

**MODIFICACIONES A LOS METODOS USUALES PARA LA DETERMINACION
DE FOSFORO APROVECHABLE EN SUELOS VOLCANICOS DE LA ZONA AN
DINA DEL DEPARTAMENTO DE NARIÑO, COLOMBIA**

Por

**"Las ideas SILVIO EDMUNDO LOPEZ ARTEAGA Tesis de
Grado con de LUIS EDUARDO SALAS ERASO de que autoriza".**

**Artículo 1° del Decreto No. 324 de 11 de Octubre de
1956, emanado del Honorable Consejo Directivo de la
"Tesis de grado presentada como requisito parcial
para optar al título de INGENIERO AGRONOMO"**

PRESIDENTE DE TESIS

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

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

1.973

631.85
L 864
Ej. 1

- II -

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

AL SENADO QUEMOS Y AL CONSEJO COLABORADO

Artículo 1° del Acuerdo No. 324 de 11 de Octubre de 1966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

SILVIO ROMERO LOPEZ, Rector

A:

MIS SERES QUERIDOS Y AL CAMPESINO COLOMBIANO

DEDICO :

SILVIO EDMUNDO LOPEZ ARTEAGA

AGRADECIMIENTOS A :

RICARDO RODRIGO ERASO I.A., M.D.

FRANCISCO CORTES DE LA ESPERILLA

A:

MIS PADRES, FAMILIARES Y AMIGOS DE HOY Y MAÑANA.

DEDICO:

LUIS EDUARDO SALAS ERASO

AGRADECIMIENTOS A :

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

FRANCISCO CORTES DE LA ESPRIELLA

UNIVERSIDAD DE NARIÑO.

C O N T E N I D O

	Pág.
I. INTRODUCCION.	1
II. REVISION DE LITERATURA.	3
2.1 Formas de fosfatos y su relación con la planta.	3
2.2 Formas de fosfatos y su relación con las soluciones extractoras de fósforo aprovechable.	6
2.3 Eficiencia de las metodologías de extracción de fósforo aprovechable	8
III. MATERIALES Y METODOS.	11
3.1 Descripción del área estudiada . .	11
3.1.1 Altiplano de Panto.	11
3.1.2 Zona de Clima Medio	11
3.2 Localización de los suelos estudia dos.	12
3.3 Características de los suelos estu diados.	13
3.4 Procedimiento experimental.	13
3.4.1 Experimento de invernadero.	13
3.4.2 Determinación del fósforo absorbido por la planta. .	14
3.4.3 Extracción del fósforo apr vechable.	15
3.4.4 Determinación de los fosfa tos del suelo.	16

	Pág.
3.5 Análisis Estadístico.	17
IV. RESULTADOS Y DISCUSION.	20
4.1 Capacidad extractora de los métodos utilizados.	20
4.2 Formas de fosfatos y su interacción con las soluciones extractoras.	22
4.3 Fosfatos del suelo y su relación con la absorción de fósforo por la planta.	24
4.4 Eficiencia de las metodologías.	26
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	59
VI. RESUMEN.	61
VII. SUMMARY.	63
VIII. BIBLIOGRAFIA	65

de extracción de los diferentes
muestras (muestras fertilizadas)

valores de "x" calculados para
la comparación entre prácticas
de extracción de los diferentes
muestras (muestras fertilizadas)

clasificación de resultados de la
y porcentajes de absorción (%)
entre el sistema estudiado por
la planta, método de extracción
y resultados de análisis (muestras
fertilizadas).

T A B L A S

		Pág.
TABLA I.	Características generales de los suelos de las regiones del Altiplano de Pasto y Clima Medio. .	19
TABLA II	Fósforo extraído por los diferentes métodos (ppm.) y fósforo absorbido por las plantas (mg./muestra) en suelos fertilizados y no fertilizados.	31
TABLA III	Valores de "t" calculados para la comparación entre promedios de extracción de los diferentes métodos (Todos los suelos). . .	32
TABLA IV	Valores de "t" calculados para la comparación entre promedios de extracción de los diferentes métodos (Suelos no fertilizados)	33
TABLA V	Valores de "t" calculados para la comparación entre promedios de extracción de los diferentes métodos (Suelos fertilizados) .	34
TABLA VI	Coefficientes de correlación (r) y porcentajes de asociación (R^2) entre el fósforo absorbido por la planta, métodos de extracción y fracciones de fósforo (Suelos fertilizados).	35

ILUSTRACIONES

TABLA VII	Coeficientes de correlación (r) y porcentajes de asociación (R^2) entre la extracción de fósforo aprovechable y la absorción de fósforo por la planta, para los diferentes grupos de suelos. .	36
-----------	--	----

TABLA VIII	Coeficientes de correlación (r) y porcentajes de asociación (R^2) entre el fósforo aprovechable extraído por los diferentes métodos (Todos los suelos).	37
------------	---	----

TABLA IX	Formas de fósforo en los suelos estudiados (ppm.).	38
----------	--	----

Figura 4.	Relación entre el fósforo absorbido y el fósforo aprovechable extraído por el método MULLER en suelos fertilizados.	41
-----------	---	----

Figura 5.	Relación entre el fósforo absorbido y el fósforo aprovechable extraído por el método MULLER en suelos fertilizados.	42
-----------	---	----

Figura 6.	Relación entre el fósforo absorbido y el fósforo aprovechable extraído por el método MULLER en los suelos no fertilizados.	44
-----------	--	----

Figura 7.	Relación entre el fósforo absorbido y el fósforo aprovechable extraído por el método MULLER en los suelos no fertilizados.	45
-----------	--	----

I L U S T R A C I O N E S

	Pág.
Figura 1. Relación entre el fósforo absorbido y el fósforo aprovechable extraído por el método BRAY II en los suelos fertilizados.	39
Figura 2. Relación entre el fósforo absorbido y el fósforo aprovechable extraído por el método OLSEN en suelos fertilizados.	40
Figura 3. Relación entre el fósforo absorbido y el fósforo aprovechable extraído por el método BRAY II MODIFICADO en suelos fertilizados.	41
Figura 4. Relación entre el fósforo absorbido y el fósforo aprovechable extraído por el método CENICAFE en suelos fertilizados.	42
Figura 5. Relación entre el fósforo absorbido y el fósforo aprovechable extraído por el método MEHLICH MODIFICADO en suelos fertilizados.	43
Figura 6. Relación entre el fósforo absorbido y el fósforo aprovechable extraído por el método BRAY II en los suelos no fertilizados.	44
Figura 7. Relación entre el fósforo absorbido	

