

1967

INVESTIGACIONES REALIZADAS EN COLOMBIA SOBRE EL USO DE DIVERSAS FUENTES DE FOSFORO (P) COMO FERTILIZANTES •

Luis Alfredo León, Alberto Riaño, Eric Owen, Manuel Rodríguez y Luis F. Sánchez. ••

INTRODUCCION

Una gran parte de los suelos de Colombia presentan reacción ácida, bajos contenidos de fósforo asimilable por las plantas y alta saturación de aluminio intercambiable. Estudios realizados han mostrado que para obtener buenos rendimientos de cultivos semestrales o anuales en estos suelos, es necesario hacer aplicaciones de fósforo en cantidades relativamente altas.

El uso de los fertilizantes con alto contenido de fósforo es muy reducido debido en parte a su elevado costo. En Colombia se están ensayando nuevas fuentes de fósforo y desde hace pocos años se han iniciado estudios serios para la explotación de las minas de roca fosfórica, con el fin de poder ofrecer a los agricultores y ganaderos una fuente más barata de este elemento. La roca fosfórica sin tratar, finamente molida, se ha usado con regular éxito en suelos ácidos, para cultivos perennes y semiperennes, posiblemente debido a que su baja y lenta solubilidad la hace menos susceptible de que el fósforo que contiene sea fijado por el suelo.

El criterio más empleado para evaluar diferentes fuentes de un mismo elemento es establecer ensayos de campo utilizando las fuentes consideradas, en cantidades equivalentes y comparar los rendimientos que se obtengan. En este tipo de ensayos se considera la mejor fuente aquella que produce el más alto rendimiento y que conserva una alta producción por el mayor espacio de tiempo.

En la mayoría de los ensayos realizados por el Programa de Suelos del ICA, e iniciados entre 1969 y 1970 se empleó este mismo criterio utilizando generalmente roca fosfórica nacional y de Florida, escorias Thomas y superfosfato Triple.

47463

BIBLIOTECA

6 NOV 1970

- Una contribución del Departamento de Agronomía, Programa Nacional de Suelos del ICA y de Abonos Colombianos S. A. Abocol.
- Químico de Suelos, Programa Producción Ganado de Carne, CIAT; Ing. Agr. Abocol y Técnicos Científicos del Programa de Suelos del ICA, respectivamente.

Los autores agradecen la colaboración prestada para realizar el presente trabajo por los señores Luis E. Alvarado, Agathon Vieczorek y el Ing. Químico Rodrigo Lora.

25143

Los principales objetivos del estudio fueron: 1) Evaluar la eficiencia de la roca fosfórica nacional y las escorias Thomas (Calfos) cuando se comparan con el superfosfato Triple en el rendimiento de pastos, avena, maíz, maní y arroz en suelos ácidos de Antioquia, Cundinamarca, Boyacá y los Llanos Orientales; 2) Estudiar los requerimientos de fósforo de los pastos cultivados en suelos bajos en fósforo aprovechable; 3) Observar el efecto residual de las varias fuentes usadas; 4) Determinar la cantidad de fósforo extraído por los cultivos y 5) Estudiar el efecto del uso de las fuentes de fósforo nacionales en la acidez y toxicidad de aluminio en los suelos.

Este escrito informa sobre los dos primeros.

REVISIÓN DE LITERATURA

Los trabajos relacionados con el uso de diferentes fuentes de fósforo son escasos en Colombia y muy abundante en otras regiones del mundo, principalmente en los Estados Unidos (4) y en Europa (12).

Una buena revisión y discusión sobre las investigaciones realizadas con rocas fosfóricas en los Estados Unidos ha sido realizada por Ensminger, Pearson y Arminguer (4). Las aplicaciones directas de rocas fosfóricas han sido más efectivas en el caso de suelos ácidos muy bajos en fósforo aprovechable. Ciertos cultivos tales como leguminosas, trigo negro y nabo silvestre pueden utilizar el fósforo de las rocas fosfóricas en forma más efectiva que los cereales, el maíz y las verduras. Sin embargo, en suelos fuertemente ácidos y muy deficientes en fósforo, casi todos los cultivos han mostrado algún grado de respuesta a las rocas fosfóricas. En general, los rendimientos obtenidos con el uso de roca fosfórica son más bajos que aquellos encontrados al utilizar fosfatos solubles, aún en el caso en que la cantidad de fósforo aplicado como roca sea mucho mayor que el adicionado como fosfato soluble (3).

Trabajos realizados en Europa (12), indican que en suelos ácidos los rendimientos de pastos fueron casi del mismo orden de magnitud cuando se utilizaron rocas fosfóricas finamente molidas, hiperfosfato típico y escorias básicas, calculadas en base a cantidades iguales de P_2O_5 total, comparadas con el P_2O_5 soluble en ácido cítrico de las escorias básicas. En dos ensayos a largo plazo (6 y 7 años de adiciones de fertilizantes y 10 años de efecto residual) los rendimientos del hiperfosfato en total fueron 22.4% mayores que aquellos producidos por las escorias básicas.

Ensayos efectuados recientemente en un Latosol Rojo Oscuro del Brasil (Cerrado) con *Brachiaria decumbens* y *Stylosanthes humilis* (9) han mostrado la fuerte influencia de la cantidad y calidad del fósforo aprovechable en el establecimiento y crecimiento temprano de las dos plantas forrajeras. El superfosfato ordinario, el termofosfato (fusión de roca y mineral de magnesio) y el hiperfosfato dieron buena respuesta de crecimiento temprano en las dos especies. En la fase de establecimiento la aprovechabilidad del fósforo de la roca de araxá (roca natural, finamente molido) fue un factor severamente limitante.

Es muy poca la investigación que se ha realizado en Colombia para comparar fuentes de fertilizantes fosfatados. Experimentos en invernadero realizados por Rodríguez y Lotero (11), indicaron que para los suelos negros orgánicos de Antioquia la roca fosfórica produ-

jo los más bajos rendimientos en lechuga romana, en contraposición con el fosfato bicálcico y las escorias Thomas. El fosfato de amonio y el superfosfato triple produjeron rendimientos intermedios entre las fuentes antes mencionadas.

McCormick y Galiano (7), encontraron que en suelos húmidos ácidos de la sabana de Bogotá la papa produjo más altos rendimientos con superfosfato triple que con Escorias Thomas. Con este mismo cultivo, en suelos de origen volcánico del municipio de Manizales, Ortiz y Rubio (10), encontraron que los mejores resultados se obtienen con fosfato de amonio y superfosfato triple, siguiéndoles en orden descendente el 10-30-10, las escorias Thomas y la roca fosfórica.

Michielin, León y Ramírez (8), realizaron ensayos con elefante (*Pennisetum purpureum*, Schumacher) en Popayán y Santa Rosa de Cabal, pangola (*Digitaria decumbens*, Stent.) en Popayán, Angleton (*Dichanthium aristatum* (por) C.E. Hubbard) en El Estrecho, Valle del Patía y trenza (*Paspalum notatum*, Fluegge) en Timba, Valle del Cauca, comparando el efecto del superfosfato triple con escorias Thomas y las rocas de Turmequé y Huila (Colombia) y Florida (Estados Unidos). De los resultados obtenidos concluyeron que en todos los sitios la mejor fuente de P fué el superfosfato, seguido de las escorias Thomas, siendo estos dos superiores a las rocas fosfóricas. Con las aplicaciones de estas últimas y de las escorias Thomas se notó un ligero aumento en el contenido de Ca intercambiable del suelo y una tendencia a disminuir el Al.

En el caso de cultivos semestrales han sido pocos los ensayos realizados. Howeler (6), reporta la respuesta del arroz de riego a varios niveles y fuentes de P en un suelo de la altillanura plana de los Llanos Orientales (Carimagua). En este ensayo las mejores fuentes fueron el superfosfato triple y la roca fosfórica de Carolina del Norte. Las intermedias resultaron ser las rocas de Florida Central e Idaho, y las que dieron las más bajas producciones fueron las rocas nacionales de Turmequé (Fosforrica- 22) y Huila (Fosfor-Quin).

El mismo autor (1) realizó un ensayo con fríjol (TUI) en La Zapata (suelo ácido del Valle del Cauca), donde los rendimientos aumentaron de 0.7 a 1.8 ton/Ha. con la aplicación en banda de 200 kg de P_2O_5 /Ha en forma de superfosfato triple. Las escorias Thomas fueron menos efectivas mientras que las rocas fosfóricas de Huila y Boyacá produjeron solo una ligera respuesta positiva. Otro ensayo con fríjol (Porrillo sintético), realizado en un suelo volcánico de Popayán (2), señala la respuesta económica de algunas fuentes de fósforo, a pesar de que no producen los más altos rendimientos. Este es el caso de la roca fosfórica del Huila a altos niveles de aplicación y de la misma roca acidulada parcialmente. El fosfato de magnesio resultó ser una fuente tan buena como el superfosfato y la roca con azufre produjo rendimientos casi iguales a los de la roca sola.

