

INFLUENCIA DEL pH SOBRE LA FIJACION DE FOSFORO Y SU RELACION CON LA RESPUESTA DEL MAIZ A LA FERTILIZACION FOSFATADA (*)

Por: L. Eduardo Sanguino Soto

I.— INTRODUCCION

El fósforo es uno de los elementos que más necesitan las plantas para alcanzar la plenitud de su desarrollo. Este nutriente al reaccionar con el suelo puede ser convertido de formas asimilables a no asimilables, si ciertas condiciones son favorables para tal retroversión. Esta clase de reacción se ha denominado "fijación del fósforo".

Entre los factores que influyen en la retención del fósforo por el suelo, se pueden citar: a) Materia orgánica. En general se ha encontrado que el efecto que la fase orgánica del suelo es disminuir la fijación del fósforo. b) Presencia de óxidos hidratados de hierro y aluminio. En suelos ácidos éstos abundan y forman compuestos insolubles con el fósforo. c) Cantidad y tipo de arcilla. Para un mismo tipo de arcilla, estando otros factores constantes, a mayor cantidad de este compuesto generalmente hay más fijación de fósforo; entre los diversos tipos de arcilla, hay algunos que pueden fijar más que otros; así la kaolinita fija más que la montmorillonita. d) pH del suelo. Al aumentar la acidez del suelo se incrementa la actividad del hierro y del aluminio; en esa forma los fosfatos solubles quedan fijados como compuestos complejos e insolubles de hierro y aluminio; en suelos alcalinos se fija el fósforo debido a la formación de compuestos insolubles fosfatados de calcio.

La manera de aplicar el fósforo y la fijación del mismo guardan estrecha relación. Si se esparce sobre la superficie, habrá mayor contacto entre el fertilizante y el suelo, y por ende, mayor fijación; para que esto no ocurra es necesario localizarlo, disminuyendo así la superficie de contacto.

Es de importancia conocer el fenómeno de la "fijación del fósforo", para saber a) la cantidad de fósforo que se debe aplicar a los suelos. Así, a un suelo fuertemente ácido, habrá que aplicar fósforo para satisfacer su alta capacidad de fijación y dejar un remanente soluble o asequible a la planta. Para obviar la primer, sería más aconsejable aplicar un alcalinizante como CaCO_3 , con el objeto de au-

(*) Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo, bajo la presidencia de arlostadio Sánchez P., I. A., M.Sc., a quien el autor expresa sus agradecimientos.

mentar el pH hasta un nivel donde la fijación sea menor, aprovechando así el fósforo que en forma natural estaba fijado. b) La época de aplicación del fertilizante fosfatado. Debido a la continua fijación del fósforo en algunos suelos, se hace necesario aplicarlo todo al tiempo de la siembra.

Los objetivos del presente trabajo son:

1. Encontrar la relación entre la fijación de fósforo y el pH, contenido de aluminio intercambiable y la presencia de sales solubles.
2. Establecer la relación que pueda existir entre el tiempo de reacción del suelo acidificado y alcalinizado, con el fósforo fijado.
3. Obtener información sobre la relación existente entre la fijación de fósforo y la respuesta del maíz a la aplicación de CaCO_3 y fertilización fosfatada.

Esta investigación se realizó en el Centro Nacional de Investigaciones Agrícolas de Palmira, durante los meses de enero a octubre de 1.960.

II. REVISION DE LITERATURA

Según Hemwall (13), la fijación del fósforo fue reconocida por primera vez en Europa en 1.850 y en los Estados Unidos alrededor de 1.900, cuando se decía que el suelo tenía la capacidad de "retener" fósforo; pero sólo en los últimos 25 años se han hecho estudios con el fin de averiguar la base química de este fenómeno.

Se ha calculado que los cultivos recuperan del 10 al 30% del fósforo aplicado al suelo; el resto, lo consumen los microorganismos, se precipita en forma de compuestos insolubles o es absorbido fuertemente por el complejo coloidal del suelo. Esta última forma de fósforo ha sido considerada como no asequible inmediatamente a las plantas y se ha denominado "fósforo fijado" (Hemwall, 13).

A. — Fijación del fósforo en suelos ácidos.

Muchos son los investigadores que han hecho ensayos para saber el mecanismo de la fijación del fósforo en los suelos ácidos. (Chai MooHo, 7; Moser, 21; Swenson, 26; Bradley, 3).

Sin embargo los procesos que intervienen en este fenómeno son poco conocidos. Se cree que los factores que intervienen en la retención del fósforo en esta clase de suelos son los siguientes:

1. **Precipitación en forma de compuestos insolubles de hierro o aluminio.** En los suelos ácidos el hierro y el aluminio están presentes en apreciable cantidad, ya sea formando parte de la solución del suelo o como iones intercambiables; en estos suelos hay gran fijación de fósforo creyéndose que se debe a la formación de ortofosfatos complejos de hierro y aluminio (Tisdale and Nelson, 27).

Trabajando sobre este tema Heck (12), realizó experimentos con suelos lateríticos de Hawaii y demostró que el 80% del fósforo aplicado fue fijado en forma de fosfatos ácidos de hierro y aluminio.

De la misma manera, trabajos realizados por Larsen (18) en Indiana, demostraron que la adición de hierro y/o aluminio a los suelos, aumentó la capacidad de estos para fijar fósforo.

Swenson (26), en experimentos realizados en Massachusetts, encontró la máxima precipitación de fosfatos de hierro entre pH 2,5 a 3,5, mientras que para fosfato de aluminio fue entre 3, 5 y 4. Según este mismo autor, en estos pH predomina la forma monovalente H_2PO_4^- , poco la forma divalente HPO_4^{2-} y virtualmente nada en la forma trivalente PO_4^{3-} ; esto puede indicar que el H_2PO_4^- es el ion fosfato que forma los combinados de fósforo al reaccionar químicamente.

2. Reacción con sexquíóxidos hidratados. Según Tisdale and Nelson (27), muchos suelos contienen apreciable cantidad de hidróxidos de hierro, aluminio, titanio y manganeso; estos óxidos son de naturaleza coloidal y atraen los iones fosfatos a la superficie de las partículas, formando, probablemente, fosfatos complejos de hierro y aluminio.

3. Reacción con arcillas silicatadas. Un tercer mecanismo que ha sido estudiado para explicar la fijación del fósforo en suelos ácidos, es la reacción con arcillas silicatadas; estos son compuestos de sílice y aluminio formados por láminas aluminosilicatos. Los iones fosfatos pueden ser combinados directamente con esas arcillas con reemplazo de un grupo hidroxilo de un átomo de aluminio o por la formación de un compuesto encadenado de arcilla-calcio-fosfato (Tisdale and Nelson, 27).

