CIAT
65626
COLECCION HISTORICA

INFORME DE ADIESTRAMIENTO

PROYECTO FOSFORO

Evaluación Preliminar sobre la Calidad de Fertilizante de la Roca Fosfórica en Polvo, Minigranulada y Parcialmente Acidulada, proveniente de Capinota, Bolivia.

Asesores: L.L. HAMMOND
L.A. LEON

Becario : ROLANDO F. RODRIGUEZ GAMBOA

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL, CIAT.

Cali - Colombia

CIAT
BIBLIOTECA
ADQUISICIONES - CANJE
8 JUL. 1983
54913

Agosto 1981.

1. INTRODUCCION

Los suelos ácidos de América Tropical (pH<5.5), a pesar de constituir el bloque más extenso de tierra potencialmente arable, presentan problemas de manejo que, en general, han limitado el desarrollo agrícola en las áreas influidas por estos suelos. El principal obstáculo para la producción agrícola es la baja fertilidad natural del suelo, la cual es inadecuada para sistemas de manejo primitivo y tradicional, así como también para una tecnología directamente transferida de países con sistemas agrícolas altamente desarrollados. La mayoría de los suelos del trópico americano presentan un "complejo de infertilidad", que identifica alta acidez, toxicidad de Al y/o Mn y una deficiencia general de macro y micronutrimentos (Salinas, 1981).

El fósforo es uno de los nutrimentos más limitantes en la mayoría de los suelos ácidos tropicales, tales como los Oxisoles y Ultisoles (Salinas, 1981). La alta capacidad de fijación de fósforo en estos suelos en formas no inmediatamente disponibles para las plantas, presenta también varia implicaciones agroeconómicas y que es probable afirmar que ésta situación es representativa de vastas áreas en América Tropical (Salinas y Sánchez, 1976). Aunque no es posible identificar con exactitud las áreas donde estos suelos altamente fijadores

de fósforo predominan, aproximadamente el 82% de la tierra arable de los trópicos americanos es deficiente en fósforo en su estado nativo (Sánchez y Cochrane, 1980). En los ecosistemas de sabana y bosque con suelos clasificados como Oxisoles y Ultisoles, el estimado aumenta a un 96% del área (Sánchez y Cochrane 1980). Los problemas de la deficiencia de fósforo, en estos suelos estan ligados a la elevada capacidad de fijación de fósforo. Suelos con elevada capacidad de fijación de fósforo pueden ser definidos como aquellos que requieren adiciones de por lo menos 200 kg P/ha para proporcionar una concentración en equilibrio de 0.2 ppm P en la solución del suelo (Sánchez y Uehara, 1980). Suelos ácidos que fijan tales cantidades de fósforo pueden ser identificados con texturas superficiales limosas o arcillosas con una relación arcilla/sesquióxido de 0.2 ó superior, o por el predominio de alofán en la fracción arcilla de la capa arable (Buol et al., 1975).

Alrededor del 53% de la capa superficial de los suelos en América Tropical es dominada por una alta capacidad de fijación de fósforo. Esta Figura se ve aumentada a un 72% en las regiones con Oxisoles y Ultisoles, pero suelos altamente fijadores de fósforo son menos extensivos en los bosques de la Amazonia que en las sabanas (Cochrane y Sánchez, 1981). La elevada fijación de P es considerada

como una de las causas principales del porqué extensas áreas del trópico americano están subutilizadas (León y Fenster, 1980).

En el caso particular del trópico boliviano, de los 10 órdenes considerados en la taxonomía de suelos de los E.E.U.U., 4 órdenes son identificados en esta región (Oxisol, Ultisol, Entisol y Alfisol). Bajo condiciones de bosque estacional bien drenado, los Oxisoles son los predominantes (67%) quedando el 33% restante entre los Ultisoles (3,5%), Alfisoles (18,5%) y Entisoles (11,0%) (Salinas y Pereira, 1980). Esta información aproximada parece indicar que la mayoría de los bosques estacionales están en suelos ácidos bien drenados y de baja fertilidad. Inversamente, los bosques estacionales con suelos pobremente drenados se caracterizan por ser Ultisoles, Entisoles y Alfisoles, totalizando todos ellos un 90% del área de suelos mal drenados con vegetación de bosque y donde los Ultisoles son los que predominan (42%) seguidos por los Alfisoles (32%). (Salinas y Pereira, 1980).

En relación a las sabanas existentes en la región nororiental de Bolivia, la información disponible indica que prácticamente todos presentan condiciones adversas de drenaje del suelo. Los Alfisoles predominan estas sabanas (68%) correspondiendo el 32% restante a Ultisoles.

Salinas y Pereira (1980) mencionan que la mayoría de los suelos serían clasificados como Oxisoles y Ultisoles, que juntos llegan a constituir el 57% de la región. Este porcentaje elevado indica que prácticamente los suelos en principio tienen una fertilidad natural baja. El resto de la región está cubierta por Alfisoles (26%) y Entisoles (17%), muchos de ellos son de origen aluvial y localizados en las franjas a lo largo de los ríos. A nivel de Gran Grupo se distinguen dentro los Oxisoles y Ultisoles tres de importancia: Haplorthox (27%), Acrorthox (12%) y Tropaquults (13%), Los dos primeros son suelos con buen drenaje, con un perfil uniforme en profundidad y de baja fertilidad natural, estos suelos estarían localizados mayormente en los bosques estacionales. Respecto a los Tropaquults, estos suelos estarían localizados tanto en los bosques estacionales como en las sabanas mal drenadas, las cuales permanecen inundadas durante la época lluviosa por un periodo relativamente largo. Otro grupo de suelos de importancia pero dentro de los Alfisoles y que caracterizan a las sabanas mal drenadas, serían los Tropaqualfs con un 25% de cobertura (Salinas y Pereira, 1980).

Salinas y Pereira (1980) presentan un resumen de algunas características químicas de los suelos de la región nororiental de Bolivia. La disponibilidad de fósforo está en un contenido

medio (3-7 ppm Bray-II) y en una proporción aproximada del 50% de los suelos y un 27% por debajo de las 3 ppm (Bray II) indicando baja disponibilidad del elemento. De esta información general se puede inferir en el sentido de que los suelos de esta región, si bien la mayoría de ellos son clasificados como Oxisoles y Ultisoles, el grado de fertilidad de los mismos está de un nivel medio hacia un nivel bajo de fertilidad. La mayoría de ellos bajo una cobertura de bosque estacional, tipo de vegetación que estaría manteniendo ese nivel de fertilidad del suelo por el reciclaje de nutrimentos existentes en este tipo de bosque. Sin embargo, es altamente susceptible a una degradación rápida en la fertilidad de los suelos debido a la fragilidad del ecosistema (Salinas y Pereira, 1980).

En Bolivia, la posibilidad de utilizar fertilizantes fosfóricos solubles es muy reducida por el costo elevado que representa al agricultor, ya que no se cuenta con una industria de fertilizantes fosfóricos que puedan transformar la mayor parte de fosfatos naturales existentes en productos de una mayor solubilidad. Así podemos citar que una tonelada de Superfosfato Triple (SFT) tiene un costo de 1200 dólares, precio que hace pensar en otras alternativas menos costosas y que puedan substituir en parte a los fertilizantes de alta solubilidad. En Bolivia existen yacimientos de roca fosfórica con un potencial del orden de 4 millones de toneladas,

localizados en la parte central oeste del departamento de Cochabamba.

Las investigaciones realizadas con rocas fosfóricas en los E.E.U.U., han sido efectuadas por Ensminger, Pearson y Arminger, citados por León, et al. (1976). De estas investigaciones, se concluye que las aplicaciones directas de rocas fosfóricas han sido muy efectivas en 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 y las verduras. Sin embargo, en suelos fuertemente ácidos y muy deficientes en fósforo, casi todos los cultivos han mostrado algún grado de respuesta con roca fosfórica. En general, los rendimientos obtenidos con roca fosfórica son más bajos que aquellos encontrados al utilizar fosfatos solubles, aún en el caso donde la cantidad de fósforo aplicado como roca fosfórica fué mayor que el adicionado como fosfato soluble.