Figura 8.	y el fósforo aprovechable extraído por el método OLSEN en los suelos no fertilizados.	45
Figura 9.	Relación entre el fósforo absorbido y el fósforo aprovechable extraído por el método BRAY II MODIFICADO en los suelos no fertilizados.	46
Figura 10.	Relación entre el fósforo absorbido y el fósforo aprovechable extraído por el método CENICAFE en suelos no fertilizados.	47
Figura 11.	Relación entre el fósforo absorbido y el fósforo aprovechable extraído por el método MEHLICH MODIFICADO en los suelos no fertilizados.	48
Figura 12.	Relación entre el fósforo absorbido y el fósforo aprovechable extraído por el método BRAY II en los suelos fertilizados y no fertilizados. . .	49
Figura 13.	Relación entre el fósforo absorbido y el fósforo aprovechable extraído por el método OLSEN en los suelos fertilizados y no fertilizados. . .	50
Figura 14.	Relación entre el fósforo absorbido y el fósforo aprovechable extraído por el método BRAY II MODIFICADO en los suelos fertilizados y no fertilizados.	51

- Figura 14.** Relación entre el fósforo absorbido y el fósforo aprovechable extraído por el método CENICAFE, en los suelos fertilizados y no fertilizados. 52
- Figura 15.** Relación entre el fósforo absorbido y el fósforo aprovechable extraído por el método MENLICH MODIFICADO en los suelos fertilizados y no fertilizados. 53
- Figura 16.** Relación entre el fósforo absorbido y el fósforo fácilmente reemplazable. 54
- Figura 17.** Relación entre el fósforo absorbido y los fosfatos de calcio no apatítico. 55
- Figura 18.** Relación entre el fósforo absorbido y los fosfatos de calcio apatítico. 56
- Figura 19.** Relación entre el fósforo absorbido y los fosfatos de aluminio. 57
- Figura 20.** Relación entre el fósforo absorbido y los fosfatos de hierro. 58

MODIFICACIONES A LOS METODOS USUALES PARA LA DETERMINACION DE FOSFORO APROVECHABLE EN SUELOS VOLCANICOS DE LA ZONA ANDINA DEL DEPARTAMENTO DE NARIÑO, COLOMBIA (")

Por

SILVIO EDMUNDO LOPEZ ARTEAGA

LUIS EDUARDO SALAS ERASO

I. INTRODUCCION

El notable incremento en el rendimiento de las cosechas, como resultado de los avances en la tecnificación de la agricultura, se debe en gran parte, a la práctica de la fertilización.

Una fertilización eficiente implica, el conocimiento previo de la fracción aprovechable de los diferentes nutrientes en el suelo. En una buena proporción, el éxito de la fertilización depende de la mayor o menor eficiencia en la determinación de esas formas disponibles para la planta.

Para el caso de los suelos volcánicos es conocido el problema de su deficiencia en fósforo aprovechable, lo cual sumado al fenómeno de su fijación, (igualmente cono-

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

cido y estudiado) hace que este elemento sea crítico en la producción de cosechas.

2.2 Factores en los cuales se relaciona con la planta

La circunstancia anterior, hace que sea de particular importancia la búsqueda de un método adecuado para la determinación de fósforo aprovechable en los suelos volcánicos de Mariño. A este respecto, una investigación previa (14) de los métodos usuales de determinación de fósforo en estos suelos, indicó que era necesario buscar un incremento en la eficiencia del método Bray II. Sobre esta base, se planteó el presente trabajo.

El presente trabajo se realizó en el laboratorio de química del Departamento de Agronomía de la Universidad de Chile, en el año 1965. Los resultados se publican en la revista "Revista de la Universidad de Chile" (15).

De acuerdo a Fawcett (16) los fosfatos inorgánicos (sales de ácidos fosfóricos) bien definidos son:

Fosfatos simples:

monobásicos: CaH_2PO_4

diabásicos: CaHPO_4

Formas hidratadas: $\text{CaH}_2\text{PO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$

$\text{CaHPO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$

fosfatos multibásicos: $\text{Ca}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$

fosfatos estéricos: $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$

fosfatos orgánicos:

ácidos: H_3PO_4

fosfatos de hierro:

ácidos: $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$

neutros: $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_3$

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 Formas de fosfatos en relación con la planta

El fósforo no se encuentra en forma elemental en los suelos, sino en compuestos fosfatados de diversa naturaleza. Los fosfatos orgánicos, que se acumulan en el suelo en formas de residuos vegetales, de animales y de microorganismos, presentan estructuras de ésteres y consisten principalmente en fitinas y sus derivados, fosfatos de adenosina y similares, ácidos nucleicos y fosfolípidos. Su importancia radica en la alta proporción en que ocurren en ciertos suelos y en que a través de la mineralización pasan a ser disponibles para la planta (12).

De acuerdo a Fassbender (10) los fosfatos inorgánicos incluyen formas químicamente bien definidas como:

Fosfatos cálcicos :

monocálcico : $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$

dicálcico : CaHPO_4

formas hidratadas : $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

: $\text{Ca}(\text{HPO}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

apatitas hidroxidadas : $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3 \cdot \text{OH}$

apatitas fluoradas : $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3 \cdot \text{F}$

fosfatos aluminicos :

variscita : $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

fosfatos de hierro:

vivianita : $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$

estrongita : $\text{FePO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$

fosfatos complejos :
taranakitas.

Por otra parte, el mismo autor indica, que se debe considerar la existencia de formas químicas no bien definidas cristalinas o amorfas como los fosfatos adsorbidos a partículas de arcilla, hidróxidos, materia orgánica y los coluidos en hidróxidos de aluminio, hierro y manganeso, a través de su proceso de cristalización y desarrollo.

El crecimiento de las plantas exige el paso continuo de iones del suelo a éstas. Los iones de la fase sólida, bien sea de las partículas cristalizadas o a partir de los coloides, pasan a la solución del suelo facilitando su contacto con la superficie radical, penetrando al espacio libre y pudiendo ser absorbidos por la planta. Por lo tanto, desde el punto de vista de la disponibilidad de nutrientes, interesan dos parámetros: la concentración de iones presentes en un momento dado en la solución del suelo o su actividad iónica (parámetro de intensidad) y la reserva del elemento ligado a la fase sólida del suelo que reponen inmediatamente los iones a la solución del suelo, cuando éstos son absorbidos por la planta (parámetro de capacidad) (11).

De acuerdo al método propuesto por Fasabender (10, 11), las plantas se asemejan a una bomba que está extrayendo el fósforo de la solución del suelo. Para que se mantenga el equilibrio entre la fase sólida y líquida del suelo se tiene que producir una reposición (solubilización) a partir de los fosfatos de la fase sólida.