También han sido pocos los intentos de ensayar productos provenientes de tratamientos de rocas fosfóricas con materiales que puedan descomponerlas y hacer que el P sea más aprovechable por las plantas. Aparte del ensayo realizado en Popayán con fríjol, citado antes, solo se encuentran los trabajos hechos por Hanke (5), con mezclas de roca fosfórica de Turmequé y estiércoles fermentados anaerobicamente y sin fermentar. Estas investigaciones mostraron que la roca fosfórica se solubilizó en mezcla con estiércol y produjo buenas cosechas de cebada en calidad y cantidad, siendo rentable la aplicación directa de roca con 5 ton/Ha de estiércol sin fermentar, pero quedaron por estudiar los efectos residuales de estas mezclas.

MATERIALES Y METODOS

En los estudios realizados por el Programa de Suelos del ICA se utilizaron cinco especies de gramíneas forrajeras: brachiaria (*Brachiaria decumbens* Stapf), puntero (*Hyparrhenia rufa* (Nees) Stapf), kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochts), azul orchoro (*Dactylis glomerata*, L.) y oloroso (*Anthoxanthum odoratum*, L.). También se establecieron ensayos con avena para forraje (*Avena sativa*, L.), maíz (*Zea mayz* L.), maní (*Arachis hypogaea* L.) cebolla (*Allium cepa* L.) y arroz (*Oryza sativa* L.)

Los ensayos se comenzaron a establecer durante 1969 y se localizaron en los siguientes sitios: El Mortiño, Santa Rosa de Viterbo (avena para forraje), Mancilla, Facatativá (azul orchoro), La Esmeralda, Madrid (azul orchoro), San Jorge, Soacha (oloroso), San Roque, El Nus (Puntero), La ponderosa, Mutatá (Brachiaria), Leticia, Mutatá (puntero), La Selva, Rionegro (maíz), Manzanares, La Ceja (kikuyo) Carimagua y La Libertad, Llanos Orientales (maní, maíz y arroz), Tibaitatá, Mosquera (cebolla)¹.

La Tabla 1 presenta algunas propiedades químicas de los suelos donde se realizaron los ensayos. En general, los suelos son ácidos, aunque los de la Esmeralda y Manzanares tienen un pH cercano a 6 y su saturación de Al con respecto a la CIC efectiva es muy baja (1.9%). Son pobres en fósforo aunque los de Mortiño, San Jorge y Manzanares están por encima del nivel crítico para la solución extractora de Bray II. El K intercambiable es relativamente alto en todos los casos excepto en los suelos de los Llanos Orientales y el Al es muy alto en Leticia y San Jorge.

Se ensayaron las siguientes fuentes y dosis de fósforo: superfosfato triple (45% P_2O_5), 100–200 y 400 kg P_2O_5 /Ha; escorias Thomas (16% P_2O_5), roca fosfórica (fosforrica–22) de Turmequé (16% P_2O_5), roca fosfórica de Florida (32% de P_2O_5) y superfosfato simple (20% P_2O_5) a razón de 200 kg de P_2O_5 /Ha. Cuando se sembraron pastos todas las fuentes de fósforo se aplicaron al voleo.

Las dos rocas utilizadas tenían la siguiente composición química:

Composición		R. Turmequé	R. Florida
P_2O_5	Total %	20.1	32.7
P_2O_5	Soluble en citratos % de la roca	1.1	1.6
CaO	%	23.3	47.5
CO ₂	%	1.2	3.3
F	%	2.2	3.6

1/ Los ensayos fueron realizados por técnicos del Programa Nacional de Suelos del ICA así: Cundinamarca y Boyacá, Alberto Riaño (ICA-ABOCOL); Antioquia, Manuel Rodríguez; Llanos Orientales Eric Owen y Luis E. Alvarado; Tibaitatá, Rodrigo Lora y Agatón Wiecezreck.

En los otros casos el Superfosfato Triple fué aplicado en banda y al voleo. También se incluyeron los tratamientos en los cuales se aplicaron al voleo 200 kg/ha de P_2O_5 en forma de rocas fosfóricas y 20 kg de P_2O_5 /Ha, en banda, como superfosfato triple.

Los pastos recibieron inicialmente 50 kg de K_2O /Ha como KCl y 100 kg de N/ha como urea. Después de cada corte se añadieron 50 kg de N/ha. En los sitios donde hubo necesidad de aplicar cal, se utilizó cal agrícola incorporada a los 15–20 cm de profundidad, 30 días antes de la siembra. Se aplicaron, uniformemente 50 kg de $CaSO_4$ /Ha, pero el tratamiento con 200 kg de P_2O_5 /Ha como superfosfato triple se repitió sin adición de yeso.

Se utilizó un diseño de bloques al azar con cuatro replicaciones. No se usó riego artificial. Los pastos se cortaron cuando estaban bien florecidos para lograr un efecto mas completo del fertilizante aplicado. El período de corte de los pastos osciló entre 45 y 60 días y la avena se cosechó entre los 110 y 170 días de sembrada, dependiendo de su estado de madurez.

Al final de los ensayos se hicieron determinaciones de fósforo total de la parte aérea de las plantas y un análisis químico completo de los suelos provenientes de cada parcela. En varias oportunidades se tomaron muestras de suelos después de los cortes para hacer análisis químicos. La cosecha se realizó pesando el forraje verde y tomando una muestra para secar a la estufa. Con base en los pesos verde y seco se calculó la cantidad de materia seca producida por hectárea.

RESULTADOS Y DISCUSION

Ensayos con pastos realizados en suelos del Departamento de Antioquia.

Los resultados de los ensayos establecidos con pastos en suelos de Antioquia se pueden ver en la Tabla 2 y en la Figura 1. En el caso del suelo de San Roque (El Nus) se hicieron dos ensayos simultáneos. En uno se aplicaron uniformemente 3 ton. de cal/ha y en el otro no se aplicó cal. No solo para el puntero, que también se utilizó en Leticia, sino además para los pastos brachiaria y kikuyo, no se encontraron diferencias significativas de los rendimientos en estos suelos debido a los tratamientos con distintos niveles de P_2O_5 aplicados como superfosfato triple, como rocas fosfóricas o como escorias Thomas. Únicamente se obtuvieron diferencias mínimas significativas al 5% en el primer corte del puntero en Leticia, en el segundo corte del kikuyo en Manzanera y en el quinto corte del brachiaria en La Ponderosa.

En el caso del pasto puntero los rendimientos aumentaron hasta el segundo o tercer corte y luego comenzaron a disminuir drásticamente. Desafortunadamente los investigadores que realizaron los ensayos no reportan las posibles causas de este descenso de la producción. Los rendimientos de pasto kikuyo, fueron en aumento progresivo hasta el último corte registrado (tercero) y los de brachiaria aumentaron hasta el tercer corte, se mantuvieron más o menos constantes hasta el quinto y luego, sin razón conocida, comenzaron a decrecer, para aumentar nuevamente en el séptimo corte.

De acuerdo con esta información, parece que para los pastos estudiados en estos suelos no hay una respuesta a las aplicaciones de fósforo hasta 400 kg de P_2O_5 /Ha. En algunos ca-

Los hay incrementos en producción entre 0, 100 y 200 kg de P_2O_5 /Ha, pero como ya se dijo antes, al analizar el rendimiento promedio de todos los cortes estos no dieron diferencias significativas. Es probable que al hacer un análisis de conjunto de los datos y no de los promedios, se tenga una mejor evaluación del efecto del Fósforo en la producción.

La respuesta más notoria que se observa en este grupo de ensayos es para la aplicación de 3 ton. de cal/ha en el suelo ácido de San Roque. Los rendimientos del puntero en las parcelas sin fósforo pero con cal fueron más del doble de los obtenidos cuando no se aplicó cal ni fósforo. Esto se puede apreciar muy bien en la Figura 1. Aparentemente hay una interacción P por cal pero tampoco se encontraron diferencias significativas.

En casi todos los casos, cuando se aplicaron 200 kg de P_2O_5 /Ha como superfosfato triple o como roca fosfórica de Turmequé o de Florida, los rendimientos promedios fueron muy semejantes (Figura 1). Esto no quiere decir que en lugar de una fuente se pueda usar la otra, pues hay que recordar que en ningún caso las diferencias en rendimiento fueron significativas. Lo mismo se puede decir de las aplicaciones de escorias Thomas.

