

AN  
631.4  
2.283  
G. 2

EVALUACION DE METODOS PARA LA DETERMINACION DEL FOSFORO  
APROVECHABLE EN ALGUNOS SUELOS VOLCANICOS DE LA ZONA  
ANDINA DEL DEPARTAMENTO DE NARIÑO

No.	20405
Valor	\$ 900
Fecha	27-24-70
Por	Agencia
Corre	
Autent	H/

JAIRO JAVIER GAVIRIA OCANA  
HOMERO RICARDO MORA MEDINA

"Las ideas y conclusiones aportadas en la tesis de grado, son de responsabilidad exclusiva de sus autores"  
Tesis de grado presentada como requisito parcial para optar al título de  
Art. 10. del INGENIERO AGRONOMO Octubre 11 de 1.966, emanado del  
UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
BIBLIOTECA Y DOCUMENTACION  
PROCESOS TECNOLÓGICOS  
rectivo de la Universidad

Presidente de Tesis  
JOAQUIN GAMBOA JAIMES I.A., M.Sc.

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

UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS  
PASTO - COLOMBIA  
1.972

UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
 DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIONES  
 PABLO - COLOMBIA

No. 20405 . El 2  
 Valor \$900 = Val. \_\_\_\_\_  
 Fecha VI-24-76 Dia. 2  
 Fact. Agencia Carje \_\_\_\_\_  
 Librería Antal Comp. \_\_\_\_\_

A LOS SEÑORES QUE NOS HAN DEJADO

CARRO - AYUDA - AMISAD

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

Art. 10. del Acuerdo No. 324 de Octubre 11 de 1.966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

A LOS SERES QUE NOS HAN BRINDADO

CARIÑO - AYUDA - AMISTAD

JOAQUIN RAMBOJA JAIMES I.A., M.Sc.

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

FRANCISCO CORTES DE LA ESPRIELLA

D E D I C A M O S:

PER JAIRO JAVIER GAVIRIA OCAÑA

DE HOMERO RICARDO MORA MEDINA

TODAS LAS PERSONAS QUE EN UNA U  
OTRA FORMA COLABORARON EN EL DESARRO  
LLO DEL PRESENTE LIBRO.



CONTENIDO

	Pág.
I. INTRODUCCION . . . . .	1
II. REVISION DE LITERATURA . . . . .	3
2.1 Dinámica del fósforo en el suelo. . .	3
2.2 Dinámica del fósforo en la planta . .	7
2.3 Base del fenómeno de extracción de nu trimentos. . . . .	10
2.4 Fósforo aprovechable. . . . .	11
2.5 Características de las soluciones ex- tractoras . . . . .	11
2.6 Trabajos sobre evaluación de métodos para determinar el fósforo asimilable realizados fuera del país . . . . .	12
2.7 Trabajos sobre evaluación de métodos para determinar el fósforo asimilable realizados en Colombia. . . . .	16
III. MATERIALES Y METODOS . . . . .	19
3.1 Descripción general de las zonas estu- diadas. . . . .	19
3.1.1 Altiplano de Pasto . . . . .	19
3.1.2 Altiplano de Ipiales . . . . .	20
3.1.3 Zona de Clima Medio. . . . .	21
3.2 Caracterización de los suelos . . . . .	22
3.3 Muestras de suelo . . . . .	22
3.4 Experimento de invernadero. . . . .	23
3.5 Planta indicadora . . . . .	25
V. CONCLUSIONES . . . . .	43

	Pág.
3.6 Descripción de los métodos de análisis químico. . . . .	25
VI. RESUMEN	
3.6.1 Métodos químicos para la determinación del fósforo aprovechable en los suelos. . . . .	46
VII. BIBLIOGRAFIA	
3.6.2 Determinación del fósforo asimilable en las plantas. . . . .	25
3.6.3 Regulación del pH en las alfucotas. . . . .	55
3.6.4 Lecturas. . . . .	27
3.7 Determinación de la humedad. . . . .	27
3.8 Determinación del rendimiento. . . . .	28
3.9 Análisis estadístico. . . . .	28
3.10 Miligramos de fósforo absorbido por pote. . . . .	28
3.11 Clasificación de los métodos. . . . .	29
IV. RESULTADOS Y DISCUSION . . . . .	29
4.1 Fósforo determinado por los diferentes métodos. . . . .	30
4.2 Relación entre los métodos estudiados. . . . .	33
4.3 Asociación entre el fósforo extraído del suelo y el fósforo absorbido por la planta. . . . .	34
4.4 Correlaciones entre el fósforo extraído del suelo y el porcentaje de rendimiento. . . . .	35
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. . . . .	43

	ILUSTRACIONES	Pág.
VI.	RESUMEN . . . . .	44
	SUMMARY . . . . .	46
Tabla I.	Promedios de peso en gramos en la mg de las tratamientos P <sub>0</sub> , P <sub>1</sub> , P <sub>2</sub> y el porcentaje de rendimiento. .	48
VII.	BIBLIOGRAFIA . . . . .	37
	APENDICE . . . . .	55
Tabla II.	Números analíticos, resultados del fósforo absorbido y porcentaje de rendimiento en el experimento de inverna de . . . . .	38
Tabla III.	Coefficientes de correlación (r) y porcentaje de asociación (r <sup>2</sup> ) entre el fósforo aprovechable y otras variables de respuesta. . . . .	39
Tabla IV.	Ecuaciones de regresión del fósforo absorbido por la planta y otras variables en estudio. . . . .	39

B. FIGURAS

Figura 1.	Relación entre el fósforo asimilable de terminado en la planta y el fósforo aprovechable extraído del suelo por el método de Olsen. . . . .	40
Figura 2.	Relación entre el fósforo asimilable de terminado en la planta y el fósforo aprovechable extraído del suelo por el método de Bray II. . . . .	41

ILUSTRACIONES

Figura 3. Relación entre el fósforo asimilable de la planta y el fósforo aprovechable extraído del suelo por el método de Olsen. . . . . Pág.

A. TABLAS

Tabla I. Promedios de peso en gramos en la materia seca de los tratamientos P<sub>0</sub>, P<sub>2</sub> y el porcentaje de rendimiento. . . . . 37

Tabla II. Métodos analíticos, resultados del fósforo absorbido y porcentaje de rendimiento en el experimento de invernadero. . . . . 38

Tabla III. Coeficientes de correlación (r) y porcentaje de asociación (r<sup>2</sup>) entre el fósforo aprovechable y otras variables de respuesta. . . . . 39

Tabla IV. Ecuaciones de regresión del fósforo absorbido por la planta y otras variables en estudio. . . . . 39

B. FIGURAS

Figura 1. Relación entre el fósforo asimilable determinado en la planta y el fósforo aprovechable extraído del suelo por el método de Olsen. . . . . 40

Figura 2. Relación entre el fósforo asimilable determinado en la planta y el fósforo aprovechable extraído del suelo por el método Bray II. . . . . 41

Figura 3. Relación entre el fósforo aprovechado LA ZONA  
 ble extraído del suelo por los méto  
 dos de Olsen y Mehlich. . . . . 42

Por

JAIRO JAVAPENDIGERIA OCAÑA  
 ROBERTO RICARDO MORA MEDINA

Tabla I. Características generales de los su  
 los en la región del Altiplano de  
 Pasto. . . . . 1

Tabla II. Características generales de los su  
 los en la región de clima medio. . . . . 2

Tabla III. Características generales de los su  
 los en la región del Altiplano de  
 Ipiiales. . . . . 3

Este hecho es tema más urgente si nos referi-  
 mos al fósforo, elemento que se ha considerado como limi-  
 tante en los suelos, debido al alto porcentaje de trans-

(\*) Este de grado presentada como requisito parcial pa-  
 ra optar al título de Ingeniero Agrónomo, bajo la  
 presidencia de Joaquín Santos J. I.A., M.Sc., y la  
 copresidencia de Ricardo Guerrero R. I.A., M.Sc.

EVALUACION DE METODOS PARA LA DETERMINACION DEL FOSFORO  
APROVECHABLE EN ALGUNOS SUELOS VOLCANICOS DE LA ZONA

ANDINA DEL DEPARTAMENTO DE NARIÑO (\*)

En la aprovechabilidad del fósforo, concentraciones en co-  
ca etc. de ellas, por

Por

JAIRO JAVIER GAVIRIA OCAÑA

HOMERO RICARDO MORA MEDINA

La

I. INTRODUCCION

El desarrollo de la ciencia del suelo en Colom-  
bia y el adelanto de la técnica agrícola en el Departam-  
ento de Nariño ha incrementado por parte de los agricul-  
tores, la demanda de los análisis de suelos, lo cual exi-  
ge la búsqueda de métodos adecuados y precisos para la  
determinación de los distintos nutrimentos aprovechables  
presentes en los suelos.

Este hecho se torna más urgente si nos referi-  
mos al fósforo, elemento que se ha considerado como limi-  
tante en los suelos, debido al alto porcentaje de trans-

---

(\*) Tesis de grado presentada como requisito parcial pa-  
ra optar al título de Ingeniero Agrónomo, bajo la  
presidencia de Joaquín Gamboa J. I.A., M.Sc. y la  
copresidencia de Ricardo Guerrero R. I.A., M.Sc.

formación en compuestos insolubles (2, 8).

Varias investigaciones se han realizado acerca de la aprovechabilidad del fósforo, encontrándose en cada una de ellas, marcadas diferencias, las cuales pueden ser debidas a la diversificación de las metodologías utilizadas. Si se tiene en cuenta la heterogeneidad de los suelos estudiados, no es extraño que unas den mejor información que otras, respecto al fósforo aprovechable.

Con base en lo anterior, se planteó el presente trabajo con miras a encontrar la metodología adecuada, para la determinación del fósforo aprovechable en suelos volcánicos de la zona andina del Departamento de Nariño.

2.1 Dinámica del fósforo en el suelo.

El fósforo se cataloga como elemento doblemente crítico, por presentar una dinámica compleja, debido a la carencia en formas disponibles en que se encuentra en los suelos y a los fenómenos de fijación por los sesquióxidos de hierro y aluminio, por el calcio o por materiales de tipo amorfo como la alófana (3, 10).

Con respecto al contenido de fósforo total, en la mayoría de los suelos minerales varía entre 0.02 % y 0.05 %. Asimismo, en regiones tropicales existe un promedio de 0.05 %. Su presencia se regula por diversos factores, tales como el material parental, grado de desarrollo de los suelos, textura y profundidad del perfil (23, 33).