Las investigaciones efectuadas en Europa indican que en suelos ácidos los rendimientos en pastos fueron casi del mismo orden de magnitud cuando se utilizaron rocas fosfóricas finamente molidas. Gandoy (1969) sostiene que se producen efectos similares al aplicar 90, 180 y 270 kg/ha de P_2O_5 como roca fosfórica que 60 y 120 kg/ha de P_2O_5 como SFT en

la producción de caña de azúcar en un suelo ferralítico (Oxisol). Además trabajos realizados con el pasto Pangola (Digitaria decumbens) en un suelo pardo del tipo franco-arenoso ácido y pobre en fertilidad, indican que la roca fosfórica y el superfosfato triple dan resultados similares cuando se aplica el doble de la primera, y además que la roca fosfórica se puede aplicar como fertilizante directo en estos suelos con efectos residuales prolongados.

El elevado costo unitario del fertilizante fosforado ligado a las limitaciones de deficiencias y fijación de fósforo en los suelos ácidos, requiere el desarrollo de una tecnología que determine un uso más eficiente del fósforo aplicado en estos suelos. Salinas y Sánchez (1976), Fenster y León (1979) y Sánchez y Uehara (1980) han sugerido estrategias similares para el desarrollo de un sistema de manejo del fósforo en los suelos ácidos e infértiles de América Tropical, para la producción de cultivos y pastos. Al presente, la estrategia consiste en seis componentes principales, ellos son: (1) Determinar la combinación más apropiada de dosis y métodos de aplicación para aumentar los efectos iniciales y residuales; (2) Mejorar los procedimientos de evaluación del fósforo en la fertilidad del suelo para realizar recomendaciones de fertilización; (3) Usar fuentes de fósforo menos costosas tal como rocas

fosfóricas, ya sean solas o combinadas con superfosfatos; (4) Usar cantidades moderadas de cal para aumentar la disponibilidad de fósforo; (5) Seleccionar especies y variedades que puedan desarrollar a niveles más bajos de fósforo disponible en el suelo; y (6) Explorar las posibilidades prácticas de las asociaciones con micorriza para aumentar la absorción de fósforo por las plantas. De estos seis componentes, el tercero se considera en este trabajo.

Debido a la falta de información sobre rocas fosfóricas en Bolivia, como fuente directa de fertilización en cultivos anuales y en pastos, se llevó a cabo este trabajo preliminar utilizando una roca fosfórica boliviana para estudiar el efecto de fuentes, tamaño de gránulo y acidulación parcial con ácido fosfórico en un Oxisol de los Llanos Orientales de Colombia (Carimagua), empleando Brachiaria decumbens como planta indicadora y bajo condiciones de invernadero. En una segunda fase, se piensa realizar trabajos similares en el trópico boliviano en condiciones de campo.

2. MATERIALES Y METODOS

El presente ensayo se llevó a cabo en las instalaciones del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Palmira, Colombia, bajo condiciones de invernadero. Se comparó la eficiencia de una roca fosfórica boliviana, con respecto al tamaño de partícula (en polvo, granulada, y parcialmente acidulada), roca fosfórica colombiana en polvo (Pesca) y superfosfato triple (SFT). La eficiencia de estas rocas se estudiaron con cuatro dosis de fósforo (25, 50, 100 y 200 ppm P), empleando como planta indicadora la gramínea forrajera Brachiaria decumbens. El diseño del experimento fué el de bloques completamente al azar con tres repeticiones. Cada unidad experimental constituyó de una maceta con 2 kg de suelo secon al aire y molido en malla de 2 mm. El suelo utilizado es clasificado como un Typic Haplustox y proviene de Carimagua, Colombia. Las características químicas de este suelo se presentan en el Cuadro 1.

Todas las macetas recibieron una fertilización basal e inicial consistente en 100 kg/ha de N, 100 kg/ha de K, 20 kg/ha de Mg, 5 kg/ha de Zn y 1 kg/ha de B. Como portadores de estos elementos se utilizaron urea, K_2SO_4, $MgSO_4$, $ZnSO_4$ y borax respectivamente. Además, como fertilización complementaria se utilizó N y K en dosis de 100 kg/ha/corte en forma de urea y KCl, respectivamente y aplicados en solución.

El transplante a las macetas se efectuó con 7 plántulas por maceta quedando finalmente 5 plántulas/maceta. Se montó también un testigo absoluto para un total de 28 tratamientos y tres repeticiones. Se efectuaron tres cortes con un intervalo promedio de tiempo de 24 días. Se evaluó el rendimiento de materia seca de cada corte y se envió al laboratorio una muestra de tejido vegetal por tratamiento y por corte para la determinación del contenido de P total.

Los análisis del suelo consistieron en la determinación de fósforo por los métodos Bray I y Bray II, pH, Al, Ca, Mg, K y se calculó el porcentaje de saturación de Al por tratamiento al final cel ensayo. Las variables de respuesta evaluadas fueron el rendimiento de materia seca por fuente y dosis por corte, el rendimiento total de materia seca (suma de 3 cortes) por fuente y dosis, el efecto de las rocas en función de la eficiencia de utilización de P, la extracción de P, el porcentaje de aprovechamiento del fertilizante, el efecto de las cuatro dosis de P aplicado como una fuente de roca fosfórica y finalmente, la relación entre el rendimiento relativo y la extracción de P disponible extraído por los métodos Bray I y Bray II, respectivamente.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 Producción Total de Materia Seca.

Considerando el aumento del suministro de fósforo en las cuatro dosis, la primera dosis de fósforo (25 ppm) causó en todas las fuentes utilizadas, un aumento en el rendimiento de materia seca equivalente al 57% de la producción de materia seca en relación al testigo o control absoluto. Sin embargo, de este aumento considerable en el rendimiento de materia seca, se observó una respuesta ascendente en la producción de materia seca a medida que aumentó la dosis respectiva de fósforo independiente de la fuente. Este aumento en relación a la producción máxima, fué relativo al 32, 57, 72, 85 y 100% de producción de materia seca en los cinco niveles de P aplicados respectivamente (Cuadro 2).

El portador de fósforo que mayores rendimientos mostró fue el superfosfato triple (20.70 g/pote) siguiendo en orden de importancia Sayari A_1>Tapacari C_3>Pesca>Tapacari A_3>Tapacari D_3>Tapacari B_3. De estas rocas la primera, segunda tercera y cuarta son rocas fosfóricas en polvo. La quinta y sexta son rocas granuladas en ácido fosfórico y agua, respectivamente. Es conocido el hecho de que la acidulación de la roca fosfórica con H_2SO_4 y H_3PO_4 aumenta la cantidad de fósforo soluble

(Fenster y León, 1978). Sin embargo, a pesar de que la acidulación parcial con H_3PO_4 aumentó el porcentaje de P total y soluble (Cuadro 3), la producción de materia seca con las rocas aciduladas fueron menores que las rocas en povlo. Este hecho posiblemente se deba a que las rocas en polvo presentaron una mayor superficie de contacto con el suelo y la forma homogénea de mezcla en las macetas haya sido más efectiva con las rocas en polvo, lo cual causó una mayor y mejor distribución que las fuentes granuladas y de ahí, una eficiencia mayor de uso de las rocas en polvo.

3.2 Producción de Materia Seca por Corte

La Figura 1 muestra el efecto de las diferentes fuentes y dósis de P sobre el rendimiento de materia seca de *Brachiaria decumbens* por corte. En general, se observa que existió un incremento de la materia seca tanto por fuente como en dosis para el primer corte. Cada fuente en particular, provocó un aumento progresivo en función de la dosis de P aplicada. Al comparar fuentes entre sí, el SFT resultó ser la fuente de P que mostró mayor rendimiento y la de menor rendimiento, la roca Tapacari B3 granulada en el primer corte (Fig. 2). En el segundo corte, los rendimientos de materia seca fueron superiores que en el 1er. corte, exceptuando la roca Tapacari D3 (granulada y acidulada) que mostró rendimientos menores en materia seca que el primer corte. Al comparar el incremento en el rendimiento

del segundo corte con el primero, se observa que las rocas en polvo tuvieron un efecto positivo sobre la producción de materia seca en una mayor proporción que el SFT. Esta respuesta es probable que se deba a que en el transcurso de los dos cortes, el aprovechamiento de fósforo fué mayor por las plantas por efecto de la mayor residualidad de las rocas y por la reacción con el medio ácido de los suelos que favoreció a una mayor disponibilidad de P para la planta.