Tampoco se observó una influencia marcada del uso de roca acompañada de 20 kg de P_2O_5 /Ha aplicados en banda como superfosfato triple.

Ensayos con pastos realizados en suelos del departamento de Cundinamarca.

En las fincas de Mancilla y La Esmeralda se realizaron ensayos con pasto azul orchero en mezcla con tréboles blancos y rojos. Los resultados producidos por los diferentes tratamientos se pueden observar en la Tabla 3 y en la Figura 2.

El rendimiento promedio de todos los cortes efectuados en ambas localidades son un reflejo de las propiedades químicas de estos dos suelos (Tabla 1). En el suelo de la Esmeralda (testigo) se obtuvieron en promedio 3.6 ton/Ha más de forraje seco que en el de Mancilla y no hubo respuesta a las aplicaciones de fósforo como superfosfato o con las otras fuentes en la primera de estas fincas. Esto era de esperarse pues se trata de un suelo poco ácido (pH 5.9), con fósforo relativamente alto (14.5 ppm de P) y una baja saturación de aluminio (1.9%).

Por el contrario, en el suelo de Mancilla, con un pH de 5.3 y 4.7 ppm. de fósforo se observó una respuesta significativa al 5% entre 0 y 100 y entre 100 y 400 kg de P_2O_5 /Ha y altamente significativa (1%) entre 0 y 200 y 0 y 400 kg de P_2O_5 /Ha aplicados como superfosfato triple. Las aplicaciones de roca fosfórica de Turmequé sola y combinada con superfosfato triple (20 kg P_2O_5 /Ha), no incrementaron significativamente los rendimientos de forraje seco con relación al testigo. Aparentemente en este caso, se pueden obtener rendimientos semejantes cuando se aplican 200 kg/Ha de P_2O_5 como superfosfato triple, superfosfato simple o como escorias Thomas.

La roca fosfórica de Turmequé produjo en promedio rendimientos más bajos que las parcelas testigo, para los suelos de La Esmeralda y Mancilla.

A pesar de que solamente se reporta un corte de pasto oloroso en San Jorge, se puede a-

preciar una respuesta con relación al testigo altamente significativa a la adición de 100 y 400 kg de P_2O_5 /Ha como superfosfato triple y solamente significativa a los 200 kg de P_2O_5 /Ha. No se observaron diferencias significativas entre 100 y 200 y entre 200 y 400 kg de P_2O_5 /Ha. En este caso, como en los anteriores, parece que el superfosfato triple se puede reemplazar, en dosis de P_2O_5 equivalentes con el superfosfato simple o con las escorias Thomas, pero no con la roca fosfórica de Turmequé, la cual produjo rendimientos más bajos que el testigo. La roca fosfórica (200 kg P_2O_5 /Ha) acompañada de una aplicación de 20 kg P_2O_5 /Ha como superfosfato triple dió un rendimiento que no presentó diferencia significativa con relación al superfosfato triple aplicado en igual cantidad a pesar de que el primer tratamiento resultó con un rendimiento de 1.5 ton/Ha menos.

Es lamentable que estos ensayos no se hayan continuado por más tiempo, pues no se puede hacer aquí ninguna observación respecto al efecto residual de los materiales en estudio.

Ensayo con avena forrajera realizado en un suelo del departamento de Boyacá.

Este ensayo se estableció en un suelo ácido de Santa Rosa de Viterbo, finca El Mortifío, con pH 4.7 y 32.8 ppm de P.

A pesar de ser el suelo alto en fósforo, tal como se puede ver en la Tabla 3 y en la Figura 2, la avena respondió muy bien a las aplicaciones de fósforo en forma de superfosfato triple, de escorias Thomas y de roca fosfórica. En este caso las respuestas fueron significativas y parece que para los dos cortes de avena resultaría casi igual en rendimiento aplicar 200 kg de P_2O_5 /Ha como cualquiera de estas 3 fuentes.

La roca fosfórica fué inferior en la primera cosecha al superfosfato triple, pero en la segunda ésta resultó superior. Es posible que con la utilización de niveles más altos de P_2O_5 y con mas tiempo la roca pueda superar aún más el efecto del superfosfato.

No obstante que los rendimientos fueron mayores con aplicaciones del superfosfato en banda, las diferencias no fueron significativas si se compara con las mismas dosis adicionadas al voleo.

Ensayos realizados con cebolla de rama en un suelo franco arcilloso del Centro Tibaitatá.

Solamente se estableció un ensayo con cebolla de rama en el cual se estudiaron 5 dosis de roca fosfórica de Pesca aplicadas al voleo y tres de superfosfato simple aplicadas en banda. Uniformemente se agregaron 10 ton/Ha de abono de establo y solo se dejó un tratamiento con 300 kg P_2O_5 /Ha (como roca fosfórica) sin la aplicación de materia orgánica. Se establecieron dos tratamientos adicionales: roca fosfórica en banda (300 kg P_2O_5 /Ha) y roca fosfórica al voleo (100 kg P_2O_5 /Ha) con superfosfato simple (100 kg P_2O_5 /Ha) en banda. Los resultados expresados como un promedio de rendimiento de dos cosechas consecutivas se pueden observar en la figura 3.

A pesar de que el suelo donde se plantó el ensayo se puede considerar como fértil (pH 5.8; M.O. 10%; P Bray II 34 ppm y K 0.62 m.e./100g), se observó una respuesta a 100 kg de P_2O_5 /Ha usando cualquiera de las dos fuentes. La roca fosfórica parece ser una fuente promisoría para este cultivo especialmente si se aplica sola en banda o al voleo conjunta-

mente con superfosfato en banda. Este último método de aplicación produjo en promedio el más alto rendimiento. También en la Figura 3 se puede ver el efecto tan marcado de la materia orgánica en los rendimientos cuando se fertiliza con roca fosfórica, habiendo sido más notorio en la segunda cosecha.

Ensayos realizados con maíz en suelos ácidos de Antioquia y Llanos Orientales.

En la subestación experimental "La Selva", Rionegro, Antioquia, se estableció un ensayo con maíz, variedad D.H. 401. El andosol se sembró el ensayo tiene un pH de 5.2, es muy alto en materia orgánica y presenta una saturación de aluminio de un 46% con relación a la CIC efectiva. El fósforo aprovechable, extraído por Bray II, se considera bajo (10 ppm. de P).

Se aplicaron 5 ton de cal agrícola/Ha 30 días antes de la siembra. Tanto el fósforo, cuando se agregó en banda, como los otros fertilizantes no fosfatados se aplicaron nuevamente con la segunda siembra.

La Figura 4, nos muestra los resultados obtenidos en las dos cosechas consecutivas de maíz sembradas en este andosol. En ambas cosechas se encontraron respuestas significativas a las aplicaciones de fósforo al voleo y en banda hasta 100 kg de P_2O_5 /Ha, pero no a dosis más altas, salvo entre 100 y 400 kg P_2O_5 /Ha en la segunda cosecha cuando se aplicó al voleo. Los rendimientos siempre fueron mayores cuando el superfosfato se aplicó en banda, pero con excepción de la dosis de 100 kg P_2O_5 /Ha en la segunda cosecha, las diferencias no fueron significativas.

En la primera cosecha los rendimientos del maíz con 200 kg P_2O_5 /Ha aplicados como escorias Thomas o como rocas fosfóricas, fueron inferiores al superfosfato triple. Únicamente resultó similar el rendimiento con 200 kg P_2O_5 /Ha como roca de Florida con 20 kg. P_2O_5 /Ha como superfosfato triple aplicado en banda.

En la segunda cosecha los resultados fueron un poco diferentes, pues no se encontraron diferencias significativas entre 200 kg P_2O_5 /Ha aplicados como superfosfato triple, escorias Thomas, roca de Turmequé o roca de Florida con 20 kg de P_2O_5 /Ha como superfosfato triple.

De acuerdo con información personal obtenida, la diferencia tan grande entre los rendimientos de la 1a. y 2a cosecha se debió en gran parte a la época de siembra. Sin embargo las diferencias entre tratamientos iguales de fósforo fueron mucho mayores que las de los testigos, indicando esto el efecto positivo de la segunda aplicación de fósforo en banda y posiblemente el efecto residual de la primera. Los análisis químicos de fósforo por Bray I y II señalan un incremento apreciable del fósforo aprovechable del suelo después de la 1a y 2a cosechas, confirmando la observación anotada antes.