El flujo del fósforo desde la fase sólida del suelo hacia la fase líquida (solución del suelo), depende de la forma

de fosfato desde donde incurra la solubilización. Al mismo tiempo, la mayor o menor contribución de las diferentes formas de fosfatos en el proceso de reposición del fósforo depende de las condiciones del suelo (10, 11, 12, 17, 27).

Así, Fassbender y colaboradores (12), en su estudio de fósforo en suelos de la América Central, encontraron que en suelos ácidos, con predominancia de los fosfatos de aluminio y hierro la planta absorbió fósforo desde la fracción fácilmente reemplazable extraída con NH_4Cl . En suelos con predominancia de fosfatos de calcio encontraron que los fosfatos solubles en NH_4Cl fueron rápidamente utilizados por la planta y a partir de los fosfatos de calcio y aluminio se produjo una reposición de fósforo, participando, así, estas formas en la nutrición fosfatada de la planta, en tanto que los fosfatos orgánicos tuvieron una participación menor.

Los resultados anteriores, son comparables a los obtenidos por Morillo y Fassbender (27), en suelos aluviales y volcánicos de Honduras y por Albán y colaboradores (2) en suelos de Estados Unidos, pues éstos investigadores indican que, en su orden, los fosfatos solubles en NH_4Cl , los fosfatos de calcio y los fosfatos de aluminio son los que más participan en los procesos de nutrición fosfatada de la planta.

De otra parte, autores como Al-abbas y Barber (1), en suelos de Norte América, Payne y Hanna (33), en suelos de Inglaterra, Ortega y Guerrero (31) en un suelo laterítico de Colombia, Cheng y Joo (7) y Joo y Ellis (20) en suelos ácidos, han demostrado que bajo condiciones de alta acidez, los fosfatos de aluminio y hierro participan con mayor intensidad en la reposición de fósforo asimilable que los fosfatos de calcio.

Además Ortega y Guerrero (31), indican que la mayor o menor participación de las diferentes formas de fosfatos en la solubilización del fósforo asimilable varía de suelos no fertilizados a suelos fertilizados y en estos últimos, depende de la fuente fertilizante utilizada. Así, concluyen que las escorias Thomas solubilizan con mayor intensidad los fosfatos de aluminio y de calcio no apatíticos, en tanto que los fosfatos de hierro fueron solubilizados más intensamente cuando se adicionó superfosfato triple.

2.2 Formas de fosfatos y su relación con las soluciones extractoras de fósforo aprovechable

Las diferentes soluciones extractoras de fósforo asimilable solubilizan los distintos fosfatos del suelo con un grado de intensidad diferencial.

De acuerdo a Lindsay y Moreno (22), la solubilidad de los fosfatos cálcicos aumenta exponencialmente al disminuir el pH y, por ello, las soluciones extractoras ácidas, como la utilizada por los métodos de Bray y Mehlich, extraen mayores cantidades de fósforo en los suelos en que predominan esos fosfatos. En cambio, la solubilidad de los fosfatos de hierro y aluminio es máxima a pH altos, lo que trae como resultado que soluciones extractoras alcalinas, como la utilizada por el método de Saunders, extraiga cantidades considerables de fósforo en los suelos en los cuales predominan los fosfatos de hierro y aluminio.

Jackson (19) sostiene que las soluciones ácidas extraen fósforo ligado a fosfatos de calcio a pH bajos y fósforo ligado a fosfatos de hierro y aluminio a pH altos.

Balerdi y colaboradores (4) en suelos de América Central encontraron que los fosfatos solubles en NH_4Cl (fósforo fácilmente reemplazable) eran extraídos con mayor intensidad por los métodos de Mehlich y Egner-Riehm (soluciones extractoras ácidas) que por el método de Saunder (soluciones extractoras alcalinas). Los métodos de Olsen, Egner-Riehm y Bray I correlacionaron mejor con los fosfatos de calcio, en suelos donde había predominio de esa forma de fósforo, pero en aquellos donde había predominancia de fosfatos de hierro y aluminio no fueron extraídos significativamente por ninguna de las soluciones extractoras utilizadas (Bray I, Mehlich, Egner-Riehm, Saunder y Olsen).

Los mismos autores encontraron que los fosfatos de hierro y aluminio correlacionaron en forma óptima con el fósforo extraído por el método de Saunder (Solución extractora alcalina), lo cual estaría de acuerdo con los resultados encontrados por Saunder (34), en suelos de Sudáfrica, autor éste que concluye que su metodología es la más apropiada para los suelos tropicales lateríticos ácidos, en donde predominan los fosfatos de hierro y aluminio.

Singh y Lancaster (38), en 95 suelos de Mississippi, encontraron que el fósforo extraído mediante los métodos Bray I y Olsen, estuvo principalmente asociado a los fosfatos de aluminio, los fosfatos de calcio, seguidos de los de aluminio, contribuyeron mayormente al fósforo extraído mediante el método de Bray II. El método de Mehlich estuvo asociado principalmente con la fracción de calcio, en tanto que los fosfatos de hierro fueron los que contribuyeron en menor grado al fósforo extraído por los métodos utilizados.

2.3 Eficiencia de las metodologías de extracción de fósforo aprovechable

La determinación de fósforo aprovechable por la planta ha sido objeto de numerosos estudios. Las metodologías empleadas buscan siempre obtener una acción extractora muy semejante a la acción extractora de la planta (24). Por lo anterior la mayor o menor eficiencia de una solución extractora se cuantifica o describe mediante la mayor o menor asociación entre el fósforo absorbido por la planta y el fósforo extraído por la solución (4, 10, 12, 14).

De otra parte, la elección del método, más adecuado y eficiente de extracción de fósforo asimilable depende, en última instancia, de la asociación o correlación entre las cantidades extraídas por las diferentes metodologías y la respuesta a la fertilización fosfatada en el campo. En esta forma, se pueden establecer escalas de apreciación que permitan dar recomendaciones rápidas y acertadas de fertilización fosfatada (21).

En un estudio tendiente a la evaluación de varios métodos para determinar el fósforo asimilable en suelos arroceros, Caliano, Ponce y Zauseher (13) encontraron la siguiente secuencia de eficiencia en suelos inundados: Bray II ($r=0,79^{++}$) > Olsen ($r=0,76^{++}$) > Truog ($r=0,75^{++}$) > Bray I ($r=0,72^{++}$), y en suelos sin inundar: Olsen ($r=0,87^{++}$) > Bray II ($r=0,86^{++}$) > Bray I ($r=0,83^{++}$) > Truog ($r=0,61^{++}$).