La menor producción de materia seca se obtuvo en el tercer corte en todas las fuentes y dosis (Figura 2). Sin embargo, las fuentes de roca fosfórica en polvo, mostraron mayores rendimientos comparándolos aún con el superfosfato triple, cuyo comportamiento fué el más bajo de todas las fuentes. La explicación a esta observación puede estar en relación a una fijación del P del superfosfato en formas menos disponibles para la planta por una parte y por otra, la producción de una gran cantidad de raíces que exploraron el suelo de la maceta agotando el P disponible y por ende afectando la relación suelo-planta en cuanto a una menor disponibilidad de P que se reflejó en una menor producción de materia seca.

3.3. Contenido de Fósforo en la Planta.

Al analizar el contenido de fósforo en el tejido (Cuadro 4), se observó que la fuente de roca granulada acidulada,

Tapacari D_3 y SFT presentaron una concentración de P en forma general más bajos que el testigo. Por otra parte, la fuente Tapacari D_3 mostró la tendencia a bajar su contenido de P con los aumentos en los niveles aplicados de P.

De una manera general, las demás fuentes tuvieron un efecto sobre el contenido de P en forma ascendente hasta el nivel de 100 ppm P, disminuyendose el contenido de P en el nivel de 200 ppm P, exceptuando la fuente Tapacari C_3 que mostró incrementos hasta la dosis 100 ppm P. Estos resultados indican que al producirse un aumento en el rendimiento de materia seca, existió un efecto de dilución. Por el contrario en la fuente D_3, por tener una baja producción de materia seca, se mantuvo en promedio el mismo contenido de fósforo para todas las dosis. Al comparar el testigo con el SFT en todos sus niveles, se observa que el testigo mostró un contenido más elevado de P que el SFT y las plantas que mayor contenido de P presentaron fué con la roca Sayari A_1 en polvo. Este último caso tal vez puede atribuirse a una mejor eficiencia de uso del P por parte de las plantas.

En la Figura 4 se presenta la relación entre el contenido de P en el tejido y el rendimiento de materia seca por corte. El contenido de P disminuyó con los cortes y que en el primer corte existió un amplio rango tanto en el porcentaje de P como en el

rendimiento de materia seca. Los valores altos de P en el tejido correspondieron a los rendimientos más bajos de materia seca y viceversa. En el 2o. corte, hubo una menor dispersión en el contenido de P y el rango del % de P disminuyó en el tejido, pero el rendimiento en materia seca aumentó en forma general. En estos dos cortes, se puede observar que existió un proceso de dilución en el contenido de P atribuible a la elevada tasa de crecimiento inicial y que en el 2o. corte, este efecto fué aun mayor por el rebrote de las plantas.

Las plantas al tercer corte, presentan niveles más bajos de P en el tejido y además una reducción en el rendimiento de materia seca. Posiblemente el efecto de disminución en rendimiento está en función de la relación raíz-suelo. La gran cantidad de raíces perjudicó el crecimiento de las plantas, puesto que el tercer corte fué realizado después de los 25 días en comparación a los dos primeros cortes que fueron cada 15 días.

3.4 Extracción de Fósforo y Aprovechamiento del Fertilizante.

La extracción de P por las plantas se presenta también en el Cuadro 4. En general se observa que existió un ascenso contínuo desde la dosis más baja a la más alta y observándose

que la extracción más baja correspondió al testigo (9.7 mg/ maceta) y la mayor extracción con la roca Sayari A_1. De ahí que al comparar entre fuentes de fósforo, las plantas que crecieron con la fuente Sayari A_1 mostraron una mayor extracción de fósforo y que con la roca Tapacari D_3 mostráron la menor extracción de este elemento.

En relación al porcentaje de aprovechamiento del fertilizante (Cuadro 4), las plantas desarrolladas con las fuentes Sayari A_1 y Tapacari D_3 con las que mayor y menor aprovechamiento obtuvieron. En los niveles más bajos de P aplicado (25 y 50 ppm P), las plantas mostraron los mayores aprovechamientos del fertilizante y los niveles más altos, el menor aprovechamiento. De estos resultados se puede concluir que los niveles donde las plantas obtuvieron un aprovechamiento adecuado del P (>50%) corresponden a los niveles de 25 y 50 ppm con las fuentes Sayari A_1, Tapacari A_3, Tapacari C_3, y Pesca. En cambio con la fuente de SFT solamente a una dosis de 25 ppm P.

3.5 Eficiencia de Utilización del Fósforo.

El Cuadro 5 presenta los resultados correspondientes al efecto del fertilizante en función de la eficiencia de utilización del fósforo. Se observa que en forma general la mayor eficiencia se mantiene en la dosis de 25 ppm en cualquiera

CATIE
BIBLIOTECA
ADQUISICIONES - CANJE

de las fuentes.

La roca granulada Tapacari B_3 mantuvo igual eficiencia en las dosis de 50 y 100 ppm P, pero esa eficiencia fué la más baja comparada con las otras fuentes, lo que indicaría que ésta fuente no es la más adecuada. De igual manera, la roca granulada acidulada Tapacari D_3, presentó en las dosis de 25 y 50 ppm P una eficiencia similar de utilización de P. Este resultado sugiere recomendar la dosis de 50 ppm debido a que el incremento en rendimiento de materia seca a este nivel fué del 44%, con la misma eficiencia en relación al nivel de 25 ppm P.

Comparando las fuentes de rocas fosfóricas entre sí, se observa que en función de la eficiencia de utilización de P, las que mayor respuesta brindan a niveles de 50 y 100 ppm P, serían en orden decreciente: Sayari A_1>Tapacari C_3> Pesca F>Tapacari A_3>Tapacari D_3= B_3. Se concluye que al nivel de 25 ppm P existe la mayor eficiencia de utilización de P, que bien puede ser sacrificada en respuesta a rendimiento de materia seca y que la dosis de 200 ppm P, no se justificaría su aplicación por la eficiencia baja que presentó. Sin embargo, es necesario estudiar a nivel de campo el efecto residual de estas fuentes y niveles, para obtener una eficiencia real de utilización del P en función del tiempo para poder recomendar la fuente y dosis adecuada.

3.6 Requerimiento Crítico Nutricional.

Una de las vías para aumentar la eficiencia de la fertilización fosforada es tratar de mejorar los métodos de evaluación para determinar las recomendaciones de fertilización. El propósito es identificar el requerimiento inicial de fósforo para una especie o variedad en particular, ya sea en términos de fósforo disponible en el suelo (nivel crítico externo) y contenido foliar (% de P) ó acumulación de fósforo (kg P/ha) en la planta (nivel crítico interno). Estos niveles críticos son aquellos necesarios para proporcionar un nivel adecuado de producción de materia seca durante el establecimiento del pasto (Salinas, 1981).

En este trabajo se empleó el diagrama de dispersión desarrollado por Cate y Nelson (1971) para determinar el nivel crítico externo de P con dos métodos de extracción de P disponible (Bray I y Bray II). Las Figuras 6 y 7 muestran estos niveles críticos externos de P. Se determinó un nivel crítico de 5 ppm P con el método de Bray I para una producción relativa del 80% de la producción máxima. Con el método de Bray II, se encontró un nivel crítico externo de 6 ppm P para una producción del 73%.

3,7 Análisis Final del Suelo.

El suministro de fósforo presentó diferencias mayores entre dosis que entre fuentes y que a medida que aumentó la dosis, la disponibilidad de P fué mayor en el suelo fertilizado. Sin embargo, la fuente D_3 presentó una menor cantidad de P disponible que el resto de las fuentes, posiblemente debido a la mayor facilidad de dilución de la roca en polvo que la roca granulada. Las rocas Sayari A_1 y Tapacari A_3 resultaron con la mayor cantidad de P disponible en el suelo al nivel más alto de P aplicado (21.19 y 19.68 ppm P para Bray I; 56.9 y 59.6 ppm P para Bray II, respectivamente). Esta alta disponibilidad de P estuvo en relación con los resultados obtenidos en una mayor producción de materia seca y en una mayor absorción de P. Esto indicaría que las plantas utilizaron el P disponible necesario para su crecimiento y además existió mayor fósforo disponible en el suelo. Este hecho posiblemente se deba a que estas fuentes de roca fosfórica en polvo, manifestaron una reacción en el suelo más lenta y por consiguiente, proporcionaron paulatinamente fósforo a la solución del suelo.