Blasco (2) define la fijación como el paso o conversión del fósforo soluble a formas inorgánicas insolubles, bien por que se precipita en compuestos insolubles o porque es adsorbido fuertemente por el complejo coloidal, siendo esta última forma la verdadera fijación del fósforo, por no ser asequible a las plantas de manera inmediata.

Muchos investigadores anotan que la fija-

ción del fósforo se produce debido a las interacciones del ión fosfato con otros componentes del suelo, lo cual trae como consecuencia su adsorción al complejo coloidal y su precipitación en fosfatos menos solubles (2, 5, 10, 26).

De acuerdo a Mela (26), el fenómeno de fijación se debe a los siguientes factores:

a. A la adsorción del ión fosfato por el complejo humo-arcilloso.

b. A la absorción del fósforo por los microorganismos, por lo cual no puede ser utilizado directamente en la alimentación vegetal.

c. A formaciones de fosfatos insolubles en los suelos alcalinos.

Hsu y Jackson, Blasco y Bohórquez, citados por Cabrera y Burbano (4) afirman que las fracciones de fósforo unidas al hierro y al aluminio son características de los suelos altamente meteorizados, típicos de las regiones tropicales. En cambio, los fosfatos cálcicos son predominantes en suelos donde la meteorización química es relativamente escasa, como ocurre en los suelos de la zona templada.

Panteja (33), en un estudio de las distintas formas de fósforo en suelos de clima medio en el Departamento de Narino, encontró que los fosfatos de hierro y aluminio se encontraban en proporciones dobles a los fosfatos de calcio. Una relación más alta o sea de 6:1 fué encontrada por Bastidas (1), en los suelos del Valle de Sibunoy.

Según Bear, citado por Blasco (2), se cree que en los suelos ácidos, el fósforo se encuentra asociado con compuestos de hierro y aluminio y en menor grado con compuestos arcillosos. En estos suelos se presentan como fuentes principales de fósforo, la dúfrenita ( $\text{FePO}_4 \cdot \text{Fe}(\text{OH})_3$ ), vivianita ( $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) y wavelita ( $\text{Al}(\text{OH})_3 (\text{PO}_4)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ); también son de importancia una serie de dihidroxi-dihidrógenos fosfatados de hierro y aluminio como la estrengita ( $\text{Fe}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{PO}_4$ ) y variscoita ( $\text{Al}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{PO}_4$ ).

León y Coleman (24) encontraron que en suelos ácidos que demostraban presencia de materiales amorfos como la alófana, fijaban mayores cantidades de fósforo, que suelos con altas cantidades de goethita y hematita, los mismo que suelos que contenían en su superficie o en las capas de sus arcillas cantidades de óxidos hidratados de hierro y aluminio. Afirman estos mismos autores que para las condiciones de los suelos de Colombia,

la fijación del fósforo puede depender en gran parte de la presencia de caolinita, vermiculita, clorita interstratificada y alófana.

De acuerdo a Dean citada por Cabrera (4), la cantidad de fósforo fijado por la caolinita natural, es alta a pH menores de 4, disminuyendo esta cantidad a medida que el pH tiende a la neutralidad.

En Maricao, según Panteja (33), los suelos de clima medio presentan una generalizada deficiencia de fósforo aprovechable y una alta capacidad de fijación, debido a la presencia de óxidos de hierro y de materiales amorfos como la alófana.

Hemmwal y Dalton, citados por Ortega (31) opinan que del fósforo aplicado como fertilizante, solamente del 10 al 20 % es utilizado por los cultivos y el resto es tomado por los microorganismos, precipitado en formas insolubles o adsorbido por el complejo coloidal.

En suelos neutros o con pH altos, principalmente en regiones subhúmedas a subáridas, Blasco (2) anota que el fósforo se presenta en forma de apatita y sus compuestos. El mismo autor afirma que la apatita es común en rocas metamórficas cristalinas, en calizas, siginitas y neises horbléndicos. Las principales formas en

en que se presenta son las siguientes: fluorapatita ( $(Ca_2F) Ca_4 (PO_4)_3$ ), clorapatita ( $(Ca_2Cl) Ca_4 (PO_4)_3$ ), apatita carbonatada ( $(CO_3Ca) Ca_4 (PO_4)_3$ ), oxiapatita ( $(CaO) Ca_4 (PO_4)_3$ ), e hidroxiapatita ( $(Ca) (OH)_2 Ca_4 (PO_4)_3$ ).

En suelos volcánicos de Costa Rica Fassbender (15) encontró que el porcentaje de arcillas, carbono total, hierro y aluminio extraíbles, son factores que influyen significativamente en la retención del fósforo. Además, la precipitación de fosfatos de hierro y aluminio en estos suelos es de mayor importancia que su adsorción.

No obstante, en suelos rojos de Nariño, Ortega (31) encontró que el aluminio fija al fósforo en cantidades muy grandes, pero posteriormente ese fósforo así inmobilizado, se solubiliza fácilmente y es suministrado a la planta; otro tanto ocurre con la precipitación hacia los fosfatos de hierro y calcio. Por tal motivo, este autor considera de dudosa importancia práctica el significado agronómico de la fijación por precipitación hacia los diferentes fosfatos del suelo.

## 2.2 Dinámica del fósforo en la planta.

La alimentación fosfatada de las plantas

constituye un sistema complejo si se tiene en cuenta los diversos estados del fósforo en los suelos, desde el fósforo firmemente fijado en la estructura reticular de los minerales, hasta el fósforo soluble y disponible para el sistema radicular de la planta (32).

Broude, citado por Cuellar y Henao (6) afirma que se pueden establecer dos fases bien definidas en el proceso de la alimentación fosfatada de las plantas: 1) La difusión de los iones fosfato a través de la solución del suelo y 2) Su transporte en la planta hacia los sitios donde va a ser utilizado.

Igual opina Palma (32), al considerar el sistema suelo-planta como un sistema continuo, ya que el crecimiento de las plantas necesita un paso continuo de iones de la fase sólida, bien sea de las partículas cristalizadas o a partir de los coloides, los cuales pasan a la solución del suelo donde se ponen en contacto con la superficie radicular, son absorbidos y posteriormente transportados a los tejidos donde se los necesita.

El fósforo es un componente esencial de los vegetales. Se encuentra combinado con otras sustancias o con cuerpos simples formando fosfatos minerales, o, en la mayoría de los casos, con sustancias más complejas, formando combinaciones orgánicas. Se presenta en los clo

roplastos integrando las lecitinas; es un constituyente de los ácidos nucleicos, elementos esenciales en la vida celular. Entra también en muchas reacciones químicas y bioquímicas, que conciernen con el metabolismo de los carbohidratos, grasas y proteínas. Por ser constituyente del citoplasma y núcleo, el fósforo se hace necesario para que se produzca la división celular, lo cual redundará en el desarrollo y crecimiento de las plantas (2, 19, 36).

Abunda principalmente el fósforo en los órganos jóvenes de las plantas y se almacena en las semillas en forma de sustancias de reserva. Las plantas lo absorben sobre todo durante el período de crecimiento activo y posteriormente al final de la vegetación se observa un traslado de fósforo hacia los órganos de reserva de las plantas. Este fenómeno es característico en la maduración (2, 19, 36).

UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
BIBLIOTECA Y DOCUMENTACIÓN  
PROYECTOS TÉCNICOS

En la vegetación el fósforo participa íntimamente en la actividad funcional de la planta, como vehículo y como motor fundamental para la fotosíntesis, haciendo factible el transporte de los azúcares para la síntesis de las proteínas y proporcionando la energía necesaria para que se efectúe este fenómeno. Favorece el desarrollo radicular al comienzo de la vegetación; es un factor de precocidad y ejerce el papel de regulador favo

reciende todos los procesos relacionados con la fecundación, fructificación, desarrollo y madurez de los órganos vegetativos (19, 36).

Así como en el suelo, en la planta la deficiencia de fósforo es doblemente crítica, porque además de la influencia directa que tiene sobre las plantas, puede hacer que estas no aprovechen los demás nutrientes. Afirman estos autores, que ningún otro elemento a excepción del nitrógeno, es tan decisivo para las plantas como el fósforo (5).

Las deficiencias de fósforo se manifiestan en el follaje con una coloración que varía desde el verde oscuro intenso a rojo morado característico, de una manera especial en las hojas bajas de las plantas; las hojas muestran una ondulación característica y a veces una pigmentación purpúrea. Al no proliferar las raíces, las plantas se debilitan y su tamaño es inferior al normal con tendencia al enanismo; se retarda la madurez de las cosechas; la producción es baja por existir poca floración y los frutos que alcanzan a madurar tienen muy pocas semillas (2, 19, 31).

### 2.3 Base del fenómeno de extracción de nutrientes.

Los métodos químicos empleados para la de-

terminación de los nutrimentos del suelo, se basan en el hecho de que al agitar un suelo con una determinada solución extractora por un tiempo definido, se extrae cierta cantidad de nutrimentos en forma análoga como lo harían las raíces de las plantas. Las cantidades extraídas de cada elemento se denominan "cantidades aprovechables de nutrimento" (5, 8).

#### 2.4 Fósforo aprovechable.

De acuerdo a Gros (19), cuando se habla de fósforo asimilable hay que sobreentender que no se trata del elemento fósforo, sino del anhídrido fosfórico ( $P_2O_5$ ), impropriamente llamado ácido fosfórico y que no contiene más que un 44 % de fósforo.

En todo análisis de suelos lo que interesa conocer es la cantidad de fósforo rápidamente asimilable por las plantas; esta parte del fósforo total es la que se llama fósforo aprovechable y se define como aquel que se encuentra retenido en la superficie de los coloides del suelo y que puede ser fácilmente asimilable por las plantas (2, 19).

#### 2.5 Características de las soluciones extractoras.

De acuerdo a Duchaufour (10), la escogencia

de una solución extractora adecuada es tarea difícil por los muchos factores relacionados con las reacciones del elemento en el suelo y por la variabilidad de las condiciones en el campo que controlan la absorción de dicho nutrimento por las raíces de la planta.

Se han utilizado numerosas metodologías para la determinación del contenido de fósforo aprovechable en las distintas regiones tales como, ácidos fuertes y débiles y en diversas concentraciones; soluciones de sales y bases; soluciones frías y calientes. Muchos de estos métodos ya han caído en desuso, debido a su falta de exactitud, dificultades de su empleo, elevado costo u otras causas (2, 8, 29).