Coleman (6), dice que el fósforo fijado por la montmorillonita y kooalinita, se debe al hierro y al aluminio libre en las arcillas. El cree que antes de la fijación del fósforo hay cambio de aniones, reemplazando el ion fosfato de la solución al ion OH de la arcilla; supone también que, el ion fosfato reemplaza al ion OH del hierro libre y del hidróxido de aluminio.

B.— Fijación de fósforo en suelos calcáreos y alcalinos.

El tipo de ion fosfato que predomina en los suelos alcalinos es PO_4^{3-} ; este ion es absorbido lentamente por las plantas en casi todos los suelos (Mac George et. al. 20).

Varios son los investigadores que han estudiado la fijación de fósforo en esta clase de suelos y están de acuerdo en afirmar que la formación de compuestos insolubles fosfatados de calcio, contribuyen en gran escala a ella (Hamwall, 13; Tisdale and Nelson, 27).

Según Burd (5), la concentración de calcio en la solución del suelo es el factor dominante en la determinación de la concentración de fosfato en el suelo.

De la misma manera, Pratt and Thorne (22) dicen que las arcillas saturadas de calcio fijan en mayor grado el fósforo en medio alcalino que las saturadas de sodio; si se aumenta el pH, la fijación de fósforo es mayor.

Lo anterior lo corroboran Lyon y Buckman (19) cuando dicen que en los suelos alcalinos si hay abundancia de cal, se forman fosfatos de calcio complejos. Estos van en el sentido del aumento de su insolubilidad, desde la oxiapatita, pasando por la hidroxiapatita, hasta la apatita carbonatada. Si existe flour se forma fluorapatita que es más insoluble que los demás; de tal manera que por el aumento en el pH puede insolubilizarse tanto el fósforo original como el agregado.

C.— Relaciones entre planta, suelo y fósforo.

Se acepta comunmente que la forma de fósforo usado por las plantas es H_2PO_4 —; sin embargo esto no quiere decir que no puedan usar el fósforo de otros compuestos o especies iónicas. Se ha observado en varias ocasiones que las plantas responden al fósforo en función de la solubilidad del fósforo presente en el suelo y que cualquier factor que altere esa solubilidad, alterará la respuesta de la planta (Starostka and Hill, 25; Drake and Steckell, 10).

D.— Acción de la cal sobre el pH y la fijación del fósforo.

Daza (8), trabajando con suelos ácidos de Santander de Quilichao (Cauca, Colombia), encontró que la cal tuvo un aumento altamente significativo sobre la producción de materia seca en alfalfa; con 10 ton/hect., el pH subió de 4,7 a 5,7. Aplicando conjuntamente cal y superfosfato encontró que el fósforo aplicado fue mejor aprovechado por la planta después de cuatro meses cuando se supuso que gran cantidad de esa cal había reaccionado con el suelo, asegurando una mayor provisión de este elemento en forma soluble.

La fijación del fósforo disminuye al aumentar el pH; sin embargo cuando se usa $Ca(OH)_2$ o $CaCO_3$ para elevarlo, pueden ocurrir ciertas reacciones que precipitan el fósforo formándose así compuestos insolubles (Kardos, 16).

E.— Tiempo de reacción del suelo con el fósforo aplicado.

Trabajos realizados por Ayres (1), Davis (9) y Hance (11) con suelos de Hawaii, demostraron que el tiempo de reacción del fósforo con el suelo influye en la fijación de este elemento. Ellos aplicaron 500 c.c. de una solución de 500 ppm P_2O_5 de fosfato diamónico a 50 g. de suelo y agitando, comprobaron lo siguiente: de 1 a 4 horas casi todo el fósforo era fijado por el suelo; a las 5 horas de agitación se fijaba una cantidad suficiente como para asegurar que ese era el tiempo óptimo de agitación, puesto que de ahí en adelante la fijación se iba estabilizando poco a poco hasta 48 horas que fue el tiempo máxima de agitación empleado en este experimento.

III. PROCEDIMIENTO

A.— **Escogencia de sitios.**— Para el presente trabajo se escogieron tres suelos a saber: a) Suelo franco-arcilloso de la serie "Estación Palmira" establecida por Lafaurie Accsta (17), con pH 6,60; b) Suelo franco, de la Granja "La Florida" (Popayán) con pH 4,80 y c) Suelo franco arcilloso de Jamundí con pH 4,50.

En los lugares anteriormente nombrados, se tomaron muestras representativas de la capa 0 a 20 cm. constituidas por 10 sub-muestras. Para ello se limpió bien el sitio tomando luego las muestras con pala y barretón.

B.— **Reconocimiento del perfil.**— Se efectuó el reconocimiento del perfil de los suelos nombrados anteriormente. Se abrieron huecos hasta de 1 m. de profundidad para estudiar textura, estructura, color, presencia de raíces y reacción al HCl; se tomaron muestras de suelo a diferentes profundidades para determinar pH en el laboratorio; estos datos aparecen en las tablas I, III y V del apéndice. Una vez colectado el suelo se llevó al invernadero donde se dejó secar al aire libre pasándolo luego por un tamiz con aberturas de 2 mm.

C.— **Análisis físico-químico.**— Al primer horizonte se hizo análisis físico químico en la siguiente forma: textura por el método del análisis mecánico "de Bauyoucos" (2); pH, en suelo saturado utilizando el potenciómetro de Beeckman con electrodo de vidrio (28); nitrógeno total según Kjeldahl (15); materia orgánica por vía húmeda según el método de Schollenberger modificado por Allan Walkley (29); calcio, magnesio y sodio por titulación; bases de absorción amónica por el método de Peech modificado por Rojas Cruz (23), fósforo aprovechable según Brary (4). Estos análisis aparecen en las Tablas II, IV y VI del apéndice.

D.— **Encalamiento y acidificación de suelos.**— Cuando se hubo tamizado el suelo, se agregaron 1.600 g. en macetas previamente lavadas y pintadas por dentro y por fuera con pintura asfáltica y con una capa de aluminio exteriormente; cada una se colocó sobre un plato del mismo material; destinado a recoger el agua, que pese a los cuidados del riego, pudiera percolarse y arrastrar nutrientes. Luego se procedió a encalar y acidificar el suelo según el caso; para la primera, se utilizó CaCO_3 químicamente puro, en tanto que para la segunda se usó HCl 1N. La dosis usadas fueron: 0-5-10-20-50 y 80 ton/hect., con el objeto de obtener una oscilación amplia en el pH.

Previamente se hizo un ensayo en el laboratorio para bajar el pH a 6,0 - 5,5 - 5,0 y 4,0 tomando 20 g. de suelo a los cuales se les agregó distintas cantidades de HCl 1N hasta obtener los pH deseados. Los resultados fueron:

Para pH 6,0	9,6 cc de HCl 1N
Para pH 5,5	28,0 cc "
Para pH 5,0	48,8 cc "
Para pH 4,0	132,0 cc "

Una vez hecha esta observación se procedió a acidificar. Todas las macetas con suelo se desinfectaron con formol al 4%, se colocaron en el invernadero y se les agregó agua periódicamente hasta aproximadamente la capacidad de campo.