Ortega (30), al comparar 5 métodos para la extracción del fósforo aprovechable, en suelos de México, encontró que el más eficiente era el Bray I, siguiéndole en su orden: Olsen, Peech, Bray II y Truog.

López (23) determinó el fósforo aprovechable en suelos de la zona cafetera de Colombia, empleando 14 soluciones extractoras. La solución 0,08 N H_2SO_4 fue la que mayor correlación guardó con el fósforo extraído por la planta de maíz.

Para suelos de Santander y Tolima, Silva (37) determinó un alto porcentaje de asociación entre la absorción de fósforo por la lechuga romana y la extracción de fósforo aprovechable conseguida por los métodos de Bingham y Olsen; por el contrario, no encontró asociación con el fósforo extraído mediante el método de Truog.

Otero (28) estableció que la secuencia de precisión de 4 métodos de extracción de fósforo aprovechable en suelos del Valle del Cauca, fue la siguiente: Bray II > Bray I > Olsen > Spurway.

Cuéllar y Henao (8), utilizando como criterio el valor "A", establecieron la siguiente secuencia de eficiencia para diferentes métodos de extracción de fósforo asimilable en suelos arroceros de Colombia: Olsen > Truog > Bray II > Mehlich > Bray I.

Para suelos volcánicos de Mariño, Caviña y colaboradores (14) determinaron que el método más adecuado para la extracción de fósforo aprovechable fue el de Olsen ($r=0,66^+$), siguiendo en orden descendente de eficiencia: Bray II ($r=0,59^+$), Mehlich ($r=0,57^+$), Bray I ($r=0,35$) y Saunders ($r=0,34$). Los mismos autores sugieren, en razón de su sencillez y rapidez, investigar modificaciones al método de Bray II, con el objeto de mejorar su eficiencia.

En 86 suelos de América Central, Balerdi y colaboradores (4) compararon 5 métodos de extracción de fósforo aprovechable y concluyeron que el método más adecuado para evaluar el fósforo asimilable en tales suelos es el de Egner-Riehm ($r=0,94^{++}$), siguiendo en orden de significancia: Olsen ($r=0,87^{++}$), Bray I ($r=0,85^{++}$), Mehlich ($r=0,84^{++}$), Saunderson ($r=0,34^{++}$). En base a lo anterior recomiendan utilizar los métodos de Egner-Riehm y Olsen en trabajos de calibración de métodos en países Centroamericanos.

Cabala y Santana (5), al comparar la eficiencia de los métodos de Mehlich, Egner-Riehm, Truog y Olsen, utilizando la planta de cacao como indicadores, obtuvieron la mayor correlación con el método de Truog, seguido del método de Egner-Riehm.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Descripción del área estudiada

3.1.1 Altiplano de Pasto

El Altiplano de Pasto o Valle de Atriz, está situado al pie del Volcán Galeras (4.200 m.s.n.m.), en el Municipio de Pasto, que se encuentra en la intersección del paralelo de latitud norte $1^{\circ} 13' 16''$ con el meridiano de longitud $77^{\circ} 14' 03''$, occidente de Greenwich. Tiene una superficie de 1.143 km^2 . (3, 29).

Es una depresión del Nudo de los Pastos, Cordillera Andina, y tiene una altura comprendida entre 2.500 y 2.800 m.s.n.m., con una temperatura máxima de 20°C y mínima de 6°C , para un promedio de $13,5^{\circ}\text{C}$. La precipitación es de aproximadamente 700 mm./año (25, 26, 29, 39).

Ecológicamente pertenece al bosque montano bajo seco y húmedo. Geológicamente está formado por una mezcla de materiales volcánicos cascajosos, cuyas rocas eruptivas son una mezcla de brechas, cantos de andesita, bombas andesíticas, tobas de lapillis, cenizas volcánicas y derrames andesíticos; sus suelos son de tipo A-C ó A-(B)-C. (9, 25).

3.1.2 Zona de Clima Medio

La región de Clima Medio, incluida en el presente estudio, está ubicada a lo largo de la carretera de Circunvalación que rodea al Volcán Galeras por el occidente.

Esta zona está situada al occidente del Volcán Galeras, a una altura que oscila entre 1.000 y 2.000 m.s.n.m., con una temperatura promedio de 20°C (en general varía entre 18 y 22°C). La precipitación anual fluctúa entre 1.392,3 y 1.864,6 mm./año. Ecológicamente esta zona está situada en la faja montana bajo y subtropical (32).

Debido a reciente e intenso volcanismo, los suelos de esta área son considerados como jóvenes y por lo tanto, notoriamente influenciados por el material parental, presentándose algunos perfiles A-(B)-C con horizontes ligeramente diferenciados (3).

3.2 Localización de los suelos estudiados

Para la realización del presente estudio se tomaron muestras representativas de 20 sitios provenientes del Altiplano de Pasto y de la zona de Clima Medio que rodea al Volcán Galeras discriminadas así:

Altiplano de Pasto :

1. Anganoy
2. Arenda
3. Botena
4. Catambuco
5. Cujacal
6. Genoy
7. K. 10 vía Chachagüf
8. La Estrella
9. La Laguna
10. Obonuco
11. Tangua
12. Toro Bajo
13. Yacuanquer

Zona de Clima Medio :

14. Bombón
15. Consacá
16. El Ingenio
17. La Florida
18. Nariño
19. Sandoná
20. El Tambo

3.3 Características de los suelos estudiados

Algunas características físico-químicas de los suelos experimentales han sido determinadas por otros investigadores (25, 32). Un resumen de las mismas se presenta en la Table I.

3.4 Procedimiento experimental

3.4.1 Experimento de invernadero

Los suelos provenientes de cada localidad, una vez secos al aire y tamizados por mallas de 2 micras se repartieron en macetas plásticas de 750 grs. de capacidad. Cada uno de los 20 suelos se distribuyó en 4 macetas; así se tuvieron 80 macetas, a la mitad de las cuales se les agregó 200 ppm. de P_2O_5 , en forma de $NaHPO_4 \cdot 2H_2O$, y a todos se les aplicó una fertilización básica consistente en 35 ppm. de N, en forma de Urea (46% de N) y 10 ppm. de K, en forma de KCl (60% de K_2O). En esta forma, los suelos quedaron organizados en dos bloques: con y sin adición de fósforo, y para cada suelo se tuvieron 2 replicaciones.

3.4.1 Como planta indicadora se utilizó el Sorgo (Sorghum vulgare). Se sembraron 10 semillas por maceta y a los 15 días de la siembra se efectuó el raleo dejando una sola planta por maceta. El riego se efectuó periódicamente y en cada caso, se trató de llevar el suelo hasta un nivel de humedad cercano a la capacidad de campo. La cosecha se llevó a cabo a los 60 días después de la siembra. La parte aérea de cada planta se colocó en una bolsa de polietileno, debidamente identificada, y se llevó a laboratorio.