#### 2.6 Trabajos sobre evaluación de métodos para determinar el fósforo asimilable realizados fuera del país.

Ortega T., (30) correlacionó cinco métodos de análisis químico para la determinación del fósforo aprovechable en suelos de Méjico, con los rendimientos relativos de maíz en el campo. Con los datos obtenidos por medio de los métodos de análisis químico para determinar el fósforo aprovechable de los suelos y los rendimientos relativos de maíz en el campo, se calcularon los coeficientes de correlación. De los métodos estudiados el que

presentó mayor correlación fué el Bray I, siguiéndole en su orden Olsen, Peech, Bray II y Truog respectivamente.

Robertson y Hutten, citados por Oforo (29) compararon las metodologías I y II de Bray con la de Truog, correlacionándolos con el rendimiento de avena y maíz en el invernadero. Estos autores encontraron que el método de Truog presentó el coeficiente de correlación más alto en suelos vírgenes, pero en suelos que contenían aproximadamente 50 lbs/acre de fósforo residual, la solución débil de Bray, fué la más altamente satisfactoria; más cuando el fósforo residual era de 200 lbs/acre, la solución concentrada de Bray, dió los mejores resultados.

Daza y Müller (8) compararon 5 métodos químicos para la determinación del fósforo aprovechable en suelos de regiones tropicales, llegando a la conclusión de que no siempre existe un acuerdo con respecto a la cantidad de fósforo asimilable contenido en los suelos estudiados, al considerar los patrones sugeridos para cada método. Añaden también que debe recordarse que tales patrones en realidad fueron obtenidos por correlación en suelos de clima templado y no pueden sin discriminación ser utilizados en suelos de climas tropicales.

Palma (32) evaluó el uso de resinas de in

tercambio en suelos ya estudiados de América Central en su dinámica de fosfatos y comparó los resultados con aquellos obtenidos con otras técnicas de análisis realizadas por Balardi y Fassbender (12). Las correlaciones correspondientes entre los métodos de análisis y el de las resinas, indican que este los supera en la evaluación de fósforo disponible en los suelos. Este autor encontró similitud entre el método de las resinas y el de Egner-Rihem, afirmando que estos dos métodos superan a los demás métodos químicos de análisis utilizados, tales como Mehlich, Olsen, Bray I, Saunder modificado y los Potenciales Químicos.

Las metodologías de Egner-Rihem, Bray I, Olsen, Mehlich y Saunder, fueron comparados por Fassbender (13, 14), en suelos de América Central, con la finalidad de evaluar la capacidad de extracción de fósforo asimilable, para lo cual estableció interacciones entre la capacidad de extracción de las diferentes metodologías, formas de fosfatos de los suelos y resultados de un experimento en invernadero empleando como planta indicadora el tomate (Lycopersicon esculentum Mill), teniendo 6 plantas por maceta, y con 2 tratamientos: con y sin adición de fertilizantes fosfatados. Los resultados obtenidos se correlacionaron con los distintos métodos de extracción y las formas de fósforo existentes en el suelo, encontrándose que el método de Egner-Rihem, fué el que más altamente

te correlacionó con los resultados de invernadero; el método de Olsen le siguió y posteriormente en orden descendente los métodos de Mehlich, Bray I y Saunders, se presentó este último sin ninguna correlación.

En cuanto a las fracciones de fósforo extraídas del suelo por los diferentes métodos y las formas de fósforo existentes en el suelo, la fracción soluble en  $\text{NH}_4\text{Cl}$  correlacionó sobre todo con los métodos de Egner-Rihem y Mehlich y los fosfatos de hierro y aluminio con el método de Saunders. Los métodos de extracción ácida: Mehlich, Bray I y Egner-Rihem, correlacionaron entre sí. El método de Saunders no presentó correlación significativa con los demás métodos. En países centroamericanos, Fassbender recomienda para estudios posteriores, la utilización de los métodos de Egner-Rihem y Olsen (14).

Pratt y Schoemaker citados por Oforo (29) incubaron suelos con pH diferentes y analizaron el fósforo aprovechable existente por los métodos de Bray II y Bray I, encontrando que el poder de extracción de estos métodos aumenta al aumentar el pH, permaneciendo constante la relación entre las cantidades extraídas. Pero cuando utilizaron el bicarbonato de sodio no se produjo casi aumento en el fósforo extraído al aumentar el pH.

2.7 Trabajos sobre evaluación de métodos para determinar el fósforo asimilable realizados en Colombia.

En suelos de Santander y Tolima, Silva (37) determinó la capacidad de extracción de fósforo asimilable por medio de los métodos de Bingham, Olsen y Truog, correlacionándolos con el rendimiento de lechuga romana en invernadero y encontró una correlación altamente significativa entre los métodos de Bingham y Olsen; en cambio al usar la metodología de Truog no obtuvo ninguna correlación.

En los suelos del Valle del Cauca, Osoro (29) llegó a conclusiones concretas sobre algunos métodos utilizados en la determinación de fósforo asimilable, comparando los procedimientos de Bray I, Bray II, Olsen y Spurway; concluyó que la precisión de los métodos empleados presentó la siguiente secuencia: Bray II > Bray I > Olsen > Spurway. Para los suelos del Valle del Cauca, este investigador recomienda la utilización del método de Bray II, como el más apropiado para la determinación del fósforo asimilable.

Ponce (34) estudió la aptitud de diversos métodos químicos para determinar el fósforo aprovechable en 17 suelos de las zonas arroceras del país, para lo

cual empleó métodos de laboratorio y métodos de análisis rápido. La aptitud fué evaluada mediante el coeficiente de correlación obtenido entre las cantidades de fósforo asimilable extraído del suelo por cada uno de los métodos y la capacidad para suministrar fósforo, determinado en ensayos de invernadero, con suelos inundados y suelos sin inundar. En todos los métodos encontró coeficientes de correlación significativas, estando el orden de los métodos de laboratorio para los suelos inundados de acuerdo a la secuencia: Olsen, Truog, Bray II, Bray I; para los suelos sin inundar se obtuvo la secuencia: Olsen, Bray II, Bray I y Truog modificado. El orden de precisión para los métodos de análisis rápido en suelos no inundados fué el siguiente: Spurway activo, Morgan, Spurway Reserva y Hellige-Truog y para los suelos inundados: Morgan, Spurway activo, Spurway Reserva y Hellige-Truog.

López (25) determinó el fósforo asimilable en suelos tropicales de la zona cafetera de Colombia, empleando 14 soluciones extractoras, con las cuales cubrió una amplia gama de condiciones. Como planta indicadora utilizó el maíz. La selección de superioridad de cada uno de los métodos se hizo con base en el coeficiente de correlación entre el fósforo extraído por cada una de las soluciones extractoras y el porcentaje de la cosecha obtenida. La más alta significación se consiguió con el empleo de la solución 0.08N de  $H_2SO_4$ , siguiéndole en

importancia la solución de HCl 0.01N -  $\text{FNH}_4$  0.03N. En suelos que poseen las mismas condiciones, el autor recomienda la utilización de estas soluciones extractoras para análisis de fósforo aprovechable.

Cuellar y Henao (6) evaluaron los métodos de Olsen, Truog, Bray II, Bray I y Mehlich, para determinar el fósforo aprovechable en suelos arroceros de Colombia. Utilizaron el isótopo radiactivo P-32 y el concepto valor "A" o fósforo aprovechable del suelo. Correlacionaron el valor "A" radioquímico con cada uno de los métodos obteniendo la siguiente secuencia: Olsen, Truog, Bray II, Mehlich y Bray I. Por presentar el mayor coeficiente de correlación seleccionaron el primero como el más indicado para análisis de fósforo asimilable en esta clase de suelos.

2.500 y 2.800 III. MATERIALES Y METODOS  
entre los 10 y 16°C. y una precipitación pluvial prome-

### 3.1 Descripción general de las zonas estudiadas.

3.1.1 Altiplano de Pasto.

El Altiplano de Pasto, por tener influencia del volcán Galeras, presenta un origen volcánico, caracterizándose por terrenos de suaves ondulaciones, hasta los términos de Huallipamba en los lindes en donde el Río Pasto deja el valle para encajonarse en un profundo cañón (27).

De acuerdo a Bueno citado por Ordoñez (28), el Altiplano de Pasto está formado geológicamente por material volcánico cascajoso; las rocas eruptivas neovolcánicas están constituidas de brechas con cantos de andesitas, bombas andesíticas, tobas de lapilli, conizas en diversos grados de compactación y derrames andesíticos.

Topográficamente el Altiplano de Pasto o Valle de Atriz, es una depresión en el Nudo de los Pastos, desde el cual se dividen los Andes en tres cordilleras (28).

Existen muy pocos datos climatológicos disponibles. La altura de la zona oscila entre

2.500 y 2.800 m.s.n.m., con una temperatura comprendida entre los 10 y 16°C. y una precipitación pluvial promedio que va desde los 700 a 784 mm. anuales (28).

Ecológicamente la mayor parte del área se encuentra enmarcada en las fajas correspondientes al bosque seco Montano Bajo (bs-MB) (11).

### 3.1.2 Altiplano de Ipiales.

Geográficamente el Altiplano de Ipiales ocupa la parte meridional de la cuenca interandina que configura el centro de la región; la parte sur de la vertiente oriental, parte del Altiplano de Túquesres-Ipiales y el sur-este de la vertiente occidental de la cordillera del mismo nombre (7).

Los suelos son posiblemente andoso les, característicos de áreas volcánicas. Presentan perfiles del tipo A-C, siendo el C ceniza volcánica; se nota una serie de listas negras y oscuras constituidas de materia orgánica. Son suelos en los que no ha influido el clima como factor de formación y de acuerdo a la clasificación francesa podrían entrar al grupo de suelos calcimórficos o inceptisoles con propiedades de andepta (3. 10).

En una extensión que abarca casi el

90 % de la región, se encuentran las siguientes formaciones vegetales: Bosque húmedo Montano (bh-M) y bosque húmedo Montano Bajo (bh-MB) (11).

En cuanto a su climatología, el Altiplano de Ipiiales presenta una temperatura que oscila entre los 11 y los 16°C., con una altitud de 2.830 a 3.050 m.s.n.m. y una precipitación que varía de los 550 a 1.000 mm. anuales (17).

### 3.1.3 Zona de Clima Medio.

La zona de Clima Medio objeto del presente estudio agrupa las tierras aledañas a la carretera circumbalación que rodea al volcán Galeras por el occidente y está comprendida entre los sitios denominados: La Florida y Bombona.