Con respecto a las otras características químicas del suelo, el pH presentó una diferencia mínima con respecto al testigo absoluto. Sin embargo, en función de dosis existió un incremento para las dosis de 25 y 50 ppm P y a dosis de 100 y 200 ppm P se mantuvo estable.

En general, el aluminio se mantuvo uniforme hasta el nivel de 25 ppm P, incrementando a 50 ppm P para luego disminuir hasta el nivel de 200 ppm P. El calcio a su vez, incrementó desde la dosis más baja a la más alta, observándose que la pendiente fué mayor de 100 a 200 ppm P. Este incremento fué desde un rango de .11 a .65 m.e. en 100 g de suelo.

La Figura 8 ilustra los cambios en pH, aluminio y calcio intercambiables en la roca Sayari A_1 en función de las dosis de P aplicadas. Se observa que el pH del suelo aumentó hasta la dosis de 50 ppm P para luego estabilizarse. Por otra parte, existió una relación inversa entre el aluminio y el calcio intercambiable a medida que aumentó la dosis de P. Estos resultados indican que debido al contenido de calcio en la roca se provocó una neutralización del aluminio, actuando como una enmienda para corregir la toxicidad de Aluminio en este suelo. La estabilización del pH del suelo puede atribuirse a la capacidad tampón que presenta el suelo utilizado.

4. CONCLUSIONES

En base a los resultados y discusión presentados, se concluye en los siguientes puntos de importancia:

1. La gramínea *Brachiaria decumbens* en este tipo de suelo estudiado requiere fósforo como nutrimento esencial para establecerse y producir buen rendimiento.

2. La fuente portadora de P puede ser roca fosfórica ó SFT indistintamente, siendo aconsejable la roca fosfórica por su costo más bajo y por el efecto residual prolongado.

3. Los rendimientos de *Brachiaria decumbens* obtenidos con las rocas fosfóricas en polvo fueron mayores en relación a las mismas rocas fosfóricas pero granuladas.

4. No existió diferencia entre la roca en polvo acidulada y la roca granulada, por lo que se recomendaría utilizar roca en polvo.

5. A mayores dosis de P se obtuvieron mayores rendimientos de materia seca y se observó una mayor eficiencia con las dosis de 50 y 100 ppm.

6. El efecto de las fuentes de roca fosfórica boliviana tienen similitud con la roca fosfórica colombiana Pesca.

7. La roca fosfórica boliviana debe necesariamente probarse en condiciones de campo, para estudiar su efecto residual utilizando suelos tropicales bolivianos.

Agradecimientos

El autor desea agradecer al Dr. José Salinas por su colaboración en la interpretación de los resultados y en la revisión del trabajo escrito.

5. LITERATURA CITADA

1. Buol, S.W., P.A. Sánchez, R.B. Cate and M.A. Granger. 1975. Soil Fertility Capability Classification. pp. 126-141. In E. Bornemisza and A. Alvarado (eds.), Soil Management in Tropical America, North Carolina St. Univ., Raleigh.

2. Cochrane, T.T. and P.A. Sánchez 1981. Land Resources, Soil Properties and their Management in the Amazon Region: A State of Knowledge Report. In Amazon Agricultural and Land Use Research, Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia. (En imprenta).

3. Fenster, W.E. and L.A. León, 1978. Utilization of phosphate rock in tropical soils of Latin America. IFDC-CIAT, Cali, Colombia. 31 p.

4. Fenster, W.E. and L.A. León. 1979. Management of phosphorus in the Andean Countries of tropical Latin America. IFDC-CIAT, Cali, Colombia. 11 p.

5. Gandoy, P. 1969. Estudio comparativo entre el superfosfato triple y la roca fosfórica molida en la caña de azúcar. Memoria Anual de la Universidad Central, La Habana, Cuba. 47 p.

6. León, L.A., A. Riaño, E. Owen, and M. Rodríguez. 1976. Research done in Colombia on the use of different sources of phosphorus for fertilizers. CIAT, Cali, Colombia. (Manuscrito no publicado).

7. León, L.A. y W.E. Fenster. 1980. El uso de rocas fosfóricas como fuente de fósforo en suelos ácidos e infértiles de suramérica. Trabajo presentado en el VII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Heredia, Costa Rica. 24 p.

8. Salinas, J.G. and P.A. Sánchez. 1976. Soil-Plant relationships affecting varieties and species differences in tolerance to low available soil phosphorus. Ciencia e Cultura (Brasil): 28(2):156-168.

9. Salinas, J.G. y F. Pereira. 1980. Evaluación General del Potencial Agropecuario de la Amazonia Boliviana. 24 p. In. Conferencia Internacional sobre Uso de Tierras e Investigación Agrícola en la Amazonia, CIAT, Cali, Colombia.

10. Salinas, J.G. 1981. Tolerancia diferencial de las plantas a la acidez y bajo contenido de fósforo aprovechable en suelos ácidos. Trabajo presentado en el curso sobre Manejo de Suelos Acidos, SCCS, Popayán, Julio 27, 1981. 32 p.

11. Sánchez, P.A. and T.T. Cochrane. 1980. Soil constraints in relation to major farming systems of tropical America. pp. 107-140. In Priorities for Alleviating Soil- Related Constraints to Food Production in the Tropics. IRRI, Los Baños, Philippines.

12. Sánchez, P.A., and G. Uehara. 1980. Management considerations for acid soils with high phosphorus fixation capacity. pp. 471-514. In F.E. Khaswney, E.C. Sample and E.J. Kamprath (eds.), The Role of Phosphorus in Agriculture. Amer. Soc. Agron., Madison, Wisconsin.

Cuadro 1. Características de un Oxisol de Sabana Alta, Carimagua.

Profundidad cm	Arcilla %	Arena %	M.O. %	p.H.	P ppm (N C)	Cationes Intercambiables Al	Ca	Mg	K	Na	CIC	% Sat. de Al
							---meq/100 g ---					
0 - 12	38	12	4.0	4.5	1	3.8	0.2	0.2	0.4	0.1	4.7	81
12 - 32	41	11	2.0	4.6	1	2.8	0.1	0.1	0.1	0.1	3.1	89
32 - 58	43	11	1.7	4.8	tr	2.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	2.3	91
58 - 88	45	12	0.9	5.2	tr	0.7	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.9	78
88 - 148	45	12	0.6	5.1	tr	0.6	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.8	75

Cuadro 2. Estudio de niveles, resultados y fuentes de fósforo sobre el rendimiento de materia seca. Suma de tres cortes.

Fuentes \ Dosis	Rendimiento M.S. g/pote					$\bar{X}$
	0	25 ppm	50 ppm	100 ppm	200 ppm	
R.F.(Polvo) 15.6% Sayari (A_1)	8.7	16.0	21.3	25.3	25.4	19.3
R.F. (Polvo) 19.2% Tapacari (A_3)	8.7	14.74	19.7	22.3	24.9	18.1
R.F. (Granulada) 19.2% Tapacari (B_3)	8.7	12.9	13.2	17.6	24.34	15.3
R.F. (Polvo acid.) 26.4% Tapacari (C_3)	8.7	16.1	20.27	23.17	26.2	18.9
R.F. (Gran. acid.) 26.4% Tapacari (D_3)	8.7	12.4	16.0	21.1	24.8	16.6
R.F. Pesca	8.7	15.7	19.6	23.1	23.9	18.2
S.F.T. 46%	8.7	18.8	23.15	24.3	28.4	20.70
$\bar{X}$	8.7	15.2	19.05	22.46	26.45	
	32%	57%	72%	85%	100%	

Cuadro 3. Grado de solubilidad del fósforo en diferentes rocas fosfóricas Bolivianas, en polvo y parcialmente aciduladas con H_3PO_4 al 20%

Roca Fosfórica	Tipo de material	Fósforo (P_2O_5)				
		Total	Soluble en agua	Soluble en citrato	Total K_2O	CaO
		----------%----------				
Sayari A_1	Finamente molida[a]	15.6	-	1.8	-	22.0
Tapacari A_3	Finamente molida[a]	19.2	-	1.8	-	28.1
Tapacari B_3	Granulado[b]	19.2	-	1.8	-	28.1
Tapacari C_3	F.M. y parc. acidulada[c]	26.6	2.7	11.2	-	-
Tapacari D_3	Gran. y acid. parc.[d]	26.6	2.7	11.2	-	-

a 100% - malla 100

b Líquido granulador: agua

c Acidulación parcial con H_3PO_4 al 20% (100% - malla 100)

d Acidulación parcial con H_3PO_4 al 20% (mall -6 +14).

