinente al pH, Fassbender (23, 24, 27) indica que, bajo condiciones ácidas, la retención de fosfatos en el suelo se realiza preferentemente en forma de fosfatos menos solubles de aluminio y hierro. Cuando sube el pH, disminuye la actividad de estos cationes, disminuyendo también la fijación de fosfatos en el suelo.

En lo que respecta al efecto de la materia orgánica, se sabe que los extractos de humus de los suelos aumentan la solubilidad del fósforo por las siguientes razones: a) la formación de complejos fósforo-húmicos que son más fácilmente asimilados por las plantas; b) reemplazo del anión del fosfato por el ión humato, y c) cubrimiento de las partículas de sesquióxidos por el humus, formando así una barrera protectora que reduce la capacidad de fijación de fosfatos (70).

Otro factor importante es el tiempo de contacto entre el fósforo y las partículas de suelos. De acuerdo a Tisdale y Nelson (70), cuanto mayor sea el tiempo en que el sue-

lo y el fósforo añadido estén en contacto, mayor será la cantidad de fósforo fijado. Una importante consecuencia práctica está relacionada con el tiempo tras la aplicación durante el cual la planta es capaz de utilizar el fósforo del fertilizante aplicado.

Con respecto a lo anterior, Hernández y Mesías (41), en suelos de la Intendencia del Putumayo, encontraron que a las 8 semanas, bajo condiciones de laboratorio, prácticamente había desaparecido el fósforo soluble añadido.

2.4 Efecto del encalado sobre la fijación de fosfatos.

De acuerdo a Fassbender y Molina (30), el encalamiento influye sobre la disponibilidad de los fosfatos del suelo, a través de su influencia sobre:

a) La disolución de los fosfatos inorgánicos, mediante la hidrólisis de los fosfatos de hierro y aluminio y la formación de fosfatos cálcicos.

b) La activación de la mineralización de los fosfatos orgánicos.

c) La disminución de la fijación de fósforo.

d) El aumento de la actividad iónica del H_2PO_4^- presente en la solución del suelo.

Según Black (11), el efecto del encalado sobre la fijación de fósforo ocurre en razón de que, a través de la disolución del material de enmiendas, aumenta la concentración de iones OH^- , los cuales compiten con los de Al^{+++} y Fe^{+++} por el enlace de los iones fosfato; produciéndose por otra parte, la hidrólisis de los fosfatos de hierro y aluminio. Estos proce -

Los suelos conducen; en últimas, al aumento de la concentración de fósforo en la solución del suelo.

En suelos de la zona templada, algunos autores, informan sobre el efecto benéfico del encalamiento en el fenómeno de fijación de fosfatos. Así, en suelos ácidos de Irlanda el encalamiento incrementó la aprovechabilidad del fósforo y el efecto residual del fertilizante fosfatado utilizado (56).

Griffin (36) indica que adiciones de Ca(OH)_2 incrementaron el fósforo extraído por el método Morgan en un 123% y el extraído por el método Carolina del Norte en un 23%. Sin embargo, disminuyó el fósforo extraído por el método Bray I en un 23%.

Woodruff y Kamprath (75) indican que la adsorción de fosfatos se reduce mediante el encalado de suelos decididamente ácidos (pH 4,0 a 4,8), pero su efecto es muy pequeño en suelos ligeramente ácidos (pH 5,2 a 5,9).

En suelos tropicales los resultados son decididamente contradictorios. En un Andosol de Costa Rica, Fassbender (28) encontró que la adición de 1.000, 2.000 y 3.000 Kg/Ha. de cal no afectó significativamente los fosfatos de hierro y aluminio y tan solo aumentó ligeramente los fosfatos de calcio. Tampoco hubo ningún efecto de la cal sobre la fijación de fosfatos y sus formas, pero sí incrementó la producción de materia seca, efecto que el autor atribuye a las interacciones P-Ca-Mg en la nutrición de las plantas indicadoras.

En suelos derivados de cenizas volcánicas de Costa Rica, Fassbender y Molina (30) llegaron a resultados similares a los anteriores. Sin embargo, pudieron comprobar que el encalado aumentó la solubilidad de los fosfatos del suelo.

En suelos de Hawaii, Fox y colaboradores (35) de-

mostraron que con la adición de cal aumentó el pH, disminuyendo el aluminio cambiante y, en consecuencia, se atenuó la fijación de fosfatos.

Cabala y Fassbender (13), al encalar suelos de la región cacaotera de Bahía, Brasil (oxisoles), encontraron muy poco efecto sobre los fosfatos inorgánicos del suelo y sobre la fijación de fósforo. Igualmente, observaron que el encalamiento no influyó sobre el fósforo aprovechable extraído por diferentes métodos.

En un trabajo reciente, Lucas y Blue (53) investigando el efecto de las adiciones de cal y fósforo en entisoles aluviales de Costa Rica, encontraron que el encalamiento incrementó substancialmente la precipitación de fosfatos de aluminio, especialmente a niveles altos de aplicación de fosfatos, pero su efecto sobre los fosfatos de hierro y de calcio fué insignificante.

A resultados similares habían llegado Fiskell y Spencer (33), al demostrar que al cabo de seis años de fuertes aplicaciones de fósforo y cal, la mayor parte del fósforo fijado estaba en forma de fosfatos de aluminio y de hierro.

En relación a lo anterior, Spencer (68) encontró que después de 17 años, durante los cuales se aplicaron 1.500 Kg/Ha. de fósforo a un suelo arenoso ácido, la concentración de fósforo fué máxima en los primeros 15 cms. de profundidad, en el suelo encalado, mientras que en aquel que no recibió cal, la concentración máxima de fósforo se presentó entre 30 y 90 cms. de profundidad. Lo anterior en razón del incremento en la precipitación de fosfatos producidos por el encalado.

Finalmente, en suelos Latosólicos de los Llanos Orientales de Colombia, Benavides (10) encontró que la adición

de fuertes dosis de cal, combinadas con la aplicación de 100 ppm. de fósforo, aumentaron los valores de pH en cerca de dos unidades, pero no hubo un efecto significativo sobre la capacidad de fijación de fosfatos.

2.5 Efecto de las aplicaciones de sílice sobre la fijación de fosfatos.

La esencialidad del silicio para el desarrollo de la planta no se ha determinado. Plantas que normalmente contienen altas cantidades de silicio, se desarrollan normalmente en ausencia de este elemento (46).

Sin embargo, algunos autores han informado sobre el efecto benéfico de las adiciones de sílice, bajo determinadas condiciones. Los resultados son diversos y muchas veces contradictorios.

Raleigh (63) estudió el efecto de varias fuentes silicatadas sobre el crecimiento de las plantas de tomate en suelos de los Estados Unidos, concluyendo que los silicatos conducen a mejores cosechas, solo cuando se aplica a suelos deficientes en fósforo.

Datta y colaboradores (19), en suelos aluviales de la India, encontraron que la respuesta del trigo y arroz a las aplicaciones de sílice fué positiva y significativa, pero el efecto sobre el trébol fué nulo. El efecto benéfico de la sílice se debió a la mayor absorción de fósforo.

En suelos Latosólicos del Hawaii, Suechisa et al (69) demostraron que el efecto de las aplicaciones de silicatos depende del nivel de sílice en el suelo. Tanto en el suelo alto (30%) como en el bajo en SiO_2 (1 - 3%) no se encontró ninguna respuesta favorable a los diferentes silicatos aplicados en con

junto con los fertilizantes fosfatados. Sin embargo, en el suelo medio en SiO_2 (15 - 25%) aumentó favorablemente la producción de material vegetal.

En experimentos llevados a cabo por Fassbender y Muller (31), en suelos altamente fijadores de fosfatos, la adición de 200 ppm. de sílice, en combinación con 200 ppm. de fósforo, solo condujo a un incremento en el rendimiento de materia seca en los suelos con pH menor que 5,0. Por otra parte, dosis ascendentes de silicatos (200, 400 y 800 ppm.) provocaron depresiones cada vez más notables en la producción de materia seca, a cualquier nivel de aplicación de fósforo. Los autores concluyen que existen múltiples aspectos por investigarse en lo pertinente a las relaciones sílice-fosfato-planta.

Fassbender y Molina (30), en suelos derivados de cenizas volcánicas de Costa Rica, consiguieron aumentar la producción de materia seca y la absorción de fósforo por la planta de tomate, cuando utilizaron fertilizantes silicofosfatados (Fosfato Renania, Escorias Thomas, Rekapos) en comparación al superfosfato triple.

En suelos tropicales de la India, Vyas y Motiramani (72) incrementaron la concentración del fósforo aprovechable nativo y del aplicado, mediante aplicaciones de sílice comprendidas entre 1.000 y 3.000 ppm. Por otra parte, Roy (65), en suelos procedentes del mismo País, encontró que las aplicaciones de sílice disminuyeron en un 9% la fijación de fosfatos en un suelo rico en hidróxidos y en un 43% en un suelo rico en caolinita, lo cual se refleja en un incremento del fósforo aprovechable y del rendimiento de la caña.

Fox y colaboradores (35) consiguieron incrementar en 12 Ton/Ha. el rendimiento de caña, mediante adición de silicato de calcio en un latosol húmico de Hawaii. Comparativamente

te, el efecto de la cal fué muy inferior.

En suelos latosólicos de los Llanos Orientales de Colombia, Benavides (10) llegó a conclusiones negativas en cuanto al efecto de las adiciones de sílice. Efectivamente, la aplicación de 1.000 a 4.000 Kg/Ha. de SiO_2 no redujo la fijación del fertilizante fosfatado.

De acuerdo a las investigaciones de Lucas y Blue (54), en entisoles aluviales de Costa Rica, el efecto de aplicaciones de silicato de calcio, en dosis comprendidas entre 2.500 y 5.000 ppm., tuvo un efecto significativo pero temporal sobre el contenido de fósforo en el forraje del pasto Pangola.

Hunter (46) al investigar el efecto de aplicaciones de silicato de calcio (8.000 - 16.000 Kg/Ha.) sobre las plantas de avena, cebada y alfalfa, concluye que hubo un incremento significativo en su desarrollo y en la absorción de fósforo. Atribuye estos efectos a un aumento en la aprovechabilidad del fósforo, provocado por intercambio aniónico y descarta la hipótesis de que el silicio incida en la nutrición de la planta.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Suelos.

Para la presente investigación se utilizaron suelos de diferentes regiones del Departamento de Nariño e Intendencia del Putumayo, formados bajo distintas condiciones de desarrollo.

3.1.1 Suelos del Altiplano de Pasto.

Se utilizaron dos suelos de origen volcánico, pero de diferente grado de desarrollo.

a) Catambuco: Se puede calificar como un suelo andosol joven del tipo A (B) C. Está ubicado a 2.840 m.s.n.m., bajo una temperatura promedio anual de 12°C. y una precipitación promedio de 700 mm/año. Ecológicamente está dentro de la formación bosque seco montano bajo (bs-MB) (57).

b) Km. 10, Pasto-Cano: Es un suelo andosol típico del tipo A (B) C. Está ubicado a 2.900 m.s.n.m., dentro de la formación ecológica bosque húmedo montano bajo (bh-MB), con una temperatura media de 11°C. y una precipitación promedio de 1.000 mm/año (5).

3.1.2 Suelos de la Llanura del Pacífico.

a) Diviso: Este suelo podría clasificarse como latosol y se encuentra ubicado a 1.200 m.s.n.m., bajo una temperatura promedio de 24°C. y una precipitación entre 3.000 y 5.000 mm/año. Ecológicamente está dentro de la formación bosque muy húmedo subtropical (bmh-ST) (50).

b) Tangareal: Este suelo, desarrollado de materiales aluviales, está ubicado a 115 m.s.n.m., en la forma-

ción bosque muy húmedo tropical (bmh-T), bajo una temperatura promedio anual de 26°C. y una precipitación entre 3.000 y 5.000 mm/año (4).

3.1.3 Suelos del Bajo Putumayo.

a) Cafelina: Es un suelo latosólico que se encuentra localizado en la formación bosque muy húmedo tropical (bmh-T), a 500 m.s.n.m., con una precipitación entre 2.000 y 4.000 mm/año y una temperatura promedio de 26°C. (21).

b) Canangucho: Es un suelo latosólico, localizado a 800 m.s.n.m., dentro de la formación ecológica bosque húmedo tropical (bh-T), bajo una temperatura aproximada de 24°C. y una precipitación promedio de 3.000 mm/año (21).

En la Tabla I se presentan algunas características generales de los suelos estudiados.

3.2 Procedimiento experimental.

3.2.1 Incubación y Tratamientos.

Las muestras de suelos provenientes de los diferentes sitios, se secaron al aire, se molieron y se pasaron a través de un tamiz de 2 mm.

Cinco gramos de cada suelo fueron incubados en tubos de ensayo de 25 ml. durante seis meses, a capacidad de campo, previa aplicación de los siguientes tratamientos:

- a) Testigo.
- b) Adición de 3% de cal, como CaCO_3 del 99,5% de pureza.
- c) Adición de 800 ppm. de sílice en forma de Na_2SiO_3 .

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones.

3.2.2 Determinación de la capacidad y de las formas de fijación del fósforo.

Las fracciones minerales de fósforo se determinaron mediante la técnica de Chang y Jackson (17), con las modificaciones de Ghani empleadas por Sen Gupta y Cornfield (66).

La capacidad de retención de fósforo se determinó mediante la técnica de Fassbender e Igue (29) determinándose el fósforo colorimétricamente y utilizando 5 gr. de suelo.

Las formas de precipitación de los fosfatos se determinaron de acuerdo a la técnica descrita por Guerrero y colaboradores (38), mediante la diferencia entre la concentración de las fracciones minerales de fósforo obtenido, después de agregar una solución que contenía 100 ppm. de fósforo, con agitación de 6 horas, y las respectivas concentraciones originales en los suelos. La suma de la retención hacia las diferentes fracciones (P-Ca no apatítico, P-Ca apatítico, P-Aluminio y P-Hierro) se denominó "precipitación" total. La fijación por adsorción se obtuvo por diferencia entre la capacidad de fijación y la precipitación total.

El fósforo orgánico se determinó mediante el método de Ignición de Saunders y Williams, descrito por Pantoja (62). El fósforo aprovechable se extrajo utilizando la técnica Bray II.

3.2.3 Análisis Estadístico.

Para el análisis estadístico de los resultados, se utilizó un diseño de tratamientos (parcelas divididas).

Además del análisis de variancia, se llevaron a cabo pruebas discriminatorias de Tukey, tanto para suelos como para tratamientos al nivel del 1 y 5%.

TABLA I

CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS SUELOS ESTUDIADOS

VARIABLES	Km. 10	CATABUCO	TANGAREAL	DIVISO	CAFELINA	CANANGUCHO
pH	5,70	6,40	5,75	5,10	5,00	4,90
% Arenas	32,37	43,43	36,00	65,57	45,67	60,38
% Arcillas	14,39	21,97	5,25	6,89	26,47	17,19
% Limos	51,45	34,60	28,75	27,54	27,86	22,43
Textura	Franco Limoso	Franco	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Franco Arcillo Arenoso	Franco Arenoso
% Carbono Orgánico	5,40	4,85	5,96	6,93	5,62	5,13
% Materia Orgánica	9,30	8,37	10,27	15,39	9,68	8,84
C.I.C. me/100 gr.	33,13	28,06	29,90	26,79	17,06	19,68
Na me/100 gr.	0,31	0,17	0,06	0,05	0,04	0,04
K me/100 gr.	0,26	1,21	0,28	0,22	0,18	0,12
Ca me/100 gr.	0,80	8,53	1,37	0,76	0,49	1,77
Mg me/100 gr.	3,79	3,77	1,50	0,11	0,68	1,01

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

El procedimiento experimental utilizado permite evaluar el efecto de los tratamientos sobre las fracciones de fósforo o riginales y sobre los diferentes parámetros de fijación, resultados que en ese orden se presentan y discuten.

En las Tablas II a IV se presentan los resultados prome-
dios obtenidos para los diferentes tratamientos en los diferen-
tes suelos experimentales. En las Tablas V y VI se incluyen los
cuadrados medios y la significación estadística para las varia-
bles de respuesta en estudio. En las Tablas I a XXVI del Apéndice se muestran los resultados de las pruebas de Tukey.

4.1 Efecto del encalamiento sobre los fosfatos del sue- lo.

4.1.1 Fosfatos de Calcio.

El encalamiento incrementó consistentemente la concentración de los fosfatos de calcio no apatíticos ($P < 0,01$) en los suelos volcánicos del Altiplano de Pasto y en los de la Llanura del Pacífico. En los suelos del Bajo Putumayo también se produjo un incremento pero de magnitud mucho menor. Sin embargo, el efecto de la interacción suelo x tratamiento no fué significativo y el incremento promedio para todos los suelos fué de 2,62 ppm. (testigo) a 7,87 ppm. (con cal) (Figura 1).

Pequeños incrementos en los fosfatos de calcio por efecto de la adición de cal también fueron encontrados por Fassbender (28), en un andosol de Costa Rica. Webber y Mattingly (74) y Larsen y Widdowson (49), por otra parte, han aportado evidencias que demuestran la precipitación del fosfato dicálcico en suelos sometidos a encalamiento.

En lo que respecta a los fosfatos de calcio apatíticos la adición de cal produjo un efecto significativo ($P < 0,01$), pero dependiente del suelo ($P < 0,01$). En efecto, el encalamiento duplicó la concentración de esta fracción en los suelos volcánicos, pero no la afectó significativamente ($P > 0,05$) en los suelos del trópico húmedo (Costa Pacífica, Putumayo) (Figura 2).

Los resultados obtenidos para los suelos volcánicos se explican en base a las evidencias experimentales encontradas por Murrman y Peech (58) y las aportadas por Hagin y Hadas (39), según las cuales los productos finales de precipitación de fosfatos en suelos encalados son la fluorapatita y la hidroxiapatita.

El comportamiento distinto de los suelos de la Llanura del Pacífico y del Bajo Putumayo, probablemente puede ser atribuido a diferencias en el pH final obtenido. Según Murrman y Peech (59), a valores de pH demasiado altos la precipitación de la fluorapatita disminuye substancialmente.

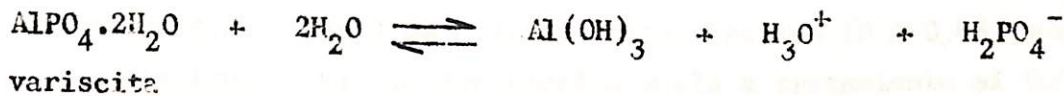
4.1.2 Fosfatos de Aluminio.

El encalamiento provocó una acentuada reducción ($P < 0,01$) en los fosfatos de aluminio (Figura 3). Este efecto fué de magnitud estadísticamente similar ($P > 0,05$) en todos los suelos experimentales y en promedio fué de 38 ppm. lo que implica una reducción aproximada al 50% del P-Al original.

Este resultado y los anteriormente expuestos para los fosfatos de calcio, están de acuerdo con el modelo teórico planteado por Black (11), y con las evidencias experimentales aportadas por Bache (6) y Webber y Mattingly (74), entre otros, según las cuales, al menos cuatro procesos químicos ocurren en el suelo cuando se adiciona cal:

- a) Disolución del CaCO_3 .
- b) Hidrólisis de los fosfatos orgánicos.
- c) Hidrólisis de los fosfatos de hierro y aluminio, y
- d) Precipitación de fosfatos de calcio.

Bache (6) indica que a altos valores de pH, conseguidos por el encalado, aumenta la concentración de los iones OH^- , provocando la solubilización de los fosfatos de aluminio, a través de su hidrólisis superficial, de acuerdo a la siguiente reacción:



Simultáneamente, los iones fosfato, así liberados, son precipitados por el calcio de acuerdo a la siguiente reacción (11):



Lo anterior explica claramente la disminución en los fosfatos de aluminio y el incremento en los fosfatos de calcio provocado por el encalamiento en el presente estudio.

Los resultados, sin embargo, no coinciden con los encontrados por Fassbender (28), Fassbender y Molina (30), en suelos volcánicos de Costa Rica, ni con los obtenidos por Cabala y Fassbender (13), en suelos del Brasil, pues en esos trabajos no se obtuvo un efecto detectable sobre los fosfatos del suelo; seguramente porque, tal como lo indican los mismos autores, el tiempo de incubación utilizado en esos casos fué muy cor

to. De otra parte, el nivel de cal aplicado en el presente trabajo es considerablemente más alto que los utilizados en tales investigaciones.