Debido al reciente e intenso volcanismo, estos suelos son considerados como jóvenes y por lo tanto notoriamente influenciados por el material parental, dando en algunos casos perfiles A-C, con horizontes diferenciados y donde la roca es dura (28).

Los depósitos volcánicos provenientes de las erupciones de fines del terciario y del cuaternario, se manifiestan en estas regiones como formaciones con mezclas de material de acarreo, predominando

el de origen volcánico, tobas andesíticas aglomeráticas de color gris, siendo muy secundaria la participación de cascajos fluviales. Una de las regiones en donde se manifiesta más acentuadamente la presencia de estas características es la parte sur de Sandoná (33).

La climatología de estas regiones presenta datos muy escasos; en términos generales se tiene como límites climáticos una temperatura anual entre los 18 y 24°C. y un promedio de lluvias entre 1.000 y 1.500 mm. anuales. La altura varía entre 1.400 y 1.848 m.s.n.m. (28).

### 3.2 Caracterización de los suelos.

Las características físico-químicas correspondientes a estos suelos han sido estudiadas por otros investigadores (9, 17, 20, 27, 28, 33, 35). En las Tablas I, II y III del Apéndice se presentan promedios de las zonas estudiadas.

### 3.3 Muestras de suelo.

El presente estudio tuvo como base 15 suelos provenientes de los Altiplanos de Pasto, Ipiiales y Zona de Clima Medio que rodea al volcán Galeras por el occidente, a razón de 5 muestras por cada zona, como se detalla a continuación:

- Altiplano de Pasto :
1. Aranda
  2. La Laguna
  3. Rotana
  4. Obonuco
  5. Yacuanquer

- Zona de Clima Medio :
6. Nariño
  7. La Florida
  8. Sardoná
  9. Consacá
  10. Bombona

- Altiplano de Ipiales:
11. Yanalá
  12. Las Cruces
  13. Frontera
  14. K. 22 vía Pupiales
  15. Aldana

Las muestras fueron tomadas en un tiempo relativamente seco entre la superficie del suelo y 15 cm. de profundidad utilizando el barreno. Luego se empaquetaron en bolsas de polietileno y se condujeron al sitio del experimento. Posteriormente se secaron al aire durante 15 días y luego se tamizaron a través de mallas de 20 micras, los destinados a servir de base al experimento de invernadero y a través de mallas de 10 micras aquellos sobre los cuales se efectuaron los análisis de fósforo asimilable por los diferentes métodos a evaluar.

### 3.4 Experimento de Invernadero.

La determinación de la capacidad de los

suelos para suministrar fósforo, se realizó por medio de un experimento en condiciones de invernadero, con y sin adición de fósforo, en macetas de polietileno de un cuarto de galón, las cuales fueron pintadas, tiqueteadas y provistas de su respectivo plato para mantener una adecuada humedad. En cada una de las macetas se depositaron 750 gr. de suelo de cada una de las muestras, se organizaron en bloques con tres repeticiones. El primer bloque ( $P_0$ ), se dejó en su estado natural respecto al fósforo; el segundo, ( $P_2$ ), recibió una aplicación de 400 Kg/Ha. de fósforo empleado como fuente Fosfato Acido de Sodio del 46 %.

Se aplicó además una fertilización básica que constó de: 100 Kg/Ha. de Nitrógeno en forma de Urea del 46 %, 80 Kg/Ha. de Potasio en forma de KCl del 56 %, 500 Kg/Ha. de Calcio en forma de  $CaCO_3$  del 40 %, 300 Kg/Ha. de Magnesio en forma de  $MgCO_3$  del 29 %, 5 Kg/Ha. de Cobre en forma de  $CaCl \cdot 2H_2O$  del 36 % y 5 Kg/Ha. de Molibdeno en forma de  $Na_2Mo \cdot 2H_2O$  del 40 %.

Las diferentes fuentes se aplicaron en solución 15 días antes de la siembra, a excepción del Ca y Mg, que se agregaron en suspensión 6 días después de las primeras, para reducir la formación de precipitados especialmente con los fosfatos.

### 3.5 Planta indicadora.

Como planta indicadora se utilizó el maíz (Zea mays, var. 554), mejorada por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y distribuida por la Caja de Crédito Agrario.

Se sembraron tres semillas por maceta; a los 8 días se efectuó un raleo dejando 2 plantas por pote. Durante el tiempo que duró el experimento se aplicó riego en cantidades suficientes para mantener una adecuada humedad en los suelos.

A los 45 días se cosechó cortando la parte aérea de las plantas; luego se lavó con agua destilada y se colocó en bolsas de papel, y se secó en la estufa a 75°C. durante 24 horas, al final de las cuales se determinó el peso de la materia seca.

### 3.6 Descripción de los métodos de análisis químico.

#### 3.6.1 Métodos químicos para la determinación del fósforo aprovechable en los suelos.

a.- Método de Bray y Kurtz (Bray I).  
Se agitan 2 gramos de suelo secado al aire con 20 ml. de una solución de HCl 0.025N y  $\text{PNH}_4$  0.03N por un minuto;

se filtra a través de embudo y filtros libres de fósforo (SS cinta azul ó whatman No. 40) y en el extracto se determina el fósforo por medio del azul cloromolibdico utilizando un espectrofotómetro Coleman (14).

b.- Método de Bray y Kurts (Bray II). Sigue la misma marcha analítica del Bray I, cambiando solamente la concentración del HCl, que en este caso es de 0.1 N (30).

c.- Método de Olsen. A cinco gramos de suelo secado al aire se le agregan 100 ml. de una solución de 0.5 N de  $\text{NaHCO}_3$  (con el pH ajustado a un valor de 8.5) y 1 gramo de carbón activado libre de fósforo; se agita por 30 minutos, se filtra y en el extracto se determina el fósforo por el método del azul sulfomolibdico (14).

d.- Método de Mehlich (Carolina del Norte). Se agitan 5 gramos de suelo secado al aire con 20 ml. de una solución de HCl 0.05 N y  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.025 N, por 5 minutos y se filtra. El fósforo se determina en alícuotas adecuadas por medio del azul sulfomolibdico (14).

e.- Método de Saundier modificado. Se agita 1 gramo de suelo secado al aire libre con 50 ml. de una solución 1 N de NaOH por 30 minutos y luego

go se centrifuga y decanta. Se determina el fósforo por medio del azul sulfomolibdico en una alícuota adecuada del extracto después de haber precipitado la materia orgánica agregando gotas de  $H_2SO_4$  concentrado (14).

### 3.6.2 Determinación del fósforo asimilable en las plantas.

La determinación del fósforo asimilable en las plantas se determinó en los extractos del material vegetal obtenido mediante digestión con una mezcla binaria: Nítrico-Perclórica en una proporción de 2:1, según el método de combustión descrito por Lot citado por Ponce (34).

### 3.6.3 Regulación del pH en las alícuotas.

A cada una de las respectivas alícuotas, tanto del suelo como de la planta, se agregaron 3 gotas del indicador 2-4 nitrofenol y luego se ajustó el pH a 3, hecho que se sucede cuando se presenta el viraje de color amarillo a cristalino, usando  $NaOH$  2N, ó  $H_2SO_4$  2N, de acuerdo al extractante usado.

### 3.6.4 Lecturas.

Para una mayor precisión, de cada una de las muestras se efectuaron dos extractos y de cada uno se tomaron 2 alícuotas. La determinación del

fósforo se efectuó por colorimetría; el color se midió pesados 5 minutos del revelado de las alícuotas en un espectrofotómetro Coleman a 660 milimicras. El resultado dado por la escala de densidad óptica (transmitancia) se llevó a las coordenadas correspondientes de la curva patrón previamente calibradas utilizando concentraciones cuyo rango varió entre 0 y 1 p.p.m.

### 3.7 Determinación de la humedad.

La humedad se determinó por la diferencia de pesos, suelo seco a la estufa a 105°C. durante 24 horas (18).

### 3.8 Determinación del rendimiento.

El porcentaje de rendimiento se determinó mediante la relación:

$$\frac{\text{Cosecha sin fertilización (P}_0\text{)}}{\text{Cosecha con fertilización (P}_2\text{)}} \times 100 = \%$$

### 3.9 Análisis estadístico.

Para la realización del análisis estadístico se tuvieron en cuenta las siguientes variables de respuesta:

Fósforo aprovechable extraído del suelo por los diferentes métodos.

Fósforo absorbido por las plantas, determinado por medio de las técnicas descritas por Lett.

#### 4.1 Fósforo absorbido por las plantas

Porcentaje de rendimiento relativo determinado mediante la fórmula  $P_0/P_2 \times 100$ .

Los resultados de fósforo absorbido extraído

Además los conceptos de correlación y regresión.

#### 3.10 Miligramos de fósforo absorbido por pote.

Los miligramos de fósforo absorbido por pote se calcularon mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Mg. P/pote} = \text{gr (materia seca)} \times \text{concentración de P en ppm. en la curva} \times 1,25$$

#### 3.11 Clasificación de los métodos.

La clasificación de los diferentes métodos se estimó a partir de los coeficientes de correlación y el porcentaje de asociación obtenidos entre el fósforo aprovechable extraído de los suelos por los diferentes métodos y el fósforo absorbido por las plantas indicadas.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSION

##### 4.1 Fósforo determinado por los diferentes métodos.

Las cantidades de fósforo asimilable extraídas por las diferentes soluciones extractoras correspondientes a las metodologías empleadas, se presentan en la Tabla II.

Los resultados señalan que el método de Saunder modificado fué el que extrajo la máxima cantidad de fósforo aprovechable, con un rango de 79,28 a 159,51 mg. de P/100 gramos de suelo y un promedio de 126,36 mg. de P/100 gramos de suelo.

Este resultado se puede explicar teniendo en cuenta algunas consideraciones, tales como la solución extractante, su concentración, el tipo de suelo y sus componentes. Al respecto cabe anotar que se trabajó con suelos derivados de cenizas volcánicas en donde abundan compuestos complejos como los hidróxidos de hierro y aluminio que, junto con otros compuestos amorfos como la alúmina reaccionan fácilmente con el fósforo provocando una reducción en su solubilidad.