E.— **Determinaciones químicas.** —A los dos meses de reacción se consideró que ya habían actuado el CaCO_3 y HCl sobre el suelo y se tomaron, con sacabocados, muestras de dos macetas por tratamiento; de estas mismas macetas se tomaron nuevas muestras a los cuatro meses de reacción.

En el laboratorio, se les determinó fijación de fósforo, aluminio intercambiable, por titulación con NaOH 0.1 N, porcentaje de sales solubles según el Soil Survey (24) y pH. El método usado para determinar fijación de fósforo fue el mismo empleado por Ayres (1), en Hawaii con ligeras modificaciones. Este método consiste en agregar 20 g. de suelo seco al aire, pasado por tamiz con aberturas de 2 mm. en un Erlenmeyer junto con una solución de 500 ppm. de P_2O_5 en la forma de $(\text{NH}_4)_2 \text{HPO}_4$; agitar durante 5 horas para luego filtrar desechar la primera porción del filtrado; tomar del filtrado una alícuota de 1 cc. y completar a 50 cc. con agua destilada; tomar 10 cc. de esta solución y añadir a un balón de 100cc.; agregar 4 cc. de molibdato de amonio y 10 gotas de SnCl_4 completar a 100 cc. con agua destilada y esperar hasta que se desarrolle un color azul, por un término de 15 minutos; luego leer la intensidad de la coloración en el colorímetro Beekman con filtro 650 A.

F.— **Ensayo biológico en el invernadero.**— En los suelos franco arcilloso de Jamundí y franco de la "Florida" (Pcpayán), luego de dos meses de reacción, se escogieron las macetas con las dosis de 0-10-20 y 50 ton. de CaCO_3 /hect. y se agregaron diferentes dosis de P_2O_5 en las siguientes combinaciones:

Tratamiento

1	N_6	P_2	K_1	Ca_0
2	N_3	P_2	K_1	Ca_0
3	N_6	P_6	K_1	Ca_0
4	N_6	P_2	K_1	Ca_{10}
5	N_6	P_4	K_1	Ca_{10}
6	N_6	P_6	K_1	Ca_{10}
7	N_3	P_2	K_1	Ca_{20}
8	N_3	P_4	K_1	Ca_{20}
9	N_6	P_6		
10	N_3	P_3	K_1	Ca_{50}
11	N_6	P_4	K_1	Ca_{50}
12	N_6	P_6	K_1	Ca_{50}

Los nutrientes fueron aplicados según la técnica de Jenny (14); el subíndice que acompaña a cada elemento indica el número de unidades de éste que se aplicaron. Según Jenny (14), una unidad de nutriente es igual a 80 mg. de él en 1.600 g. de suelo o sea 112 kilos/hect. El diseño experimental usado fue el de bloques al azar con 12 tratamientos y tres replicaciones.

Como planta indicadora se usó maíz (*Zea mays*) de la variedad "Zapalote chico"; se cosechó a los dos meses, se tomó el peso húmedo; se secó en la estufa a temperatura de 70°C y se halló el peso seco, en base al cual fueron hechos los análisis estadísticos.

Para el suelo franco-arcilloso "Estación Palmira", luego de dos meses de reacción se separaron las macetas cuyo suelo había sido previamente acidificado y se trató con diferentes dosis de P_2O_5 , de acuerdo con los siguientes tratamientos:

				pH
1	N ₆	P ₂	K ₁	6,60
2	N ₆	P ₄	K ₁	6,60
3	N ₆	P ₆	K ₁	6,60
4	N ₄	P ₂	K ₁	5,0
5	N ₆	P ₄	K ₁	5,0
6	N ₆	P ₆	K ₁	5,0
7	N ₆	P ₂	K ₁	4,0
8	N ₆	P ₄	K ₁	4,0
8	N ₆	P ₆	K ₁	4,0

Para este suelo se usó como diseño experimental el de bloques al azar, con nueve tratamientos y tres replicaciones. Los nutrientes fueron aplicados según Jenny (14) se sembró maíz var. "Zapalote chico" como planta indicadora, cosechándose a los dos meses; se le tomó peso húmedo y seco; los análisis estadísticos fueron hechos en base a este último.

IV.— RESULTADOS Y DISCUSION

A.— Características químicas y físicas de los suelos en estudio(*)

El suelo franco-arcilloso "Estación Palmira", tiene un pH cercano a la neutralidad, buen contenido de nitrógeno total, fósforo asimilable, potasio, calcio y magnesio. Sus propiedades físicas lo hacen poco lixiviable, con drenaje interno y externo regulares y con una topografía bastante plana.

En este suelo se observó una buena correlación entre los pH obtenidos en el laboratorio y en el invernadero, con las diferentes adiciones de de HCl: en las determinaciones efectuadas a los cuatro meses de reacción el pH subió gradualmente. (Tabla VII del apéndice).

El suelo franco de la "Florida", es muy fuertemente ácido, con un alto contenido de nitrógeno total y potasio, baja cantidad de calcio y magnesio en comparación con el suelo franco-arcilloso "Estación Palmira", muy poca cantidad de fósforo asimilable, alto conte-

(*) Los resultados que aparecen en esta parte fueron complementados al autor por comunicaciones personales de los Ings. Agrónomos y Químicos de la sección de suelos del Centro Nal. de Investigaciones Agrícolas, Pal-

nido de materia orgánica, hierro y aluminio intercambiable. Posee una textura suelta, estructura granular, buen drenaje interno pudiendo ser el externo un poco excesivo, bastante lixiviable y con una topografía ondulada.

La capacidad amortiguadora de los suelos de Popayán y Jamundí comprendidos en este estudio, es diferente, siendo la del primero mayor que la del segundo, como puede apreciarse en la Figura 1. A partir de la aplicación de 20 ton. de CaCO_3 /hect. el aumento en el pH es relativamente nulo en Jamundí, en tanto que lo similar ocurre con el de Popayán a partir de 50 ton. de CaCO_3 /hect.

El suelo franco-arcilloso de Jamundí es muy fuertemente ácido; tiene buen contenido de nitrógeno total, muy bajo contenido de fósforo asimilable, potasio, calcio y magnesio, estos dos últimos en relación al suelo franco-arcilloso "Estación Palmira"; el contenido de hierro y aluminio intercambiable es alto. Tiene un drenaje intermedio entre los suelos franco- la "Florida" y franco-arcilloso "Estación Palmira"; estructura granular, fácil percolación y buena capacidad de retención de agua.

B.— Fijación del fósforo en relación con el pH contenido de aluminio intercambiable y presencia de sales solubles.