Al mismo tiempo, de cada una de las macetas correspondientes a los suelos que recibieron fertilización fosfatada se extrajo una muestra para los análisis de laboratorio.

determinar el fósforo aprovechable por el cultivo del suelo (4).

3.4.2 Determinación del fósforo absorbido por la planta

Las muestras del material vegetal se secaron a la estufa a 60°C, durante 24 horas. Posteriormente se determinó su peso seco, para determinar el rendimiento de materia seca en gramos por maceta.

La absorción de fósforo por la planta se determinó cuantitativamente en los extractos foliares obtenidos mediante una digestión con una mezcla ternaria: nítrico-sulfúrico-perclórico, en proporción 10:1:4, según el método de combustión húmeda de los tejidos vegetales descrita por Jackson (19). El fósforo se determinó utilizando la técnica de azul cloromolibdico descrita por Jackson (19), y utilizando un espectrofotómetro Coleman a una longitud de onda de 660 mμ.

3.4.3 Extracción del fósforo aprovechable

A muestras duplicadas de cada uno de los suelos experimentales originales y a aquellos provenientes de las macetas que recibieron fertilización fosfatada se les extrajo el fósforo aprovechable utilizando dos métodos usuales, dos técnicas modificadas por los autores y una propuesta por Cenicafé:

a) Métodos usuales :

Bray y Kurtz (Bray II): se agitaron 2 gramos de suelo seco al aire con 20 ml. de una solución 0,1 N HCl y 0,03 N FNNH_4 durante un minuto. Se filtró y en el extracto se determinó el fósforo aprovechable por el método del azul cloromolibdico (4).

Olsen: a 5 grs. de suelo seco al aire se les agregaron 100 ml. de una solución 0,5 N NaHCO_3 (con el pH ajustado a un valor de 8,5), y un gramo de carbón activado libre de fósforo, se agitó durante 30 minutos, se filtró y en el extracto se determinó el fósforo por el método azul cloromolibdico (4).

b) Métodos modificados:

Bray II modificado: se agitaron 2 grs. de suelo seco al aire con 20 ml. de una solución 0,05 N HCl y 0,03 N FNNH_4 , durante un minuto, se filtró y en el extracto se determinó el fósforo aprovechable por el método del azul cloromolibdico.

Mehlich modificado: a 2 grs. de suelo seco al aire se agregaron 20 ml. de una solución 0,05 N HCl y 0,05 N H_2SO_4 , se agitó por un minuto, se filtró y en el extracto se determinó el fósforo aprovechable utilizando la técnica del azul cloromolibdico.

Canicafé: a 2 grs. de suelo seco al aire se le agregaron 20 ml. de una solución 0,05 N H_2SO_4 , se agitó durante un minuto, se filtró y en el extracto se determinó el fósforo aprovechable por el método del azul cloromolibdico. Esta técnica, propuesta por López (23), se incluyó en el estudio, en razón de los buenos resultados obtenidos por ese autor en suelos volcánicos cafeteros del Quindío.

3.4.4 Determinación de los fosfatos del suelo

En las muestras obtenidas de las macetas que recibieron fertilización fosfatada, se determinaron las fracciones minerales de fósforo, siguiendo las técnicas de Chang y Jackson (6), con las modificaciones propuestas por Sen-Gupta y Cornfield (35). Las fracciones determinadas mediante esta metodología y las soluciones extractoras utilizadas fueron:

- Fósforo fácilmente reemplazable:
con NH_4Cl 1 N
- Fosfatos de calcio no apatíticos:
con CH_3COOH 0,5 N
- Fosfatos de aluminio:
con NH_4F 0,5 N, pH 7,0
- Fosfatos de hierro:
con $NaOH$ 0,1 N

- e) Fosfatos de calcio apatíticos:
con H_2SO_4 0,5 N

3.5 Análisis estadístico

Para la adecuada interpretación y evaluación de los métodos, se calcularon matrices de correlación, coeficientes de asociación y ecuaciones de regresión entre :

- a) Fósforo absorbido por la planta y fosfatos de los suelos que recibieron fertilización fosfatada.
- b) Fósforo absorbido por la planta y fósforo aprovechable extraído por las diferentes metodologías.
- c) Fósforo extraído por las diferentes soluciones extractoras y fosfatos de los suelos que recibieron fertilización fosfatada.
- d) Fósforo aprovechable extraído por las diferentes metodologías.

Con el objeto de conseguir una mayor significancia y profundidad en el análisis de interpretación de los resultados, así como un mayor alcance en las conclusiones, las matrices de correlación entre el fósforo absorbido por la planta y el extraído por las diferentes soluciones extractoras, se establecieron 5 grupos de suelos :

- a) Todos los suelos
- b) Suelos que recibieron fertilización fosfatada

- c) Suelos que no recibieron fertilización fosfatada
- d) Suelos del Altiplano de Pasto (con y sin adición de fósforo)
- e) Suelos de la región de Clima Medio (con y sin adición de fósforo).

Además se estableció comparaciones entre los promedios de la extracción de fósforo por los diferentes métodos, utilizando la prueba estadística de Student "t".

Tabla 1

CLIMA MEDIO (*)

Extracción	Altiplano de Pasto		Clima Medio	
	con	sin	con	sin
Extracción	5.00	3.74	5.00	3.74
Extracción	44.00	36.00	44.00	36.00
Extracción	46.70	36.70	46.70	36.70
Extracción	35.00	26.40	35.00	26.40
Extracción	6.33	3.04	6.33	3.04
Extracción	0.87	0.40	0.87	0.40
Extracción	43.40	39.13	43.40	39.13
Extracción	2.00, 2.00, 1.00	1.00, 1.00	2.00, 2.00, 1.00	1.00, 1.00
Extracción	359.00	311.00	359.00	311.00
Extracción	86.00	81.40	86.00	81.40
Extracción	304.00	245.40	304.00	245.40

(*) Tomado de GARCIA R. (19).