En los Llanos Orientales, terrazas altas y media de "La Libertad", se realizaron seis ensayos con maíz durante los años 1969, 70 y 1971, utilizando primero el híbrido H-253 y luego el H-207. Los resultados promedio se pueden ver sintetizados en la Figura 5. En la terraza alta los rendimientos de la primera siembra fueron en general muy bajos. A pesar de esto, el maíz respondió bien a las aplicaciones de P como superfosfato triple y relativamente muy poco a la roca fosfórica nacional. Las cosechas de los dos años siguientes, po-

siblemente en parte por efecto residual, mostraron una buena respuesta a las adiciones de roca fosfórica de Turmequé, siendo notable en todos los casos el incremento en producción cuando ésta se aplicó al voleo junto con 20 kg de P_2O_5 /Ha como superfosfato en banda. En el suelo de la terraza media en general los rendimientos fueron superiores a los de la terraza alta durante los dos primeros años y se notó un posible efecto residual hasta 1970, aunque el incremento en producción pudo deberse al cambio del híbrido o a condiciones ambientales más favorables. Tal como se puede apreciar en la Tabla 1, los suelos de la terraza media son relativamente un poco más pobres que los de la alta; esto no se refleja en los rendimientos del maíz durante los dos primeros años de cultivo. Con la tercera cosecha, en la terraza media los rendimientos decrecieron notablemente en comparación con los de la terraza alta, los cuales continuaron en aumento, debido posiblemente, en gran parte, al cambio del híbrido utilizado.

Para el suelo de la terraza media, los dos híbridos utilizados respondieron significativamente a las aplicaciones de la roca fosfórica nacional, produciendo en ciertos casos rendimientos iguales o superiores a cualquiera de las dosis de P aplicadas utilizando como fuente al superfosfato triple.

En la Figura 4 no se incluyeron los resultados comparativos entre las aplicaciones de P al voleo y en banda pues estos dos métodos no produjeron entre ellos diferencias significativas en los rendimientos de maíz.

Ensayos con maíz, realizados en suelos de la terraza alta y la altillanura plana de los Llanos Orientales.

En un suelo ácido de la Estación Experimental Agrícola Carimagua, cuyo análisis químico aparece en la Tabla 1, se efectuó un ensayo con el objeto de estudiar el efecto de tres fuentes fosfatadas y el método de aplicación en la producción de maíz, variedad Tatui 76. Se compararon el superfosfato triple, las escorias Thomas y la roca fosfórica de Turmequé en dosis de 75 y 150 kg de P_2O_5 /Ha aplicadas en banda y al voleo. Uniformemente y 30 días antes de la siembra se aplicaron 5 ton. de cal/Ha y 40 y 60 kg/Ha de nitrógeno y K_2O , respectivamente, al momento de sembrar.

Un resumen de los resultados obtenidos se puede apreciar en la Figura 6. Las escorias Thomas aparecen como una de las mejores fuentes cuando la aplicación se hizo al voleo. Las aplicaciones en banda tanto de las escorias Thomas como de la roca fosforica, causaron una depresión en la producción del maíz con respecto al testigo y la roca al voleo produjo rendimientos semejantes a los del superfosfato triple aplicado en banda. Los datos presentados aquí son preliminares, y a pesar de que los rendimientos fueron en general bajos por un fuerte verano que se presentó durante casi todo el período vegetativo, indican una cierta tendencia que debería ser estudiada más detalladamente y en condiciones más favorables para el cultivo.

Durante 1974 y 1975 se realizó un ensayo con maíz para observar su respuesta, en suelos de la terraza alta de los Llanos Orientales, a tres fuentes de P, dosis y método de aplicación. Los resultados se pueden apreciar en la Figura 7. En la primera siembra, los mejores rendimientos se obtuvieron con el superfosfato triple aplicado en banda y las escorias

Thomas al voleo. A pesar de esto, con dosis relativamente bajas de P (100 kg P_2O_5 /Ha) la roca fosfórica aplicada en banda produjo rendimientos aceptables. Tal como sucedió en el ensayo de Carimagua las aplicaciones en banda de Escorias Thomas y roca fosfórica, produjeron disminución en la producción cuando estas se aplicaron en dosis altas. Los resultados del segundo año dejan ver un buen efecto residual en las aplicaciones en banda y al voleo de todas las fuentes estudiadas, siendo notorios los resultados con escorias y roca aplicados en banda a razón de 100 kg P_2O_5 /Ha. También es interesante observar el efecto producido por las distintas dosis de la roca fosfórica al voleo, la cual dió resultados muy semejantes a las demás fuentes con las dosis intermedias y produjo los mayores rendimientos, cuando se comparan fuentes y métodos de aplicación a la dosis de 400 kg P_2O_5 /Ha.

Desafortunadamente no es posible observar cual fué el efecto residual de estas fuentes de P en las propiedades químicas del suelo, porque se carece de los resultados analíticos correspondientes.

Aparentemente parece que la aplicación de 200 kg de P_2O_5 /Ha como roca fosfórica al voleo, puede producir un buen efecto residual para una segunda cosecha de maní, a pesar de que los rendimientos de la primera no sean muy aceptables, ni comparables con las escorias Thomas al voleo y el superfosfato triple en banda. En general, para todas las fuentes y los métodos de aplicación, parece que 100 kg de P_2O_5 /Ha puede ser una buena dosis si se espera un efecto residual aceptable.

Ensayos con arroz realizados en suelos de la terraza media de "La Libertad", Llanos Orientales.

Durante el primer semestre de 1971, se realizó un ensayo con arroz de riego variedad IR-22, en el cual se compararon los rendimientos producidos por las aplicaciones de superfosfato triple, escorias Thomas y rocas fosfóricas de Turmequé (Colombia) y Florida (Estados Unidos) con tres, dos y una dosis de P respectivamente. Todo el ensayo fué encalado 20 días antes de la siembra con 1000 kg de cal/Ha y se aplicaron 100 kg de N y 100 kg de K_2O /Ha divididos para adicionarlos en dos épocas. El P se aplicó todo al momento de la siembra. Los resultados promedio de las cuatro replicaciones se pueden ver en la Figura 8A. En estos suelos el arroz responde muy bien a las aplicaciones de P hasta los 200 kg P_2O_5 /Ha cuando la fuente es el superfosfato triple. La dosis de 400 kg/Ha disminuyó notablemente la producción, resultando similar a la producida por los 200 kg/Ha aplicados en forma de roca fosfórica nacional.

A pesar de que la producción de arroz al utilizar roca de Turmequé fué la más baja de todas en comparación con los otros tratamientos, la diferencia significativa con el testigo la hace aparecer como aceptable. Es notable aquí, como en muchos otros casos presentados, el buen efecto en los rendimientos que se produce al adicionar a la roca 20 kg de P_2O_5 /Ha como superfosfato triple. La misma tendencia se observa con la roca de Florida. Las escorias Thomas, en dosis de 100 y 200 kg de P_2O_5 /Ha como en casi todos los casos observados, produjeron los rendimientos más altos del ensayo.

En 1974 se estableció un ensayo con la variedad CICA-6 cuyos resultados también se pueden apreciar en la Figura 8B. En este caso solo se utilizaron tres fuentes de P, pero todas

ellas en 5 diferentes dosis desde 40 hasta 200 kg de P_2O_5 /Ha. Nuevamente las escorias Thomas produjeron los más altos rendimientos, sobre todo a dosis bajas de P (< 160 kg. P_2O_5 /Ha). La roca fosfórica de Turmequé produjo rendimientos casi iguales o superiores a los conseguidos con iguales cantidades de P_2O_5 aplicadas como superfosfato triple

Aunque no aparece en las curvas de la Figura 8B, se utilizó en el ensayo un tratamiento adicional con 300 kg de P_2O_5 /Ha aplicados como roca fosfórica, el cual solo aumentó ligeramente los rendimientos con respecto a la dosis anterior (200 kg de P_2O_5 /Ha).

La Figura 8C, nos muestra los resultados de un ensayo realizado en estos mismos suelos con arroz Cica-6 durante el primer semestre de 1975. En este ensayo solamente se utilizó la roca fosfórica de Turmequé, en 5 dosis aplicadas en 4 épocas diferentes, con el objeto de observar el efecto de la época de aplicación en la aprovechabilidad del P.

Aparentemente aplicaciones muy tempranas de la roca al suelo (60 días) antes de sembrar, no producen resultados aceptables sino con dosis bajas de P_2O_5 /Ha (50 kg/Ha). Cuando se trata de dosis de 100 kg de P_2O_5 /Ha o mayores, parece que la roca se puede aplicar con buenos resultados 20 días antes de la siembra o al momento de la misma.