Cuadro 4. Estudio del contenido, extracción, aprovechamiento de fósforo por la planta en un Oxisol de Carimagua bajo condiciones de invernadero.

Fuentes	% P					Extracción mg P/pote					% de Aprovechamiento del fertilizante			
	Niveles ppm													
	0*	25	50	100	200(1)	0	25	50	100	200(2)	25	50	100	200
Sayari A_1	.111	.146	.146	.150	.135	9.7	23.3	31.[illegible]	38.1	34.3	27.3	21.3	14.2	6.1
Tapacari A_3	.111	.128	.151	.161	.144	9.7	18.8	29.8	36.0	35.9	18.2	20.1	13.1	6.5
Tapacari B_3	.111	.124	.128	.121	.142	9.7	16.0	16.9	21.3	29.8	12.5	7.2	5.8	5.0
Tapacari C_3	.111	.126	.139	.145	.122	9.7	20.2	28.1	33.6	32.0	21.0	18.4	11.9	5.5
Tapacari D_3	.111	.119	.104	.099	.097	9.7	14.8	16.7	20.9	24.0	10.13	6.9	5.6	3.5
Pesca F	.111	.144	.154	.148	.125	9.7	22.6	30.2	34.3	29.9	25.7	20.4	12.3	5.0
S.F.T.	.111	.095	.079	.099	.114	9.7	17.9	18.3	24.0	30.7	16.3	8.5	7.16	5.2

(1) Promedio de tres cortes

(2) Extracción total de 3 cortes

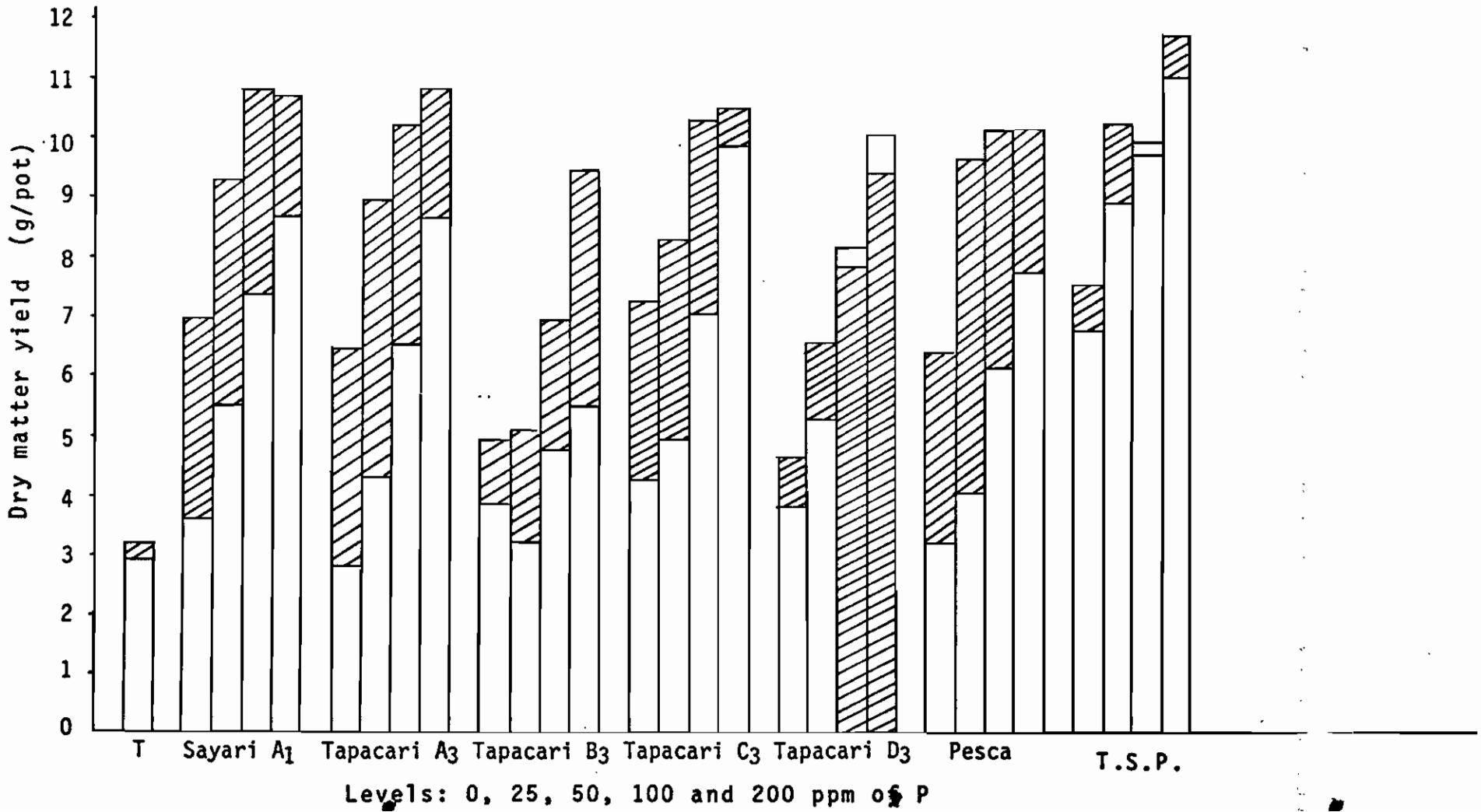
* Testigo único para todas las fuentes.

Cuadro 5. Efecto del fertilizante en función de la eficiencia de utilización del P.

g M.S/g P		25	50	100	200
Sayari	A_1	= 434.4	376.4	249.4	124.8
Tapacari	A_3	= 358.6	329.7	204.0	121.5
Tapacari	B_3	= 248.0	134.4	133.2	116.8
Tapacari	C_3	= 440.2	345.3	216.1	131.3
Tapacari	D_3	= 219.4	218.3	185.6	120.3
Pesca	F	= 415.6	325.5	216.4	113.7
Superfosfato Triple	SFT	= 604.6	431.6	233.4	147.52

Cuadro 6. Análisis final de suelos

Fuente	Dosis	Bray I	Bray II	p.H.	Al	Ca	Mg	K	CIC	% Sat.Al
	0	2.01		4.13	4.2	.11	.07	.26		
A_1	25	2.73	3.51	4.51	4.2	.24	.03	.04		
	50	4.10	7.32	4.63	4.4	.33	.02	.09		
	100	10.78	26.57	4.65	3.9	.41	.02	.04		
	200	21.38	56.93	4.66	3.7	.65	.02	.03		
A_3	25	2.31	3.62	4.60	4.2	.23	.03	.04		
	50	3.64	4.85	4.60	4.0	.23	.02	.03		
	100	7.89	17.98	4.65	4.0	.38	.02	.03		
	200	19.68	59.60	4.70	3.7	.61	.02	.03		
B_3	25	2.03	3.02	4.45	4.1	.14	.05	.04		
	50	2.11	3.20	4.45	4.0	.12	.05	.06		
	100	6.05	6.58	4.5	4.4	.24	.03	.03		
	200	7.95	15.98	4.6	4.2	.26	.02	.02		
C_3	25	2.84	2.92	4.6	4.2	.17	.02	.03		
	50	4.36	4.30	4.6	4.3	.23	.02	.02		
	100	8.07	12.95	4.6	4.1	.32	.04	.03		
	200	18.49	37.64	4.7	3.9	.40	.02	.03		
D_3	25	2.21	2.26	4.0	4.4	.18	.05	.10		
	50	2.84	2.74	4.7	4.2	.23	.04	.05		
	100	3.81	3.73	4.6	4.3	.18	.03	.03		
	200	5.78	7.72	4.6	4.5	.19	.02	.03		
F	25	2.65	2.62	4.6	4.2	.19	.06	.03		
	50	3.33	5.72	4.6	4.2	.24	.03	.03		
	100	6.53	18.15	4.7	4.2	.31	.02	.03		
	200	15.43	39.45	4.7	3.9	.46	.02	.03		
G	25	2.53	3.74	4.6	4.4	.18	.05	.03		
	50	5.18	6.84	4.7	4.0	.23	.02	.03		
	100	10.64	13.82	4.6	4.2	.24	.02	.03		
	200	21.96	34.69	4.6	4.1	.37	.02	.03		