El suelo franco de la "Florida" fué el que mostró la más alta capacidad de fijación, debido, probablemente, a la gran cantidad de hierro y aluminio que contiene; le siguen en su orden los franco-arcillosos de Jamundí y "Estación Palmira".

La capacidad de fijación de fósforo en el suelo de la "Florida" y Jamundí aumenta a medida que sube el pH con la adición de CaCO_3 , posiblemente por la formación de compuestos insolubles fosfatados de calcio que hacen insoluble el fósforo. Es probable, también, que el aluminio intercambiable al ser desplazado por el calcio pase a la solución y reaccione con el fósforo formando compuestos insolubles de aluminio; así mismo, es posible que el hierro tenga que ver en esta fijación. La capacidad de fijación máxima en este suelo fue de 2.210 mg. P_2O_5 /100 g. suelo a pH 7,8 y la del franco arcilloso de Jamundí 2.007 mg. P_2O_5 /100 g. suelo a pH 7,45. (Ver Figura 2).

La capacidad de fijación del suelo de la "Florida" aumentó en tanto que la del franco-arcilloso de Jamundí disminuyó, a los cuatro meses de reacción; en estas determinaciones, la capacidad de fijación máxima para el suelo de la "Florida" fue de 2.232 mg. P_2O_5 /100 g. suelo a pH 7,90 y para Jamundí 1.833 mg. P_2O_5 /100 g. suelo a pH 7,55. (Ver Figura 3).

Al aumentar la cantidad de CaCO_3 en estos suelos, se observa una disminución en el aluminio intercambiable; esta va en el suelo franco de la "Florida", de 3 m.e. en suelos sin tratar, hasta 0,36 m.e. en suelo con 50 ton. de CaCO_3 /hect., aumentando luego hasta 0,60 m.e. con 8 0ton. de CaCO_3 /hect. El comportamiento del suelo fran-

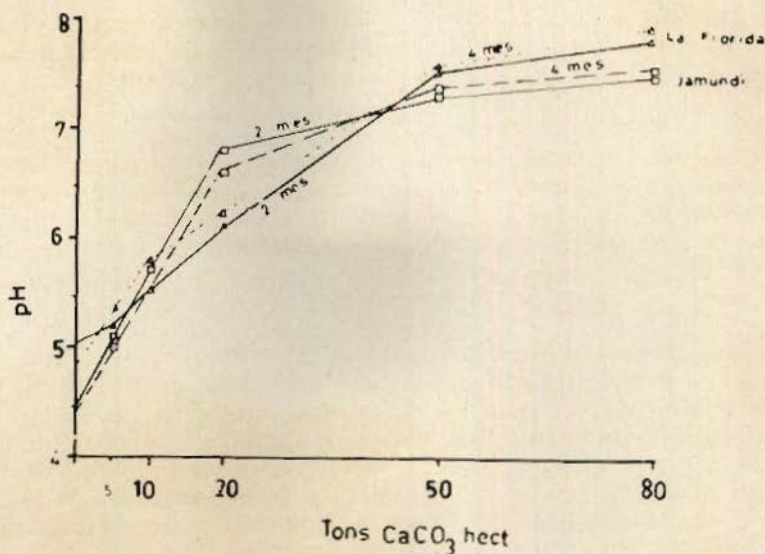


Figura 1.— Respuesta del pH a la aplicación de diferentes cantidades de CaCO_3 en los suelos franco "La Florida" y franco-arcilloso "Jamundí", a los 2 y 4 meses de reacción.

(Foto: M. T. Paredes).

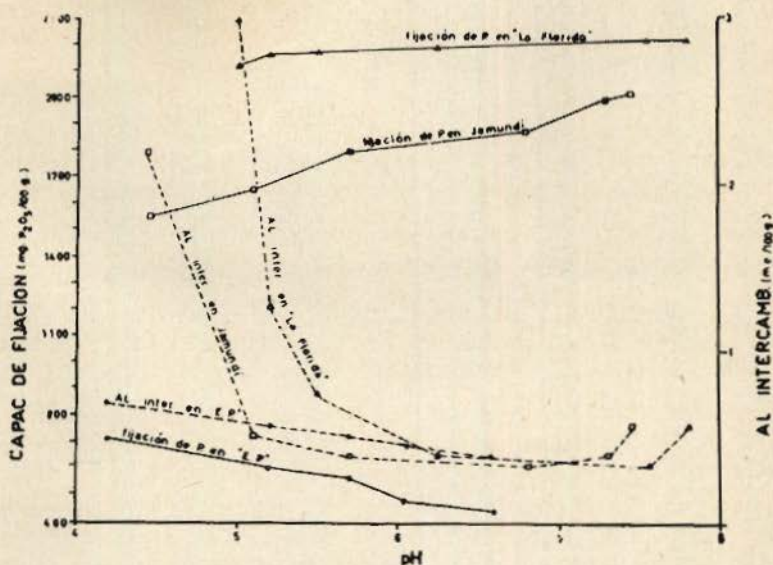


Figura 2.— Relación entre la capacidad de fijación de fósforo y aluminio intercambiable a diferentes pH, en los suelos franco-arcilloso "Estación Palmira", franco "La Florida" y franco-arcilloso de "Jamundí", a los dos meses de reacción.

(Foto: M. T. Paredes).

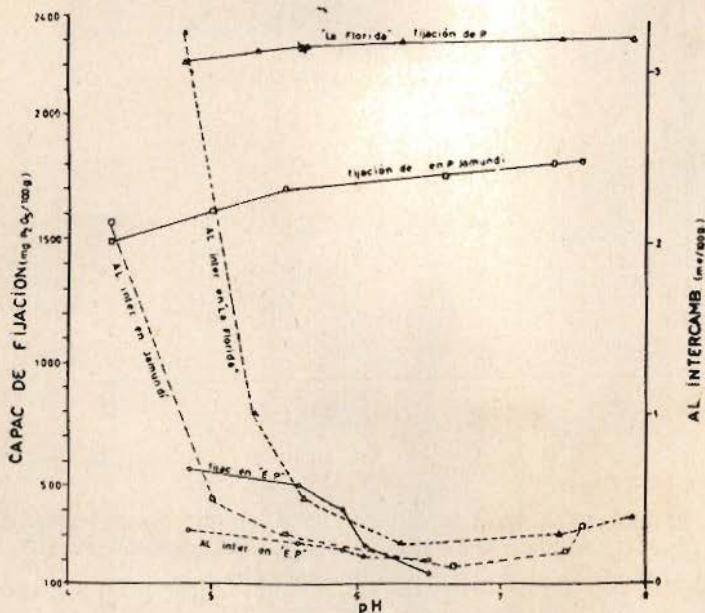


Figura 3.—Relación entre la capacidad de fijación de fósforo y aluminio intercambiable a diferentes pH, en los suelos franco-arcilloso "Estación Palmira" franco "La Florida" y franco-arcilloso de Jamundí, a los cuatro meses de reacción.