Con respecto a lo anterior, investigaciones paralelas a la presente (+), indican que el efecto de la cal sobre los fosfatos de aluminio depende del nivel de aplicación, produciéndose en algunos casos precipitación y en otros solubilización.

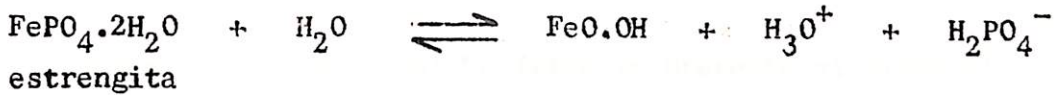
4.1.3 Fosfatos de Hierro.

Los fosfatos de hierro, en promedio, no fueron afectados, a nivel estadístico significativo ($P > 0,05$), por el encalamiento, pero la interacción suelo x tratamiento sí fue significativa ($P < 0,01$), lo que indica que el efecto no es igual en todos los suelos (Figura 4).

Al desarrollar la prueba de Tukey para cada suelo (Tablas I a XXVI del Apéndice), se estableció que el efecto de la adición de cal solamente fue significativo ($P < 0,05$) en los suelos Km. 16 (andosol) y Camangucho (latosol). En el primero, se presentó una disminución en la concentración de los fosfatos de hierro (101 ppm. a 41 ppm.), en tanto que en el segundo se presentó un aumento (60 a 115 ppm.) (Figura 4).

La disminución del P-Fe en el suelo volcánico, se explica en virtud de la hidrólisis de estos fosfatos generada por el incremento en la concentración de iones OH^- y que según Bache (7) opera de acuerdo a la siguiente reacción:

(+) Arteaga y Matta; Gudifio y Vega. Tesis en desarrollo. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas. Información personal.



De otra parte, el incremento de los fosfatos de hierro en el suelo Canangucho (latosólico) se explicaría en razón de una mayor concentración y actividad del Fe^{+++} , lo que conduciría a la precipitación de los iones fosfato liberados desde los fosfatos de aluminio.

4.1.4 Fósforo Orgánico.

El fósforo orgánico no fué afectado significativamente ($P > 0,05$) por la adición de cal en ninguno de los suelos estudiados.

Lo anterior implica que el encalamiento no afectó consistentemente la mineralización del fósforo, resultado que coincide con el encontrado por Alcoforado (3), en suelos ácidos de Costa Rica, por Cuéllar (15), en suelos volcánicos de Nariño y por Hernández y Mesías (41), en suelos del Putumayo.

4.1.5 Fósforo fácilmente reemplazable y aprovechable.

La adición de cal disminuyó significativamente ($P < 0,01$) la concentración del fósforo fácilmente reemplazable en todos los suelos estudiados. La magnitud de la disminución fué similar en los suelos experimentales ($P > 0,05$) y, en promedio, significó una caída en la concentración desde 7,16 ppm. a 3,29 ppm. (Figura 5).

La concentración de fósforo aprovechable se disminuyó drásticamente ($P < 0,01$) al adicionar cal a los suelos volcánicos. En el suelo Km. 10 la disminución fué de 21 ppm. y en el suelo Catambuco de 56 ppm. a 9 ppm. En los suelos del

Bajo Putumayo y Llanura del Pacífico se presentó el mismo efecto pero no fué significativo ($P > 0,05$) (Figura 6).

Estos resultados coinciden con la disminución causada por la cal en la fracción de fósforo fácilmente reemplazable. En teoría, debería haberse producido el efecto contrario, es decir un incremento en las dos fracciones, en razón de la hidrólisis o solubilización que se operó en los fosfatos de aluminio, y en algunos suelos, en los fosfatos de hierro, conforme a los mecanismos químicos ya descritos.

La explicación a lo anterior parece estar en la intensa dinámica del fósforo en el suelo, tal como lo plantea Larsen y Widdowson (49). En efecto, la hidrólisis de los fosfatos de hierro y aluminio, sin duda incrementó momentáneamente la concentración del fósforo soluble y cambiabile, pero inmediatamente ocurrió una nueva retención, ya sea por precipitación hacia los fosfatos de calcio apatíticos (fenómeno que se presentó intenso en los suelos volcánicos), o por mecanismos de adsorción y oclusión. Naturalmente, que al estar presente la planta en el sistema, la situación cambiaría, ya que ésta podría competir por la absorción del fósforo liberado, desde los fosfatos de hierro y aluminio, y por tanto, beneficiarse del efecto producido por la cal.

De cualquier manera, los resultados obtenidos para el fósforo soluble y fácilmente reemplazable, son contrarios a los obtenidos por algunos autores Griffin (36), McCornaghy (56), Woodruff y Kamprath (75), en suelos de regiones templadas, pero coincide con algunos resultados obtenidos en suelos del trópico (10, 13, 28, 30).

4.2 Efecto de la adición de sílice sobre los fosfatos del suelo.

4.2.1 Fosfatos de Calcio.

La adición de sílice no afectó significativamente ($P > 0,05$) los fosfatos de calcio no apatíticos y apatíticos en ninguno de los suelos estudiados. Esta situación supone que la sílice no tuvo ningún efecto sobre la solubilidad de estos fosfatos en el suelo, ni sobre la precipitación de los mismos, contrario a los efectos de la adición de cal. Este resultado es lógico por cuanto la fuente de sílice utilizada no era portadora de calcio (Figuras 1 y 2).

4.2.2 Fosfatos de aluminio.

La aplicación de silicato de sodio provocó sobre los fosfatos de aluminio, un efecto estadísticamente similar ($P > 0,05$) a la adición de cal. Tal como se observa en la Figura 3, la sílice disminuyó ($P < 0,01$) ésta fracción de fósforo. El efecto fué estadísticamente similar en todos los suelos estudiados y, en promedio representó una disminución del orden de las 32 ppm., lo que equivale a un 40% de la concentración original (Figura 3)

La explicación de este resultado puede hacerse en base a hipótesis fundamentales en resultados experimentales obtenidos por varios autores.

Una de las explicaciones es la relacionada con el pH. Según algunos investigadores Benavides (10), Datta et al (19), Fassbender y Molina (30), Fassbender y Muller (31) y Hunter (46), la adición de silicato de sodio provocó incrementos en el pH. En estas circunstancias, la disminución en los fosfatos de aluminio estaría explicada por las reacciones de descomposición hidrolíticas en la superficie de los fosfatos de hierro que ya fué descrita en detalle cuando se discutió el efecto del encalamiento.

a lo que ocurre con los fosfatos de aluminio, la sílice no incidió en posibles procesos de hidrólisis y/o intercambio aniónico con esta fracción del fósforo.

4.2.4 Fósforo Orgánico.

Tal como ocurrió con el encalamiento, la aplicación de sílice no afectó significativamente ($P > 0,05$) al fósforo orgánico en ninguno de los suelos estudiados. Este resultado implica que el silicio no tuvo ningún efecto sobre la actividad microbial.

4.2.5 Fósforo fácilmente reemplazable y Fósforo Aprovechable.

En razón del efecto detectado sobre los fosfatos de aluminio, teóricamente era de esperar que la aplicación de sílice condujera a un incremento del fósforo intercambiable y aprovechable. No ocurrió así, pues el efecto sobre el fósforo aprovechable no fué detectable ($P > 0,05$), en la mayoría de los suelos, y en algunos se operó un efecto negativo y significativo (Km. 10, Catarbucc y Diviso) (Figura 6).

Sobre el fósforo fácilmente reemplazable, la sílice provocó una disminución significativamente y uniforme. En promedio, la concentración disminuyó en 5 ppm. (Figura 5).

La explicación de estos resultados es, en parte, similar a la ofrecida para el caso de la aplicación de cal, cuyo efecto fué estadísticamente equivalente ($P > 0,05$) al obtenido con la aplicación de silicato de sodio.

Los anteriores resultados son contrarios a los obtenidos por varios autores (19, 46, 54, 65, 72), aunque se insiste en el hecho de que los resultados positivos consigui

dos por esos investigadores se obtuvieron bajo condiciones del sistema suelo-planta.

4.3 Efecto del encalamiento sobre los parámetros de fi jación de fosfatos.

4.3.1 Formas de "precipitación".

a) Fosfatos de Calcio.

El encalamiento incrementó substancialmente la fijación hacia los fosfatos de calcio no apatíticos en todos los suelos estudiados. El efecto fué detectado al nivel del 99% de probabilidades y se presenta gráficamente en la Figura 7. Este efecto, para el nivel de cal aplicado, era previsible por cuanto, conforme lo demuestran Larsen y Widdowson (49), Murrman y Peech (58), Webber y Mattingly (74), bajo condiciones de suelos encalados, a pH superior a 5,5, se genera rápidamente la precipitación de fosfatos mono y dicálcicos, sobre todo cuando a la cal se acompaña con aplicación de fósforo soluble.

Este efecto, a pesar de que da la impresión de ser negativo, no lo es si se interpreta desde el punto de vista del significado de esta fracción en la nutrición fosfata de la planta. Fassbender y colaboradores (32), en suelos de Centro América, y López y Salas (52), en suelos de Nariño, han demostrado que los fosfatos de calcio, particularmente los no apatíticos, son los que restituyen la mayor parte del fósforo absorbido por la planta. En estas circunstancias, la aplicación de cal en los suelos estudiados tendría un efecto muy importante para la planta al incrementar las reservas de fósforo disponible a corto plazo.

Conclusiones similares han sido obtenidas por McConaghy y colaboradores (56) y por Spencer (68), en el sentido de que aplicaciones repetidas de cal incrementaron subs

tancialmente el efecto residual del fosfato aplicado.

El efecto del encalado sobre la precipitación del fósforo hacia los fosfatos de calcio apatíticos no fué significativo en ninguno de los suelos estudiados ($P > 0,05$), salvo el suelo Canangucho en donde se presentó una fijación apreciable ($P < 0,01$) de 13 ppm. (testigo) a 56 ppm. (Figura 8).

Con respecto al resultado anterior, Murrman y Peech (58) explicar que la precipitación de las apatitas es muy lenta. En estas condiciones, sería lógico esperar que la mayor parte de la fijación por "precipitación" del fósforo soluble añadido ocurra hacia el aluminio y el hierro cuyas reacciones son mucho más rápidas.

b) Fosfatos de Aluminio.

La "precipitación" del fósforo aplicado hacia los fosfatos de aluminio se incrementó substancialmente ($P < 0,01$) mediante las adiciones de cal. Este incremento fué, en promedio, del orden de las 300 ppm. Si tomamos en cuenta que se aplicaron 500 ppm., el aumento en "precipitación" hacia el P-Al, causado por la cal, fué equivalente a un 60% del P añadido (Figura 9).

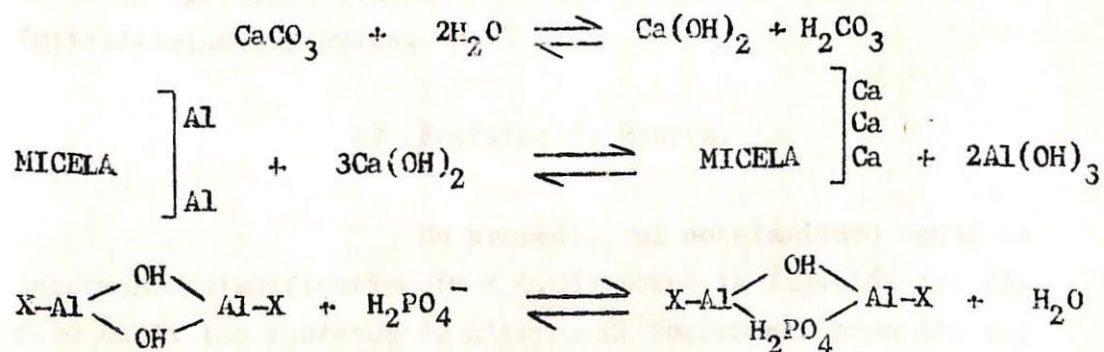
Este resultado es sorprendente, pues teóricamente y de acuerdo a Bache (6), Black (11), Webber y Mattin gly (74), era de esperar una disminución apreciable de la "precipitación" hacia esta forma de fosfato, en virtud de la neutralización del aluminio cambiante. Sin embargo, en suelos de Costa Rica, Lucas y Blue (53) encontraron que la adición de 5 Ton/Ha. de CaCO_3 , en combinación con 450 ppm. de fósforo, incrementó la precipitación hacia los fosfatos de aluminio desde 550 a 700 ppm.

La explicación a lo anterior reposa en los resultados obtenidos en diferentes investigaciones:

Hsu y Rennie (44, 45) han encontrado que en medio ácido el fósforo precipita para formar variscita, en tanto que en medios ligeramente ácidos o neutros el fósforo es adsorbido en la superficie de hidróxidos de aluminio amorfos. Además, ya se ha visto como este fósforo, así adsorbido, es extraído como "fosfato de aluminio" en la técnica de Chang y Jackson (17) conforme a las experiencias de Dunbar y Baker (20) y Mackenzie (55).

Si además tomamos en cuenta las reacciones básicas de neutralización del aluminio por efecto de la cal, cabe plantear, con lógica, la siguiente explicación a los resultados obtenidos:

La adición de carbonato de calcio conduce rápidamente a la formación de hidróxido de calcio. El calcio desplaza, a través de reacción de intercambio, al aluminio cambiante que neutraliza mediante la formación de hidróxidos de aluminio. Estos compuestos retienen al fósforo adicionado, mediante procesos de intercambio aniónico, incrementando, así la fracción de los fosfatos de aluminio. Este proceso podría visualizarse de esta manera:



Sin embargo, quedaría una duda, en lo que respecta a que la procedencia del aluminio sea en su totalidad intercambiable, pues se conoce que los niveles de aluminio cambiante son bajos, al menos en los suelos volcánicos de Nariño, (48). A este respecto, un estudio reciente efectuado por Silva y Schae-

fer (67) indica que los ácidos fúlvicos de los suelos volcánicos acomplejan una gran cantidad de aluminio. No se descarta, por tanto, la posibilidad de que el alto nivel de cal aplicado haya liberado parte de ese aluminio acomplejado, quedando así habilitado para la formación de los hidróxidos de aluminio.

Los resultados ya discutidos tienen interés práctico, en el sentido que, desde el punto de vista de la planta, sería necesario investigar hasta qué grado el fósforo retenido como "fosfato de aluminio" pueda pasar a ser aprovechable para los cultivos, lo cual, por otra parte, ya ha sido demostrado positivamente en un Latosol de Nariño (61).

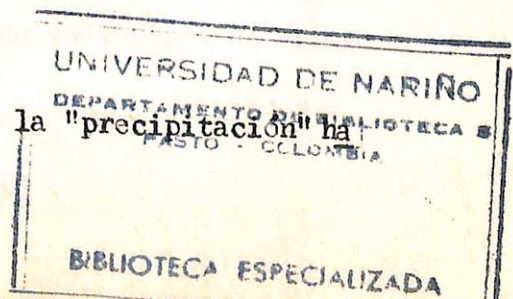
De otra parte, si tomamos en cuenta la aparente solubilización del fosfato de aluminio original, provocada por la adición de cal, que ya se ha discutido, cabría concluir que la cal aplicada sola provoca la solubilización de los fosfatos de aluminio nativos, pero causa el efecto contrario cuando se aplica conjuntamente con fósforo.

En base a lo anterior, es importante investigar bajo condiciones de campo, el efecto del encalamiento en la aprovechabilidad del fósforo retenido como P-Al en fertilizaciones previas.

c) Fosfatos de Hierro.

En promedio, el encalamiento causó un incremento significativo ($P < 0,05$) sobre la fijación del fósforo hacia los fosfatos de hierro. El incremento promedio fué de 150 ppm.; equivalente a un 30% con relación al testigo. Sin embargo, el efecto no fué uniforme en los suelos estudiados ($P < 0,01$) (Figura 10).

El incremento de la "precipitación" ha



cia esta forma de fósforo fué significativo en los suelos: Km. 10, Diviso, Cafelina y Canangucho, pero no lo fué ($P > 0,05$) en los suelos Catambuco y Tangareal. De otra parte, la magnitud de la "precipitación" no fué uniforme, pues el proceso se presentó con mayor intensidad en los suelos Cafelina, Diviso y Km. 10. Estos resultados seguramente se explican en virtud de las diferencias en concentración de sesquióxidos de hierro los cuales, según Guerrero y colaboradores (38) controlan en gran parte el proceso de "precipitación" hacia el P-Fe.

El mecanismo que podría explicar la acción de la cal sobre la fijación o retención hacia los fosfatos de hierro, sería el mismo que el propuesto para el caso de los fosfatos de aluminio. En este caso, los responsables de la retención de P serían los hidróxidos de hierro.

4.3.2 Precipitación Total.

Como era de esperar, en razón de los resultados ya discutidos, la precipitación total (P-Al + P-Ca + P-Fe) se incrementó significativamente ($P < 0,01$) mediante la adición de cal. En promedio, el incremento, fué de 837 a 921 ppm. y se detectó en todos los suelos experimentales, pero con diferentes magnitudes, cuya secuencia fué (Figura 11):

Km. 10 $\overset{N.S.}{\geq}$ Diviso $\overset{++}{>}$ Tangareal $\overset{++}{>}$ Cafelina $\overset{N.S.}{\geq}$ Catambuco $\overset{N.S.}{\geq}$ Canangucho.

Era previsible que la mayor "precipitación" del fosfato aplicado se haya presentado en el Andosol típico (Km. 10) y en el Latosol típico (Diviso), pues es muy conocida la mayor capacidad fijadora de fósforo de esos tipos de suelos (12, 23, 24, 37, 58).

4.3.3 Fijación por Adsorción.

El efecto del encalamiento sobre la fijación por adsorción fué igualmente significativo ($P < 0,01$) y provocó un incremento promedio de 33 ppm. (Figura 12). No obstante, este aumento no fué detectable ($P > 0,05$) en los suelos Tangareal, Diviso y Canangucho.

Estos resultados parecen lógicos, si tomamos en cuenta lo ya discutido, en el sentido de que una proporción del fósforo "precipitado", particularmente la extraída como "fosfato de aluminio" es intercambiable y, por tanto, puede estar simplemente adsorbida y fácilmente reemplazable (20, 25). En otras palabras, el incremento de la adsorción de fosfatos estaría explicado por el incremento en los "fosfatos de aluminio".

4.3.4 Fijación Total.

Estrictamente, lo que en este trabajo se ha llamado fijación total, no es otra cosa que la capacidad de fijación de fósforo. Tomando en cuenta los resultados anteriores, debía esperarse que la cal incrementara la capacidad de fijación. Sin embargo, no ocurrió así, y el efecto no fué significativo ($P > 0,05$) en ninguno de los suelos (Figura 13).

La explicación a lo anterior puede estar en el hecho de que la determinación de la capacidad de fijación se hace por separado de la determinación de las formas de fijación y solamente toma 6 horas (agitación), en tanto que el fraccionamiento de los fosfatos, después de adicionar el fósforo puede tomar días. En otras palabras, el tiempo de contacto del fósforo con el suelo es muy diferente en los dos casos, lo cual explicaría la situación expuesta. Mas adelante se insistirá sobre este particular aspecto.

4.4 Efecto de la adición de sílice sobre los parámetros de fijación.

4.4.1 Formas de Precipitación:

a) Fosfatos de Calcio.

En promedio, la adición de sílice causó aumento en la retención del fósforo como P-Ca no apatítico ($P < 0,01$). Sin embargo, el efecto dependió del suelo, pues fué significativo únicamente en los suelos Catambuco (45 a 80 ppm.) y Diviso (22 a 47 ppm.) (Figura 7). Este incremento podría estar relacionado con un aumento en el pH, lo que a su vez, causaría una mayor actividad catiónica del calcio.

El efecto de la sílice sobre la fijación del fósforo hacia la fracción apatítica de los fosfatos de calcio, no fué detectable a nivel estadístico significativo en ninguno de los suelos estudiados (Figura 8).

b) Fosfatos de Aluminio.