A pesar de que no se tienen datos sobre ensayos a largo plazo con arroz de riego, estos resultados y los obtenidos por Howeler (6), en la altillanura plana señalan una buena posibilidad de éxito con el uso de roca fosfórica para este cultivo en los suelos de los Llanos Orientales, teniendo presente que las escorias Thomas siempre ha resultado ser la mejor fuente de P para esta zona del país.

CONCLUSIONES

De acuerdo con la información presentada, aunque ésta no es tan completa como sería deseable, parece que hay buenas probabilidades de esperar una respuesta aceptable a las aplicaciones de roca fosfórica cuando se trata de suelos álicos, bajos en fósforo (andosoles e inceptisoles óxicos) y con una capacidad de fijación de este elemento relativamente alta en cultivos semestrales o anuales tales como cebolla de rama, avena, maíz, maní y arroz de riego.

En el caso de los pastos, a pesar de que los ensayos realizados no cubrieron sino un período muy corto de tiempo (máximo dos años) y zonas relativamente altas con climas medios o fríos, se puede notar que los tratamientos con roca fosfórica de Turmequé no incrementaron la producción total y en muchos casos ésta fue inferior a la obtenida en las parcelas testigos. Es lamentable que no se haya encontrado información escrita sobre ensayos con gramíneas y leguminosas forrajeras en oxisoles de las zonas bajas del país, donde posiblemente sí se consigan respuestas de los pastos a fuentes de P tan poco solubles como la roca fosfórica de Boyacá. Por información personal se pudo confirmar dicha posibilidad, puesto que en la granja La Libertad de los Llanos Orientales, obtuvieron rendimientos similares en 3 cortes de pasto brachiaria cuando se utilizaron 200 kg de P_2O_5 /Ha adicionados como roca fosfórica de Turmequé, roca de Florida o superfosfato triple.

Por otra parte, parece que en el país y en países vecinos como el Perú se pueden conseguir rocas fosfóricas mucho más eficientes que la roca de Turmequé y las cuales valdría la pena ensayar no solo con plantas forrajeras sino también con otros cultivos, haciendo énfasis en su efecto a mucho más largo plazo.

En muchos de los ensayos revisados llama la atención el hecho de que la roca fosfórica con cantidades tan pequeñas como 20 kg de P_2O_5 /Ha, aplicados en banda como superfosfato triple, incrementan la producción significativamente no solo con relación al testigo sino también con relación a la aplicación de la roca sola. Es posible que aquí haya un campo muy productivo de investigación conjuntamente con el de formas y tiempos de aplicación de fuentes de P solas o mezcladas en diferentes proporciones.

Definitivamente, de las fuentes estudiadas las escorias Thomas casi siempre produjeron mejores o iguales rendimientos que el superfosfato triple para todos los cultivos y los suelos reportados. Esto hace pensar en la posibilidad de éxito, de otras fuentes semejantes a las escorias, tales como los productos de la transformación térmica de las rocas fosfóricas con minerales de magnesio y con carbonatos (termofosfatos).

Entre estos productos se podría pensar en los fosfatos de Rhenania y en el fosfato de magnesio fundido, los cuales tienen una alta proporción de P soluble en citratos y algunos de ellos poseen silicatos relativamente activos y cantidades apreciables de magnesio, elemento limitante en muchos suelos ácidos del país.

LITERATURA CITADA

1. CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL, CIAT. 1974. Informe Anual. Cali, Colombia. 286 p.
2. CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL, CIAT. 1975. Informe Anual. Cali, Colombia. 58 p.
3. DOLL, E.C. Utilization of Phosphate Rock for Direct application to soils. IFDC (Mimeografiado) 19 p.
4. ENSMINGER, L.E., R.W. PEARSON and W.H. ARMINGER. 1967; Effectiveness of rock phosphate as a source of phosphorus for plants. United States Department of Agriculture. Agricultural Research Service. Bulletin 41-125, January-1967
5. HANKE, F. 1974. La utilización de la fosforita colombiana por medio de procesos microbiológicos. Rev. Suelos Ecuatoriales. El Fósforo en zonas tropicales 6 (1): 301--325
6. HOWELER, R.H. 1974. La fertilización fosfórica del arroz de riego y de secano. Rev. Suelos Ecuatoriales. El Fósforo en zonas tropicales 6 (1): 245-263
7. McCORMICK, N. y F. GALIANO. 1961. Estudio sobre el valor fertilizante del fosfato Thomas (Escorias Thomas). Revista IIT (Bogotá) 3(9): 25-26.
8. MICHIELIN, A. P., LEON, L.A. y A. RAMIREZ. 1974. Uso eficiente de fertilizantes fosfata-

dos en la producción de pastos en suelos ácidos. Revista Suelos Ecuatoriales. El Fósforo en zonas tropicales 6(1): 265-287

9. NORTH CAROLINE STATE UNIVERSITY. Soil Science Department Agronomic—Economic Research on Tropical Soils. Annual Report for 1974. 230 p.
10. ORTIZ, M.A. y P. RUBIO. 1973. Evaluación de fuentes de fósforo a diferentes niveles en la fertilización edáfica de la papa (*Solanum tuberosum* L.) Tesis Fac. Agron. Manizales. Universidad de Caldas (Mimeografiada). 22 p.
11. RODRIGUEZ, M. y J. LOTERO. 1967. Respuesta de la lechuga romana y la alfalfa a fuentes y dosis de P y Cal en un suelo orgánico de Antioquia. Revista ICA P: 135-152.
12. WACHTEL, H. The Assessment of the fertilizing effect of Soft mineral phosphate according to its solubility in formic and Citric Acid. PartII —Correlation between solubility and P effect obtained in pot and field trials (Mimeografiado) 25 p.

TABLA 1 Algunas características químicas de los suelos de los lugares donde se efectuaron los ensayos

Localidad	pH	M. O. %	P ppm. Bray II	Cationes intercamb. me / 100 g,					CIC	CIC efec.	Sat. Al %
				Al	Ca	Mg	K	Na			
El Mortiño— Santa Rosa (Boyacá)	4.7	9.5	32.8	—	4.0	0.68	0.42	0.05	—	5.15	—
Mancilla—Facativivá (Cundinamarca)	5.3	22.8	4.7	0.8	5.6	1.42	0.66	0.31	48.8	8.79	9.10
La Esmeralda—Madrid (Cundinamarca)	5.9	23.3	14.5	0.3	13.2	1.20	0.75	0.26	47.1	15.71	1.91
San Jorge—Soacha (Cundinamarca)	4.9	33.2	19.3	6.3	1.6	0.35	0.51	0.26	59.3	9.02	69.84
San Roque—El Nus (Antioquia)	4.9	4.6	6.0	1.3	2.0	0.73	0.50	0.10	10.6	4.63	28.10
La Ponderosa—Mutatá (Antioquia)	5.1	5.8	9.9	1.5	9.2	2.50	0.68	0.23	33.8	14.11	10.63
Leticia—Mutatá (Antioquia)	5.0	3.4	4.0	13.0	5.2	2.60	0.73	0.17	33.2	21.70	59.91
La Selva—Rionegro (Antioquia)	5.2	33.0	10.1	2.2	1.6	0.35	0.50	0.10	51.4	4.75	46.32
Manzanares—La Ceja (Antioquia)	5.8	25.0	17.1	0.3	12.8	2.40	0.95	0.24	47.2	16.69	1.80
Carimeque—Pto. Gaitán (Llanos Orientales)	4.6	4.0	1.0	3.5	0.4	0.04	0.10	0.20	4.5	4.24	82.55
La Libertad—Terraza Alta (Llanos Orientales)	4.6	4.1	5.1	2.9	0.78	0.30	0.15	0.07	11.0	3.70	64.86
La Libertad— Terraza media (Llanos Orientales)	4.5	3.9	3.5	3.4	0.78	0.30	0.15	0.11	12.6	4.74	71.73
Tibaitatá—Mosquera (Cundinamarca)	5.8	10.0	34.0	0.05	15.2	3.50	0.62	1.60	20.9	20.97	0.24

TABLA 2 Efecto de cuatro fuentes y diferentes dosis de fósforo en el rendimiento promedio de forraje seco (ton/Ha) de tres gramíneas establecidas en suelos del departamento de Antioquia.