TABLA I
CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS SUELOS DE LAS REGIONES DEL ALTIPLANO DE PASTO Y
CLIMA MEDIO (")

Características	Altiplano de Pasto			Clima Medio		
	máximo	promedio	mínimo	máximo	promedio	mínimo
pH	6,00	5,74	5,50	7,20	6,08	5,70
Arenas %	44,60	36,80	32,20	61,96	35,16	21,62
Limos %	44,70	36,70	27,30	44,32	34,90	28,00
Arcillas %	35,60	26,40	11,70	48,38	26,29	10,04
C. org. %	6,39	3,04	1,73	3,54	2,43	1,23
N. total. %	0,67	0,40	0,17	0,57	0,30	0,15
C.I.C. m.e./100 g.	45,40	29,13	21,40	45,17	25,92	14,99
Ca. camb. p.p.m.	2.486,00	1.296,00	311,00	3.963,00	2.189,20	1.037,61
K camb. p.p.m.	550,00	311,80	103,00	733,22	298,00	81,84
Na. camb. p.p.m.	86,00	42,60	32,00	89,71	46,99	30,69
Mg. camb. p.p.m.	504,00	248,40	98,00	786,43	404,57	34,26

(") Tomado de Guerrero R. (15).

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

La adecuada interpretación de los resultados inherentes a la comparación de métodos de extracción del fósforo aprovechable del suelo, exige tomar en cuenta diferentes aspectos: la capacidad de extracción de las diferentes soluciones, la relación o asociación entre las cantidades extraídas y la concentración de las diferentes formas de fosfatos del suelo y las existentes entre éstas y la absorción de fósforo por la planta.

Lo anterior resulta razonable si tomamos en consideración el hecho de que, dependiendo del tipo de suelo, las distintas formas de fosfatos aportan con diferente grado de intensidad a la nutrición fosfatada de la planta (1, 2, 7, 12, 20, 27, 31, 33) y, por otra parte, las diferentes soluciones extractoras de fósforo aprovechable lo extraen, dependiendo también de las condiciones del suelo, desde las diferentes formas de fósforo con mayor o menor grado de intensidad (4, 2, 55, 38).

Sobre la base del marco conceptual explicado anteriormente, se ha ordenado la discusión de los resultados obtenidos en la presente investigación.

4.1 Capacidad extractora de los métodos utilizados

En la Tabla II se presentan los valores de extracción de fósforo aprovechable obtenidos para los diferentes métodos, tanto en suelos que recibieron adición de fósforo, como en los que no la recibieron.

Resulta evidente que la capacidad extractora de las diferentes soluciones es muy homogénea. Lo anterior se demuestra, estadísticamente en base a los resultados obtenidos en la prueba de "t" (Tablas IV y V), según las cuales no hay diferencia estadísticamente detectable ($P > 0,05$) entre los diferentes promedios de extracción, ni en los suelos que recibieron fósforo ni en los que no lo recibieron. No obstante, el efectuar la misma prueba para todos los suelos (Tabla III) se encontró que el método Bray II extrajo, en promedio, cantidades significativamente mayores ($P < 0,05$) que los demás métodos (Bray II modificado, Mehlich modificado, Cenicafé), a excepción de Olsen. En estas condiciones, la capacidad de extracción de los diferentes métodos tiene la siguiente secuencia, para todos los suelos :

BRAY II - OLSEN > CENICAPE - BRAY II MOD. - MEHLICH MOD.

Los resultados anteriores son lógicos. El método Bray II tiende a extraer cantidades superiores de fósforo en razón de que uno de los componentes de su solución extractora es fluoruro de amonio que, de acuerdo a la técnica de Chang y Jackson (6), extrae fósforo unido al aluminio, forma relativamente predominante en los suelos estudiados (Tabla IX). La modificación propuesta para Bray II extrajo aproximadamente el 50% de lo extraído por el método original ($P < 0,05$), en razón de la menor concentración de ácido clorhídrico en la solución extractora (0,05 N vs. 0,1 N). Este resultado tiene implicaciones importantes que se discutirán más adelante.

De otra parte, lo relativo a homogeneidad en la capacidad extractora de los métodos utilizados, exceptuando Bray II, se explica en razón de que las soluciones extractoras son ácidas (Bray II mod., Mehlich mod., Cenicafé) o ligeramente alcalinas (Olsen), lo cual no da base para conseguir

una diferencial apreciable en las cantidades solubilizadas desde las distintas formas de fosfatos (4, 19, 22).

4.2 Formas de fosfatos y su interacción con las soluciones extractoras

La evaluación de esta interacción se llevó a cabo para los suelos fertilizados con fósforo, en los cuales se determinó las formas de fosfatos. Los resultados se presentan en la Tabla VI.

La intensidad con que las diferentes metodologías de extracción solubilizaron las distintas formas de fosfatos, fueron evaluadas mediante el análisis de correlación, encontrándose las siguientes secuencias:

Fósforo fácilmente reemplazable:

Cenicafé ($r = 0,87^{++}$) > Mehlich mod. ($r = 0,81^{++}$) > Olsen ($r = 0,78^{++}$) > Bray II ($r = 0,57^{++}$) > Bray II mod. ($r = 0,52^{+}$)

Fosfatos de calcio no apatítico:

Cenicafé ($r = 0,97^{++}$) > Mehlich mod. ($r = 0,94^{++}$) > Olsen ($r = 0,88^{++}$) > Bray II ($r = 0,84^{++}$) > Bray II mod. ($r = 0,80^{++}$)

Fosfatos de calcio apatítico:

Bray II ($r = 0,74^{++}$) > Cenicafé ($r = 0,72^{++}$) > Mehlich mod. ($r = 0,71^{++}$) > Olsen ($r = 0,69^{++}$) = Bray II mod. ($r = 0,69^{++}$)

Fosfatos de aluminio:

Olsen ($r = 0,26^{N.S.}$) > Cenicafé ($r = 0,16^{N.S.}$) > Mehlich mod. ($r = 0,14^{N.S.}$) > Bray II ($r = 0,12^{N.S.}$) > Bray II mod. ($r = 0,003^{N.S.}$)

Fosfatos de hierro:

Bray II ($r = 0,28^{N.S.}$) > Olsen ($r = 0,27^{N.S.}$) > Mehlich mod.

($r = 0,20^{N.S.}$) > Cenicafé ($r = 0,19^{N.S.}$) > Bray II mod. ($r = 0,16^{N.S.}$).

Del análisis de los datos anteriores, resulta claro que la totalidad de las soluciones extractoras solubilizan con mayor intensidad los fosfatos de calcio no apatíticos, apatíticos y fósforo fácilmente reemplazable, mientras que extraen muy poco o nada del fósforo ligado a los fosfatos de aluminio y hierro; pues mientras las correlaciones con los fosfatos de calcio son altamente significativas ($P < 0,01$), con los fosfatos de hierro y aluminio el grado de asociación fue muy bajo. Esto es explicable en razón de la naturaleza ácida o débilmente alcalina (Olsen) de las soluciones extractoras utilizadas y coincide con los resultados obtenidos por diferentes investigadores (4, 19, 22, 38).