En el método de Saunder modificado se emplea como extractante del fósforo asimilable hidróxido

de sodio 1-N. Esta solución extractora, aunque con una concentración menor (0.1N) y un tiempo de agitación mayor, se utiliza para extraer la fracción de fósforo unida al hierro, por el método de Chang y Jackson (23) y, por tanto, existe la posibilidad de que en esta alta cantidad de fósforo aprovechable esté presente cierta cantidad de fosfatos de hierro y en menor cantidad de fosfatos de aluminio, pues como lo anota Guerrero (20), en estos suelos la participación de los fosfatos de hierro (29,64 %) es mayor en comparación con la presentada por los fosfatos de aluminio (8,24 %), o sea que en estos suelos el predominio del hierro es mayor que el del aluminio.

Corroborar lo anterior el concepto de Duchaufeur (10) quien afirma que los reactivos alcalinos, en este caso el hidróxido de sodio, disuelven completamente los fosfatos de hierro y de aluminio asimilables, en particular los ligados a las arcillas y a los compuestos húmicos que contienen fósforo. Teniendo en cuenta este criterio, Chang y Jackson (23) proponen en su técnica la extracción de los fosfatos de hierro, después de que los del aluminio han sido extraídos por el fluoruro de amonio 0.05 N.

Si a esto se le añade el concepto de López (25), en el sentido de que las soluciones alcalinas ab-

sorben una buena proporción de fósforo orgánico, los resultados obtenidos por el método de Saunder modificado, pueden involucrar las tres fracciones antes anotadas: dos inorgánicas y una orgánica. De ahí su mayor extracción.

El método de Bray II, cuya solución extractora es  $\text{HCl}$  0.1 N  $\text{PNH}_4$  0.03 N, presentó un rango de 3.35 a 16.82 con un promedio de 11.42 mg. de P/100 gramos de suelo. El presente método de acuerdo a Duchaufeur (8) es el más recomendado para suelos ricos en fosfatos de calcio, que realmente no son los predominantes en las zonas en donde, como se dijo anteriormente, predominan los hidróxidos de hierro y de aluminio (4).

Si se tienen en cuenta los trabajos de capacidad y formas de fijación del fósforo en suelos volcánicos de Nariffo (20), se observa que la retención hacia los fosfatos de calcio no apatíticos y apatíticos ocupa el segundo y tercer lugar, respectivamente. Obviamente, de acuerdo al tipo de solución extractora, en este caso ácida, pudo presentarse una mayor concentración de fósforo aprovechable debido al aporte de los fosfatos mono y dicálcicos que fueron extraídos por la solución ácida ( $\text{HCl}$  y  $\text{PNH}_4$ ). Al respecto, en las modificaciones propuestas por Cornfield y Sen Gupta, a la técnica del fraccionamiento del fósforo de Chang y Jackson, se añade la extracción

ción de los fosfatos mono y dicálcicos (P no apatítico) antes de los fosfatos de aluminio; en este caso, usando como extractante ácido acético 0.05 N (4, 20).

Por otra parte, no se debe descartar el hecho de que el ión  $F^-$  puede incidir en el rompimiento de las arcillas amorfas acomplejando el aluminio allí presente (22).

En su orden de extracción siguen los métodos de Mehlich, Olsen y Bray I, con promedios de fósforo aprovechable de: 2,26, 1,78 y 0,87 mg de P/100 gramos de suelo, respectivamente.

Se observa que el método de Bray I, que fué el que presentó la menor extracción, tiene a su vez la menor concentración. De acuerdo a lo anterior se puede concluir que existe una relación directa entre la concentración de la solución extractora y el fósforo aprovechable extraído, lo cual es lógico, ya que a mayor concentración hay también posibilidad de extraer otras formas de fósforo, como las unidas al hierro, aluminio, calcio y aún formas orgánicas.

#### 4.2 Relación entre los métodos estudiados.

Para detectar estadísticamente la relación existente entre los distintos métodos estudiados,

se plantearon correlaciones, cuyos coeficientes se presentan en la Tabla III. En términos generales, no se detectó correlación significativa entre soluciones ácidas; solamente Bray I correlacionó significativamente con Bray II. Si se tiene en cuenta que la diferencia estriba solamente en la concentración del ácido clorhídrico, se puede explicar ese 29,16 % de asociación que presentaron estas dos variables.

Igualmente, se encontró que la metodología de Olsen relacionó significativamente, al nivel del 1 % con la de Mehlich y que las soluciones alcalinas no correlacionaron entre sí; en cambio la metodología de Saunderson sí presentó correlación significativa, al nivel del 5 %, con Bray II. Estas dos metodologías fueron las que ocuparon el primero y segundo puesto en extracción, de allí posiblemente su asociación.

#### 4.3 Asociación entre el fósforo extraído del suelo y el fósforo absorbido por la planta.

La mayoría de los investigadores están de acuerdo en que el porcentaje de asociación entre las variables independientes: fósforo absorbido versus fósforo extraído, es el mejor índice para recomendar o descartar determinado método.

Las correlaciones planteadas, dan como re-

sultado que el método de Olsen fué el que mejor correlacionó ( $r=0,662^{++}$ ) siguiendo en su orden el método de Bray II ( $r=0,594^+$ ) y Mehlich ( $r=0,579^+$ ). Esta secuencia fué encontrada por Veloso (38) quien encontró la siguiente relación: Olsen Bray II Mehlich, en andosoles y orisoles.

Como se informó anteriormente, el método de Saundier fué el que mayor fósforo extrajo, sin embargo no correlacionó, ni con el fósforo absorbido, ni con el rendimiento relativo; esto vigoriza más el concepto de que esta metodología extrae formas que no son asimilables por las plantas, ya sean orgánicas e inorgánicas.

Evidentemente, en los suelos estudiados, las condiciones prevalentes son ácidas, con predominio de compuestos de hierro y aluminio; el hecho de ser la metodología de Olsen de carácter alcalino, dá base a que presente una relación que permita extraer fosfatos de hierro y aluminio asimilables. Resultados similares fueron encontrados por Veloso (38), Palma (32), Silva (37) y Fassbender (12).

#### 4.4 Correlaciones entre el fósforo extraído del suelo y el porcentaje de rendimiento.

Las correlaciones planteadas, (Tabla III), indican que presentaron asociación y por consiguiente

significancia al nivel del 5 % los métodos de Mehlich, Olsen y Bray II. Se observa que se presentó la misma correlación con el fósforo absorbido, resultado normal, puesto que siendo el fósforo el elemento crítico, era de esperar que a mayor cantidad de absorción, la planta presentara mayor vigor y succulencia y por ende materia seca.

---

1	1,304	1,593	83,1
2	0,759	1,165	80,2
3	0,836	1,074	78,9
4	1,035	1,122	80,6
5	1,200	1,201	83,6
6	0,451	0,707	60,2
7	0,461	1,008	70,6
8	1,006	1,133	80,0
9	0,809	1,759	70,3
10	0,282	1,007	66,2
11	0,354	1,089	67,6
12	0,537	0,501	55,3
13	0,704	0,790	60,0
14	0,887	1,208	70,7
15	1,000	1,100	65,6

---

TABLA I

PROMEDIOS DE PESO EN GRAMOS EN LA MATERIA SECA  
DE LOS TRATAMIENTOS P<sub>0</sub>, P<sub>2</sub> Y EL PORCENTAJE DE RENDIMIENTO

MUESTRA No.	P <sub>0</sub> MATERIA SECA PROMEDIO EN gr.	P <sub>2</sub> MATERIA SECA PROMEDIO EN gr.	RENDIMIENTO RELATIVO $\frac{P_0}{P_2} \times 100 = \%$
1	1,324	1,593	83,1
2	0,795	0,966	82,2
3	0,826	1,074	76,9
4	1,015	1,122	90,4
5	1,200	1,281	93,6
6	0,632	0,787	80,2
7	0,801	1,018	76,6
8	1,000	1,113	89,8
9	1,209	1,719	70,3
10	0,882	1,022	86,2
11	0,964	1,099	87,6
12	0,857	0,981	85,3
13	0,704	0,790	89,0
14	0,857	1,212	70,7
15	1,000	1,128	88,6

TABLA II

MÉTODOS ANALÍTICOS, RESULTADOS DEL FOSFORO ABSORBIDO Y PORCENTAJE DE RENDIMIENTO EN EL EXPERIMENTO DE INVERNADERO

No.	FOSFORO APROVECHABLE EXTRAIDO DEL SUELO EN mg/100 gr. DE SUELO					"p" ABSORBIDO mg/POTE	RENDI- MIENTO %
	BRAY I	BRAY II	OLSEN	MENLICH	SAUNDER		
1	0,6679	11,8519	2,8853	4,3187	129,6241	1,434	83,1
2	0,4989	9,5740	0,8690	1,2781	107,7285	1,051	82,2
3	0,5711	10,4367	1,2673	1,4355	112,1450	1,888	76,9
4	0,9613	16,8290	1,5878	2,3910	160,6512	1,278	90,4
5	1,2265	10,2177	3,5607	5,0868	133,2850	1,854	93,6
6	0,2286	3,3598	0,6625	0,5104	79,2852	0,674	80,2
7	0,3460	4,4586	1,4347	0,7285	155,4687	0,793	76,6
8	0,8326	14,7991	1,9830	2,2530	159,5120	1,389	89,8
9	1,0937	8,8325	1,4583	1,5948	96,9612	0,689	70,3
10	0,5040	10,9530	1,5430	1,2344	109,7720	1,261	86,2
11	0,7293	11,0115	1,7809	3,3718	129,9350	1,201	87,6
12	0,7379	11,9202	2,2199	1,9905	151,8945	1,480	85,3
13	1,6675	12,5113	2,0690	3,6833	151,6987	1,393	89,0
14	1,2981	9,6731	1,4175	1,4175	103,5167	1,789	70,7
15	1,8883	14,7959	2,4302	2,1972	114,0215	1,774	88,6

TABLA III

COEFICIENTES DE CORRELACION (r) Y PORCENTAJE DE ASOCIACION (r<sup>2</sup>)  
ENTRE EL FOSFORO APROVECHABLE Y OTRAS VARIABLES DE RESPUESTA