(Foto: M. T. Paredes).

co-arcilloso de Jamundí es similar al anterior, con la excepción de que con la adición de 20 ton. de CaCO_3 /hect. (Ver Figura 2).

En las determinaciones efectuadas a los cuatro meses de reacción, se observó una disminución en la cantidad de aluminio intercambiable en todos los tratamientos, como puede apreciarse en la Figura 3.

La adición de CaCO_3 a los suelos ácidos de la "Florida" y Jamundí motivó un aumento en el porcentaje de sales solubles; éste se hizo mayor en las determinaciones efectuadas a los cuatro meses de reacción. Es probable que esto suceda debido a la acción del CaCO_3 sobre las bases intercambiables existentes en estos suelos. (Ver Figuras 4 y 5).

Anteriormente se dijo que el suelo franco-arcilloso "Estación Palmira", es el que muestra menor capacidad de fijación de fósforo. Esta aumenta a medida que se disminuye el pH con sucesivas adiciones de HCl 1N, posiblemente, por la formación de compuestos insolubles. En Jamundí, la cantidad de éste aumentó con la adición

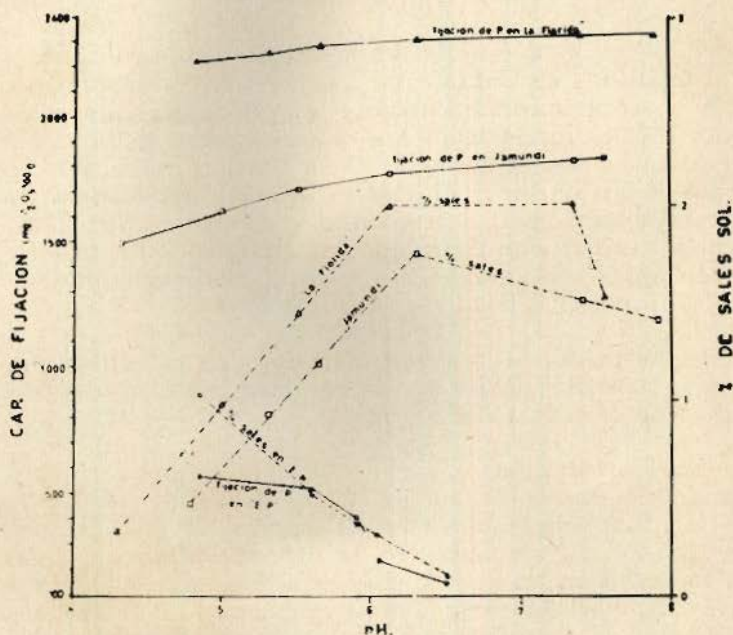


Figura 4.—Relación entre la capacidad de fijación de fósforo y porcentaje de sales solubles a diferentes pH en los suelos franco-arcilloso "Estación Palmira", franco "La Florida" y franco-arcilloso de Jamundí, a los dos meses de reacción.

(Foto: M. T. Paredes).

del ácido. La máxima capacidad de fijación fue de 707 mg. de $P_2O_5/100$ g. suelo a pH 4,20. De igual manera el porcentaje de sales solubles aumento a medida que el pH iba disminuyendo debido al desplazamiento de bases intercambiables presentes en el complejo coloidal y solubilización de algunas sales existentes en el mismo. (Ver Figura 2).

La capacidad de fijación de fósforo, el aluminio intercambiable y el porcentaje de sales solubles disminuyeron en las determinaciones efectuadas a los cuatro meses de reacción, como puede observarse en la Figura 3 y en las tablas del apéndice.

C.—Relación entre la respuesta del maíz a fósforo y la capacidad de fijación de este nutriente en suelos con diferentes pH.

En general, la producción del maíz en los suelos estudiados estuvo en razón inversa con sus capacidades de fijación del fósforo. Así, el orden de producción, de mayor a menor fue: franco-arcilloso "Estación Palmira", franco-arcilloso de Jamundí y franco de la "Florida"; en cambio, en la capacidad de fijación del fósforo el orden fue a la inversa. (Figuras 6 y 7 Tablas I a III).

La fijación del fósforo en los suelos de Jamundí y la "Florida"

comprendidos en este estudio, aumentó al incrementar el pH con sucesivas adiciones de CaCO_3 . Así mismo, los rendimientos del maíz aumentaron hasta aproximadamente un pH de 6.5. Sin embargo, a partir del pH 7.0 los rendimientos disminuyeron notoriamente sin guardar relación con el aumento de la fijación del fósforo, posiblemente debido a que otros nutrientes, además del fósforo, pudieron ser limitantes (principalmente potasio y elementos menores). Estos argumentos pueden significar, que las cantidades de fósforo fijado no son tan apreciables como para hacerlo totalmente inasequible al maíz. (Ver Tablas I y II).

La respuesta de este cultivo al fósforo en estos dos suelos, no guardó una relación regular con la cantidad del fósforo fijado, siendo indiferente a ella. (Ver Figura 7).

Los rendimientos en el suelo "Estación Palmira" fueron superiores a aquellos obtenidos en los suelos de "la Florida" y Jamundí (Tabla III). La respuesta al fósforo no fue de consideración. (Figura 9). Así misma, su capacidad de fijación de fósforo fue muy inferior a la de los suelos ácidos. Esta capacidad aumentó al disminuir el pH pero sin llegar a perjudicar la producción, antes por el contrario la aumentó hasta un pH 5.2. Después de este pH los rendimientos bajaron a consecuencia no sólo del aumento en la fijación del fósforo, sino principalmente, al incremento tan notorio de las sales solubles. (Ver Figuras 4 y 6; Tabla III).

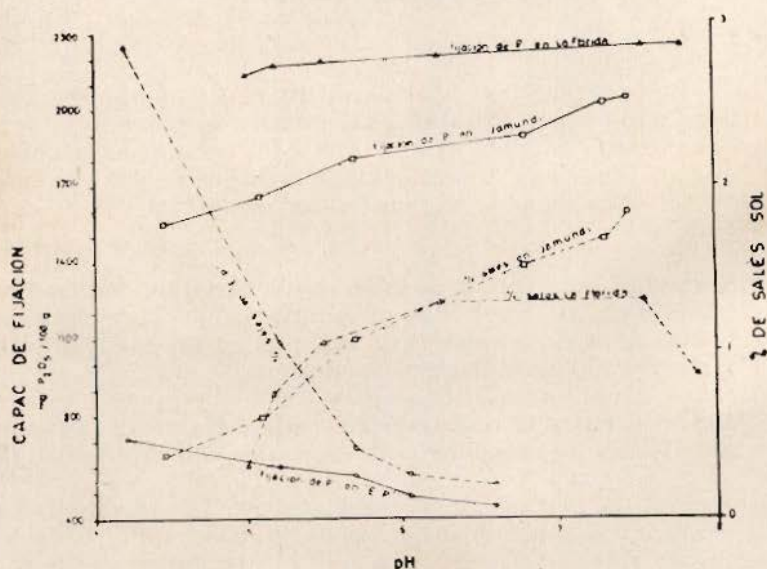


Figura 5.—Relación entre la capacidad de fijación de fósforo y porcentaje de sales solubles a diferentes pH en los suelos franco-arcilloso "Estación Patmira", franco "La Florida" y Franco-arcilloso de Jamundí a los cuatro meses de reacción.