La sílice incrementó significativamente la retención del fósforo hacia el P-Al en los suelos estudiados, excepción hecha de los suelos Cafelina y Canangucho, en donde el incremento se presentó pero no fué detectado estadísticamente. Para valores promedios, el efecto de la aplicación de sílice sobre esta forma de fijación, fué estadísticamente similar al que produjo la adición de cal ($P > 0,05$). Así, la aplicación del silicato de sodio incrementó en un 50% la retención del P, como P-Al, en relación al testigo, pero la magnitud del incremento dependió del suelo, siendo mucho mayor en el suelo Andosol típico (Km. 10), lo que concuerda con resultados obtenidos por otros investigadores (12, 23, 24) (Figura 9).

Este resultado no tiene antecedentes en la literatura revisada y su explicación podría estar relacionada, tal como ocurre con la cal, con la formación de hidróxidos

de aluminio y la subsecuente adsorción del fósforo por parte de estos compuestos coloidales. El hecho de que en los suelos más ácidos (Cafelina: pH 5,0 y Canangucho: pH 4,90) el efecto no haya sido detectable, coincidiría con la conclusión de Hsu y Rennie (44, 45), en el sentido de que la adsorción de fósforo a la superficie coloidal de los hidróxidos de aluminio tiene lugar únicamente a valores de pH ligeramente ácidos o neutros.

Si tomamos en cuenta el hecho de que en suelos ácidos del tipo Latosólico el P-Al es una de las formas de P que más aporta fósforo aprovechable a la planta (61), el efecto de la adición de sílice tendría interés desde el punto de vista del efecto residual del fósforo aplicado.

c) Fosfatos de Hierro.

La retención del fósforo como P-Fe fué incrementada, en promedio, significativamente ($P < 0,05$) por la acción de la sílice. Este fué un efecto similar al registrado para la retención hacia el P-Al, aunque de menor magnitud promedio, pues el incremento en fijación, con respecto al testigo, fué equivalente al 30% del P aplicado. Además el incremento causado por la sílice, sobre esta forma de fijación, fué de magnitud estadísticamente similar al provocado por la adición de cal.

La interacción suelo por tratamiento fué significativa, lo que indica que, en este caso, la magnitud y confiabilidad del incremento en la fijación hacia el P-Fe depende del suelo (Figura 10). Así, el efecto fué solamente detectable estadísticamente en los suelos Latosólicos Diviso, Cafelina y Canangucho, que por otra parte son los que presentan mayor grado de acidez (Tabla I). Esta situación seguramente está asociada con una mayor concentración de óxidos de hierro,

como es de esperar en los suelos Latosólicos, lo cual según Guerrero y colaboradores (38) incrementa substancialmente la retención del fósforo como P-Fe.

4.4.2 Precipitación total.

Resulta lógico esperar que la sílice incrementa la precipitación total, en razón de los resultados obtenidos para la fijación hacia el P-Fe y P-Al. Efectivamente, así ocurrió y el incremento en la "precipitación" total, por efecto de la adición de sílice, fué significativo en todos los suelos estudiados, pero en promedio inferior al causado por la cal (Figura 11).

4.4.3 Fijación por Adsorción.

En promedio, para los suelos estudiados, la aplicación de sílice incrementó significativamente ($P < 0,01$) la retención de fósforo por adsorción. El aumento fué de 3,18 ppm. (testigo) a 17,37 ppm. (sílice) y significativamente inferior ($P < 0,01$) al causado por la cal. Sin embargo, este efecto dependió del suelo y solamente fué detectado a nivel estadístico en los suelos volcánicos (Figura 12).

Para el resultado anterior cabe la misma explicación que se ofreció en el caso de la adición de cal, ya que al haber un incremento en la "precipitación" total por efecto de la adición de sílice, cabría esperar el mismo efecto para la retención por adsorción, si tomamos en cuenta que según Dunbar y Baker (20) y Mackenzie (55), parte de ese fósforo "precipitado" está simplemente adsorbido a los hidróxidos de hierro y aluminio.

4.4.4 Fijación Total.

La fijación total, o capacidad de fijación de fósforo, sufrió, en promedio, una disminución substancial y

significativa cuando se adicionaron 800 ppm. de sílice. En el tratamiento testigo se fijó un promedio de 86% del P aplicado, en tanto que cuando se adicionó sílice la retención fué solamente del 50%.

Sin embargo, el efecto dependió del suelo y la disminución en la capacidad de fijación solamente fué detectable en los suelos Latosólicos: Tangareal (de 85% a 36%), Diviso (de 81% a 28%), Cafelina (de 58% a 38%) y Canangucho (de 72% a 55%) (Figura 13) (Tablas II a IV).

Es entonces claro, que la adición de sílice causó disminuciones substanciales en la capacidad de fijación de los suelos latosólicos ácidos, resultados que están de acuerdo con los obtenidos por Beckwith y Reeve (8, 9), quienes concluyen que al aplicar sílice, bajo condiciones ácidas, se produce su intercambio con los fosfatos en el complejo coloidal, disminuyendo así el P-fijado, mientras que bajo condiciones menos ácidas, como los de los suelos Km. 10 y Catambuco, la tendencia a la adsorción de silicatos disminuye acentuadamente, no habiendo entonces efecto apreciable sobre la retención del fósforo.

Sin embargo, en el caso del presente estudio, tenemos dos situaciones aparentemente contradictorias. Por una parte, la sílice incrementó la precipitación del P hacia el P-Al y P-Fe, pero disminuyó la capacidad de fijación de fósforo. De nuevo, es necesario insistir en que la explicación reside en el tiempo de contacto. La determinación de la fijación total, o sea de la capacidad de fijación, toma 6 horas, mientras que el fraccionamiento de fósforo exige un mínimo de 20 horas adicionales que fácilmente se convierten en 48 o más. En estas circunstancias, la adición de sílice, inicialmente, causa una disminución en la adsorción de P, pero con el transcurso del tiempo la reacción del silicato de sodio y su probable incremento en el pH determina que se produzca el efecto contrario de retención hacia el P-Al y P-Fe.

Naturalmente que, tal como se advirtió anteriormente, la disminución inicial en la fijación de P, causada por la sílice podría ser aprovechada en favor de la planta, cuando el proceso ocurre en un sistema suelo-planta.

Globalmente, los resultados obtenidos indican que la adición de sílice tiende a solubilizar los fosfatos de aluminio y hierro nativos u originales del suelo, pero incrementa la "precipitación" o retención hacia el P-Al y P-Fe, cuando a la sílice se acompaña con la aplicación de P soluble. Esta conclusión coincide parcialmente con la obtenida por Hunter (46), quien afirma que la adición de sílice incrementa la aprovecha-bilidad de los fosfatos nativos del suelo, pero no afecta la aprovechabilidad de los fosfatos aplicados como fertilizante.

De cualquier manera, es necesario tomar en cuenta que la magnitud y aún la tendencia de los efectos ya descritos, probablemente depende de múltiples factores: condiciones del suelo (pH, mineralogía, etc.), nivel de aplicación y fuente de sílice, nivel de aplicación y fuentes de fósforo y tipo de cultivo. Aspectos estos que merecen ser investigados.

TABLA II

EFFECTO DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE LAS VARIABLES DE RESPUESTA
 EN LOS SUELOS DEL ALTIPLANO DE PASTO
 (Resultados en ppm.)

VARIABLE DE RESPUESTA	Km. 10						CATAMBUCO		
	TRATAMIENTO	Testigo	Cal	Silice	Testigo	Cal	Cal	Silice	Silice
P-Fácilmente Reemplazable		11,46	1,45	2,75	12,69	1,63		5,39	
Fosfatos de Aluminio		112,66	65,07	75,10	117,09	62,00		73,12	
Fosfatos de Hierro		101,64	41,17	91,85	165,93	143,05		172,67	
Fosfatos de Ca no Apatítico		2,34	8,85	20,06	4,30	17,58		9,63	
Fosfatos de Ca Apatítico		12,76	22,41	11,21	30,10	60,68		38,29	
Fósforo Aprovechable		21,89	1,46	8,44	55,77	10,40		9,53	
Fósforo Orgánico		121,86	78,34	87,05	87,75	55,82		82,41	
Fijación fosfatos de Aluminio		212,16	751,10	741,93	183,65	337,48		374,05	
Fijación fosfatos de Hierro		172,52	344,55	268,85	181,10	266,36		275,28	
Fijación fosfatos de Ca no Apat.		3,81	37,53	11,20	45,51	131,97		80,43	
Fijación fosfatos de Ca Apat.		16,16	25,01	32,83	1,88	0,50		0,50	
Fijación por Precipitación Total		404,50	1158,20	1054,85	420,14	739,15		729,77	
Fijación por Adsorción		4,78	10,80	63,97	1,94	138,77		35,07	
Fijación Total		543,85	587,70	543,21	294,61	356,55		230,30	
Fijación Total (%)		86,94	93,95	86,84	50,97	61,68		39,84	

TABLA III

EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE LAS VARIABLES DE RESPUESTA
 EN LOS SUELOS DE LA LLANURA DEL PACIFICO
 (Resultados en ppm.)

VARIABLE DE RESPUESTA	TANGAREAL				DIVISCO			
	TRATAMIENTO	Testigo	Cal	Silice	Testigo	Cal	Silice	Silice
P-Fácilmente reemplazable		9,63	2,95	12,42	6,91	1,46		2,92
Fosfatos de Aluminio		103,24	81,75	96,54	38,83	25,43		32,49
Fosfatos de Hierro		90,11	91,57	127,84	61,12	84,25		106,05
Fosfatos de Ca no Apatítico		1,00	10,15	7,10	0,93	17,54		6,11
Fosfatos de Ca Apatítico		11,12	8,87	3,29	5,84	6,11		3,18
Fósforo Aprovechable		16,43	12,58	14,10	12,23	5,74		2,76
Fósforo Orgánico		67,78	85,03	111,26	27,52	30,05		31,83
Fijación fosfatos de Aluminio		267,59	722,93	675,26	279,50	292,62		504,91
Fijación fosfatos de Hierro		129,30	220,43	151,19	215,56	347,37		364,40
Fijación fosfatos Ca no Apat.		14,47	47,43	29,17	22,71	69,90		47,03
Fijación fosfatos Ca Apat.		7,89	10,91	21,21	13,10	22,33		24,72
Fijación por Precipitación Total		419,26	1001,75	876,83	535,71	1032,25		941,08
Fijación por Adsorción		1,69	8,97	0,50	7,61	15,28		0,50
Fijación Total		518,78	480,33	220,87	523,64	449,91		179,21
Fijación Total (%)		85,21	78,89	36,28	81,93	70,53		28,05

TABLA IV

EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE LAS VARIABLES DE RESPUESTA
 EN LOS SUELOS DEL BAJO PUTUMAYO
 (Resultados en ppm)

VARIABLE DE RESPUESTA	CAFELINA				CANANGUCHO			
	TRATAMIENTO	Testigo	Cal.	Silice	Testigo	Cal	Silice	
P-Fácilmente reemplazable		12,68	6,03	6,55	9,13	6,24	1,00	
Fosfatos de Aluminio		47,61	5,00	6,04	42,42	9,07	4,41	
Fosfatos de Hierro		84,54	107,42	45,46	50,19	115,92	104,32	
Fosfatos de Ca no Apatítico		4,16	5,26	3,59	3,00	3,57	5,80	
Fosfatos de Ca Apatítico		5,83	4,78	5,50	2,59	5,57	2,44	
Fósforo Aprovechable		6,50	1,14	2,01	5,17	2,49	2,76	
Fósforo Orgánico		22,24	20,25	22,08	17,37	21,26	23,65	
Fijación fosfatos de Aluminio		171,08	325,54	251,85	154,10	319,77	235,66	
Fijación fosfatos de Hierro		226,09	352,41	443,08	98,24	393,58	385,68	
Fijación fosfatos Ca no Apat.		24,73	78,23	27,51	18,61	55,95	21,84	
Fijación fosfatos Ca Apat.		15,69	13,87	22,00	13,23	56,85	31,19	
Fijación por Precipitación Total		436,98	770,07	744,44	284,19	826,15	675,07	
Fijación por Adsorción		2,31	26,98	3,68	0,78	16,49	0,50	
Fijación Total		336,83	221,15	178,20	386,68	416,49	246,11	
Fijación Total (%)		58,66	38,51	38,77	72,27	77,53	55,99	

TABLA V

CUADROS MEDICOS Y SIGNIFICACION ESTADISTICA PARA LAS FRACCIONES DE FOSFORO

FUENTE DE VARIACION	G.L.	CUADROS MEDICOS						
		P-Fácilmente Reemplazable	P-Ca no Apatítico	P-Ca Apatítico	P-Al	P-Fe	P-Aprov.	P-Orgánico
SUELOS	5	30,71 ^{N.S.}	74,21 ⁺	2061,47 ⁺⁺	10926,59 ⁺⁺	8810,57 ⁺⁺	634,26 ⁺⁺	10910,51 ⁺⁺
ERROR (a)	12	22,93	21,52	37,14	240,26	668,74	11,36	422,54
TRATAMIENTO	2	247,96 ⁺⁺	305,13 ⁺⁺	301,15 ⁺⁺	7602,36 ⁺⁺	985,83 ^{N.S.}	1138,98 ⁺⁺	640,11 ^{N.S.}
SUELO x TRATAMIENTO	10	25,33 ^{N.S.}	71,75 ^{N.S.}	125,61 ⁺⁺	202,99 ^{N.S.}	228,14 ⁺⁺	302,46 ⁺⁺	662,12 ^{N.S.}
ERROR (b)	24	22,40	32,74	17,97	188,87	422,23	12,20	394,37
TOTAL	53							

++ = Altamente significativo
 + = Significativo
 N.S. = No significativo

TABLA VI

CUADRADOS MEDIOS Y SIGNIFICACION ESTADISTICA PARA LOS PARAMETROS DE FIJACION DE FOSFORO

FUENTE DE VARIACION	G.L.	C U A D R A D O S M E D I O S							Fijación Total
		Fij. P-Ca Apatítico	Fij. P-Ca no Apat.	Fijación P-Al	Fijación P-Fe	Fij. por Prec. Total	Fij. por Adsorción	Fijación Total	
SUELO	5	964,82 ^{††}	5014,37 ^{†††}	207879,87 ^{†††}	33344,81 ^{††}	121219,65 ^{††}	3992,93 ^{††}	105634,53 ^{†††}	
ERROR (a)	12	176,68	41,02	2752,83	3200,17	1531,73	35,65	598,85	
TRATAMIENTO	2	424,26 [†]	11204,21 ^{††}	401921,74 ^{††}	130343,05 ^{††}	1314604,99 ^{††}	4942,55 ^{††}	154416,86 ^{††}	
SUELO x TRATAMIENTO	10	308,73 ^{††}	389,05 ^{††}	31805,52 ^{††}	9470,27 ^{††}	22937,23 ^{††}	2916,63 ^{††}	16258,05 ^{†††}	
ERROR (b)	24	84,88	83,86	2148,59	1530,72	2917,82	47,57	1617,39	
TOTAL	53								

†† = Altamente significativo

† = Significativo

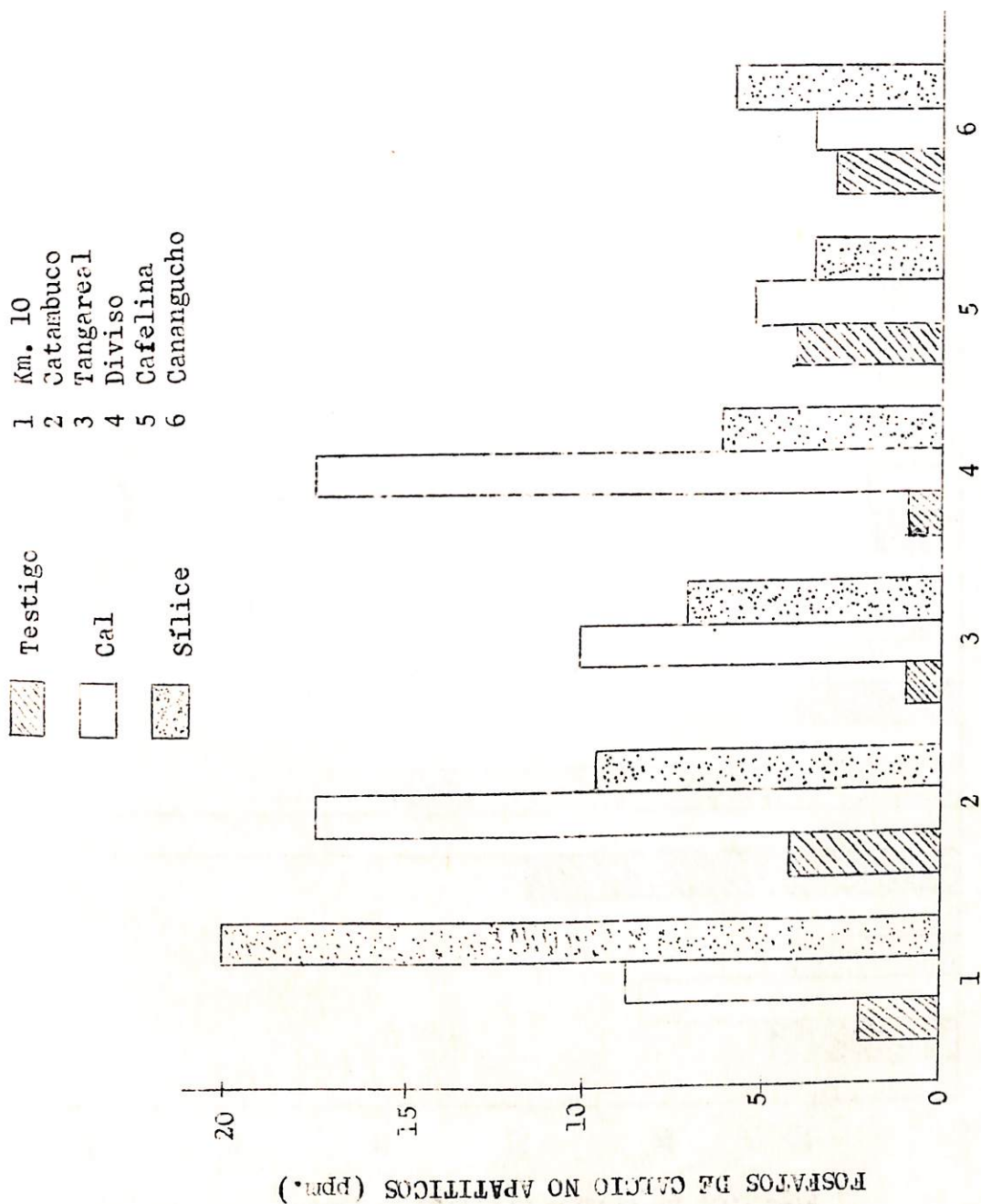


Fig. 1. Efectos de la adición de Cal y Sílice sobre los Fosfatos de Calcio no apatíticos en los suelos estudiados.