	BRAY II	OLSEN	BRAY I	MEHLICH	SAUNDER
OLSEN	r = 0,441 r <sup>2</sup> = 19,47 %	---	---	---	---
BRAY I	r = 0,545 <sup>+</sup> r <sup>2</sup> = 29,51 %	r = 0,561 <sup>+</sup> r <sup>2</sup> = 31,48 %	---	---	---
MEHLICH	r = 0,449 r <sup>2</sup> = 20,16 %	r = 0,841 <sup>++</sup> r <sup>2</sup> = 70,74 %	r = 0,447 r <sup>2</sup> = 20,06 %	---	---
SAUNDER	r = 0,500 <sup>+</sup> r <sup>2</sup> = 25,10 %	r = 0,442 r <sup>2</sup> = 19,54 %	r = 0,145 r <sup>2</sup> = 2,12 %	r = 0,401 r <sup>2</sup> = 16,08 %	---
FOSFORO ABSORBIDO	r = 0,594 <sup>+</sup> r <sup>2</sup> = 35,35 %	r = 0,662 <sup>++</sup> r <sup>2</sup> = 43,85 %	r = 0,352 r <sup>2</sup> = 12,42 %	r = 0,579 <sup>+</sup> r <sup>2</sup> = 33,55 %	r = 0,348 r <sup>2</sup> = 13,13 %
RENDIMIENTO TO RELATIVO	r = 0,552 <sup>+</sup> r <sup>2</sup> = 30,53 %	r = 0,586 <sup>+</sup> r <sup>2</sup> = 34,36 %	r = 0,225 r <sup>2</sup> = 5,08 %	r = 0,594 <sup>+</sup> r <sup>2</sup> = 35,40 %	r = 0,466 r <sup>2</sup> = 21,73 %

+ = Significativo al nivel del 5%

++ = Altamente significativo

TABLA IV

ECUACIONES DE REGRESION DEL FOSFORO ABSORBIDO POR LA PLANTA  
Y OTRAS VARIABLES EN ESTUDIO

R E L A C I O N		E C U A C I O N	
Y	X		
Porcentaje de rendimiento - Saunder		Y =	0,015X + 6,3787
Porcentaje de rendimiento - Bray I		Y =	0,329X + 8,0612
Porcentaje de rendimiento - Mehlich		Y =	0,313X + 7,6531
Porcentaje de rendimiento - Olsen		Y =	0,581X + 7,3087
Porcentaje de rendimiento - Bray II		Y =	0,109X + 7,1785
Bray II - Saunder		Y =	0,070X + 1,8776
Bray II - Bray I		Y =	4,020X + 7,2213
Bray II - Mehlich		Y =	1,197X + 8,0811
Bray II - Olsen		Y =	2,219X + 6,7779
Bray II - P Absorbido		Y =	5,290X + 4,0770
Olsen - Saunder		Y =	0,012X + 0,2355
Olsen - Mehlich		Y =	0,446X + 0,7967
Olsen - P Absorbido		Y =	1,171X + 0,3127
Bray I - Mehlich		Y =	0,161X + 0,5181
Bray I - Olsen		Y =	0,381X + 0,1949
Bray I - P Absorbido		Y =	0,423X + 0,3431
Saunder - Mehlich		Y =	7,644X + 109,3431
Saunder - Bray I		Y =	7,710X + 119,6012
Saunder - P Absorbido		Y =	2,152X + 98,4268
Mehlich - P Absorbido		Y =	1,922X + 0,2104

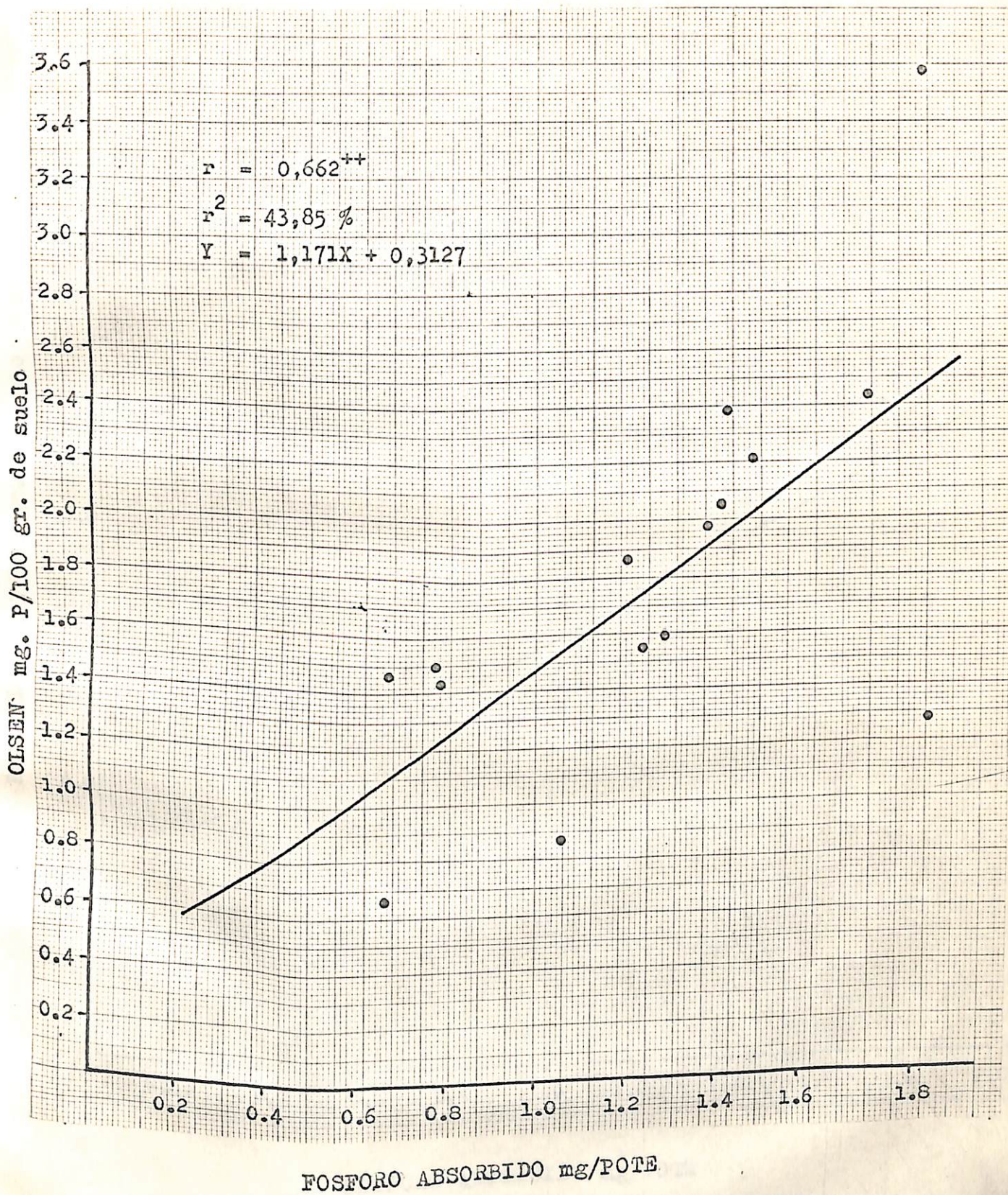


FIGURA I. RELACION ENTRE EL FOSFORO ABSORBIDO DE TERMINADO EN LA PLANTA Y EL FOSFORO APROVECHABLE EXTRAIDO DEL SUELO POR EL METODO DE OLSEN.

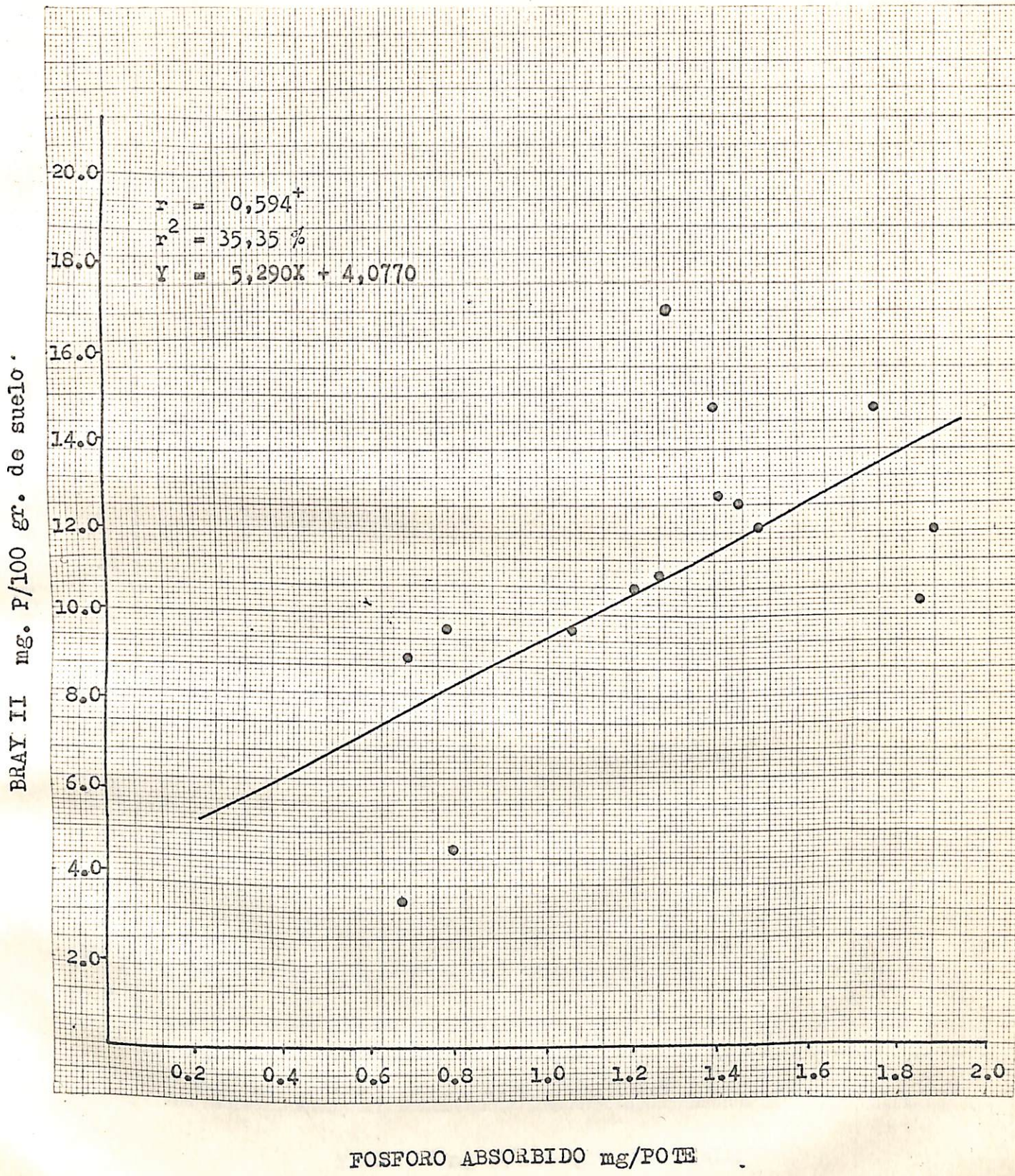


FIGURA 2. RELACION ENTRE EL FOSFORO ABSORBIDO DE TERMINA DO, EN LA PLANTA Y EL FOSFORO APROVECHABLE EXTRAIDO DEL SUELO POR EL METODO BRAY II.