(Foto: M. T. Paredes).

En el suelo franco-arcilloso "Estación Palmira" no hubo respuesta del maíz a la aplicación de P_2O_5 pero sí a los cambios de pH como puede verse en la Tabla VI y en las Figuras 8 y 9. En los suelos franco de "La Florida" y franco-arcilloso de Jamundí hubo respuesta tanto a las aplicaciones de $CaCO_3$ como a las de P_2O_5 , no existiendo interacción entre estos dos factores. (Ver Tables IV y V; Fig. 10 a 13).

— T A B L A I —

Relación entre promedios de rendimiento del maíz y capacidad de fijación de fósforo a diferentes pH en el suelo franco-arcilloso de Jamundí.

pH	Cap. de fijación mg. P_2O_5 /100 g.	Rendim. de maíz g. mat. seca
4,45	1.522	11,7
5,60	1.757	14,7
6,70	1.823	17,5
7,40	1.883	9,8

DMS

(0,05) para efecto de pH en el rendimiento de maíz 2,88

DMS

(0,01) para efecto de pH en el rendimiento de maíz 3,90

— T A B L A II —

Relación entre promedios de rendimiento del maíz y la capacidad de fijación de fósforo a diferentes pH en el suelo franco de la "Florida"

pH	Cap. de fijación mg. P_2O_5 /100 g.	Rendim. de maíz g. mat. seca
4,90	2.171	11,0
5,55	2.238	13,1
6,25	2.252	15,9
7,55	2.271	7,6

DMS

(0,05) para efecto de pH en rendimiento de maíz 3,10

DMS

(0,01) para efecto de pH en rendimiento de maíz 4,30

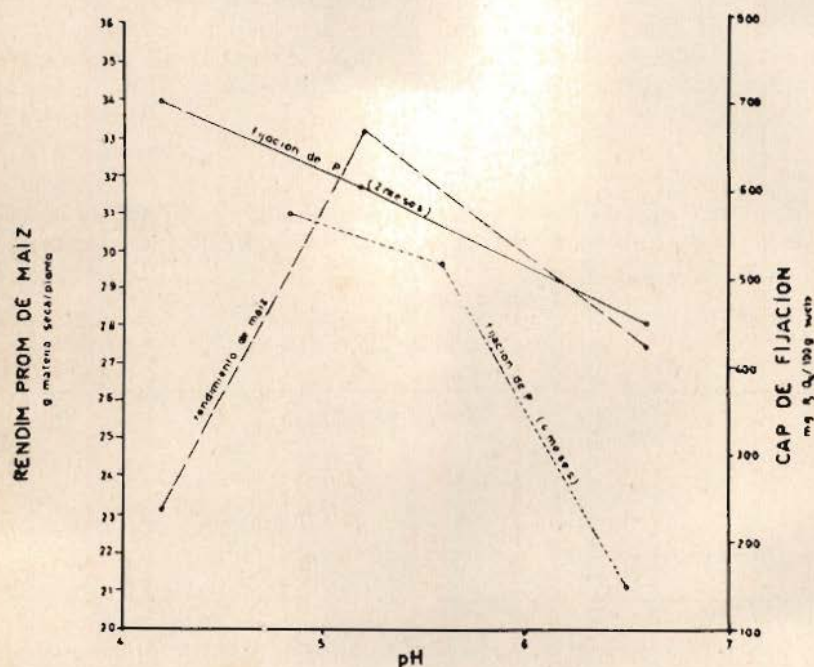


Figura 6.—Relación entre el rendimiento promedio del maíz y la capacidad de fijación a diferente pH en el suelo franco-arcilloso "Estación Palmira".

(Foto: M. T. Paredes).

— T A B L A III —

Relación entre promedios de rendimiento del maíz y la capacidad de fijación de fósforo a diferentes pH en el suelo franco-arcilloso "Estación Palmira"

pH	Cap. de fijación mg. P_2O_5 /100 g.	Rendim. de maíz g. mat. seca
6,55	296,5	27,4
5,40	567,0	33,1
4,50	642,0	23,1

DMS

(0,05) para efecto de pH en rendimiento de maíz 6,57

DMS

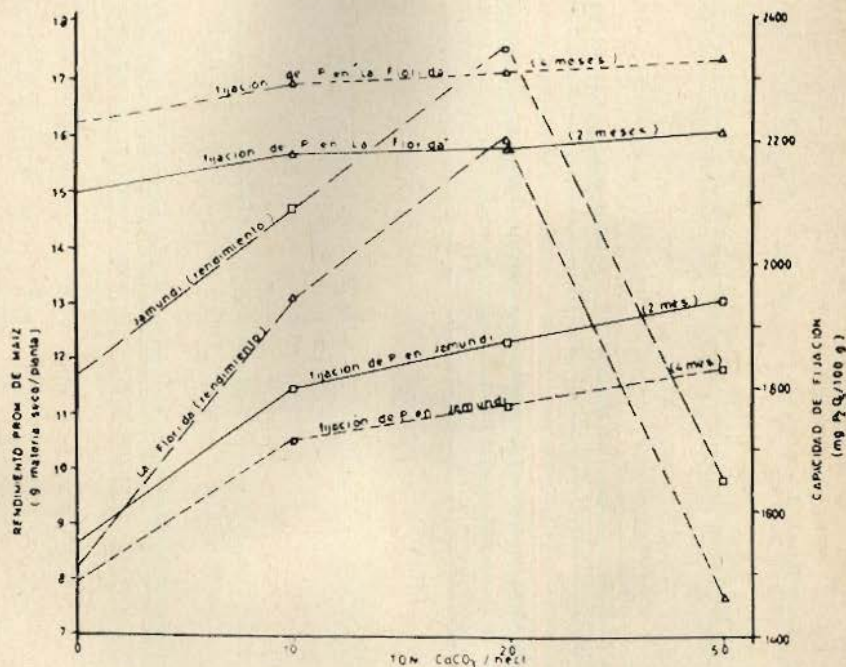


Figura 7.—Relación entre el rendimiento promedio del maíz y la capacidad de fijación en los suelos franco "La Florida" y franco-arcilloso de Jamundí, con las diferentes aplicaciones de CaCO_3 /hect.