Dry matter yield (g/pot)
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
T
Sayari A1
Tapacari A3
Tapacari B3
Tapacari C3
Tapacari D3
Pesca
T.S.P.
Levels: 0, 25, 50, 100 and 200 ppm of P

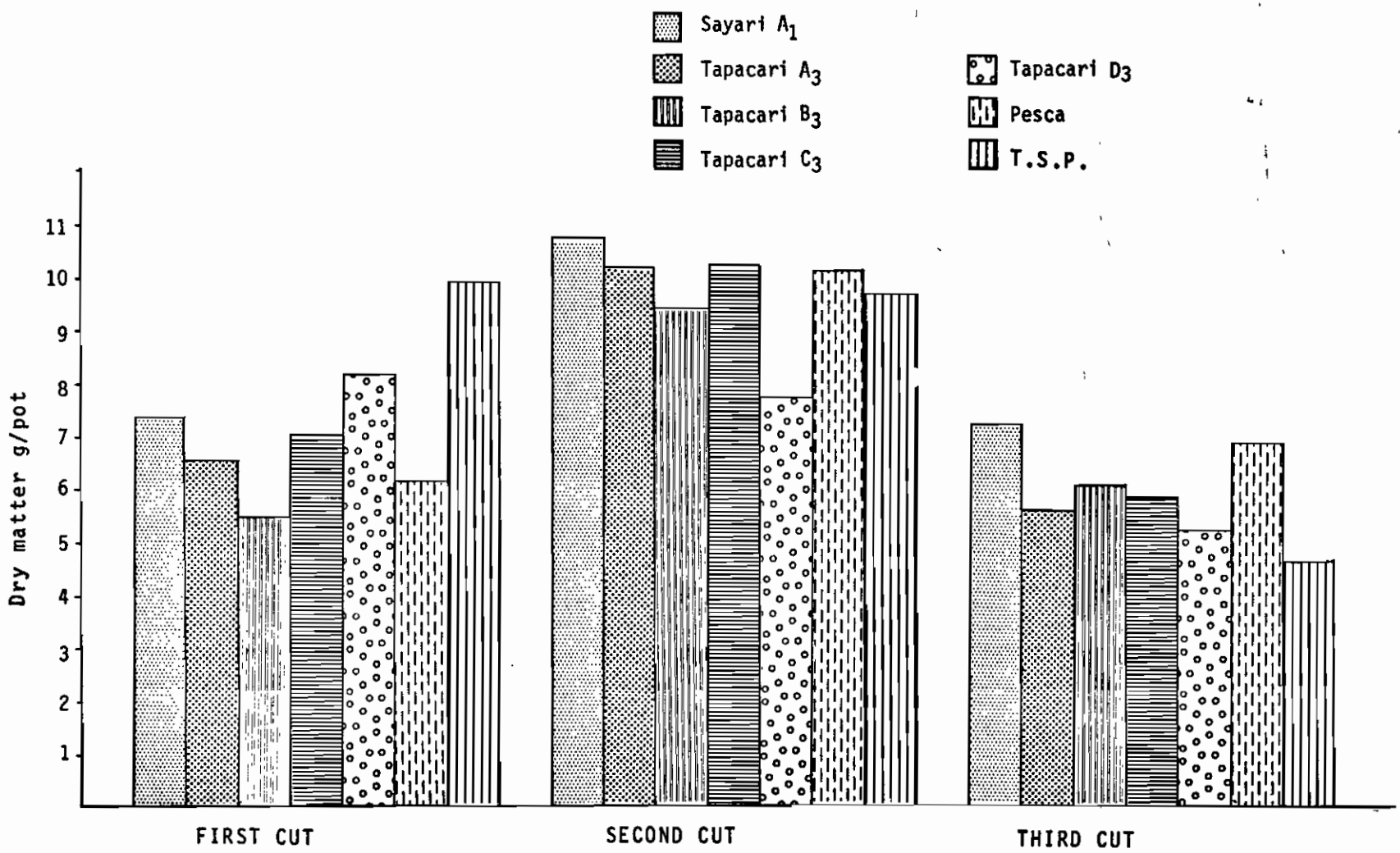


Figure 2. Effect of P sources on the yield of three consecutive cuts of *Brachiaria decumbens*, established in an Oxisol in Carimagua under greenhouse conditions. Dosis: 100 ppm P.

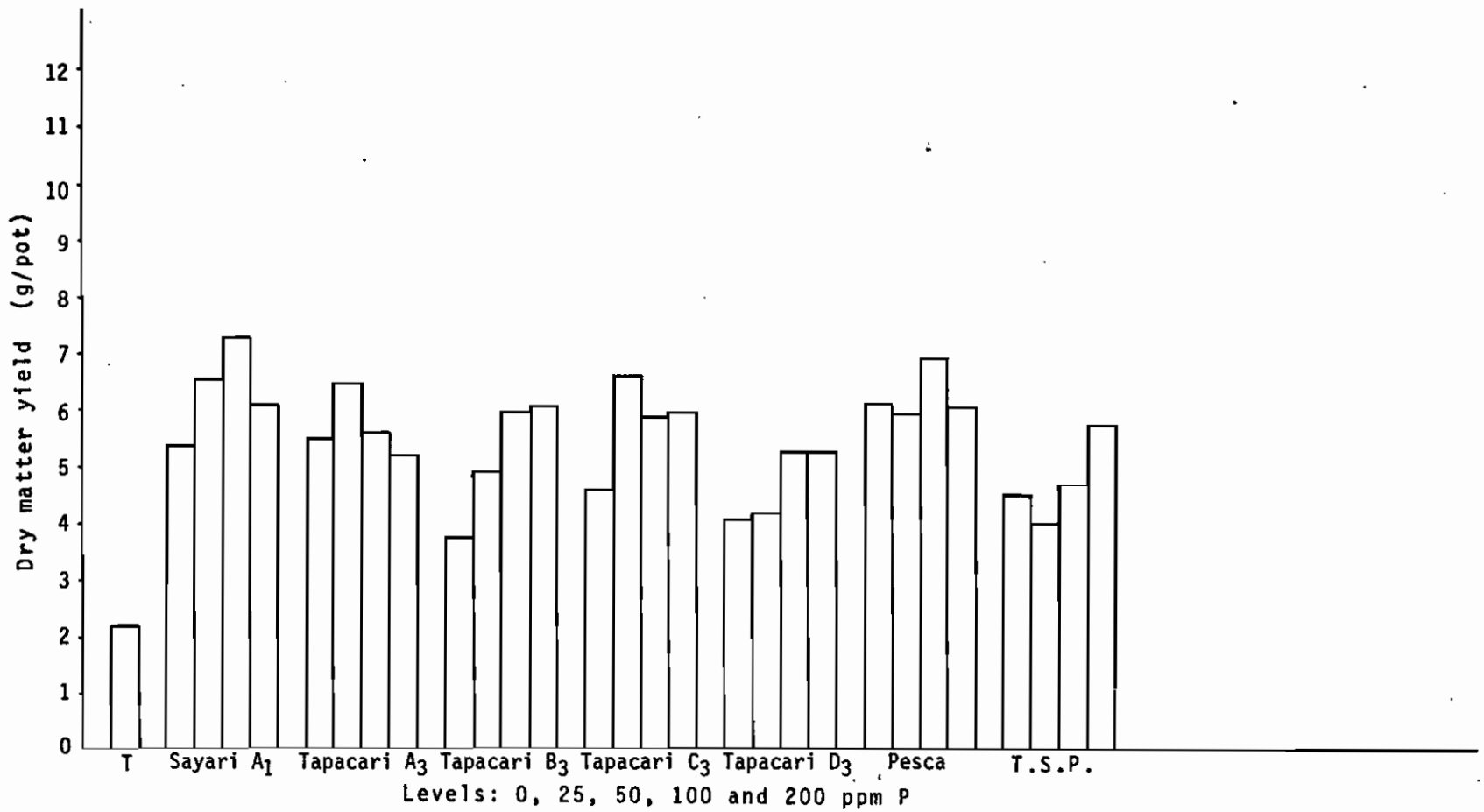


Figure 3. Effect of sources and dosis of P on dry matter yield of *Brachiaria decumbens*, established in an Oxisol in Carimagua under greenhouse conditions. (Third cut).