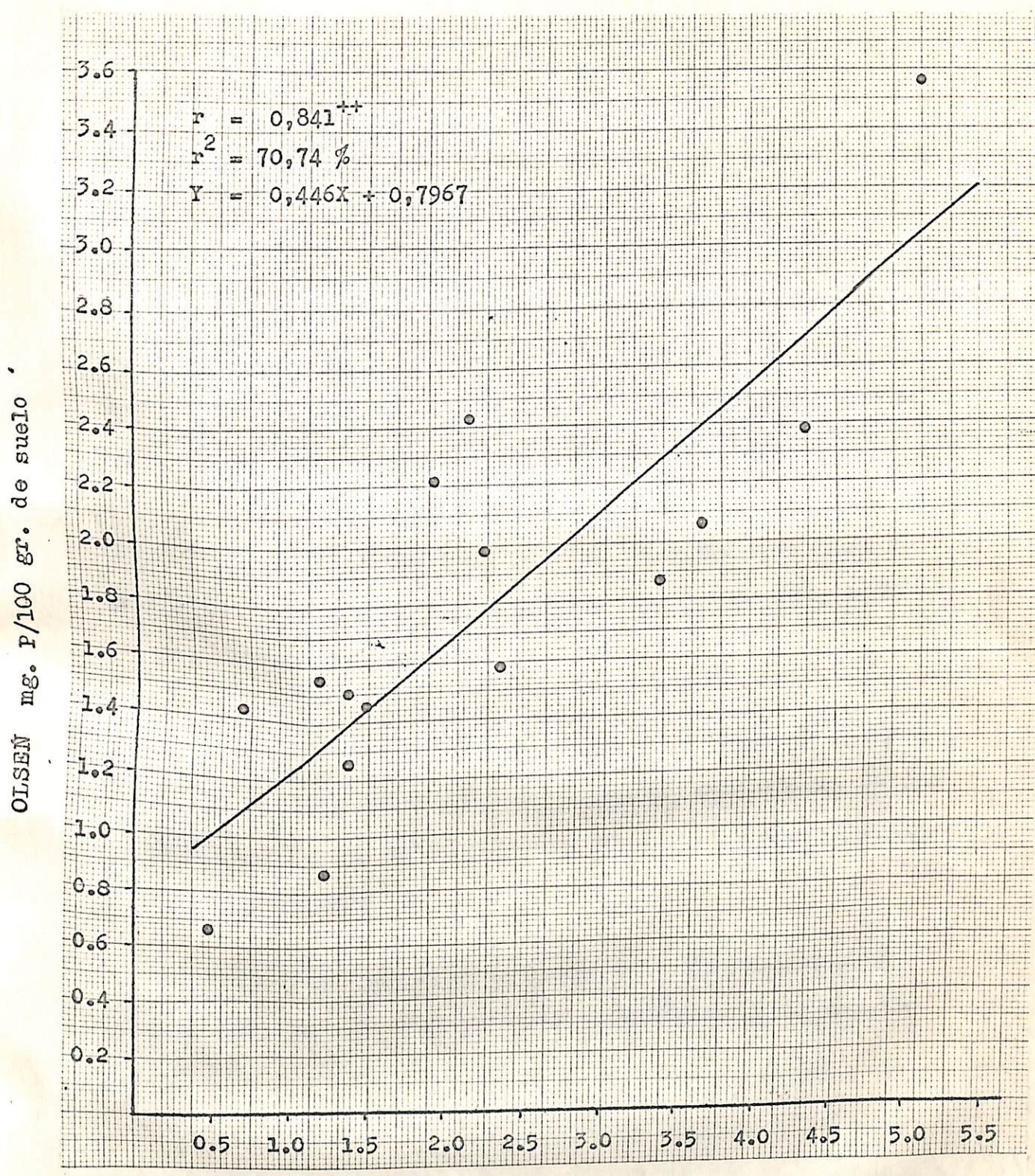


FIGURA 3. RELACION ENTRE EL FOSFORO APROVECHABLE EXTRAIDO DEL SUELO POR LOS METODOS DE OLSEN Y MEHLICH.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación se concluye que:

1.- Para suelos de los Altiplanos de Pasto, Ipiales y Zona de Clima Medio (Departamento de Nariffo), el método más adecuado para estudios de fósforo aprovechable, es el de Olsen ( $r = 0,662^{++}$ ).

2.- Le sigue en su orden el método de Bray II ( $r = 0,594^{+}$ ), que por su sencillez puede ser utilizado en análisis rápidos.

3.- Es necesario efectuar este tipo de investigaciones en grupos de suelos de Nariffo, diferentes de los utilizados en este estudio, para un conocimiento más completo de este aspecto.

4.- Se recomienda estudiar modificaciones al método Bray II, en cuanto a concentraciones y tiempo de agitación.

## VI RESUMEN

En 15 suelos volcánicos, provenientes de los Altiplanos de Pasto, Ipiales y Zona de Clima Medio, se determinó el fósforo aprovechable por medio de los métodos de Bray I, Bray II, Mehlich, Olsen y Saunder modificado.

Los resultados se correlacionaron entre sí, encontrándose que de los métodos de extracción ácida, únicamente Bray I correlacionó con Bray II ( $r = 0,543^+$ ). Sin embargo, Olsen que emplea como extractor una solución alcalina, correlacionó en forma altamente significativa con Mehlich ( $r = 0,841^{++}$ ) y significativamente con Bray I ( $r = 0,561^+$ ), métodos que emplean soluciones ácidas como extractantes. El método alcalino de Saunder modificado, correlacionó significativamente con el método ácido de Bray II ( $r = 0,500^+$ ).

La absorción de fósforo, determinada mediante las técnicas de Lett, en las plantas indicadoras de maíz sin fertilización fosfatada del experimento de invernadero, correlacionó, en forma altamente significativa con el método de Olsen ( $r = 0,662^{++}$ ) y en forma significativa con los métodos de Bray II ( $r = 0,594^+$ ) y Mehlich ( $r = 0,579^+$ ).

El porcentaje de rendimiento relativo  $\left[ (P_0/P_2) \right]$

(100) correlacionó significativamente con los siguientes métodos: Mehlich ( $r = 0,594^+$ ), Olsen ( $r = 0,586^+$ ) y Bray II ( $r = 0,552^+$ ).

Por presentar el coeficiente de correlación más alto ( $r = 0,662^{++}$ ) y el mayor porcentaje de asociación ( $r = 43,35 \%$ ), con la absorción de fósforo, el método de Olsen se seleccionó como el más indicado para posteriores trabajos de calibrado de fósforo aprovechable en suelos volcánicos de la Zona Andina del Departamento de Nariño. En su orden le siguieron los métodos de Bray II ( $r = 0,594^+$ ), ( $r^2 = 35,34 \%$ ) y Mehlich ( $r = 0,579^+$ ), ( $r^2 = 33,35\%$ ).

Se recomienda efectuar este tipo de investigaciones en grupos de suelos de Nariño, diferentes a los utilizados en este estudio.

## SUMMARY

In 15 of the volcanic soils which belong to the high plateaus of Pasto, Ipiales, and a Zone of Medium Climate, the available phosphorus was determined by the methods of Bray II, Bray I, Olsen, Mehlich and Saunder modified.

The results correlated between each other, digressing from the acid extraction methods, that only Bray I correlated with Bray II ( $r = 0,543^+$ ). However, Olsen who uses an alkaline solution, correlated in a very high significant way with Mehlich ( $r = 0,841^{++}$ ) and significant with Bray I ( $r = 0,561^+$ ), methods which use acid solutions as extractors. The alkaline method of Saunder modified correlated in a significant way with the acid method of Bray II ( $r = 0,500^+$ ).

The absorption of phosphorus, determined by the technique of Lett, in the plants of corn without phosphated fertilisation from the hot-house experiment, correlated in a very high significant way with the method of Olsen ( $r = 0,662^{++}$ ) and in a significant way with the methods of Bray II ( $r = 0,594^+$ ) and Mehlich ( $r = 0,579^{++}$ ).

The profit relative percentage  $\left[ \frac{(P_0/P_2) (100)}{P_1} \right]$  correlated in a significant way with the following methods: Mehlich ( $r = 0,593^+$ ), Olsen ( $r = 0,586^+$ ) and Bray II

( $r = 0,552^+$ ).

Because of the present of the highest coefficient of correlation ( $r = 0,662^{++}$ ) and the greatest association percentage ( $r^2 = 43,85\%$ ) with the absorption of phosphorus, the Olsen method was selected as the most indicated for later works of gauged available phosphorus in the volcanic soils of Andinan Zone of the Department of Nariño.

In its order came the following methods of Bray II ( $r = 0,594^+$ ), ( $r^2 = 35,34\%$ ) and Mehlich ( $r = 0,579^+$ ), ( $r^2 = 33,35\%$ ).

It is recommend to carry out this type of investigations, in groups of the soils of Nariño, different from the ones used for this study.

## VII. BIBLIOGRAFIA

1. BASTIDAS, O. et al. Estudio de los elementos N, P y K en los suelos del Valle de Sibundoy. Pasto, Instituto Tecnológico Agrícola, Universidad de Nariño. 216p. 1969.
2. ELASCO, M. Curso de Suelos II. Palmira, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional. 190p. 1967.
3. \_\_\_\_\_ Curso de clasificación de suelos. Pasto, Instituto Tecnológico Agrícola, Universidad de Nariño. (En máquina; p. irregular). 1969.
4. CARRERA, T. y J. BURBANO. Capacidad de fijación de fósforo en suelos de cuatro áreas volcánicas de Colombia y su relación con características edáficas. Pasto, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. 130p. 1971.
5. BUCKMAN, H. O. y H. C. BRADY. Naturaleza y propiedades de los suelos. Trad. S. Barceló. México, UTSHA. 590p. 1965.
6. GUELLAR, D. y J. HENAO. Evaluación de métodos químicos para determinar el fósforo asimilable en suelos arroceros. Bogotá, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional. 44p. 1967.