— T A B L A IV —

Rendimiento promedio del maíz a diferentes dosis de CaCO_3 y P_2O_5 en el suelo franco "La Florida"

CaCO_3 Ton/hect.	Dosis de P_2O_5 (Unidades de Jenny)			Promedio por planta
	2	4	6	
	Grs. mat. seca/planta			
0	18	33	48	11,0
10	24	40	54	13,1
20	35	59	59	15,9
50	22	22	25	7,6
Promedio por planta	8,3	12,0	15,5	

DMS

(0,05) para efecto de CaCO_3 en rend. prom. de maíz 3,10

DMS

(0,01) para efecto de CaCO_3 en rend. prom. de maíz 4,30

DMS

(0,05) para efecto de P_2O_5 en rend. prom. de maíz 2,74

DMS

(0,01) para efecto de P_2O_5 en rend. prom. de maíz 3,73



Figura 8.— Plantas de maíz en el suelo franco-arcilloso "Estación Palmira".

- | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|---------|
| 1.— | N_6 | P_6 | K_1 | pH 6,60 |
| 2.— | N_6 | P_6 | K_1 | pH 5,20 |
| 3.— | N_6 | P_6 | K_1 | pH 4,20 |

(Foto: M. T. Paredes).

Figura 9.— Plantas de maíz en el suelo franco-arcilloso "Estación Palmira".

- | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|---------|
| 1.— | N_6 | P_2 | K_1 | pH 4,20 |
| 2.— | N_6 | P_4 | K_1 | " |
| 3.— | N_6 | P_6 | K_1 | " |

(Foto: M. T. Paredes).



— T A B L A V —

Rendimiento promedio del maíz a diferentes dosis de CaCO_3 y P_2O_5 en el suelo franco-arcilloso de Jamundi

CaCO ₃ Ton/hect.	Dosis de P ₂ O ₅		(Unidades de Jenny)	
	2	4	6	Promedio por planta
Grs. mat. seca/planta				
0	22	37	47	11,7
10	33	39	61	14,7
20	43	47	68	17,5
50	24	28	37	9,8
Promedio por planta	10,1	12,5	17,7	

DMS

(0,05) para efecto de CaCO_3 en rend. prom. de maíz 2,88

DMS

(0,01) para efecto de CaCO_3 en rend. prom. de maíz 3,90

DMS

(0,05) para efecto del P_2O_5 en rend. prom. de maíz 3,41

DMS

(0,01) para efecto del P_2O_5 en rend. prom. de maíz 4,63

— T A B L A VI —

Rendimiento promedio del maíz a diferentes pH y dosis de P_2O_5 en el suelo franco-arcilloso "Estación Palmira"

pH	Dosis de P ₂ O ₅			(Unidades de Jenny)
	2	4	6	Promedio por planta
Grs./Materia . Seca/Planta				
6,66	95	78	74	27,4
5,20	95	108	95	33,1
4,20	65	78	63	23,1
Promedio por planta	28,3	29,3	25,7	

DMS

(0,05) para efecto de pH en rend. prom. de maíz 6,57

DMS

(0,01) para efecto de pH en rend. prom. de maíz 6,57

Figura 10.— Plantas de maíz en el suelo franco "La Florida".

- 1.— $N_6 P_6 K_1$ pH 5,00
- 2.— $N_6 P_6 K_1$ pH 5,50
- 3.— $N_6 P_6 K_1$ pH 6,25
- 4.— $N_6 P_6 K_1$ pH 7,50

(Foto: M. T. Paredes).



Figura 11.— Plantas de maíz en el suelo franco "La Florida".

- 1.— $N_6 P_2 K_1$ pH 5,00
- 2.— $N_6 P_4 K_1$ "
- 3.— $N_6 P_6 K_1$ "

(Foto: M. T. Paredes).

V.— RESUMEN Y CONCLUSIONES

Se efectuó un ensayo en el "Centro Nacional de Investigaciones Agrícolas" de Palmira con el fin de averiguar a) la capacidad de fijación del fósforo en relación con el pH aluminio intercambiable y presencia de sales solubles y b) la relación entre esta capacidad y la respuesta del maíz a CaCO_3 y fertilización fosfatada.

Se usaron tres suelos a saber: a) franco-arcilloso "Estación Palmira", con pH 6.60; b) franco de la "Florida" (Popayán), con pH 4.80 y c) franco-arcilloso de Jamundí con pH 4.45. El pH de los suelos ácidos fue modificado con CaCO_3 químicamente puro en tanto que el suelo de Palmira se acidificó con HCl 1N.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo, se pueden deducir las siguientes conclusiones:

1. La capacidad amortiguadora del suelo de la "Florida" fue un poco mayor que la del suelo de Jamundí.

2. El suelo franco de la "Florida" mostró la mayor capacidad de fijación de fósforo; le siguieron en su orden, el franco-arcilloso de Jamundí y el franco-arcilloso "Estación Palmira".

3. La cantidad de aluminio intercambiable aumenta en el suelo franco-arcilloso "Estación Palmira", a medida que se adiciona HCl; en las determinaciones efectuadas a los cuatro meses de reacción, esa cantidad disminuyó en comparación con aquellas hechas a los dos meses.

4. En el suelo franco de la "Florida" y en el franco-arcilloso de Jamundí, el aluminio intercambiable disminuye a medida que se adiciona CaCO_3 hasta determinada cantidad; en el primer suelo, esta cantidad aumenta a partir de 50 ton. de CaCO_3 /hect. y en el segundo suelo, a partir de las 20 ton. CaCO_3 /hect. La cantidad de aluminio disminuyó con el tiempo.

5. El porcentaje de sales solubles fue mayor en el suelo de Palmira a medida que se aumentó la cantidad de HCl agregada; en los suelos ácidos este porcentaje aumentó con la adición de CaCO_3 .

6. En general el rendimiento de maíz, en los suelos estudiados fue inversamente proporcional a la capacidad de fijación del fósforo. En el suelo de la "Florida" y en el de Jamundí hubo respuesta altamente significativa de este cultivo a la aplicación de fósforo, en tanto que en el de Estación Palmira, nó.

7. La respuesta del maíz a la aplicación de CaCO_3 en los suelos

Figura 12.— Plantas de maíz en el suelo franco-arcilloso de Jamundí.

- | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|---------|
| 1.— | N_6 | P_6 | K_1 | pH 4.45 |
| 2.— | N_6 | P_6 | K_1 | pH 5.70 |
| 3.— | N_6 | P_6 | K_1 | pH 6.80 |
| 4.— | N_6 | P_6 | K_1 | pH 7.30 |

(Foto: M. T. Paredes).



Figura 13.— Plantas de maíz en el suelo franco-arcilloso de Jamundí.

- | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|---------|
| 1.— | N_6 | P_2 | K_1 | pH 4.45 |
| 2.— | N_6 | P_4 | K_1 | " |
| 3.— | N_6 | P_6 | K_1 | " |

(Foto: M. T. Paredes).

VI. SUMMARY AND CONCLUSIONS

INFLUENCE OF pH ON THE FIXATION OF PHOSPHORUS AND ITS RELATION WITH THE RESPONSE OF CORN TO FERTILIZATION WITH PHOSPHATE.

By L. Eduardo Sanguino Soto

One study was carried out the "Centro Nacional de Investigaciones Agrícolas" at Palmira to find: a) phosphorus fixation in relation to the pH, interchangeable aluminum and soluble salts, b) Corn response to the application of phosphorus and CaCO_3 in relation to phosphorus fixation.

Three soils were used: a) a clay loam "Estación Palmira" with pH 6.60; b) a loam soil from "La Florida" with pH 4.80 and c) a clay loam soil from "Jamundí" with pH 4.45. The pH from the acid soils was modified with CaCO_3 and that from Palmira with HCl IN.

The obtained results conduced to the following conclusions:

1. The buffer capacity of the soil from "La Florida" was a little greater of that from "Jamundí".

2. The soil capacity for phosphorus fixation was in this order: "La Florida", "Jamundí" and "Estación Palmira".

3. The amount of interchangeable aluminum of the "Estación Palmira" soil increases with the additions of HCl, but at the fourth month from the addition was less than at the two months.

4. The interchangeable aluminum of "La Florida" and "Jamundí" soils decrease with the addition of CaCO_3 until certain quantity which is 50 Ton/Ha. for the "La Florida" soil and 20 Ton/Ha. for the "Jamundí" soil. Over this quantity the amount of the interchangeable aluminum decreased with time.

5. The percentage of soluble salts increased in the "Estación Palmira" soil with the amount of HCl added. This percentage increased with the additions of CaCO_3 in the acid soils studied.

6. As a rule, they yield of corn was proportionally inverted in relation with the phosphorus fixation. The response to the application of phosphorus was highly significant in the "La Florida" and Jamundí soils and absent in the "Estación Palmira" soil.

7. The response of corn to the application of CaCO_3 was highly significant in the acid soils studied.

VII.— BIBLIOGRAFIA

1. AYRES, A.— Phosphate fixation in Hawaiian soils. The Hawaiian Planter's Record. 38: 131-144. 1934.

2. BOUYOUCOS, G. J.— The hydrometer as a new and rapid method of determining the colloidal content of soil. *Soil Sci.* **23**: 319-330. 1927.
3. BRADLEY, D. B. and D. H. SIELING.— Effect of organic anions and sugar on phosphate precipitation by iron and aluminum as influenced by pH. *Soil Sci.* **76**: 175-179. 1953.
4. BRAY, R. H. and L. T. KURTZ.— Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* **59**: 29-45. 1945.
5. BURD, J. S.— Chemistry of the phosphate ion in soil systems. *Soil Sci.* **65**: 227-247. 1948.
6. COLEMAN, R.— The mechanism of phosphate fixation by montmorillonitic and kaolinitic clays. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* **9**: 75-78. 1944.
7. CHAI MOO CHO, N. and A. C. CALDWELL.— Forms of phosphorus and fixation in soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* **23**: 458-460. 1959.
8. DAZA, J.— Respuesta de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) a las aplicaciones de cal, fósforo y molibdeno en suelos ácidos. *Acta Agronómica*. **9**: 122. 1958.
9. DAVIS, L. E.— Phosphate fixation in Hawaiian soils. *The Hawaiian Planters' Record*. **38**: 206-214. 1934.
10. DRAKE, M. and J. E. STECKEL.— Solubilization of soil and rock-phosphate as related to root cation exchange capacity. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* **19**: 449-450. 1955.
11. HANCE, F.— Phosphate fixation in Hawaiian soils. *The Hawaiian Planters' Record*. **37**: 182-195. 1933.
12. HECK, A. F.— Availability and fixation of phosphorus in Hawaiian soils. *Jour. Amer. Soc. Agron.* **27**: 874-883. 1955.
13. HEMWALL, J. B.— Phosphorus fixation. *Advances in Agronomy*. **9**: 95-110. 1957.
14. JENNY, et al.— Greenhouse assay of fertility of California soils. *Hilgardia*. **20**: 1-8. 1950.
15. JOHNSON, C. M. and R. H. EPSTEIN.— Methods of chemical analysis U. C. *Soil Sci.* **62**: 113 p. 1948.
16. KARDOS, L. T.— Soil fixation of plant nutrients. *Chemistry of the soil*. New York, Firman E. Bear. 185 p. 1955.
17. LAFAURIE ACOSTA, J. V.— Estudio de los suelos de la Estación Agrícola Experimental de Palmira. 18 .. Inédito y sin fecha. *Archivos Est. Agr. Exp. Pal. Colombia*.
18. LARSEN, J. E.— Effect of iron, aluminum and humic acids on phosphorus fixation by organic soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* **23**: 438-440. 1959.

19. LYON, T. L. y BUCKMAN, H. O.— Edafología: naturaleza y propiedades del suelo. Victor S. Nicollier. 2 ed. México, Edit. Continental, S. A. 286 p. 1958.
 20. Mc GEORGE, W. T. et al.— Phosphate availability in calcareous soils: a function of carbon dioxide and pH. Jour. Amer. Soc. Agron. 27: 330-334. 1935.
 21. MOSER, F.— Phosphorus fixation and the assimilation of fixed phosphates. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 4: 168-176. 1939.
 22. PRATT, P. F. and D. W. THORNE.— Solubility and. physiological availability of phosphate in sodium and calcium systems. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 13: 213-217. 1948.
 23. ROJAS CRUZ, L. A.— Determinación de la capacidad total de bases. Sci. Soc. Am. Proc. 19: 193-198. 1955.
mica. 4: 8-18 1951.
 24. SOIL SURVEY STAFF.— Soil Survey Manual, U. S. Department Agriculture Handbook No. 18. 503 p. 1951.
 25. STAROSTKA, R. V. and W. L. HILL.— Influence of soluble salts on the solubility of and plant response to di calcium phosphate. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 19: 193-198. 1955.
 26. SWENSON, R. M. et al.— Fixation of phosphate by iron and aluminum and replacement by organic and inorganic anions. Soil Sci. 67: 3-22. 1949.
 27. TISDALE, S. and W. L. NELSON.— Soil Fertility and Fertilizers New York. The Mac Millan Co., 67 p. 1956.
 28. U.S.D.A.— Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Agricultural Handbook. 60: 147 p. 1954.
 29. WALKLEY, A. A. —Critical examination of rapid method for determining organic carbon in soils. Effect of variations in digestion conditions of inorganic soil constituents. Soil Sci. 63: 251-264. 1947.
-