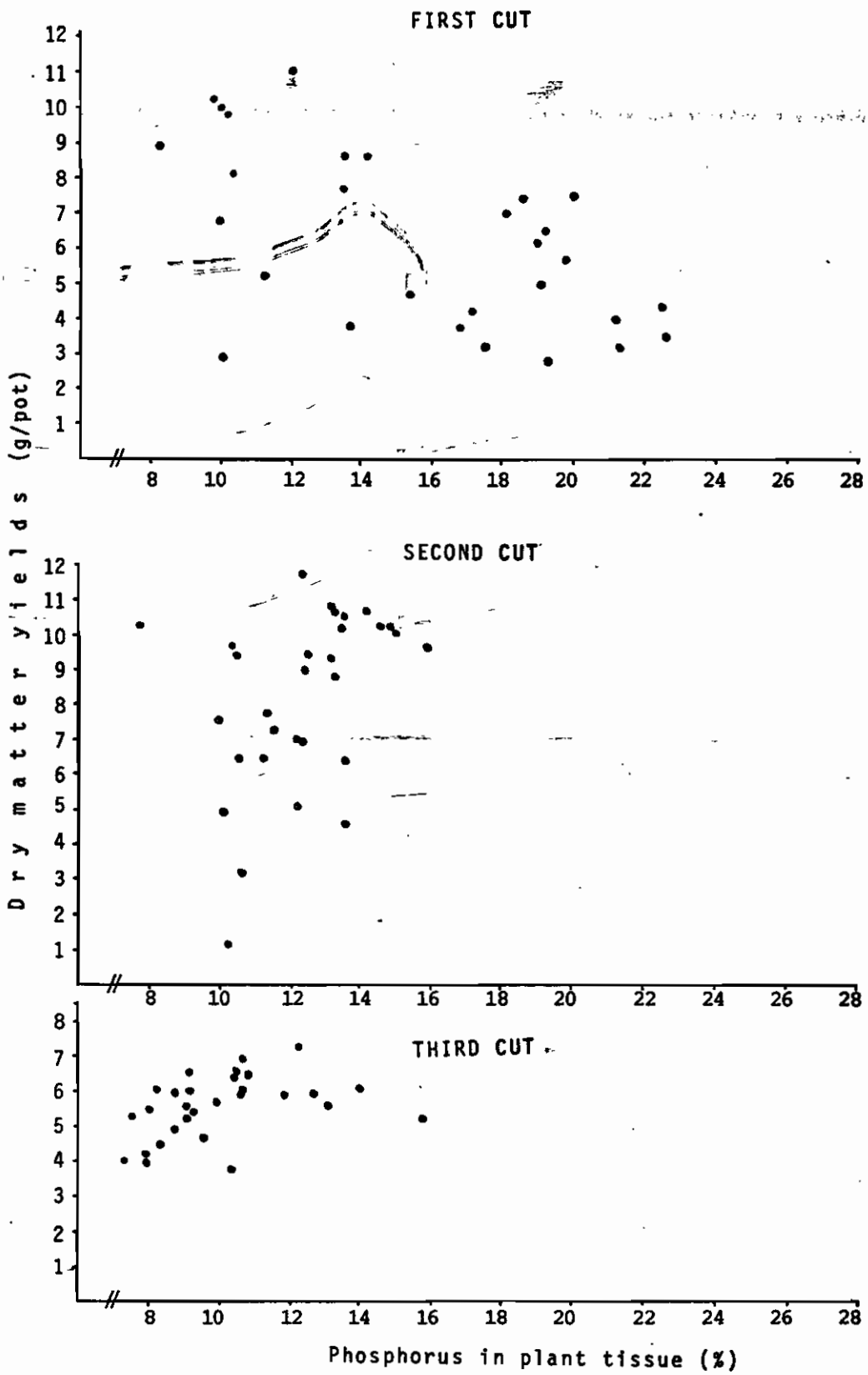


Figure 4. Study on the relationship between dry matter yield and phosphorus content in the three cuts.

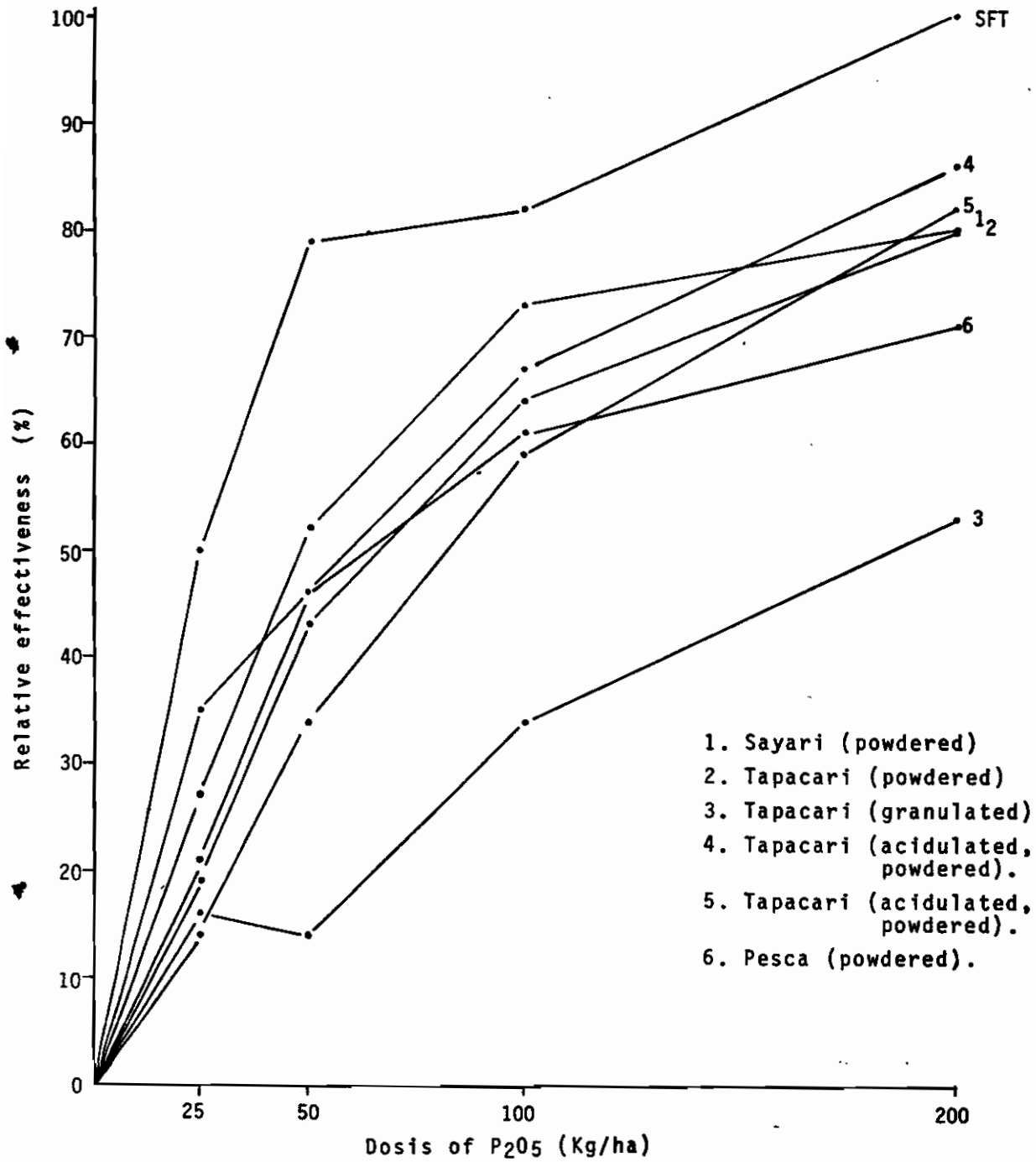


Figure 5. Relative effectiveness of P_2O_5 sources of *Brachiaria decumbens* on an Oxisol of Carimagua.