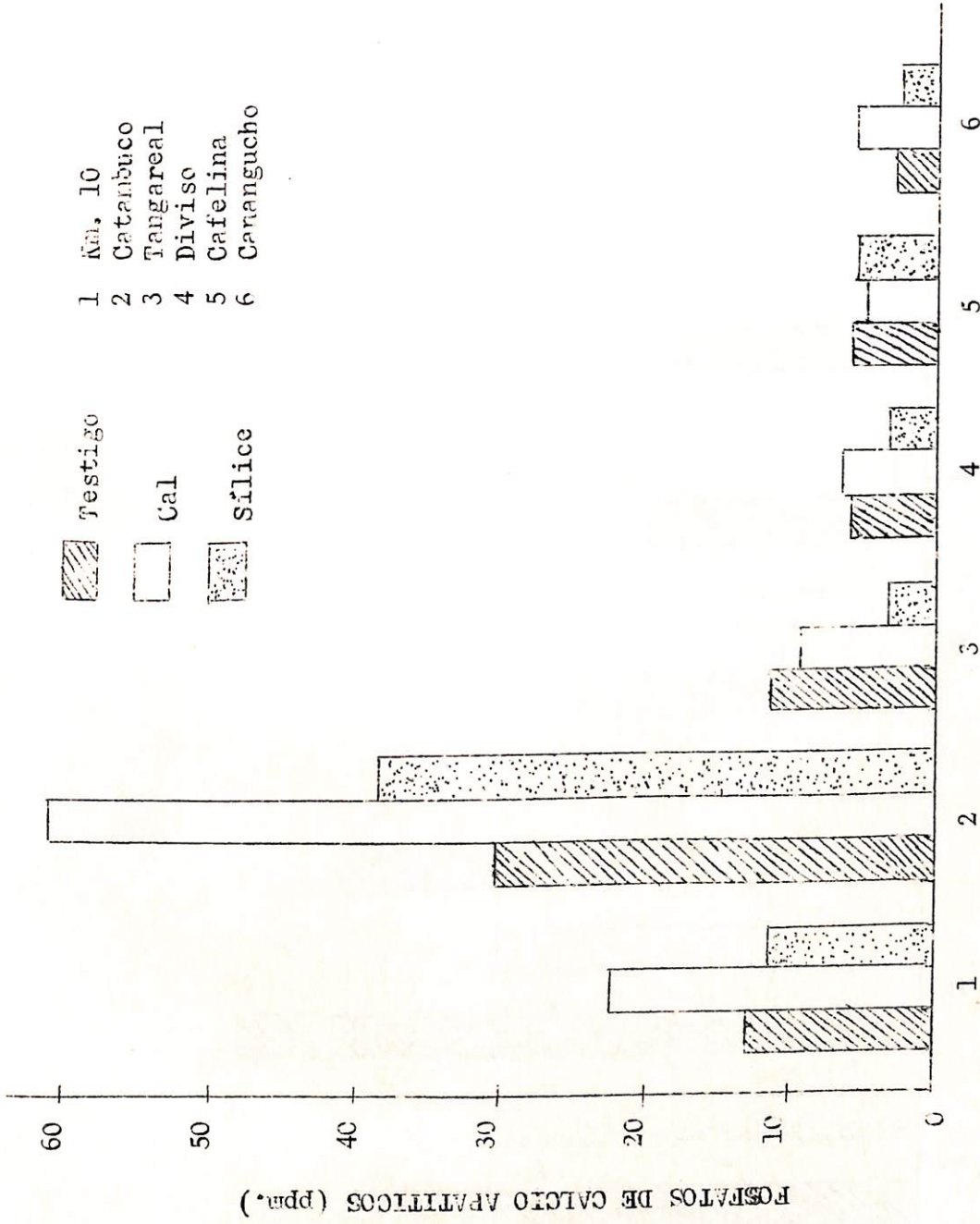


Fig. 2. Efectos de la adición de Cal y Sílice sobre Los Fosfatos de Calcio Apatíticos en los suelos estudiados

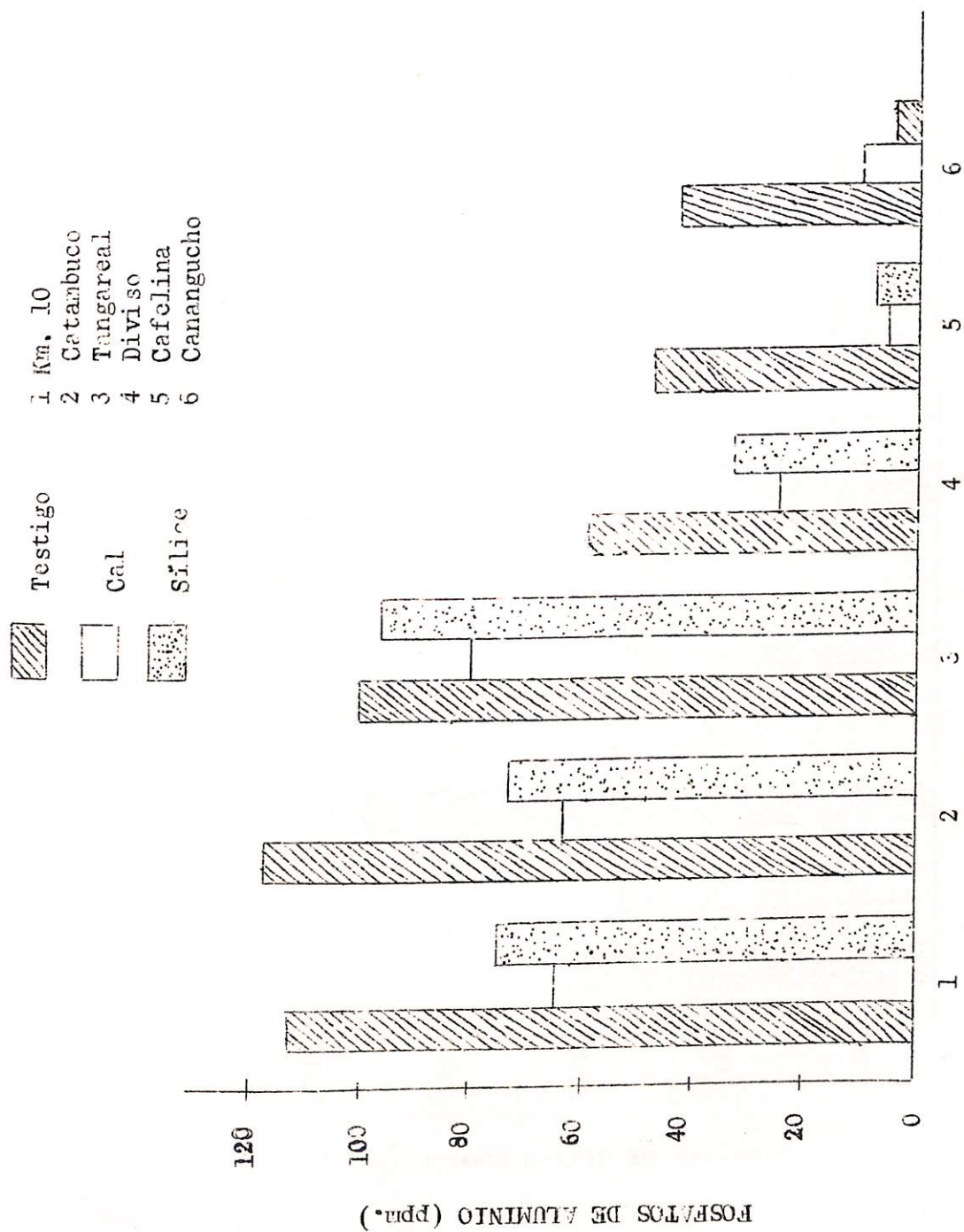


Fig. 3. Efectos de la adición de Cal y Sílice sobre los Fosfatos de Aluminio en los suelos estudiados.

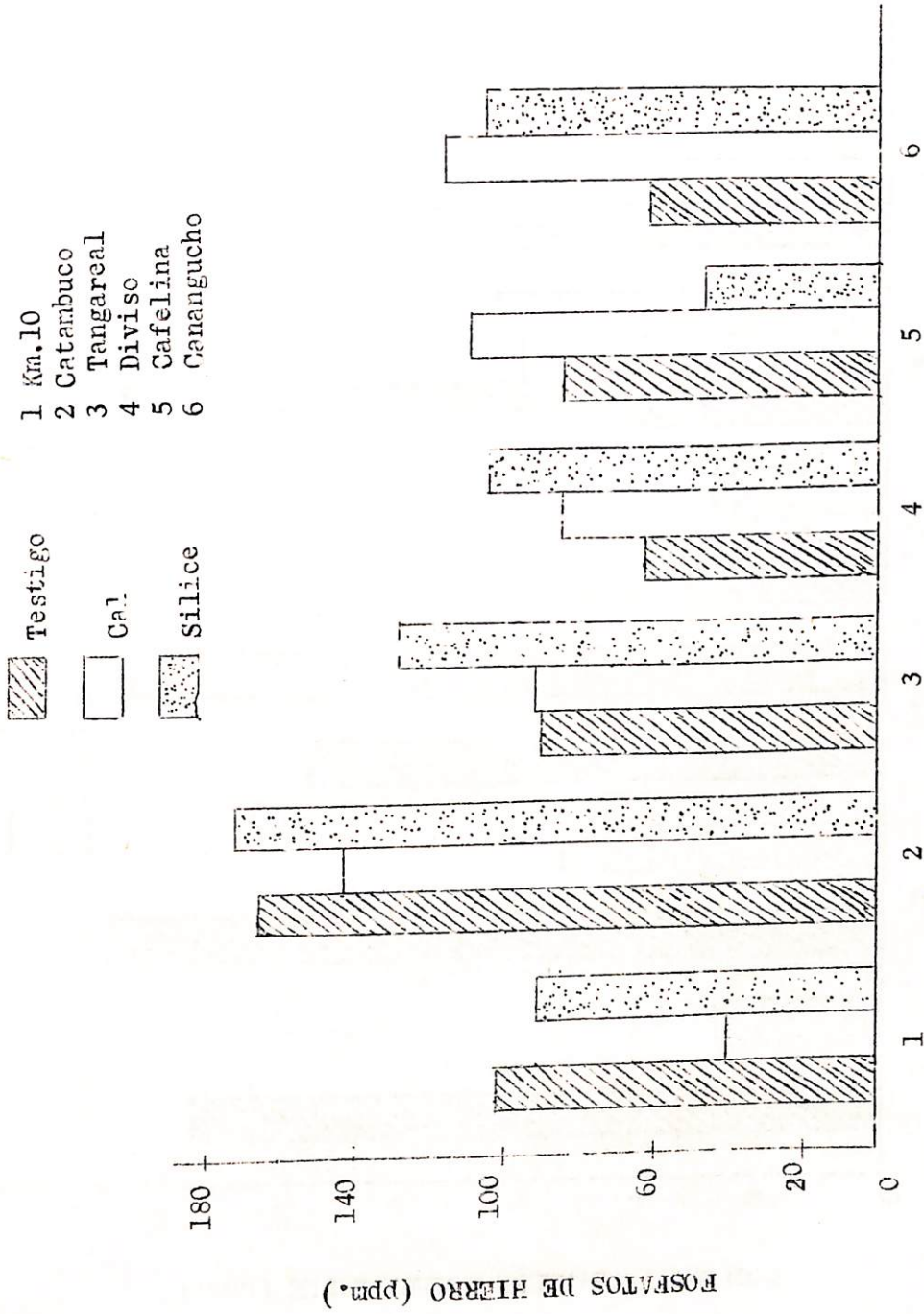


Fig. 4. Efectos de la adición de Cal y Silice sobre los Fosfatos de Hierro en los suelos estudiados.

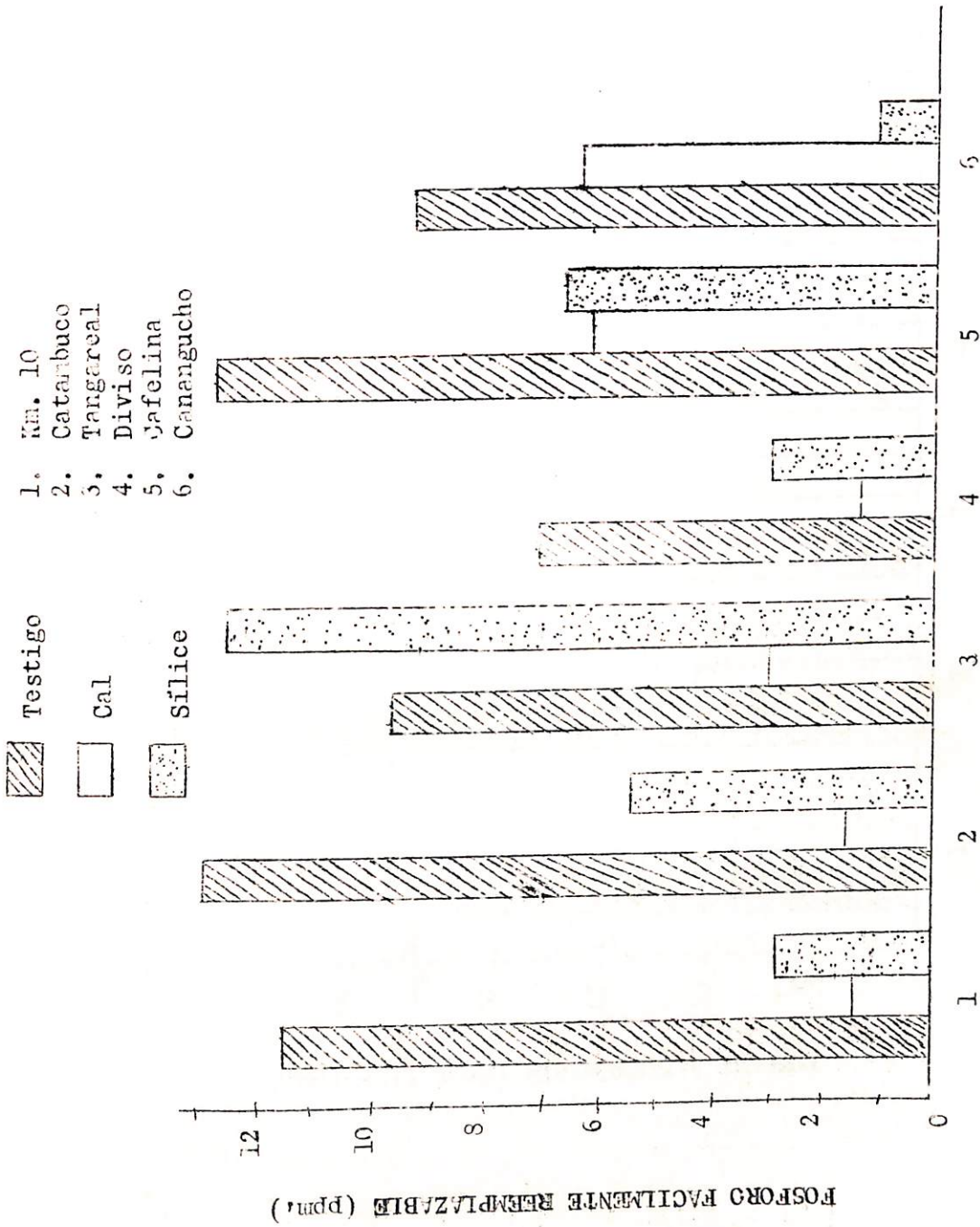


Fig. 5. Efectos de la adición de Cal y Silice sobre el Fósforo fácilmente reemplazable en los suelos estudiados.

- Testigo
 - Cal
 - ▨ sílice
1. Km. 10
 2. Catambuco
 3. Tangaracal
 4. Divise
 5. Cafelina
 6. Canangucho

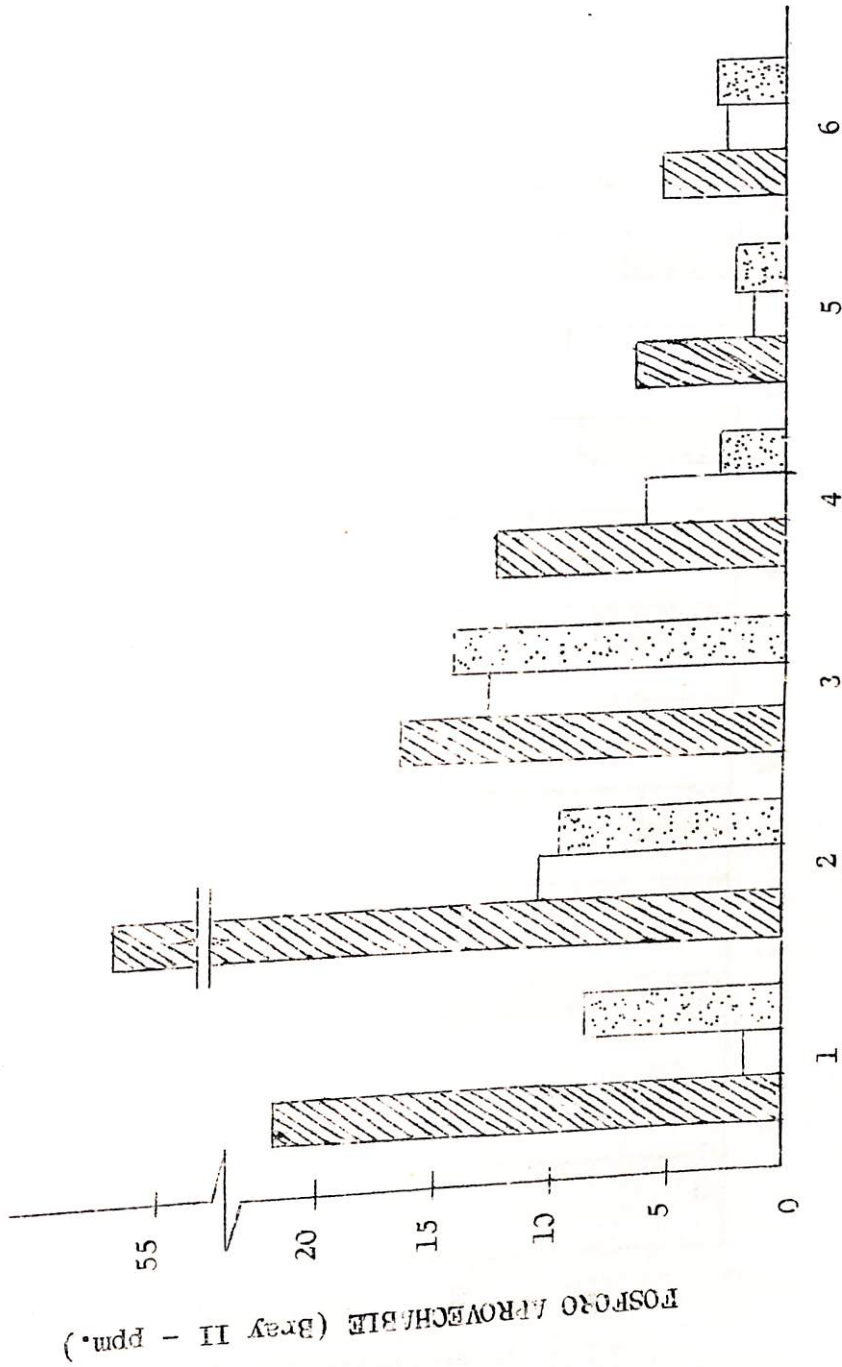


Fig. 6. Efectos de la adición de Cal y sílice sobre el Fósforo Aprovechable en los suelos estudiados.