7. CHAVES, M. et al. Estudio socio-económico de Mariño. Ministerio de Trabajo. División Técnica de la Seguridad Social Campesina. Bogotá, Argra. 213p. 1959.
8. DAZA, J. Y MULLER, L. Comparación de cinco métodos químicos para determinar el fósforo asimilable en algunos suelos tropicales. Turrialba. 15 (3): 249-251. 1965.
9. DULCE, A. J. y M. SANTA CRUZ. Propiedades físicas de algunos suelos volcánicos del Altiplano de Ipiiales, Mariño. Pasto, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Mariño. 57p. 1971.
10. DUCHAUFOR, P. Précis de Pedologie. 10a. Ed. París, Masson Ed. 499p. 1965.
11. ESPINAL, T. L. y B. MONTENEGRO. Formaciones vegetales de Colombia. Memoria explicativa sobre el mapa ecológico. Bogotá, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 210p. 1963.
12. FASBENDER, H. W. et al. Estudio del fósforo en América Central, I. Ubicación, características físicas y químicas de los suelos estudiados. Turrialba. 18: 319-332. 1968.

13. FASSENDER, H. W. et al. Estudio del fósforo en América Central. II. Formas y sus relaciones con las plantas. Turrialba, 18: 333-347. 1968.
14. \_\_\_\_\_ . Estudio del fósforo en América Central. III. Comparación de cinco métodos químicos de análisis de fósforo asimilable. Turrialba. 18: 348-360. 1968.
15. \_\_\_\_\_ . Estudios del fósforo en suelos de América Central. IV. Capacidad de fijación y su relación con características edáficas. Turrialba. 19: 497-505. 1969.
16. FISCHER, R. A. y F. YATES. Tablas estadísticas para investigadores científicos. 3ra. Ed. Edit. Aguilar. España. 131p. 1963.
17. GONZALEZ, M. G. Fraccionamiento del fósforo en suelos volcánicos del Altiplano de Ipiales, Nariffo. Pasto, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariffo. 65p. 1971.
18. GONZALEZ, A. Manual de laboratorio de suelos. Palmira, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional. 117p. 1966. (En mimeógrafo).

19. GROS, A. Abonos. Guía práctica de la fertilización. 4ta. Ed. Trad. por R. Olalquiaga S. Ed. Mundi-Prenss. Madrid 1. 445p. 1967.
20. GUERRERO R., R. Estudio de la capacidad de fijación de fósforo y sus formas en suelos volcánicos de cuatro regiones andinas de Nariffo. Pasto, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariffo. 32p. 1971.
21. HOLDRIDGE, L. R. Curso de Ecología Vegetal. Turrialba IICA. 45p. (En mimeógrafo). 1968.
22. IGUE, K. y R. FUENTES. Retención y solubilización de  $32-P$  en suelos ácidos de regiones tropicales. Turrialba 21 (4): 429-434. 1971.
23. JACKSON, M. L. Análisis químico de suelos. Trad. J. B. Martínez. Barcelona, Omega. 662p. 1941.
24. LEON, L. A. y M. T. COLEMAN. Características químicas de algunos suelos ácidos de Colombia en relación con la fijación de fosfatos. Contribución a la IV Conferencia Latinoamericana de la FAO. Bogotá, Colombia.

25. LOPEZ, M. Determinación de fósforo aprovechable en suelos tropicales. *Cenicafé*. 9 (5-6): 109-115. 1958.
26. MELA, M. P. Tratado de Edafología. 2da. Ed. Edit. Agre-ciencia. Zaragoza. 428p. 1963.
27. NICHOLS, W. et al. Atlas Agrológico del Departamento de Nariño. Presentación crítica de los conocimientos agrológicos del Departamento de Nariño, como base para una ordenación integral de su territorio. Pasto, Instituto Tecnológico Agrícola, Universidad de Nariño. 257p. 1969.
28. ORDÓÑEZ, H. Estudio sobre el Potasio en algunos suelos volcánicos del Altiplano de Pasto. Pasto, Instituto Tecnológico Agrícola, Universidad de Nariño. 114p. 1969.
29. OSORO, P. R. Comparación de cuatro métodos para la determinación del fósforo aprovechable en suelos del Valle del Cauca. Palmira, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional. 31p. 1959.
30. ORTEGA, T. B. Correlación entre métodos de análisis químico de fósforo aprovechable por las plantas y los rendimientos relativos de maíz. *Agricultura Técnica en México*. 2 (4): 148-155. 1955.

31. ORTEGA, J. E. Estudio comparativo de tres fuentes de fósforo a diferentes niveles de aplicación en relación a su absorción y fijación en un suelo rojo de Nariño. Pasto, Instituto Tecnológico Agrícola, Universidad de Nariño. 122p. 1970.
32. PALMA, G. Uso de resinas de intercambio iónico, para evaluar la disponibilidad de fósforo en suelos. Turrialba. IICA. 78p. 1970.
33. PANTOJA, L. C. Fraccionamiento de fósforo en algunos suelos de clima medio, en el Departamento de Nariño. Pasto, Instituto Tecnológico Agrícola, Universidad de Nariño. 107p. 1969.
34. PONCE, L. Y. y F. A. SAUSCHER. Determinación de la aptitud de varios métodos de análisis químico para medir el fósforo aprovechable en suelos arcillosos de Colombia. Bogotá, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional. 57p. 1959.
35. REVELO, C. y M. REVELO. Estudio de fertilidad en invernadero de algunos suelos del Altiplano de Pasto-Nariño-Colombia. Pasto, Instituto Tecnológico Agrícola, Universidad de Nariño. 121p. 1968.

36. SANCHEZ, A. Fitopatología y control de enfermedades. Palmira, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional. 146p. 1968.
  
37. SILVA, F. Correlación entre los resultados de invernadero y el valor "A" ó fósforo asimilable extraído de los suelos por tres métodos diferentes. Bogotá, Agric. Trop. 11: 925-928. 1955.
  
38. VELOSO, A. Phosphate solubility in Andosols and Oxisols. M.S. Thesis, University of California, Riverside. 88p. 1969.

ANEXO I

ANEXO I - CANTIDAD DE MATERIALES DE CONSTRUCCION EN LA OBRA  
 DE ALBERGUE DE FERIA (4)

DESCRIPCION	A B R I L			M A Y O		
	Metros	Troncos	Metros	Metros	Troncos	Metros
...	6,70	5,70	5,70	6,30	5,00	5,50
...	40,00	...	...	41,10	39,15	25,50
...	44,70	36,70	27,50	51,30	34,50	20,00
...	79,00	56,00	12,70	37,80	30,25	7,70
...	6,30	...	1,75	3,35	2,16	1,22
...	43,80	29,15	41,80	52,30	29,40	11,30
...	...	...	113,00	2.307,00	1.445,50	13,00
...	74,00	262,40	80,00	401,00	266,30	84,00
...	86,00	42,00	31,00	58,00	41,20	30,00
...	950,00	312,00	105,00	555,00	280,50	80,00

APENDICE

(1) ... (20)

TABLA I

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SUELOS EN LA REGION  
DEL ALTIPLANO DE PASTO (+)

CARACTERÍSTICAS	S U B L O			S U B S U B L O		
	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo
pH	6,00	5,74	5,50	6,30	5,00	5,50
Arenas %	44,60	36,80	32,20	61,10	35,16	25,50
Limos %	44,70	36,70	27,30	51,00	34,50	28,60
Arcillas %	35,60	26,40	11,70	37,80	30,25	7,70
C orgánico %	6,30	3,04	1,73	3,13	2,16	1,22
C.I.C. m.e./100	43,40	29,13	21,40	52,30	29,40	17,30
Ca camb. p.p.m.	2.486,00	1.286,00	311,00	2.107,00	1.428,30	13,00
Mg camb. p.p.m.	504,00	248,40	98,00	401,00	266,80	84,00
Na camb. p.p.m.	86,00	42,60	32,00	95,00	64,20	38,00
K camb. p.p.m.	550,00	311,00	103,00	565,00	280,80	80,00

(+) Tomado de: Guerrero, R. (20).

TAULA II

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SUELOS EN LA REGION DE CLIMA MEDIO (+)

CARACTERÍSTICAS	S U E L O			S U B S U E L O		
	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo
pH	7,20	6,08	5,70	7,50	6,19	5,10
Arenas %	61,96	35,16	21,62	64,88	42,47	27,30
Limos %	42,42	34,90	28,00	37,00	24,80	19,70
Arcillas %	48,38	26,29	10,04	46,05	29,92	9,00
C orgánico %	3,54	2,43	1,23	2,19	1,11	0,36
C.I.C. m.e./100gr	45,17	25,92	14,99	40,76	20,03	5,30
Ca camb. p.p.m.	3.963,00	2.189,20	1.037,61	2.539,12	1.287,60	251,13
Na camb. p.p.m.	89,71	46,99	30,69	82,71	48,45	31,14
K camb. p.p.m.	733,22	298,00	81,84	545,70	111,55	35,07

(+) Tomado de: Guerrero, R. (20).

TAULA III

CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS SUELOS EN LA REGION  
DEL ALTIPLANO DE IPIALES (+)

CARACTERISTICAS	S U E L O			S U B - S U E L O		
	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo
pH	7,30	6,11	5,30	7,15	5,84	4,90
Arenas %	81,78	66,43	47,78	90,57	71,96	54,78
Limos %	34,20	24,78	14,00	34,00	20,96	6,00
Arcillas %	24,82	8,68	1,22	19,82	8,14	1,42
C orgánico %	7,77	3,09	0,70	4,98	2,31	0,09
N total %	1,14	0,41	0,12	0,79	0,29	0,09
C.I.C. m.e./100gr	36,54	22,89	10,82	39,86	22,53	9,06
K camb. p.p.m.	1.102,49	534,60	162,41	997,87	399,38	66,90
Na camb. p.p.m.	170,72	40,18	14,06	140,38	55,26	16,52
Ca camb. p.p.m.	1.567,51	1.047,73	394,72	1.954,69	877,05	245,44
Mg camb. p.p.m.	2.560,75	400,80	121,98	679,23	263,20	88,11

(+) Tomado de: Guerrero, R. (20).

AN

20405

T

631.4

Gaviria Ocaña, Jairo Javier

G283

Ej. 1. Evaluación de métodos para la ~~VENGE~~ la  
determinación de fósforo ...

NOMBRE *Barbara Ojeda* 19-Julio/99

No. del Carnet *96116236*

NOMBRE *Sandro Fari* 150

No. del Carnet

AN

T

631.4

G283

Ej. 1.

20405