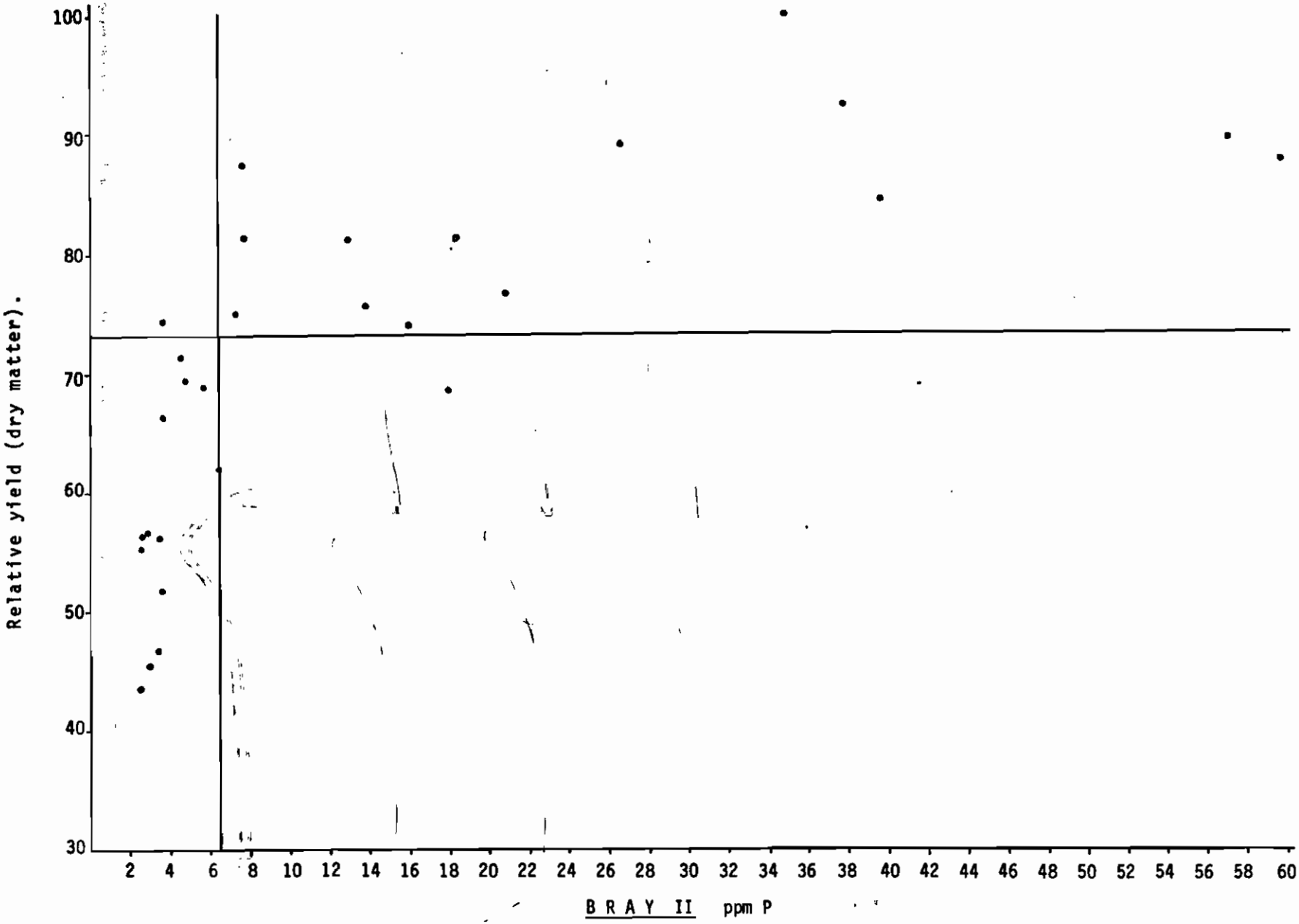


Figure 7. Dispersion diagram between relative yield of *Brachiaria decumbens* and soil phosphorus on an Oxisol of Carimagua. (Critical levels).

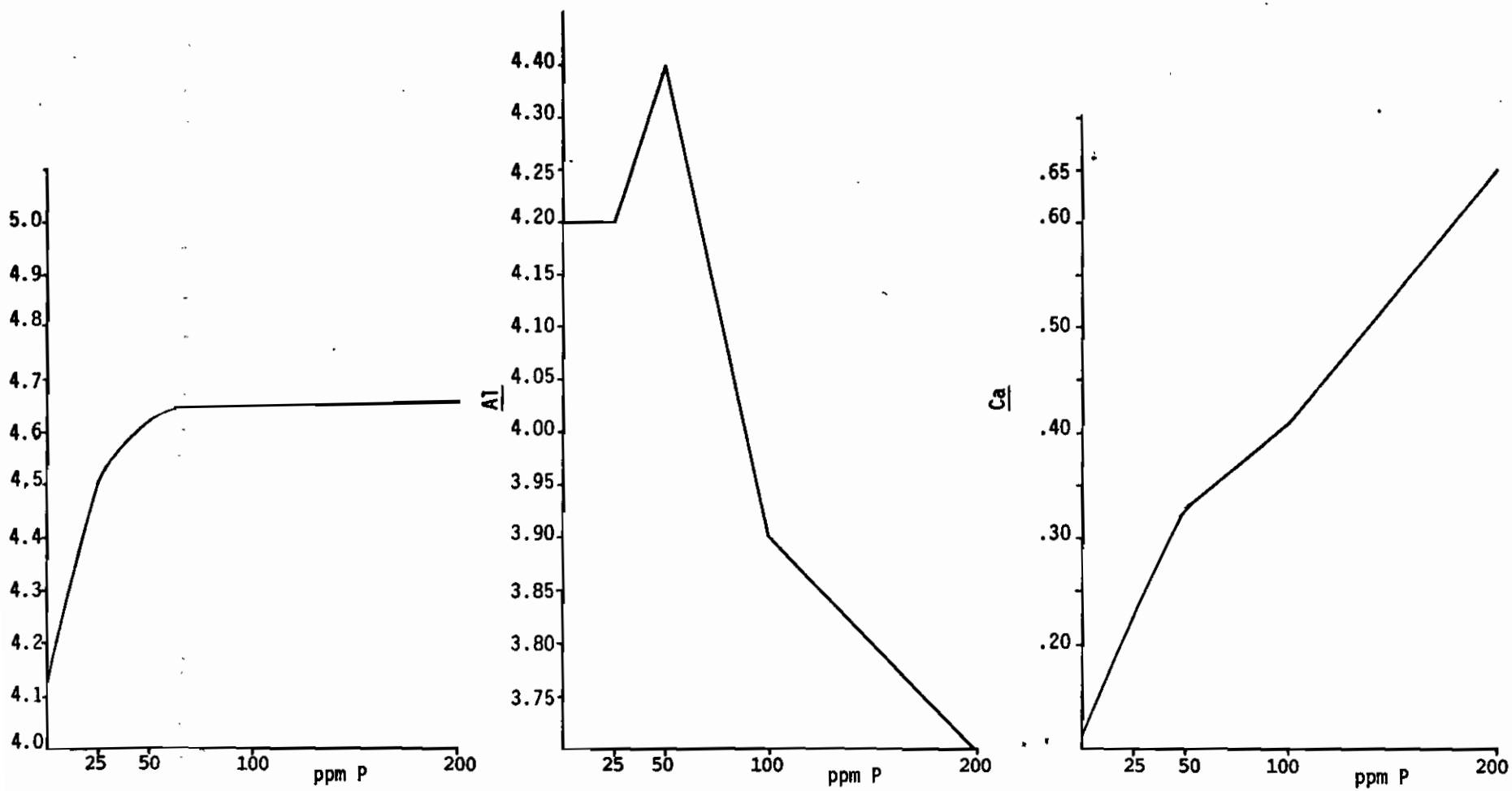


Figure 8. Effect of four dosis of phosphorus applied as phosphoric rock from SAYARI on the pH and exchangeable Al and Ca on an Oxisol of Carimagua, 80 days after application.