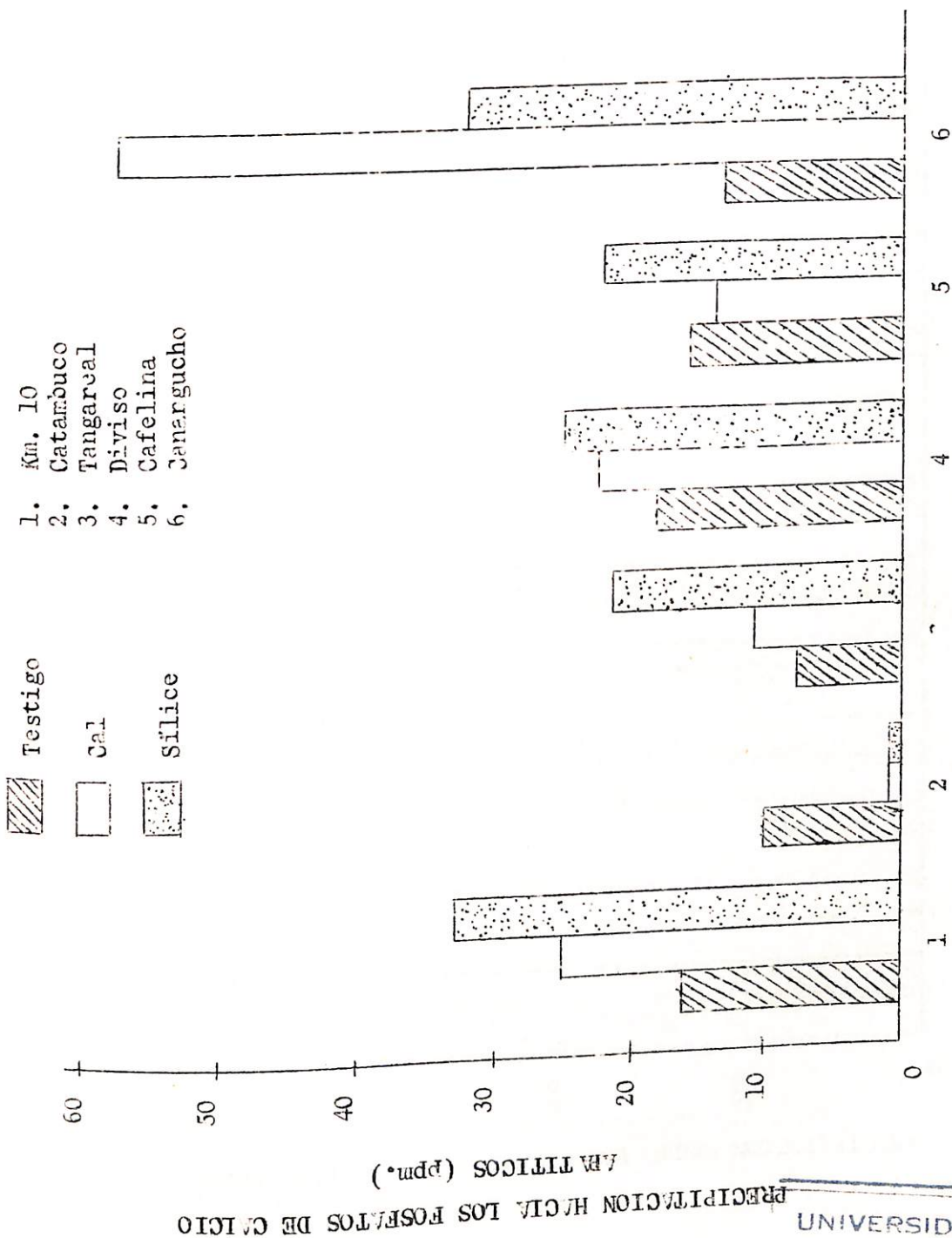
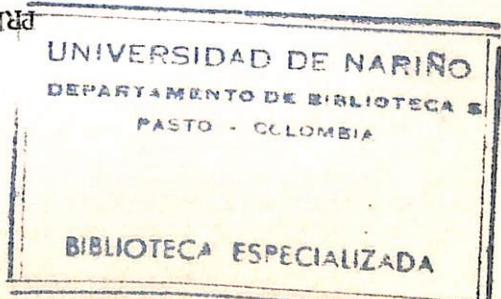


Fig. 8. Efectos de la adición de Cal y Silice sobre la fijación de Fósforo por Precipitación hacia los Fosfatos de Calcio Ápatíticos en los suelos estudiados.

PRECIPITACION HACIA LOS FOSFATOS DE CALCIO
(ppm.)



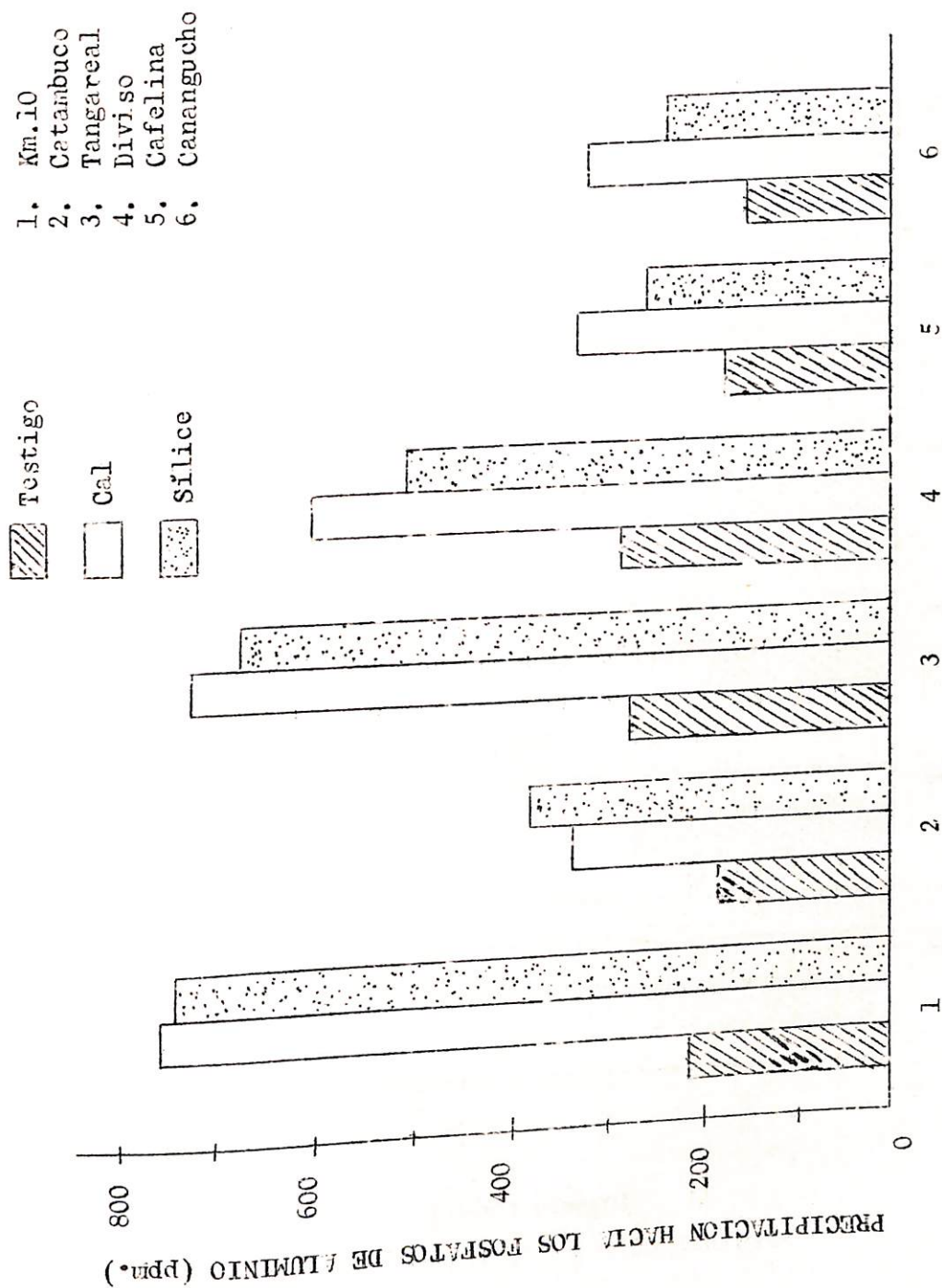


Fig. 9. Efectos de la adición de Cal y Silice sobre la fijación de Fósforo por Precipitación hacia los fosfatos de Aluminio en los suelos estudiados.

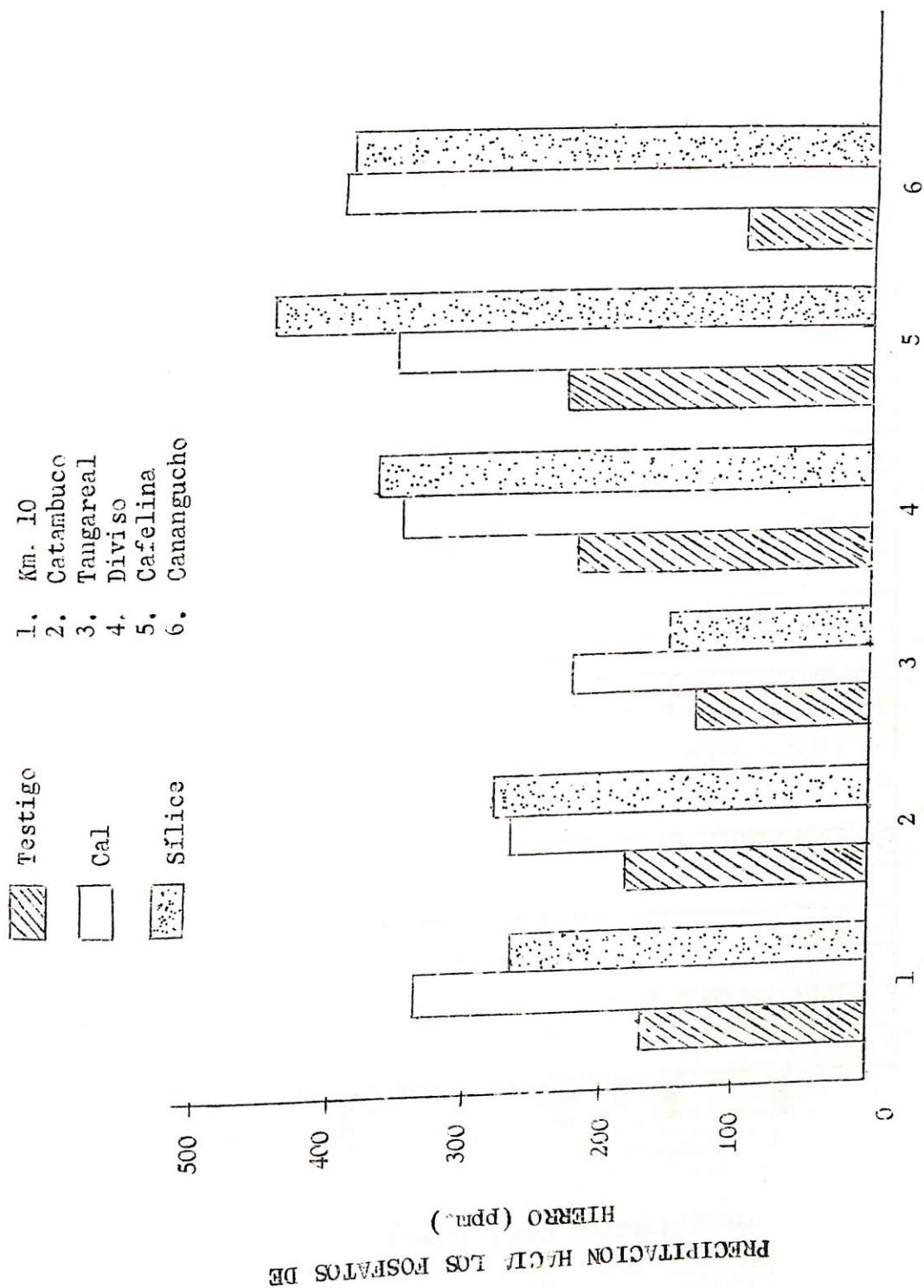


Fig. 10. Efectos de la Adición de Cal y Silice sobre la fijación de Fósforo por Precipitación hacia los fosfatos de Hierro en los suelos estudiados.

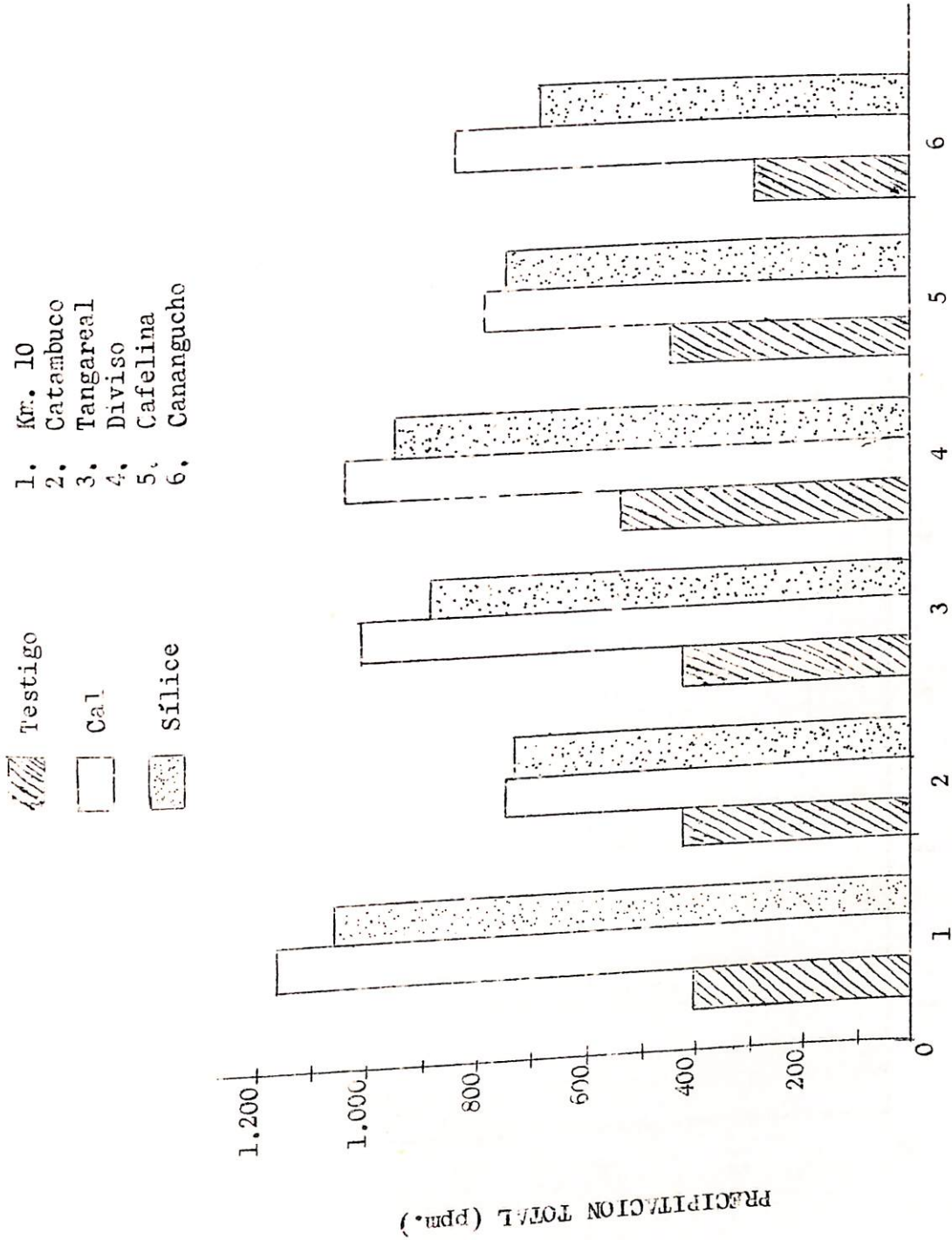


Fig. 11. Efectos de la adición de Cal y Sílice sobre la fijación de Fósforo por Precipitación en los suelos estudiados.

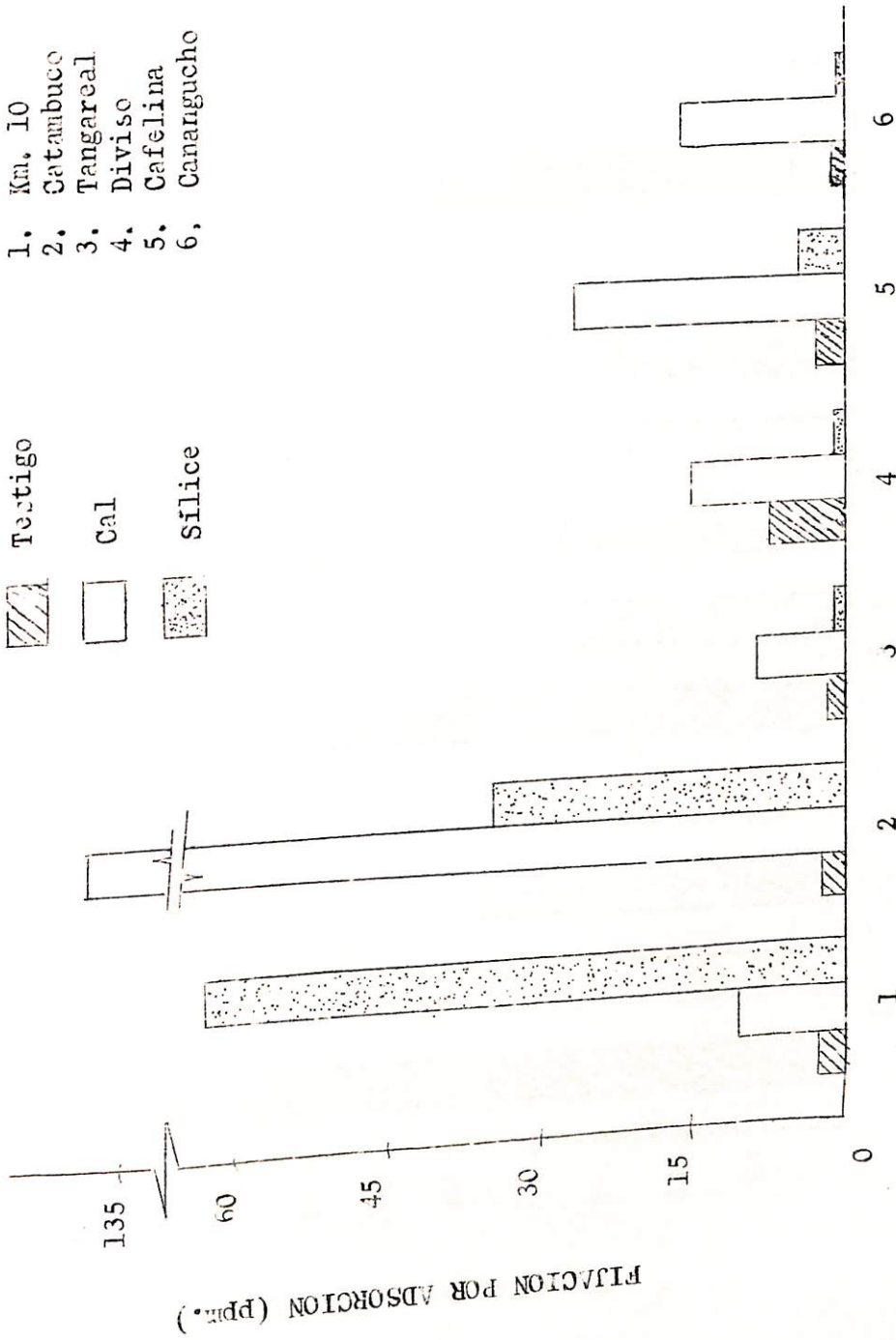


Fig. 12. Efectos de la adición de Cal y Sílice sobre la Fijación de Fósforo por Adsorción.

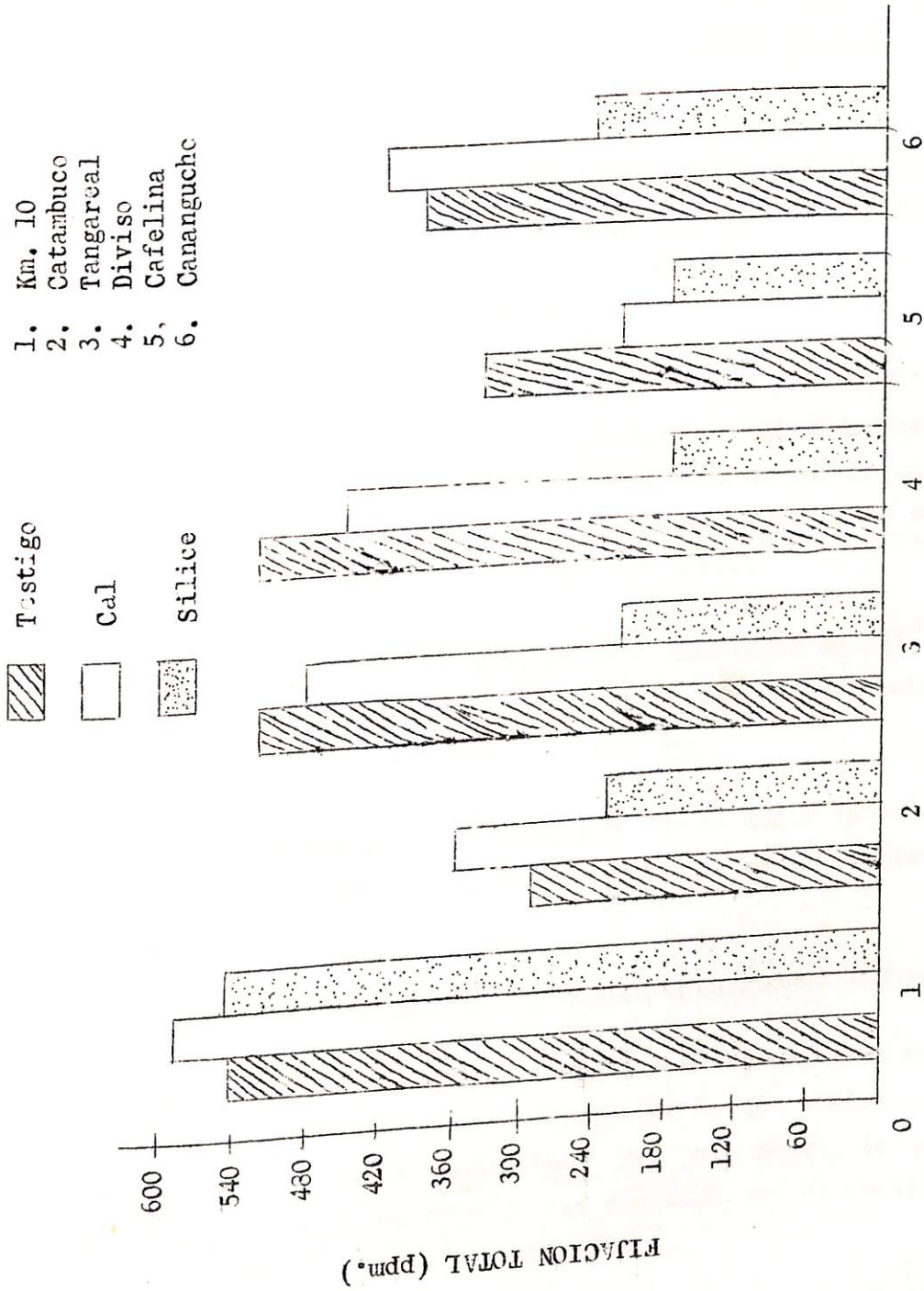


Fig. 13. Efectos de la adición de Cal y Sílice sobre la Fijación de Fósforo en los suelos estudiados.