De otra parte, se observa que, como era de esperar, el método de Cenicafé, que utiliza como solución extractora ácido sulfúrico 0,08 N, correlaciona mejor con los fosfatos de calcio. La modificación propuesta al método Bray II solubiliza con menor intensidad el fósforo unido al calcio apatítico que el método original, debido a la menor concentración del ácido clorhídrico en su solución extractora. Esta circunstancia sumada a la mayor correlación detectada entre el método Bray II y los fosfatos de hierro, explica su predominancia en cuanto a capacidad extractora de fósforo ya discutida.

A pesar de que las asociaciones determinadas para los fosfatos de aluminio y hierro no fueron significativas ($P > 0,05$) para ninguno de los métodos, es evidente que el método Olsen tiende a extraer más intensamente los fosfatos de hierro y aluminio en razón de la condición ligeramente alcalina de su solución extractora. A un resultado semejante llegaron

- 24 -

Singh y Lancaster (38), en suelos de Mississippi.

4.3 Fosfatos del suelo y su relación con la absorción de fósforo por la planta

Al establecer los coeficientes de correlación y porcentajes de asociación entre la absorción de fósforo por la planta y los diferentes formas de fosfatos en los suelos, se encontró que éstos aportaron a la nutrición fosfatada de la planta con la siguiente secuencia de intensidad (Tabla VI) (Figuras 16 a 20): Fosfatos de calcio no apatítico ($r = 0,69^{**}$) > fósforo fácilmente reemplazable ($r = 0,53^{+}$) > fosfatos de calcio apatítico ($r = 0,29\text{N.S.}$) > fosfatos de aluminio ($r = 0,11\text{N.S.}$) > fosfatos de hierro ($r = 0,02\text{N.S.}$).

Resulta evidente que la planta se nutrió del fósforo fácilmente reemplazable y del fósforo solubilizado desde los fosfatos de calcio no apatíticos, los cuales contribuyeron en un 48% a la nutrición fosfatada de la planta.

Los fosfatos de calcio apatítico, en razón de su baja solubilidad aportaron en una proporción muy baja al mismo proceso, lo cual coincide con los resultados obtenidos por Ortega y Guerrero (31), en un latosol de la costa Pacífica de Maricao. Este resultado implica que la modificación propuesta por Sen-Gupta y Cornfield (35), a la metodología de fraccionamiento de fósforo de Chang y Jackson (6) tiene importancia y trascendencia práctica en suelos volcánicos.

Los fosfatos de aluminio y hierro prácticamente no contribuyeron a la reposición de fósforo aprovechable a la planta.

ta, como si ocurre en el caso de los suelos ácidos de tipo latosólico, en donde esas formas son las que más correlacionan con la absorción de fósforo por la planta (1, 7, 20, 31, 33). Este es un resultado lógico, por cuanto los suelos estudiados, a pesar de tener niveles relativamente altos de esas fracciones, las cuales predominan sobre los fosfatos de calcio (Table IX), presentan una reacción apenas ligeramente ácida (pH 5.7) que no permite una solubilización apreciable del fósforo unido al aluminio y al hierro.

Lo anterior llevaría a una situación desventajosa, en el sentido de que el fósforo aplicado como fertilizante en los suelos estudiados, es fijado en una alta proporción por el hierro y el aluminio según lo han demostrado las investigaciones de Guerrero (15), Guerrero y colaboradores (16), y el no haber posibilidades de reposición desde estas fracciones hacia la solución del suelo, esa fijación sería posiblemente irreversible. Esto, como se ha visto, no ocurre en el caso de suelos decididamente ácidos. Efectivamente, Ortega y Guerrero (31) han demostrado que si bien una gran proporción del fósforo aplicable a un latosol se precipita como fosfatos de hierro y aluminio, estas formas lo liberan para ser aprovechado por la planta. A conclusiones similares ha llegado Shelton y Coleman (36), quienes demostraron que el efecto residual de la aplicación de fósforo, en suelos ácidos, está relacionada con la fijación hacia los fosfatos de hierro y aluminio.

La predominancia de los fosfatos de calcio en el proceso de suministro de fósforo a la planta, en los suelos estudiados, está de acuerdo con el modelo encontrado por Faagbender y colaboradores (12), en suelos volcánicos de Centroamérica, e implica que los métodos más eficientes para la extracción de fósforo aprovechable en los suelos andinos de

Nariño, serían los que utilicen una solución extractora ácida (4, 19, 22, 28).

4.4 Eficiencia de las metodologías

El criterio aceptado universalmente para decidir sobre la eficiencia de determinación de las formas aprovechables de un nutrimento vegetal en el suelo, son los coeficientes de correlación y asociación. Obviamente, entre mayor sea la correlación o asociación entre el fósforo extraído por el método y el fósforo absorbido por la planta, mayor sería la precisión y eficiencia del método.

Sobre la base anterior la eficiencia de los métodos estudiados tuvo la siguiente secuencia, para los diferentes grupos de suelos (Tabla VII):

Suelos fertilizados con fósforo (Figuras 1 a 5):

Cenicalfé ($r=0,67^{++}$) > Bray II mod. ($r=0,61^{++}$) $\geq$ Mehlich mod. ($r=0,61^{++}$) > Olsen ($r=0,57^{++}$) > Bray II ($r=0,52^{+}$).

Suelos no fertilizados con fósforo (Figuras 5 a 10):

Bray II mod. ($r=0,76^{++}$) > Olsen ($r=0,68^{++}$) > Cenicalfé ($r=0,62^{++}$) > Mehlich mod. ($r=0,57^{++}$) $\geq$ Bray II ($r=0,57^{++}$).

Suelos del Altiplano de Pasto:

Bray II mod. ($r=0,69^{++}$) > Cenicalfé ($r=0,68^{++}$) > Mehlich mod. ($r=0,62^{+}$) > Olsen ($r=0,57^{+}$) > Bray II ($r=0,55^{+}$).

Suelos de la región de Clima Medio:

Mehlich mod. ($r=0,76^{+}$) > Cenicalfé ($r=0,62^{N.S.}$) > Bray II

($r = 0,51^{N.S.}$) > Bray II mod. ($r = 0,41^{N.S.}$) > Olsen ($r = 0,31^{N.S.}$).

Todos los suelos (Figuras 10 a 15):

Bray II mod. ($r = 0,68^{++}$) > Mehlich mod. ($r = 0,65^{++}$) > Cenicafé ($r = 0,63^{++}$) > Olsen ($r = 0,57^{++}$) > Bray II ($r = 0,57^{++}$).