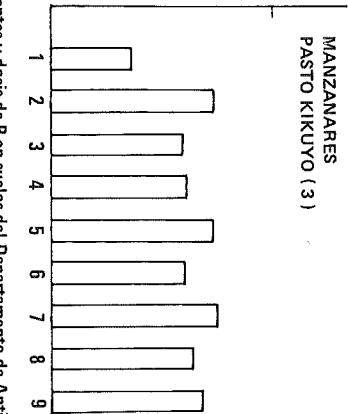
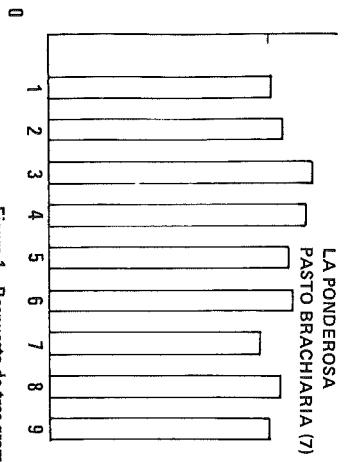
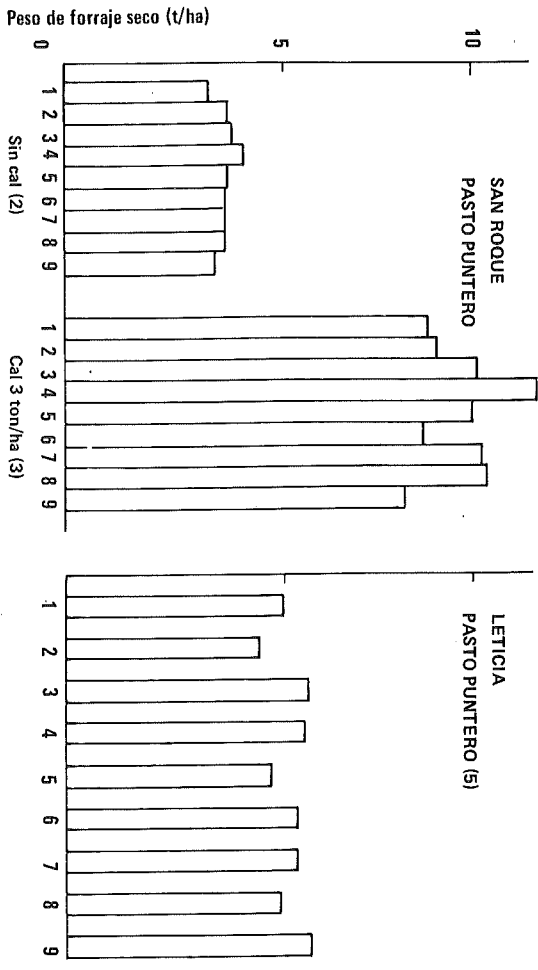
Fuentes	P ₂ O ₅ kg / Ha	Puntero		Leticia (5) Puntero	La Ponderosa (7) Bracharia	Manzanares (3) * Kikuyo
		San Roque (3) Con Cal	San Roque (2) Sin Cal			
1. Testigo	—	8.4	3.4	5.0	5.2	1.9
2. S.F.T.	100	8.6	3.8	4.4	5.5	3.8
3. S.F.T.	200	9.5	3.9	5.6	6.2	3.1
4. S.F.T.	400	10.9	4.2	5.5	6.0	3.2
5. RF-22	200	9.4	3.8	4.7	5.6	3.8
6. RF-22 + SFT	200 + 20	8.3	3.7	5.3	5.7	3.1
7. RF-Florida	200	9.6	3.7	5.3	4.9	3.9
8. RFF- +SFT	200 + 20	9.7	3.7	4.9	5.4	3.3
9. Escorias Thomas	100	7.8	3.5	5.7	5.1	3.5

* Los números entre paréntesis corresponden al número de cortes.

TABLA 3. Efecto de cuatro fuentes y diferentes dosis de fósforo en el rendimiento promedio del forraje seco (Ton/Ha) de dos gramíneas y avena forrajera establecidas en suelos de Cundinamarca y Boyacá.

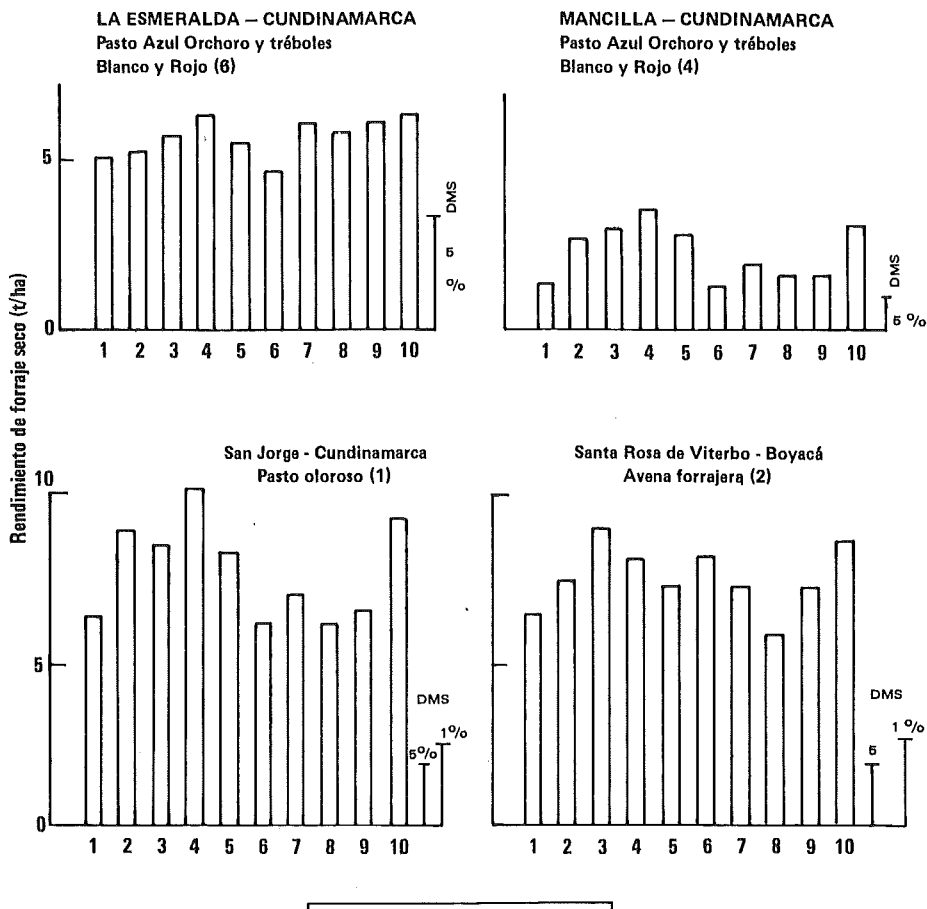
Tratamientos	Niveles de P ₂ O ₅ kg/Ha	C ₂ SO ₄ kg/Ha	Esmeralda P. Orchozo (6)*	Mancilla P. Orchozo (4)	S. Jorge P. Oloroso (1)	Santa Rosa Avena (2)
Testigo	—	—	5.2	1.4	6.3	12.6
S. F. T. (45%o)	100	50	5.4	2.7	8.8	14.6
S. F. F	200	50	5.8	3.0	8.4	17.6
S. F. T.	200	—	5.3	3.4	7.4	15.1
S. F. T.	400	50	6.4	3.0	10.1	15.9
S. F. T. + E. A. H. (2000)	200	50	5.9	3.9	9.0	16.6
S. F. T. + E. A. H. (1000)	200	50	6.1	2.9	7.4	15.4
S. F. S. (16%o)	200	—	5.6	2.8	8.2	14.3
R. Fosfórica 22 (16%o)	200	50	4.8	1.3	6.0	16.1
R. Fosfórica 22 + S.F. T.	200 + 20	50	6.2	1.9	6.9	14.2
R. Fosfórica de Florida (32%o)	200	50	5.9	1.6	6.0	11.4
R. Fosfórica de Florida + S. F. T.	200 + 20	50	6.2	1.6	6.4	14.2
Escorias Thomas	200	50	6.5	3.0	9.2	17.1

* Los números entre paréntesis corresponden al número de cortes o cosechas efectuadas.



Treatment	P ₂ O ₅ kg/ha
1. Testigo	-
2. SFT	100
3. SFT	200
4. SFT	400
5. RF 22	200
6. RF 22+SFT	200 y 20
7. RF FLORIDA	200
8. RF+SFT	200 y 20
9. ETHOMAS	100

Figura 1. Respuesta de tres gramíneas a fuentes y dosis de P en suelos del Departamento de Antioquia. Promedio del número de cortes que aparecen entre paréntesis.



kg/ha P ₂ O ₅	
1. Testigo	—
2. SFT	100
3. SFT	200
4. SFT	400
5. SFS	200
6. RF22	200
7. RF22 +	200
8. RFF	200
9. RFA +	200
10. E.T.	200

Figura 2. Respuesta de gramíneas, leguminosas y avena forrajera a fuentes y dosis de P en suelos de los Departamentos de Cundinamarca y Boyacá. Promedio de los cortes indicados entre paréntesis.