V. CONCLUSIONES

1. La adición de cal incrementó ($P < 0,01$) los fosfatos de calcio no apatíticos en todos los suelos estudiados, y los apatíticos en los suelos volcánicos. Así mismo, el encalamiento aumentó ($P < 0,01$) la fijación del P aplicado hacia el P-Ca no apatítico, pero no incidió en la retención hacia la fracción apatítica.
2. El encalado disminuyó ($P < 0,01$) la concentración del fosfato de aluminio original de los suelos, pero aumentó ($P < 0,01$) substancialmente la precipitación del P aplicado hacia esa fracción (60% en relación al testigo).
3. Las aplicaciones de cal aumentaron ($P < 0,01$) la concentración del P-Fe en el suelo Canangucho (Latosol) y la disminuyó en el suelo Km. 10 (Andosol). El incremento causado por la cal sobre la "precipitación" hacia esa forma de fósforo fué significativo, pero su magnitud dependió del suelo.
4. El P orgánico no fué afectado por las adiciones de cal, mientras que el P fácilmente reemplazable y el P aprovechable disminuyeron ($P < 0,01$) en todos los suelos.
5. La cal incrementó la "precipitación" total del P aplicado y la magnitud del fenómeno tuvo la siguiente secuencia en los suelos estudiados:
$$\text{Km.10} \geq \text{Diviso} > \text{Tangareal} > \text{Cafelina} \geq \text{Catambuco} \geq \text{Canangucho}$$
6. La fijación de fósforo por adsorción fué incrementada mediante adición de cal ($P < 0,01$), en algunos de los suelos estudiados (Km. 10, Catambuco, Cafelina). Por otra parte, la capacidad de fijación de fósforo no fué afectada por el encalamiento en ninguno de los suelos estudiados.
7. La aplicación de sílice no afectó la concentración de ninguna

de las dos fracciones de fósforo unido al calcio en los suelos estudiados. Tampoco incidió en la precipitación del P aplicado hacia esas dos fracciones, salvo el caso de los suelos Catambuco y Diviso, en donde hubo un incremento ($P < 0,01$) del P-Ca no apatítico.

8. El efecto de la adición de sílice fué estadísticamente similar al del encalamiento, en lo que respecta al P-Al. Disminuyó ($P < 0,01$) su concentración original, pero aumentó ($P < 0,01$) la retención del P aplicado hacia esa fracción en un 50% en relación al testigo.
9. Los fosfatos de hierro no evidenciaron efecto detectable ($P > 0,05$) a la aplicación de sílice en ninguno de los suelos experimentales. La adición de silicato de sodio incrementó la fijación del fósforo hacia el P-Fe únicamente en los suelos latosólicos (Diviso, Cafelina y Canangucho).
10. El fósforo orgánico y el fósforo aprovechable no mostraron ningún cambio por efecto de la aplicación de sílice, mientras que el P fácilmente reemplazable disminuyó ($P < 0,01$) consistentemente en todos los suelos.
11. La "precipitación" total de P aplicado se incrementó ($P < 0,01$) por acción de la sílice aplicada, pero el incremento fué inferior ($P < 0,01$) al que produjo la cal. Por otra parte, la aplicación de sílice aumentó la fijación por adsorción ($P < 0,01$), únicamente en los suelos volcánicos.
12. La aplicación de 800 ppm. de sílice disminuyó ($P < 0,01$) la capacidad de fijación de fósforo en los suelos latosólicos: Tangareal (85% a 36%), Diviso (81% a 28%), Cafelina (58% a 38%) y Canangucho (72% a 55%).

VI. RECOMENDACIONES

1. Investigar, bajo condiciones de invernadero y campo, el efecto de niveles de cal sobre el aprovechamiento de los fosfatos nativos del suelo y sobre la liberación del P retenido en fertilizaciones previas.
2. Estudiar, bajo diferentes condiciones de suelo y cultivo, la incidencia de los niveles de encalamiento sobre el efecto residual de los fertilizantes fosfóricos.
3. Desarrollar trabajos que permitan clarificar el comportamiento de las aplicaciones de sílice en relación al mejor aprovechamiento de los fosfatos del suelo por los cultivos y a su incidencia sobre el efecto residual de los fertilizantes fosfatados. A ese respecto deben tomarse en cuenta:
 - a) Nivel y fuente de sílice
 - b) Especie
 - c) Nivel y fuente de fósforo
 - d) Tipo de suelo.

VII. RESUMEN

Para llevar a cabo el presente estudio se seleccionaron seis suelos del Departamento de Nariño y la Intendencia del Putumayo, dos de los cuales están clasificados como andosoles (Catambuco y Km. 10) y los restantes como latosoles (Diviso, Tangareal, Cafelina y Canangucho). El trabajo se encaminó a conocer bajo condiciones de laboratorio, el comportamiento de las fracciones de fósforo y la capacidad de fijación de fosfatos y sus formas, cuando los suelos recibieron adiciones de 3% de cal (CaCO_3) y 800 ppm. de sílice (Na_2SiO_3).

Los resultados conseguidos permitieron evidenciar los siguientes:

El encalamiento incrementó el P-Ca no apatítico en todos los suelos y la fracción apatítica solo en los volcánicos. La fijación del P aplicado fué hacia la forma no apatítica únicamente.

La adición de cal disminuyó el P-Al nativo de los suelos e incrementó la precipitación del P hacia esa fracción; condujo por otra parte, a un aumento del P-Fe en el suelo Canangucho (Latosol) y disminución en el suelo Km. 10 (Andosol) y, motivó una mayor precipitación en términos de P-Fe que dependió del tipo de suelo.

La cal no afectó al P orgánico, aunque sí hizo disminuir en todos los suelos, las fracciones fácilmente reemplazable y aprovechable.

La "precipitación" total del P aplicado, aumentó en los suelos estudiados en este orden:

Km. 10 \geq Diviso $>$ Tangareal $>$ Cafelina \geq Catambuco \geq Canangucho.

La fijación del P por adsorción, subió en los suelos Km. 10, Catambuco y Cafelina por la adición de cal. Sin embargo, no afectó la capacidad de fijación de fósforo en ninguno de los suelos.

La adición de sílice no afectó la concentración de las fracciones de fósforo unido al calcio y, tampoco incidió en la precipitación del P aplicado hacia esas fracciones, salvo el caso de los suelos Catambuco y Diviso.

La acción de la sílice fué estadísticamente similar a la del encalamiento, respecto al P-Al. Disminuyó su concentración, pero aumentó la retención del P aplicado hacia esa fracción en un 50% respecto al testigo. Sobre los fosfatos de hierro no tuvo ningún efecto, aunque incrementó la fijación del P en esta dirección, en los suelos latosólicos (Diviso, Cafelina y Canangucho).

La "precipitación" total del P aplicado aumentó por efecto de la sílice, pero en menor grado que con la cal y, condujo a un incremento de fijación por adsorción, solo en los suelos volcánicos.

En atención a los resultados encontrados, se considera de interés, conducir investigaciones bajo condiciones de invernadero y campo, que clarifiquen la acción de niveles de cal sobre los fosfatos del suelo y la fertilización fosfórica en general. Igualmente estudios que, toman en consideración el efecto de niveles y fuentes de sílice, en relación a diferentes cultivos, niveles y fuentes de fósforo, y tipos de suelo.

SUMMARY

To achieve this review six soils were chosen from Department of Nariño and the Intendencia of Putumayo, two among them were classified as Andosols (Catambuco and the soil of Km. 10) and the others as Latosols (Diviso, Tangareal, Cafelina and Canangucho). The review was carried out in laboratory conditions to know the behavior of the Phosphorus fractions and to know the fixation capacity of Phosphates and its forms, when the soils received additions of Calcium (CaCO_3) at 3% and Silicon (Na_2SiO_3) at 800 ppm.

According to the results the following conclusions may be established:

Liming increased P-Ca unapatitic in all soils and the apatitic fraction only in the volcanic ones. The fixation of applied P was directed only to the unapatitic form.

The addition of lime decreased P-Al of the soils and it increased the retention of P to that fraction; in the other hand, it led to an increment of P-Fe in the Canangucho soil (Latosoil) and a decrease in the Km. 10 soil (Andosol) and this made a high retention in P-Fe forms that depended of the soil type.

The lime did not affect the organic P, nevertheless, it decreased in all the soils the fractions easily exchangeable and available.

The total retention of the applied P increased in the studied soils in this magnitude:

Km. 10 \geq Diviso $>$ Tangareal $>$ Cafelina \geq Catambuco \geq Canangucho

The fixation of P by adsorption increased in Km. 10,

Catambuco and Cafelina soils when lime was added. Although, it did not affect the fixation of phosphorus in none of the soils.

The addition of Silicon did not affect the P joined to Ca part, concentrations and it neither incided in the retention of the appliable P to these fractions except in the case of the Catambuco and Diviso soils.

The action of the Silicon was statistically similar to the lining with respect to the P-Al. It decreased its concentration but it increased 50% its applied P retention to that fraction with respect to the check. There was no effect on the Fe phosphates even the P fixation was increased toward the P-Al fraction in the latosoils (Diviso, Cafelina and Canangucho).

The total "precipitation" of the applied P increased due to the effect of the Silicon, although in a lesser way with the application of lime, and it led to an increment of fixation by adsorption but only in the volcanic soils.

Considering the obtained results it is interesting to lead researches in greenhouse and field conditions to clarify the action of lime levels on the soil phosphates and phosphoric fertilization in general; and also, it must be led some researches that include the effect of the levels and sources of Silicon in relation with the different crops, levels and sources of phosphorus and different type of soils.

VIII. BIBLIOGRAFIA

1. AHENKORAH, Y. Phosphorus retention capacities of some cacao-growing soils in Ghana and their relationships with soil properties. *Soil Science* 105 (1): 24-30. 1968.
2. ALCAYAGA, A. URBINA de. Relaciones entre algunas características físicas y químicas de suelos derivados de cenizas volcánicas. *Agricultura técnica (Chile)* 25: 9-17. 1965.
3. ALCOFORADO, B. C. Mineralizacáo de fosforo en solos do Pacifico de Costa Rica. Tesis de Magister Scientiae. IICA, Turrialba, Costa Rica. 1972. 76p.
4. ANGULO, R. N. et al. Fraccionamiento de nitrógeno, fósforo y potasio en el piso tropical del Departamento de Nariño, Llanura del Pacífico. Tesis Ing. Agr. Pasto, Universidad de Nariño, Instituto Tecnológico Agrícola. 1970. 116p.
5. ARIAS, A. y GUERRERO, R. R. Algunas propiedades físicas de dos suelos derivados de cenizas volcánicas de Pasto, Colombia, determinado por diferentes métodos. *Turrialba* 21 (4): 393-403. 1971.
6. BACHE, B. W. Aluminium and iron phosphate studies relating to soils. Y Solution and hydrolisis of variscita and strengite. *Journal of Soils Science* 14 (1): 113-123. 1963.
7. _____ . Aluminium and iron phosphate studies related to soil. II oxidos. *Journal of Soil Science* 15: 110-116. 1964.
8. BECKWITH, R. S. y REEVE, R. Studies on soluble silica in

- soils. I The adsorption of silicilic acid by soils and minerals. *Austrlian Journal of Soil Research* 1: 157-168. 1963.
8. BECKWITH, R. S. y REEVE, R. Studies on soluble silica in soils. II The release of monosilicic acids from soils. *Australian Journal of Soil Research* 2: 33-45. 1964.
10. BENAVIDES, R. S. Distribution of native phosphorus and phosphorus sorption capacity of some tropical soils of Colombia, S. A. Master of Science Thesis. Oklahoma State University. 1963. 103p.
- 3 11. BLACK, C. A. *Soil-Plant relationships*. 2nd ed. New York, John Wiley. 1968. 792p.
12. BORNEMISZA, E. y FASSBENDER, H. W. Uptake of fertilizer phosphate from nine soils from humid tropics. *Agrochimica* 14 (2-3): 259-268. 1970.
13. CABALA, P. R. y FASSBENDER, H. W. Efecto del enclamiento en las formas y disponibilidad de fosfatos en suelos de la región cacaotera, Bahía, Brasil. *Turrialba* 21(1): 38-46. 1967.
- 4 14. COLEMAN, R. The mechanism of phosphate fixation by montmorillonitic and kaolinitic clays. *Soil Science Society of America Proceedings* 9: 75-78. 1944.
15. CUELLAR, S. G. Efecto de la adición de Carbonato de Calcio y Superfosfato triple en la mineralización del Fósforo en Suelos Volcánicos de la Sabana de Túquerres, Nariño, Colombia. Tesis Ing. Agr. Pasto, Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas. 1973. 63p.

- 6 16. CHANG, S. C. y CHU, N. K. The fate of soluble phosphate applied to soil. *Journal of Soil Science* 12: 286-293. 1961.
17. CHANG, S. C. y JACKSON, M. L. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Science* 84: 133-137. 1957.
18. CHU ADA, C. y SHERMAN, G. D. Diferential fixation of phosphate by typical soil of the Hawaiian Great soil groups. *Hawaii Agricultural Experiment Station Technical Bulletin*. 1952. 20p.
19. DATTA, N. P. et al. Effect of sodium silicate on the uptake of soil and fertilizer phosphorus by wheat, rice and berseem (*Trifolium alexandrinum*). *Indian Journal of Agricultural Science*. 32(3): 219-227. 1962.
20. DUNBAR, A. D. y BAKER, D. E. Use of isotopic dilution in a study of inorganic phosphorus fractions from different soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 29 (2): 259-262. 1965.
21. ESTRADA, E. P. y MARTINEZ, J.J. Características generales de algunos suelos del sector Volcán Galeras y relación con las formaciones vegetales. Tesis Ing. Agr. Pasto, Universidad de Nariño, Instituto Tecnológico Agrícola. 1970. 173p.
- 7 22. FASSBENDER, H. W. La adsorción de fosfatos en suelos fuertemente ácidos y su evolución usando la isoterma de Langmuir. *Fitotecnia Latinoamericana* 3: 210-216. 1966.
23. _____ . Phosphate retention and its different chemical formas under laboratory conditions for 14 Costa Rica soils. *Agrochimica* 12 (6): 512-521. 1968

24. FASSBENDER, H. W. Phosphorus fixation in tropical soils. *Agri. Digest* 18: 20-28. 1969.
25. _____ . Deficiencia y fijación de fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas de Centroamérica. In Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba, Costa Rica FAO-IICA. p. irr. 1969.
26. _____ . 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.
27. _____ . Retención y transformación de fosfatos en 8 latosoles de la Amazonía del Brasil. *Fitotecnia Latinoamericana* 6 (1): 1-10. 1969.
28. _____ . Efecto del encalado en la mejor utilización de fertilizantes fosfatados en un andosol de Costa Rica. *Fitotecnia Latinoamericana* 6 (1): 115-126. 1969.
29. FASSBENDER, H. W. e IGUE, K. Comparación de métodos radio métricos y colorimétricos en estudios sobre retención y transformación de fosfatos en suelos. Turrialba 17(3): 284-287. 1967.
30. FASSBENDER, H. W. y MOLINA, R. Influencia de emiendas calcáreas y silicatadas sobre el efecto de fertilizantes fosfatados en suelos derivados de cenizas volcánicas de Costa Rica. In Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina, Turrialba, Costa Rica. IICA-FAO. pp. C.2.1.-C.2.12. 1969.

31. FASSBENDER, H. W. y MULLER, L. Uso de enmiendas silicatas en suelos altamente fijadores de fosfatos. I Efecto de aplicaciones de metasilicato de sodio. Turrialba 17 (4): 371-375. 1967.
32. FASSBENDER, H. W. et al. Estudio del fósforo en suelos de la América Central. II Formas y su relación con la planta. Turrialba 18 (4): 333-347. 1968.
33. FISKELL, J. G. y SPENCER, W. P. Forms of phosphate in lake land fine sand after six years of heavy phosphate and lime applications. Soil Science 97: 320-327. 1964.
34. FOX, R. L. y SHERMAN, G. D. Availability of fertilizer phosphorus in three latosols of Hawaii. Agronomy Journal. 55 (4): 311-313. 1963.
35. FOX, R. L. et al. Phosphorus solubility and availability to plants and the aluminium status of Hawaii soils as influence by liming. International Society of Soil Science. Transaction of Joint Meeting. Commissions IV and V. New Zealand. 574-583 pp. 1962.
- 12 36. GRIFFIN, G. F. Effect of liming on the soil test level of phosphorus as determined by three methods. Soil Science Society of America Proceedings 35 (4): 540-542. 1971.
- 13 37. GUERRERO, R. Capacidad de fijación de fósforo y sus formas en suelos volcánicos de cuatro regiones andinas de Nariño. Tesis de promoción profesoral. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Pasto. 1971. 38p.
- 14 38. GUERRERO, R. et al. Estado y fijación del fósforo en sue

los volcánicos del Sur de Colombia. In II Panel sobre suelos volcánicos de América. Pasto, Universidad de Nariño, IICA-OEA. 1972. (en prensa).

39. HAGIN, J. y HADAS, S. Solubility of calcium phosphate in calcareous soils. *Nature* 193: 1211-1212. 1962.
40. HEMWALL, J. B. The fixation of phosphorus by soils. *Advances in Agronomy* 9: 95-112. 1957.
41. HERNANDEZ, A. y MESIAS, J. Mineralización del fósforo orgánico en algunos suelos de la Intendencia Nacional del Putumayo. Tesis Ing. Agr. Pasto, Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas. 1972. 49p.
- 15 42. HSU, P. H. Adsorption of phosphate by aluminium and iron in soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 21: 144-149. 1964.
- 16 43. _____. Fixation of phosphate by aluminium and iron in acid soils. *Soil Science* 99 (6): 398-402. 1965.
44. HSU, P. H. y RENNIE, D. A. Reactions of phosphate in aluminium systems I Adsorption of phosphate by X-ray amorphous "AlOH". *Canadian Journal of Soil Science* 42: 197-209. 1962.
45. _____. Reactions of phosphate in aluminium systems. II Precipitation of phosphate by exchangeable aluminium on a cation exchange resin. *Canadian Journal of Soil Science* 42: 210-221. 1962.
46. HUNTER, A. S. Effects of silicate on uptake of phosphorus from soil by four crops. *Soil Science* 100: 391-396. 1965.