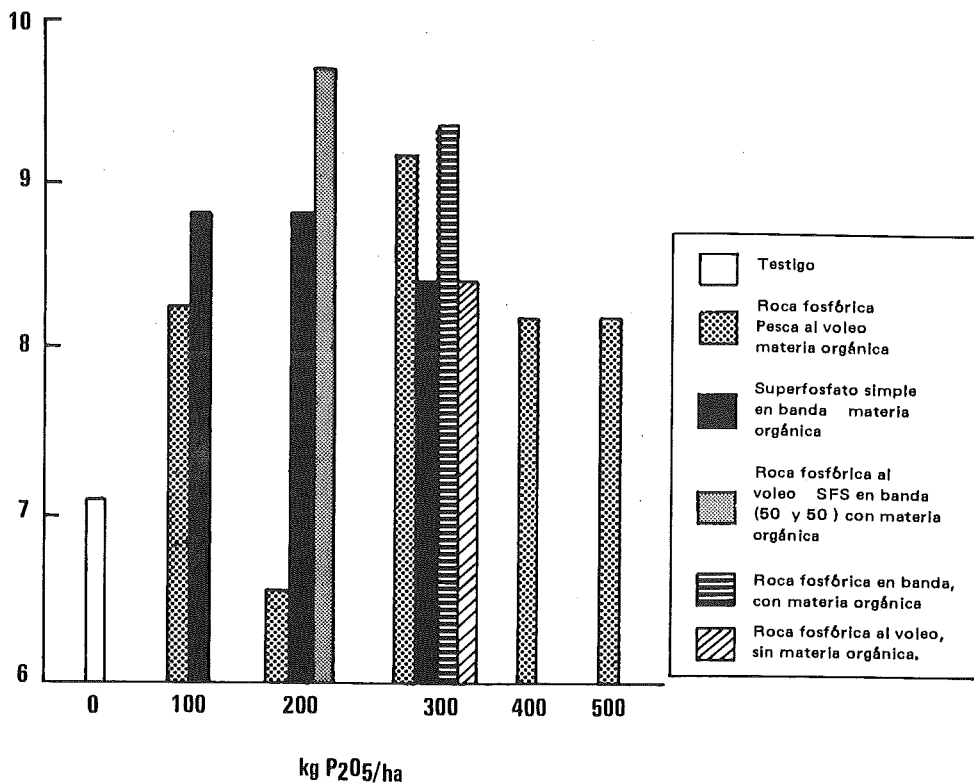


Figura 3.— Respuesta de la cebolla de rama a fuentes, dosis y formas de aplicación de P en un suelo franco arcilloso del Centro Tibaitatá con 10 ton/ha de materia orgánica. Promedio de dos cosechas.

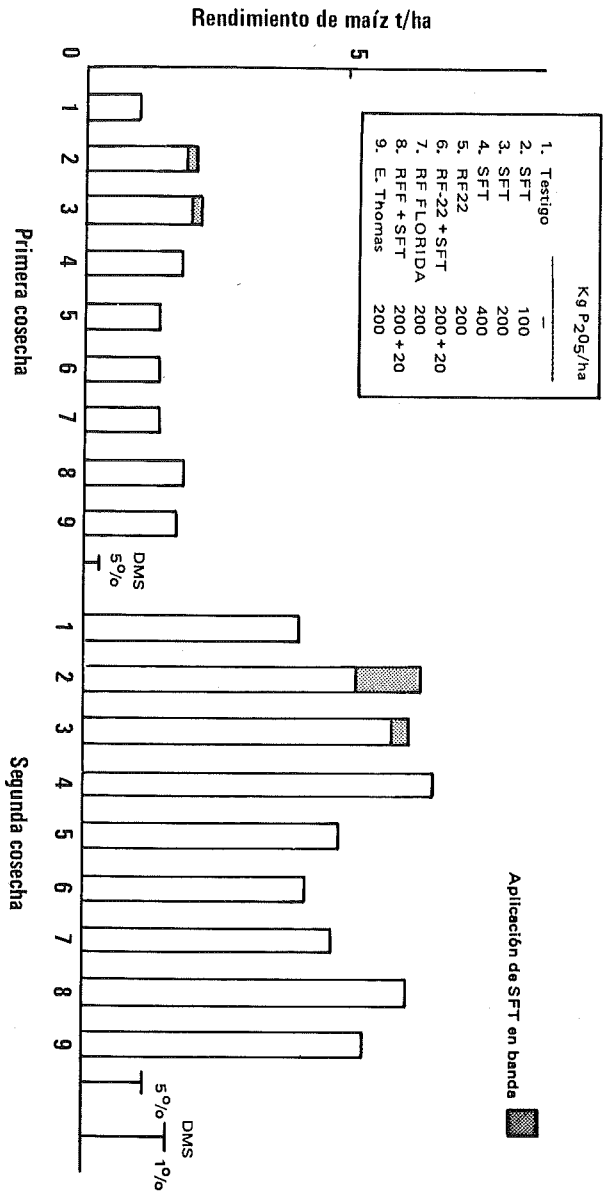
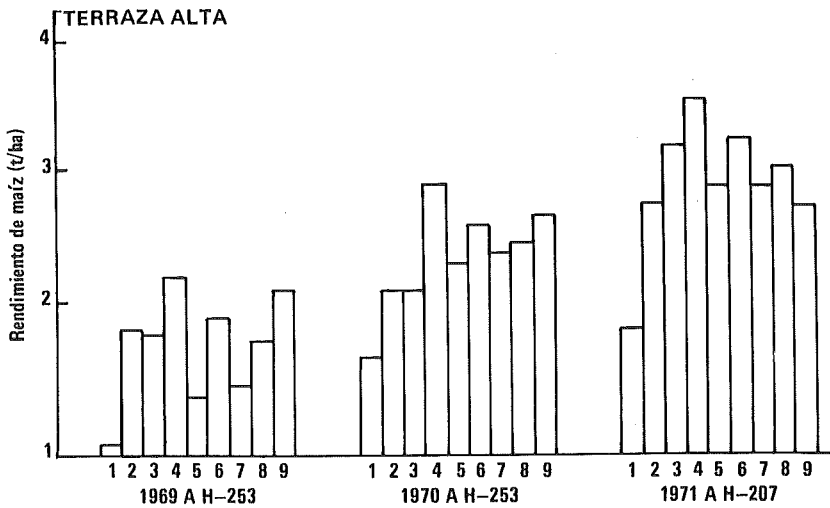


Figura 4. Respuesta del maíz, variedad DH-401, a fuentes, dosis y formas de aplicación de P en un andosol de "La Selva" Rionegro, Antioquia.



Tratamiento	Dosis Kg/ha	Tratamiento	Dosis Kg/ha
1. Testigo	—	6. RF22 +	200 +
2. SFT	100	SFT	20
3. SFT	200	7. RFF	200
4. SFT	400	8. RFF +	200 +
5. RF22	200	SFT	20
9. E.T. 100			

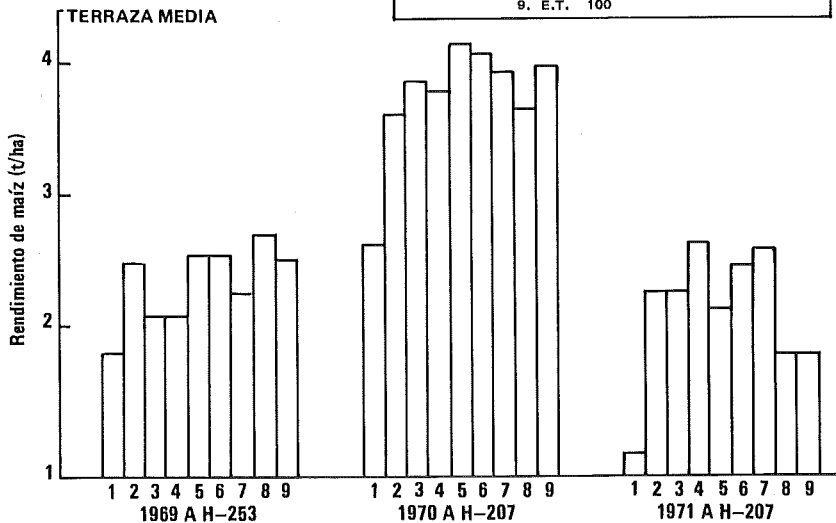


Figura 5. Respuesta del maíz en suelos de las terrazas alta y media de "La Libertad", Llanos Orientales, a las aplicaciones al voleo de diversas fuentes y dosis de P.

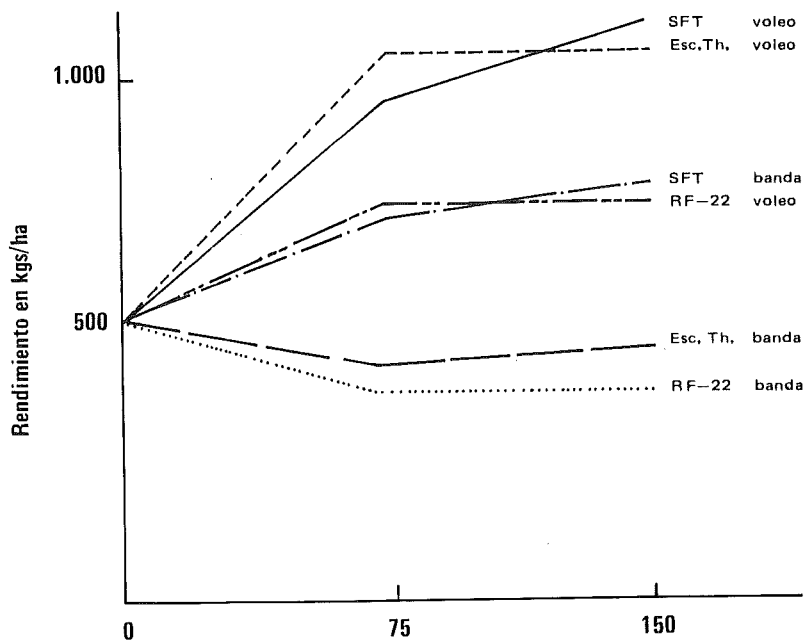


Figura 6. Efecto comparativo de la influencia de aplicaciones de superfosfato triple, Escorias Thomas y roca fosfórica 22 (Turmequé, Colombia) y forma de aplicación en el rendimiento de maní en un suelo de Carimagua

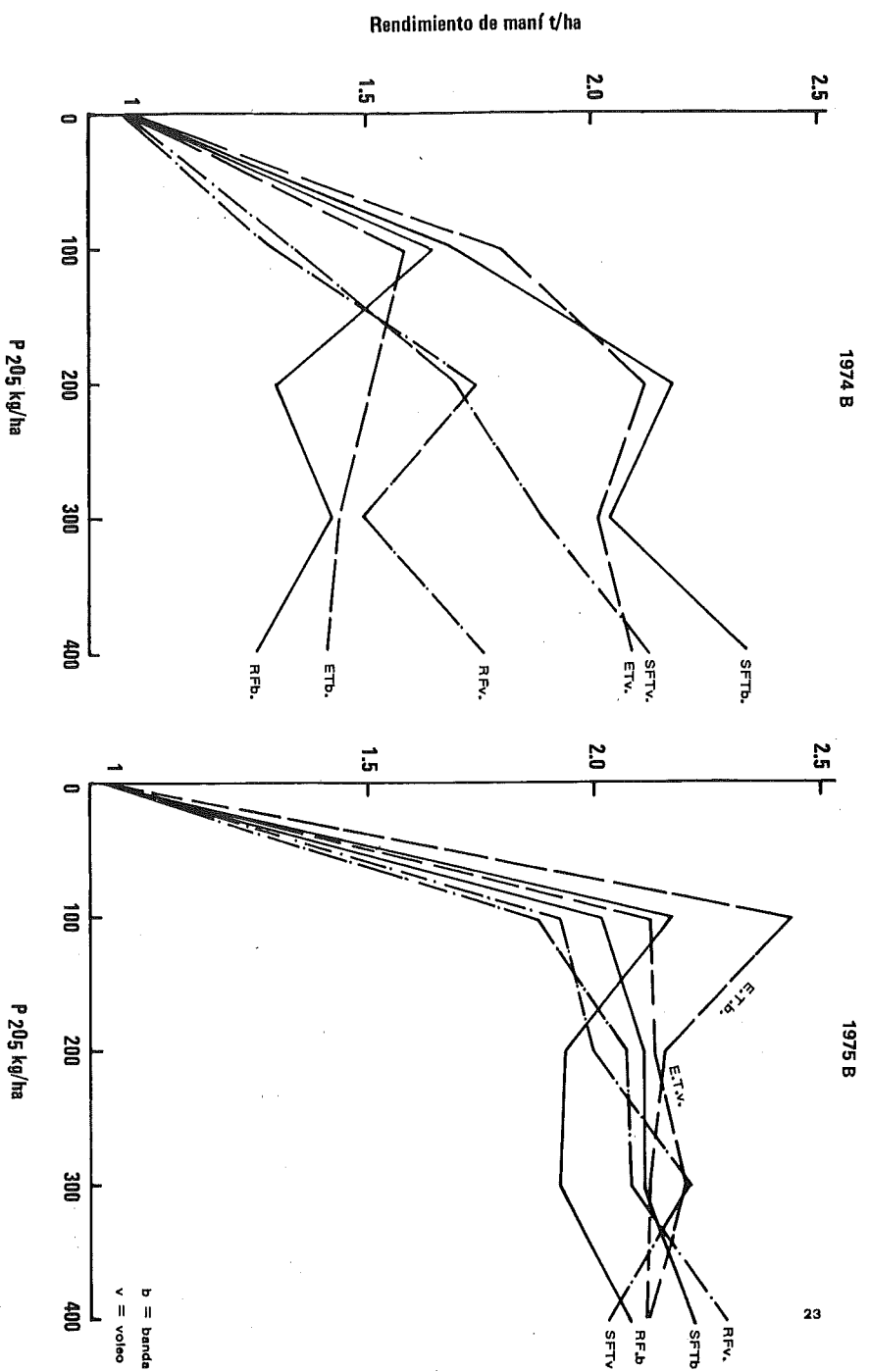
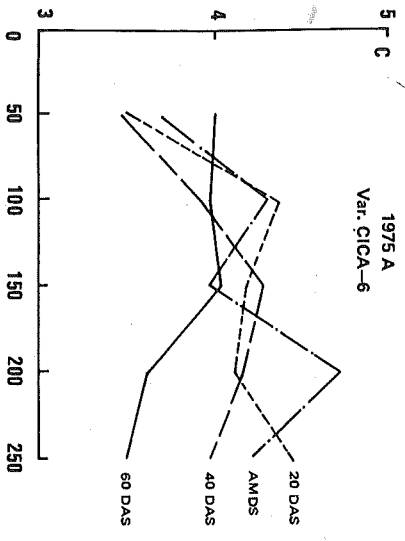
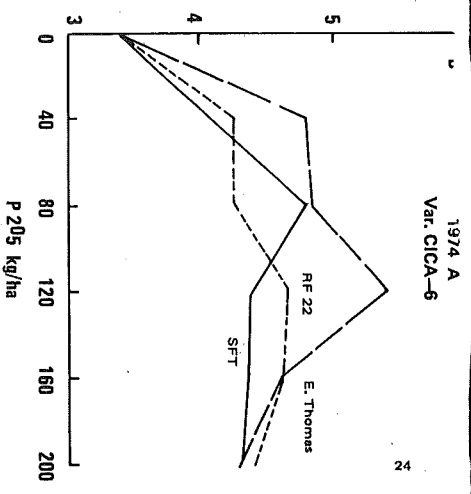
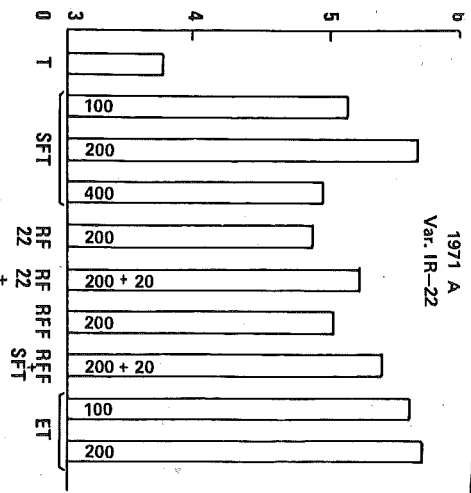


Figura 7. Respuesta del maní, variedad Tatu-76 en un suelo de la terraza alta de "La Libertad", Llanos Orientales, a fuentes, métodos de aplicación y dosis de P.

Rendimiento de arroz (t/ha)



DAS = Dias antes de la siembra
 AMDS = Al momento de la siembra

P 205 kg/ha RF 22

Figura 8. Respuesta del arroz, en un suelo de la terraza media de La Libertad, Llanos Orientales, a fuentes, dosis y épocas de aplicación de P.