47. JACKSON, M. L. Aluminum bonding in soils. A unifying principle in Soil Science. Soil Science Society of America Proceedings 27 (1): 1-10. 1963.
48. JIMENEZ, P. J. y OCAMPO, C. M. El aluminio como factor de acidez en varios suelos del Departamento de Nariño. Tesis Ing. Agr. Pasto, Universidad de Nariño, Instituto Tecnológico Agrícola. 1970. 93p.
49. LARSEN, S. y WINDDOWSON, D. E. Evidence of dicalcium phosphate precipitation in a calcareous soil. Journal of Soil Science 21 (2): 364-367.
50. LEGARDA, L. et al. Relaciones entre algunas características de los suelos y los pisos altitudinales de Nariño, Colombia. Turrialba 23 (1): 97-103. 1973.
51. LEON, A. S. Estudios químicos y mineralógicos de diez suelos colombianos. Agricultura Tropical. 20 (8): 442-451. 1964.
52. LOPEZ, S. y SALAS, L. Modificación a los métodos usuales de determinación de fósforo aprovechable en suelos volcánicos de la región Andina de Nariño. Tesis Ing. Agr. Pasto, Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas. 1973. 70p.
53. LUCAS, L. N. y BLUE, W. G. Effects of lime and phosphorus on selected alluvial entisols from eastern Costa Rica. I Phosphorus retention and soil phosphorus fractions. Tropical Agriculture 49 (4): 287-295. 1972.
54. _____ . Effects of lime and phosphorus on selected alluvial entisols from eastern Costa Rica. II Forage plant responses. Tropical Agriculture 50 (1): 63-74. 1973.

55. MACKENZIE, A. F. Inorganic soil phosphorus fractions of some Ontario soils as studied using isotopic exchange and solubility criteria. *Canadian Journal of Soil Science* 42: 150-155. 1962.
56. McCONAGHY, S. et al. Residual value of phosphates in relation to soil conditions. *Tech. Bull. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food* 20: 80-88. 1971. Ministry of Agriculture, Northern Ireland (Original no consultado, resumido en *Soils and Fertilizers* 35 (2): 1483. 1972).
57. MOLINA, C. E. y BLASCO, L. M. El nitrógeno en los suelos derivados de cenizas volcánicas del Altiplano de Pasto, Colombia. *Turrialba* 20 (3): 288-292. 1970.
58. MURRMANN, P. R. y PEECH, M. Reaction products of applied phosphate in limed soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 32 (4): 493-496. 1968.
59. _____ . Effect of pH on labile and soluble phosphate in soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 33 (2): 205-210. 1969.
60. OLSEN, S. R. y WATANABE, F. S. A method to determine phosphorus adsorption maximum of soils as measured by the Langmuir isotherm. *Soil Science Society America Proceedings* 21: 144-149. 1957.
61. ORTEGA, J. y GUERRERO, R. R. Comportamiento de las formas de fósforo y sus relaciones con la adsorción de P por la avena, bajo tres fuentes de fertilización fosfatada en un latosol de Nariño, Colombia. *Turrialba* 22 (4): 420-430. 1972.

62. PANTOJA, L. C. Fraccionamiento de fósforo en algunos suelos de clima medio en el Departamento de Nariño. Tesis Ing. Agr. Pasto, Universidad de Nariño, Instituto Tecnológico Agrícola. 1969. 111p.
63. RALEIGH, G. H. Some effects of various silicates, lime and gypsum on growth of tomato plants in western and eastern soils of low levels of phosphorus nutrition. Cornell Agricultural Station. Memorias 326. 1963.
64. ROEDER, M. y BORNEMISZA, E. Algunas propiedades de suelos de la región Amazónica del Estado de Maranhao, Brasil. Turrialba 18 (4): 319-332. 1968.
65. ROY, A. C. et al. Influence of calcium silicate on phosphate solubility and availability in Hawaiian latosols. Proceedengs, International Symposium on Soil Fertility evaluation, New Delhi, Indian Society of Soil Science. (1971): 757-765. (Original no consultado. Resumido en Soils and Fertilizers 35 (1): 542. 1972).
66. SEN GUPTA, M. B. y CORNFIELD, A. H. Phosphorus in calcareous soils. Journal of Soil Science and Food Agriculture. 13: 652-655. 1962.
67. SILVA, R. A. y SCHAEFER, R. Interacción entre materia orgánica y aluminio en un suelo hidromórfico derivado de cenizas volcánicas (Nadi, Sur de Chile). Turrialba 21 (2): 149-156. 1971.
68. SPENCER, W. F. Distribution and availability of phosphates added to a Lakeland fine sand. Soil Science Society of America Proceedings 21: 141-144. 1957.
69. SUEHISA, R. H. et al. Effects of silicates on phosphorus

availability to Sudan grass grown on Hawaiian soils. Agricultural Experiment Station of Hawaii, Technical Bulletin 51. 1963. 40p.

- 19 70. TISDALE, S. L. y NELSON, W. L. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Trad. por Jorge Balasch. Barcelona, Montaner y Simon. 1970. 760p.
71. VOLIL, V. V. y McLEAN, E. O. The fets of applied phosphorus in four Ohio soils. Soil Science Society America Proceedings 27: 53-58. 1963.
72. VYAS, M. K. y MOTIRAMANI, D. P. Effect of organic matter, silicates and moisture levels on availability of phosphate. Journal of the Indian Society of Soil Science 19 (1): 39-43. 1971.
- 20 73. WADA, K. Reaction of phosphate with allophane and halloy site. Soil Science 87: 325-330. 1959.
74. WEBBER, M. D. y MATTINGLY, G. E. Inorganic soil phosphorus. II Changes in monocalcium phosphate and lime potencie on mixing and liming soils. Journal of Soil Science 21 (1): 121-126. 1970.
75. WOODRUFF, J. R. y KAMPRATH, E. J. Phosphorus adsorption maximun as measured by the Langmuir isotherm and its relationship to phosphorus availability. Soil Science Society of America Proceedings 29: 148-150. 1965.
76. YUAN, T. L. et al. Forms of newly fixed phosphorus in three acid soils. Soil Science Society of America Proceedings 24: 447-450. 1960.

A P E N D I C E

TABLA I

PRUEBA DE TUKEY PARA FOSFATOS
DE Ca NO APATITICO, Ca APATITICO Y DE ALUMINIO

TRATAMIENTO	\bar{X}	CAL	SILICE	TESTIGO
		10,49	8,71	2,62
Testigo	2,62	7,87 ⁺⁺	0,84 ^{N.S.}	----
Sílice	8,71	1,78 ^{N.S.}	----	

TRATAMIENTO	\bar{X}	CAL	TESTIGO	SILICE
		18,07	11,37	10,65
Sílice	10,65	7,42 ⁺⁺	0,72 ^{N.S.}	---
Testigo	11,37	6,70 ⁺⁺	----	

TRATAMIENTO	\bar{X}	TESTIGO	SILICE	CAL
		79,81	47,95	41,39
Cal	41,39	38,42 ⁺⁺	6,56 ^{N.S.}	---
Sílice	47,95	31,86 ⁺⁺	----	

TABLA II

PRUEBA DE TUKEY PARA P-FACILMENTE REEMPLAZABLE
P-APROVECHABLE Y FIJACION POR PRECIPITACION TOTAL

TRATAMIENTO	\bar{X}	TESTIGO	SILICE	CAL
		10,45	5,17	3,29
Cal	3,29	7,16 ⁺⁺	1,88 ^{N.S.}	----
Sílice	5,17	5,28 ⁺	----	

TRATAMIENTO	\bar{X}	TESTIGO	SILICE	CAL
		19,83	6,52	5,63
Cal	5,63	14,20 ⁺⁺	0,89 ^{N.S.}	----
Sílice	6,52	13,31 ⁺⁺	----	

TRATAMIENTO	\bar{X}	CAL	SILICE	TESTIGO
		921,26	837,01	416,77
Testigo	416,77	504,49 ⁺⁺	420,24 ⁺⁺	----
Sílice	837,01	84,25 ⁺⁺	----	

TABLA III

PRUEBA DE TUKEY PARA FIJACION DE P POR ADSORCION,
FIJACION TOTAL Y FIJACION DE P
COMO FOSFATO DE Ca NO APATITICO

TRATAMIENTO		CAL	SILICE	TESTIGO
	\bar{X}	36,21	17,37	3,18
Testigo	3,18	33,03 ⁺⁺	14,19 ⁺⁺	----
Sílice	17,37	18,84 ⁺⁺	-----	

TRATAMIENTO		TESTIGO	CAL	SILICE
	\bar{Y}	433,90	418,46	266,31
Sílice	266,31	367,59 ⁺⁺	152,15 ⁺⁺	----
Cal	418,46	15,44 ^{N.S.}	-----	

TRATAMIENTO		CAL	SILICE	TESTIGO
	\bar{X}	70,17	36,20	21,53
Testigo	21,53	48,64 ⁺⁺	14,67 ⁺⁺	----
Sílice	36,20	33,97 ⁺⁺	-----	

TABLA IV

PRUEBA DE TUKEY PARA LA FIJACION DE FOSFORO
 COMO FOSFATO DE Ca APATITICO, DE Al Y DE Fe

TRATAMIENTO	\bar{X}	SILICE	CAL	TESTIGO
		22,19	21,58	13,49
Testigo	13,49	8,70 ^{N.S.}	8,09 ^{N.S.}	---
Cal	21,58	0,61 ^{N.S.}	----	

TRATAMIENTO	\bar{X}	CAL	SILICE	TESTIGO
		508,25	463,94	211,33
Testigo	211,33	296,92 ⁺⁺	252,61 ⁺⁺	---
Sílice	463,94	44,31 ^{N.S.}	----	

TRATAMIENTO	\bar{X}	CAL	SILICE	TESTIGO
		320,79	314,74	170,47
Testigo	170,47	150,32 ⁺	144,27 ⁺	----
Sílice	314,74	6,05 ^{N.S.}	----	

TABLA V

PRUEBA DE TUKEY PARA FOSFATOS DE Ca APATITICO

SUELOS	\bar{x}	CATAMBUCO	Km. 10	TANGAREAL	CAFELINA	DIVISO	CANANGUCHO
		43,02	15,46	7,76	5,37	5,04	3,52
Canangucho	3,53	39,49 ⁺⁺⁺	11,93 ⁺	4,23 ^{N.S.}	1,84 ^{N.S.}	1,51 ^{N.S.}	-----
Diviso	5,04	37,98 ⁺⁺⁺	10,42 ⁺	2,72 ^{N.S.}	0,33 ^{N.S.}	-----	-----
Cafelina	5,37	37,65 ⁺⁺⁺	10,09 ⁺	2,39 ^{N.S.}	-----	-----	-----
Tangareal	7,76	35,26 ⁺⁺⁺	7,70 ^{N.S.}	-----	-----	-----	-----
Km. 10	15,46	27,56 ⁺⁺⁺	-----	-----	-----	-----	-----
Catambuco	43,02	-----	-----	-----	-----	-----	-----

I
cn
I

TABLA VI

PRUEBA DE TUKEY PARA FOSFATOS DE ALUMINIO

SUELOS	TANGAREAL					
	\bar{X}	Km. 10	CATAMBUCO	DIVISO	C/F LINA	C/MANGUCHO
	93,84	84,28	84,07	37,92	19,55	18,63
Canangucho	18,63	75,21 ^{††}	65,44 ^{††}	19,29 ^{N.S.}	0,92 ^{N.S.}	-----
Cafelina	19,55	74,29 ^{††}	64,72 ^{††}	18,37 ^{N.S.}	-----	-----
Diviso	37,92	55,92 ^{††}	46,36 ^{††}	-----	-----	-----
Catambuco	34,07	9,77 ^{N.S.}	0,21 ^{N.S.}	-----	-----	-----
Km. 10	84,28	9,56 ^{N.S.}	-----	-----	-----	-----
Tangareal	95,84	-----	-----	-----	-----	-----

1
6
1

TABLA VII

PRUEBA DE TUKEY PARA FOSFATOS DE HIERRO

SUELOS	\bar{X}	CATAMBUCO	TANGAREAL	CANANGUCHO	DIVISO	CAFELINA	Km. 10
		160,55	103,17	93,48	83,81	79,03	78,22
km. 10	78,22	82,33 ⁺⁺⁺	24,95 ^{N.S.}	15,26 ^{N.S.}	5,59 ^{N.S.}	0,81 ^{N.S.}	-----
Cafelina	79,03	81,52 ⁺⁺	24,14 ^{N.S.}	14,45 ^{N.S.}	4,78 ^{N.S.}	-----	-----
Diviso	83,81	76,74 ⁺⁺	19,36 ^{N.S.}	9,67 ^{N.S.}	-----	-----	-----
Canangucho	93,48	67,07 ⁺⁺⁺	9,69 ^{N.S.}	-----	-----	-----	-----
Tangareal	103,17	57,38 ⁺	-----	-----	-----	-----	-----
Catambuco	160,55	-----	-----	-----	-----	-----	-----

1 7 1

TABLA VIII

PRUEBA DE TUKEY PARA FOSFORO ORGANICO

SUELOS	\bar{X}	Km. 10	TANGAREAL	CATAMBUCO	DIVISO	CAFELINA	CAI'ANGUCHO
		95,75	86,02	75,33	30,01	21,53	21,04
Canangucho	21,04	74,71 ⁺⁺	66,98 ⁺⁺	54,29 ⁺⁺	8,97 ^{N.S.}	0,49 ^{N.S.}	-----
Cafelina	21,53	74,22 ⁺⁺	66,49 ⁺⁺	53,80 ⁺⁺	8,48 ^{N.S.}	-----	-----
Diviso	30,01	65,74 ⁺⁺	58,01 ⁺⁺	45,32 ⁺	-----	-----	-----
Catambuco	75,33	20,42 ^{N.S.}	12,69 ^{N.S.}	-----	-----	-----	-----
Tangareal	88,02	7,73 ^{N.S.}	-----	-----	-----	-----	-----
Km. 10	95,75	-----	-----	-----	-----	-----	-----

1
∞
1

TABLA IX

PRUEBA DE TUKEY PARA FOSFORO APROVECHABLE

SUELOS	CATAMBUCO	TANGAREAL	Km. 10	DIVISO	CANANGUCHO	CAFELINA
\bar{X}	25,41	14,37	10,59	6,91	3,47	3,21
Cafelina	22,20 ⁺⁺	11,16 ⁺⁺	7,38 ⁺	3,70 ^{N.S.}	0,26 ^{N.S.}	-----
Canangucho	21,94 ⁺⁺	10,90 ⁺⁺	7,12 ⁺	3,44 ^{N.S.}	-----	-----
Diviso	18,50 ⁺⁺	7,46 ⁺	3,68 ^{N.S.}	-----	-----	-----
Km. 10	14,82 ⁺⁺	3,78 ^{N.S.}	-----	-----	-----	-----
Tangareal	17,04 ⁺⁺	-----	-----	-----	-----	-----
Catambuco	-----	-----	-----	-----	-----	-----

1
9
1

TABLA X

PRUEBA DE TUKEY PARA LA FIJACION POR PRECIPITACION TOTAL

SUELOS	\bar{X}	Km. 10	DIVISO	TANGAREAL	CAFELINA	C/TAMBUCO	CANANGUCHO
		872,51	836,34	765,95	650,48	629,69	595,11
Canangucho	595,11	277,40 ⁺⁺⁺	241,23 ⁺⁺⁺	170,84 ⁺⁺⁺	55,37 ^{N.S.}	34,58 ^{N.S.}	-----
Catambuco	629,69	242,82 ⁺⁺⁺	206,65 ⁺⁺	136,26 ⁺⁺	20,79 ^{N.S.}	-----	-----
Cafelina	650,48	222,03 ⁺⁺⁺	185,86 ⁺⁺⁺	115,47 ⁺⁺⁺	-----	-----	-----
Tangareal	765,95	106,56 ⁺⁺	70,39 ⁺	-----	-----	-----	-----
Diviso	836,34	36,17 ^{N.S.}	-----	-----	-----	-----	-----
Km. 10	872,51	-----	-----	-----	-----	-----	-----

1 10 1

TABLA XI

PRUEBA DE TUKEY PARA LA FIJACION DE FOSFORO POR ADSORCION

SUELOS	CATAMBUCO	Km. 10	CAFELINA	DIVISO	CANANGUCHO	TANGAREAL
\bar{x}	58,59	26,51	10,99	7,79	5,92	3,72
Tangareal	54,87 ^{***}	22,79 ^{***}	7,27 ^{N.S.}	4,07 ^{N.S.}	3,20 ^{N.S.}	-----
Canangucho	52,67 ^{***}	20,59 ^{***}	5,07 ^{N.S.}	1,87 ^{N.S.}	-----	-----
Diviso	50,80 ^{***}	18,72 ^{**}	3,20 ^{N.S.}	-----	-----	-----
Cafelina	47,60 ^{***}	15,92 ^{***}	-----	-----	-----	-----
Km. 10	32,08 ^{***}	-----	-----	-----	-----	-----
Catambuco	58,59	-----	-----	-----	-----	-----

I H I

TABLA XII

PRUEBA DE TUKEY PARA LA FIJACION TOTAL

SUELOS	\bar{x}	Km. 10	TANGAREAL	DIVISO	CANANGUCHO	CATAMBUCO	CAFELINA
		558,25	406,66	383,92	349,31	293,82	245,39
Cafelina	245,39	312,86 ⁺⁺	161,27 ⁺⁺	138,53 ⁺⁺	103,92 ⁺⁺⁺	48,43 ⁺	-----
Catambuco	293,82	264,43 ⁺⁺	112,84 ⁺⁺	90,10 ⁺⁺	55,49 ⁺	-----	-----
Canangucho	349,31	208,94 ⁺⁺	57,35 ⁺⁺	34,61 ^{N.S.}	-----	-----	-----
Diviso	383,92	174,33 ⁺⁺	22,74 ^{N.S.}	-----	-----	-----	-----
Tangareal	406,66	151,59 ⁺⁺	-----	-----	-----	-----	-----
Km. 10	558,25	-----	-----	-----	-----	-----	-----

TABLA XIII

PRUEBA DE TUKEY PARA LA FIJACION DE FOSFORO COMO FOSFATO DE Ca NO APATITICO

SUELOS	CATAMBUCO	DIVISO	CAFELINA	CANANGUCHO	TANGAREAL	Km. 10
\bar{x}	85,97	46,55	43,27	32,13	30,35	17,52
Km. 10	58,45 ⁺⁺	29,03 ⁺⁺⁺	25,75 ⁺⁺⁺	14,61 ⁺⁺⁺	12,83 ⁺	---
Tangareal	55,62 ⁺⁺⁺	16,20 ⁺⁺⁺	12,92 ⁺	1,78 ^{l.s.}	---	---
Canangucho	53,84 ⁺⁺	14,42 ⁺	11,14 ⁺	---	---	---
Cafelina	42,70 ⁺⁺⁺	3,28 ^{N.S.}	---	---	---	---
Diviso	39,42 ⁺⁺	---	---	---	---	---
Catambuco	---	---	---	---	---	---

1 13 1

TABLA XIV

PRUEBA DE TUKEY PARA LA FIJACION DE FOSFORO COMO FOSFATO DE Ca APATITICO

SUELOS	CANANGUCHO	Km. 10	DIVISO	CAFELINA	TANGAREAL	CATAMBUCO
\bar{X}	33,99	44,67	21,72	17,19	13,34	3,62
Catambuco	30,37 ⁺⁺	21,05 ^{N.S.}	13,10 ^{N.S.}	13,57 ^{N.S.}	9,72 ^{N.S.}	-----
Tangareal	20,65 ^{N.S.}	11,33 ^{N.S.}	8,38 ^{N.S.}	3,85 ^{N.S.}	-----	-----
Cafelina	16,80 ^{N.S.}	7,48 ^{N.S.}	4,53 ^{N.S.}	-----	-----	-----
Diviso	12,27 ^{N.S.}	2,95 ^{N.S.}	-----	-----	-----	-----
Km. 10	24,67	9,32 ^{N.S.}	-----	-----	-----	-----
Canangucho	33,99	-----	-----	-----	-----	-----

TABLA XV

PRUEBA DE TUKEY PARA LA FIJACION DE FOSFORO COMO FOSFATO DE AL

SUELOS	Km. 10	TANGAREAL	DIVISO	CATAMBUCO	CAFELINA	CANANGUCHO
\bar{X}	568,40	552,27	459,01	298,39	243,49	263,47
Canangucho	304,93 ^{***}	288,80 ⁺⁺	195,54 ⁺⁺	34,92 ^{N.S.}	13,98 ^{N.S.}	-----
Cafelina	318,91 ⁺⁺	302,78 ⁺⁺	209,52 ⁺⁺	48,90 ^{N.S.}	-----	-----
Catambuco	270,01 ⁺⁺	282,26 ⁺⁺	160,62 ⁺⁺	-----	-----	-----
Diviso	109,39 ⁺	93,26 ⁺	-----	-----	-----	-----
Tangareal	552,27	-----	-----	-----	-----	-----
Km. 10	568,40	-----	-----	-----	-----	-----

TABLA XVI

PRUEBA DE TUKEY PARA LA FIJACION DE FOSFORO COMO FOSFATO DE Fe

SUELOS	CAFELINA	DIVISO	CANAGUCHO	Km. 10	CATAMBUCO	TANGAREAL
\bar{X}	340,53	309,11	292,50	261,97	240,91	166,97
Tangareal	173,56 ^{***}	142,11 ^{***}	125,53 ⁺	95,00 ⁺	73,94	-----
Catambuco	99,62 ⁺	68,20 ^{N.S.}	51,59 ^{N.S.}	21,06 ^{N.S.}	-----	-----
Km. 10	78,56 ^{N.S.}	47,11 ^{N.S.}	30,53 ^{N.S.}	-----	-----	-----
Canangucho	48,03 ^{N.S.}	16,61 ^{N.S.}	-----	-----	-----	-----
Diviso	31,42 ^{N.S.}	-----	-----	-----	-----	-----
Cafelina	340,53	-----	-----	-----	-----	-----

TABLA XVII

PRUEBA DE TUKEY PARA FOSFATOS DE Ca APATITICOS
(SUELO x TRATAMIENTO)

Km. 10		CAL	TESTIGO	SILICE
	\bar{X}	22,41	12,77	11,21
Sílice	11,21	11,20 ⁺	1,56 ^{N.S.}	---
Testigo	12,77	9,64 ^{N.S.}	---	---

CATAMBUCO		CAL	SILICE	TESTIGO
	\bar{X}	60,69	38,29	30,10
Testigo	30,10	30,59 ⁺⁺	8,19 ^{N.S.}	---
Sílice	38,29	22,40 ⁺⁺	---	---

TANCAREAL		TESTIGO	CAL	SILICE
	\bar{X}	11,13	8,87	3,30
Sílice	3,30	7,83 ^{N.S.}	5,57 ^{N.S.}	---
Cal	8,87	2,26 ^{N.S.}	---	---

TABLA XVII

PRUEBA DE TUKEY PARA FOSFATOS DE Ca APATITICOS
(SUELO x TRATAMIENTO)
(Continuación)

DIVISO	\bar{X}	CAL	TESTIGO	SILICE
		6,11	5,84	3,19
Sílice	3,19	2,92 ^{N.S.}	2,65 ^{N.S.}	---
Testigo	5,84	0,27 ^{N.S.}	---	

CAFELINA	\bar{X}	TESTIGO	SILICE	CAL
		5,83	5,50	3,73
Cal	4,78	1,05 ^{N.S.}	0,72 ^{N.S.}	---
Sílice	5,50	0,33 ^{N.S.}	---	

CANANGUCHO	\bar{X}	CAL	TESTIGO	SILICE
		5,57	2,59	2,44
Sílice	2,44	3,13 ^{N.S.}	0,15 ^{N.S.}	---
Testigo	2,59	2,98 ^{N.S.}	---	

TABLA XVIII

PRUEBA DE TUKEY PARA FOSFATOS DE Fe
(SUELO x TRATAMIENTO)

Km. 10	\bar{X}	TESTIGO	SILICE	CAL
		101,64	91,85	41,18
Cal	41,18	60,46 ⁺	50,67 ^{N.S.}	---
Sílice	91,85	9,79 ^{N.S.}	---	

CATAMBUCO	\bar{X}	SILICE	TESTIGO	CAL
		172,67	165,93	143,05
Cal	143,05	29,62 ^{N.S.}	22,88 ^{N.S.}	---
Testigo	165,93	6,74 ^{N.S.}	---	

TANGAREAL	\bar{X}	SILICE	CAL	TESTIGO
		127,84	91,57	90,11
Testigo	90,11	37,73 ^{N.S.}	1,46 ^{N.S.}	---
Cal	91,57	36,27 ^{N.S.}	---	

TABLA XVIII

PRUEBA DE TUKEY PARA FOSFATOS DE Fe
(SUELO x TRATAMIENTO)
(Continuación)

DIVISO	\bar{X}	SILICE	CAL	TESTIGO
		106,05	84,26	61,13
Testigo	61,13	44,92 ^{N.S.}	23,13 ^{N.S.}	---
Cal	84,26	21,79 ^{N.S.}	---	---

CAFELINA	\bar{X}	CAL	TESTIGO	SILICE
		107,42	84,54	45,46
Silice	45,46	61,96 ⁺	39,08 ^{N.S.}	---
Testigo	84,54	22,88 ^{N.S.}	---	---

CANANGUCHO	\bar{X}	CAL	SILICE	TESTIGO
		115,92	104,33	60,19
Testigo	60,19	55,73 ⁺	44,14 ^{N.S.}	---
Silice	104,33	11,59 ^{N.S.}	---	---

TABLA XIX

PRUEBA DE TUKEY PARA FOSFORO APROVECHABLE
(SUELO x TRATAMIENTO)

Km. 10	\bar{X}	TESTIGO	SILICE	CAL
		21,89	8,44	1,46
Cal	1,46	20,43 ⁺⁺⁺	6,98 ^{N.S.}	---
Silice	8,44	13,45 ⁺⁺⁺	---	---

CATAMBUCO	\bar{X}	TESTIGO	CAL	SILICE
		56,77	10,40	9,05
Silice	0,05	47,72 ⁺⁺⁺	1,35 ^{N.S.}	---
Cal	10,40	46,37 ⁺⁺⁺	---	---

TANGAREAL	\bar{X}	TESTIGO	SILICE	CAL
		16,43	14,10	12,58
Cal	12,58	3,85 ^{N.S.}	1,52 ^{N.S.}	---
Silice	14,10	2,33 ^{N.S.}	---	---

TABLA XIX

PRUEBA DE TUKEY PARA FOSFORO APROVECHABLE
(SUELO x TRATAMIENTO)
(Continuación)

DIVISO	\bar{X}	TESTIGO	CAL	SILICE
		12,24	5,74	2,76
Sílice	2,76	9,48 ^r	2,98 ^{N.S.}	---
Cal	5,74	6,50 ^{N.S.}	---	---

CAFELINA	\bar{X}	TESTIGO	SILICE	CAL
		6,50	2,01	1,15
Cal	1,15	5,35 ^{N.S.}	0,86 ^{N.S.}	---
Sílice	2,01	4,49 ^{N.S.}	---	---

CANANGUCHO	\bar{X}	TESTIGO	SILICE	CAL
		5,17	2,76	2,49
Cal	2,49	2,68 ^{N.S.}	0,27 ^{N.S.}	---
Sílice	2,76	2,41 ^{N.S.}	---	---

TABLA XX

PRUEBA DE TUKEY PARA LA FIJACION POR PRECIPITACION TOTAL
(SUELO x TRATAMIENTO)

Km. 10	\bar{X}	CAL	SILICE	TESTIGO
		1158,20	1054,85	404,50
Testigo	404,50	753,70 ⁺⁺	650,35 ⁺⁺	---
Silice	1054,85	103,35 ^{N.S.}	---	

CATAMBUCO	\bar{X}	CAL	SILICE	TESTIGO
		739,15	729,77	420,14
Testigo	420,14	315,91 ⁺⁺	309,63 ⁺⁺	---
Silice	729,77	9,38 ^{N.S.}	---	

TANGAREAL	\bar{X}	CAL	SILICE	TESTIGO
		1001,75	876,83	419,26
Testigo	419,26	582,49 ⁺⁺	457,57 ⁺⁺	---
Silice	876,83	124,92 ^{N.S.}	---	

TABLA XX

PRUEBA DE TUKEY PARA LA FIJACION POR PRECIPITACION TOTAL
(SUELO x TRATAMIENTO)
(Continuación)

DIVISO	\bar{X}	CAL	SILICE	TESTIGO
		1032,25	941,08	535,71
Testigo	535,71	496,54 ⁺⁺	405,37 ⁺⁺	---
Silice	941,08	91,17 ^{N.S.}	---	

CAFELINA	\bar{X}	CAL	SILICE	TESTIGO
		770,07	744,44	436,94
Testigo	436,94	321,12 ⁺⁺	307,50 ⁺⁺	---
Silice	744,44	25,63 ^{N.S.}	---	

CANANGUCHO	\bar{X}	CAL	SILICE	TESTIGO
		826,15	675,07	284,09
Testigo	284,09	542,06 ⁺⁺	390,98 ⁺⁺	---
Silice	675,07	151,08 ⁺	---	

TABLA XXI

PRUEBA DE TUKEY PARA LA FIJACION DE FOSFORO
POR ADSORCION (SUELO x TRATAMIENTO)

Kn. 10	\bar{X}	SILICE	CAL	TESTIGO
		63,97	10,80	4,78
Testigo	4,78	59,19 ⁺⁺	6,02 ^{N.S.}	----
Cal	10,80	53,17 ⁺⁺	----	

CATAMBUCO	\bar{X}	CAL	SILICE	TESTIGO
		138,77	35,07	1,94
Testigo	1,94	136,82 ⁺⁺	33,13 ⁺⁺	----
Silice	35,07	103,70 ⁺⁺	----	

TANCAREAL	\bar{X}	CAL	TESTIGO	SILICE
		8,97	1,69	0,50
Silice	0,50	8,47 ^{N.S.}	1,19 ^{N.S.}	----
Testigo	1,69	7,28 ^{N.S.}	----	

TABLA XXI

PRUEBA DE TUKEY PARA LA FIJACION DE FOSFORO
 POR ADSORCION (SUELO x TRATAMIENTO)
 (Continuación)

DIVISO	\bar{X}	CAL	TESTIGO	SILICE
		15,28	7,61	0,50
Sflice	0,50	14,78 ^{N.S.}	7,11 ^{N.S.}	---
Testigo	7,61	7,67 ^{N.S.}	---	---

CAFELINA	\bar{X}	CAL	SILICE	TESTIGO
		26,98	3,63	2,31
Testigo	2,31	24,67 ⁺⁺	1,37 ^{N.S.}	---
Sflice	3,68	3,68 ⁺⁺	---	---

CAN/ANCUCHO	\bar{X}	CAL	TESTIGO	SILICE
		16,49	0,78	0,50
Sflice	0,50	15,99 ^{N.S.}	0,28 ^{N.S.}	---
Testigo	0,78	15,71 ^{N.S.}	---	---

TABLA XXII

PRUEBA DE TUKEY PARA FIJACION TOTAL
(SUELO x TRATAMIENTO)

Km. 10		CAL	TESTIGO	SILICE
	\bar{X}	587,70	543,85	543,21
Silice	543,21	44,49 ^{N.S.}	0,64 ^{N.S.}	---
Testigo	543,85	43,85 ^{N.S.}	---	---

CATAMBUCO		CAL	TESTIGO	SILICE
	\bar{X}	356,55	294,61	230,30
Silice	230,30	126,25 ⁺	64,31 ^{N.S.}	---
Testigo	294,61	61,64 ^{N.S.}	---	---

TANGAREAL		TESTIGO	CAL	SILICE
	\bar{X}	518,78	480,33	220,87
Silice	220,87	297,91 ⁺⁺	259,36 ⁺⁺	---
Cal	480,33	38,45 ^{N.S.}	---	---

TABLA XXII

PRUEBA DE TUKEY PARA FIJACION TOTAL
(SUELO x TRATAMIENTO)
(Continuación)

DIVISO	\bar{X}	TESTIGO	CAL	SILICE
		522,64	449,91	179,21
Sílice	179,21	343,43 ⁺⁺	270,70 ⁺⁺	---
Cal	449,91	72,73 ^{N.S.}	---	

CAFELINA	\bar{X}	TESTIGO	CAL	SILICE
		336,83	221,15	178,20
Sílice	178,20	158,63 ⁺⁺	42,95 ^{N.S.}	---
Cal	221,15	115,68 ⁺	---	

CANANGUCHO	\bar{X}	CAL	TESTIGO	SILICE
		415,16	386,88	246,11
Sílice	246,11	169,05 ⁺⁺	140,57 ⁺⁺	---
Testigo	386,60	28,48 ^{N.S.}	---	

TABLA XXIII

PRUEBA DE TUKEY PARA FIJACION DE
FOSFORO COMO FOSFATO DE Ca NO APATITICOS
(SUELO x TRATAMIENTO)

Km. 10	\bar{X}	CAL	SILICE	TESTIGO
		37,53	11,20	3,80
Testigo	3,80	33,73 ⁺⁺	7,40 ^{N.S.}	---
Silice	11,20	26,33 [*]	---	

CATAMBUCO	\bar{X}	CAL	SILICE	TESTIGO
		131,97	80,43	45,51
Testigo	45,51	86,46 ⁺⁺	34,92 ⁺⁺	---
Silice	80,43	51,54 ⁺⁺	---	

TANGAREAL	\bar{X}	CAL	SILICE	TESTIGO
		47,43	29,17	14,47
Testigo	14,47	32,96 ⁺⁺	14,70 ^{N.S.}	---
Silice	29,17	18,26 ^{N.S.}	---	

TABLA XXIII

PRUEBA DE TUKEY PARA FIJACION DE FOSFORO
 COMO FOSFATO DE Ca NO APATITICOS
 (SUELO x TRATAMIENTO)
 (Continuación)

DIVISO	\bar{X}	CAL	SILICE	TESTIGO
		69,90	47,04	22,71
Testigo	22,71	47,19 ⁺⁺	24,33 ⁺	---
Sílice	47,04	22,86 ^{N.S.}	---	

CAFELINA	\bar{X}	CAL	SILICE	TESTIGO
		78,23	27,51	24,67
Testigo	24,07	54,15 ⁺⁺	3,44 ^{N.S.}	---
Sílice	27,51	50,72 ⁺⁺	---	

CANANGUCHO	\bar{X}	CAL	SILICE	TESTIGO
		55,95	21,84	18,61
Testigo	18,61	37,34 ⁺⁺	3,23 ^{N.S.}	---
Sílice	21,84	34,11 ⁺⁺	---	

TABLA XXIV

PRUEBA DE TUKEY PARA FIJACION DE FOSFORO
 COMO FOSFATO DE Ca APATITICOS
 (SUELO x TRATAMIENTO)

Km. 10	\bar{x}	SILICE	Cal	TESTIGO
		32,83	25,01	16,16
Testigo	16,16	16,67 ^{N.S.}	8,85 ^{N.S.}	---
Cal	25,01	7,82 ^{N.S.}	---	

CATAMBUCO	\bar{x}	TESTIGO	SILICE	CAL
		9,87	0,50	0,50
Cal	0,50	9,37 ^{N.S.}	---	---
Silice	0,50	9,37 ^{N.S.}		

TANGAREAL	\bar{x}	SILICE	CAL	TESTIGO
		21,21	10,91	7,89
Testigo	7,89	13,32 ^{N.S.}	3,02 ^{N.S.}	---
Cal	10,91	10,30 ^{N.S.}	---	

TABLA XXIV

PRUEBA DE TUKEY PARA FIJACION DE FOSFORO
 COMO FOSFATO DE Ca APATITICOS
 (SUELO x TRATAMIENTO)
 (Continuación)

DIVISO	\bar{X}	SILICE	CAL	TESTIGO
		24,72	22,33	18,10
Testigo	18,10	6,62 ^{N.S.}	4,23 ^{N.S.}	---
Cal	22,33	2,39 ^{N.S.}	---	

CAFELINA	\bar{X}	SILICE	TESTIGO	CAL
		22,00	15,69	13,87
Cal	13,87	8,13 ^{N.S.}	1,82 ^{N.S.}	---
Testigo	15,69	6,31 ^{N.S.}	---	

CANANGUCHO	\bar{X}	CAL	SILICE	TESTIGO
		56,85	31,89	13,23
Testigo	13,23	43,62 ⁺⁺	18,66 ^{N.S.}	---
Sílice	31,89	24,96 ⁺	---	

TABLA XXV

PRUEBA DE TUKEY PARA FIJACION DE FOSFORO COMO FOSFATO DE Al
(SUELO x TRATAMIENTO)

Km. 10	\bar{X}	CAL	SILICE	TESTIGO
		751,10	741,95	212,16
Testigo	212,16	538,94 ⁺⁺	529,79 ⁺⁺	---
Sílice	741,95	9,15 ^{N.S.}	---	

CATAMBUCO	\bar{X}	SILICE	CAL	TESTIGO
		374,65	337,48	183,65
Testigo	183,65	190,40 ⁺⁺	153,83 ⁺	
Cal	337,48	36,57 ^{N.S.}	---	

TANGAREAL	\bar{X}	CAL	SILICE	TESTIGO
		722,97	675,96	267,59
Testigo	267,59	455,38 ⁺⁺	408,37 ⁺⁺	---
Sílice	675,96	47,01 ^{N.S.}	---	

TABLA XXV

PRUEBA DE TUKEY PARA FIJACION DE FOSFORO COMO FOSFATO DE AL
(SUELO x TRATAMIENTO)

(Continuación)

DIVISO	\bar{X}	CAL	SILICE	TESTIGO
		592,62	504,91	279,50
Testigo	279,50	313,12 ⁺⁺	226,41 ⁺⁺	---
Sílice	504,91	87,71 ^{N.S.}	---	

CAFELINA	\bar{X}	CAL	SILICE	TESTIGO
		325,54	251,85	171,09
Testigo	171,09	154,46 ⁺	80,77 ^{N.S.}	---
Sílice	251,85	73,69 ^{N.S.}	---	

CANANGUCHO	\bar{X}	CAL	SILICE	TESTIGO
		319,77	235,66	154,00
Testigo	154,00	165,77 ⁺⁺	81,66 ^{N.S.}	---
Sílice	235,66	84,11 ^{N.S.}	---	

TABLA XXVI

PRUEBA DE TUKEY PARA FIJACION DE FOSFORO COMO FOSFATO DE Fe
(SUELO x TRATAMIENTO)

Km. 10	\bar{X}	CAL	SILICE	TESTIGO
		344,55	268,85	172,52
Testigo	172,52	172,03 ⁺⁺	96,33 ^{N.S.}	----
Sílice	268,85	75,70 ^{N.S.}	----	

CATAMBUCO	\bar{X}	SILICE	CAL	TESTIGO
		275,28	266,36	181,10
Testigo	181,10	84,18 ^{N.S.}	85,26 ^{N.S.}	----
Cal	266,36	8,92 ^{N.S.}	----	

TANGAREAL	\bar{X}	CAL	SILICE	TESTIGO
		220,43	151,19	129,30
Testigo	129,30	91,13 ^{N.S.}	21,89 ^{N.S.}	----
Sílice	151,19	69,24 ^{N.S.}	----	

TABLA XXVI

PRUEBA DE TUKEY PARA FIJACION DE FOSFORO COMO FOSFATO DE Fe
(SUELO x TRATAMIENTO)
(Continuación)

DIVISO	\bar{X}	SILICE	CAL	TESTIGO
		364,40	347,39	215,56
Testigo	215,56	148,84 ⁺⁺	131,83 ⁺	
Cal	347,39	17,01 ^{N.S.}	-----	

CAFELINA	\bar{X}	SILICE	CAL	TESTIGO
		443,08	352,41	226,09
Testigo	226,09	216,99 ⁺⁺	126,32 ⁺	
Cal	352,41	90,67 ^{N.S.}	-----	

CANANCUCHO	\bar{X}	SILICE	CAL	TESTIGO
		393,58	355,68	98,24
Testigo	98,24	295,34 ⁺⁺	287,44 ⁺⁺	-----
Silice	385,69	7,90 ^{N.S.}		