A la vista de los resultados, resulta el hecho de que la modificación propuesta a Bray II supera en todos los grupos de suelos, excepción hecha de los suelos de la región de Clima Medio, a la metodología original. Así, tenemos que el incremento en eficiencia, conseguida con esa modificación calculado en base a los porcentajes de asociación fué del 10% en los suelos fertilizados y del 25% en suelos no fertilizados, del 18% en suelos del Altiplano de Pasto y de 13% en los suelos tomados en conjunto.

De otra parte, la modificación a Bray II se constituyó en la metodología más eficiente en los suelos no fertilizados ($r = 0,76^{++}$); en los suelos del Altiplano ($r = 0,69^{++}$) y en todos los suelos ($r = 0,68^{++}$), siguiendo en eficiencia la metodología Cenicafé que presentó la más alta correlación en suelos fertilizados. Esta circunstancia significa que éste método presentó un comportamiento adecuado y uniforme, lo que lo hace el más recomendable para ser utilizado en los suelos volcánicos de la región Andina, particularmente en aquellos de clima frío, como los del Altiplano de Pasto.

A lo anterior, se agrega el hecho de que, según los resultados obtenidos por Gaviria y colaboradores (14), en suelos volcánicos de Mariño, el método Olsen ($r = 0,66^{+}$) superó en eficiencia al método Bray II ($r = 0,59^{+}$), tendiendo a que también se observa en el presente estudio; pero

al plantearse la modificación a Bray II se invierten los papeles y esta metodología supera ampliamente la de Olsen, alcanzándose así uno de los objetivos de la presente investigación.

La explicación al incremento en eficiencia conseguida mediante la modificación propuesta a Bray II es necesario buscarla en los resultados ya discutidos en los capítulos anteriores.

Por una parte, los fosfatos de calcio no apatítico son los que más aportan a la nutrición fosfatada de la planta en los suelos estudiados (Tabla VI). Por otra parte, el método de Bray II es el que más drásticamente extrae los fosfatos de calcio apatítico (Tabla VI) los cuales no correlacionan con la absorción del fósforo por la planta ($P > 0,05$). Esto conduce a que el método Bray II extraiga un exceso de fósforo ligado al calcio, que no coincide con la extracción real del fósforo por la planta, circunstancia ésta que se refleja en una disminución de su eficiencia. Al disminuir la concentración del ácido clorhídrico de 0,1 N (Bray II original) a 0,05 N (Bray II modificado), la extracción de los fosfatos de calcio apatítico es menos drástica, tal como lo demuestra la menor correlación obtenida entre esa fracción y la extracción de fósforo por Bray II modificado, trayendo como consecuencia que la eficiencia del método se incrementa substancial y considerablemente.

Lo anterior es corroborado por el hecho de que la metodología Bray II fué la que extrajo significativamente ($P < 0,05$) mayores cantidades de fósforo (promedio 48 ppm), en comparación a la metodología Bray II modificado que extrajo las menores (promedio 28 ppm.) pero, al mismo tiempo, las más relacionadas con la extracción real de la planta. Esto lleva a la conclusión de que la metodología Bray II,

que viene siendo utilizada en los suelos andinos de Naríño, no está funcionando adecuadamente, como tampoco los niveles críticos sugeridos por el ICA (18), en base de esa metodología.

La modificación propuesta al método de Mehlich siguió en eficiencia a la modificación propuesta a la de Bray II, al considerar todos los suelos y los suelos fertilizados, pero su eficiencia disminuyó notoriamente al considerar los suelos no fertilizados (Tabla VII). Además, fué la única metodología que funcionó con eficiencia estadísticamente significativa ($r=0,76+$) en los suelos de clima medio. Esto probablemente está asociado con la menor concentración de fosfatos de calcio no apatítico en estos suelos (Tabla IX), lo cual significó que las metodologías que más correlacionaron con esa fracción (Cenicafé: $r=0,97++$) y Mehlich modificado: $r=0,94++$) hayan sido las más eficientes en ese grupo de suelos. Sin embargo, a este respecto hay que tener en cuenta que en este caso se consideraron tan solo 7 suelos, lo cual le resta significado a los resultados obtenidos para esa región.

Por último, el mejor comportamiento del método Cenicafé en los suelos fertilizados, probablemente se debe a la mayor correlación de éste con los fosfatos de calcio, cuyo aporte a la nutrición fosfatada de la planta parece aumentarse cuando se adiciona fósforo al suelo (4, 31). Con respecto a este método, hay que tener en cuenta que, además, su comportamiento siguió en eficiencia a Bray II modificado, al considerar todos los suelos.

La discusión anterior, al plantear una baja eficiencia del método Bray II para los suelos volcánicos de Naríño, supone el desarrollo de investigaciones tendientes a la calibra

ción de nuevos métodos con respuestas de diferentes cultivos en el campo. Esta calibración debe incluir básicamente la modificación propuesta a Bray II y a Mehlich, y el método Ceni café propuesto por López (23) para suelos volcánicos.

En la Tabla VIII se presentan los resultados de la interacción entre métodos de extracción. Como era de esperar, en razón de las características de las soluciones utilizadas, en todos los casos se presentaron correlaciones altamente significativas.

TABLA II

EXAMINADO POR LOS DIFERENTES METODOS (ppm.) Y FOSFORO ABSORBIDO POR LAS PLANTAS (mg./maceta) EN SUELOS FERTILIZADOS Y NO FERTILIZADOS (x)

ORDEN	BRAY II		OLSEN		BRAY II Mod.		CENICAFE		MEHLICH Mod.		*P ₄ ABSORBIDO	
	Fert.	No Fert.	Fert.	No Fert.	Fert.	No Fert.	Fert.	No Fert.	Fert.	No Fert.	Fert.	No Fert.
1	33.28	19.60	26.21	18.03	19.72	9.74	19.65	10.63	16.05	10.05	0.58	0.17
2	56.41	30.61	29.64	32.57	38.44	12.13	25.89	17.17	32.25	5.68	0.61	0.24
3	70.02	47.84	80.62	55.69	69.15	66.22	73.31	55.47	73.24	37.05	1.24	0.88
4	75.87	76.31	51.11	39.40	64.32	41.30	39.65	38.74	47.48	31.88	0.67	0.19
5	51.62	46.81	25.25	22.16	36.77	20.63	30.40	26.04	25.74	19.00	0.74	0.34
6	30.83	12.86	13.81	12.56	12.28	10.52	16.24	6.67	14.11	0.40	1.07	0.23
7	1.53	2.83	15.08	12.09	1.00	1.19	1.95	1.05	20.70	Trazas	0.04	0.03
8	82.48	68.59	34.12	49.71	58.27	33.17	58.43	29.48	70.38	21.09	1.16	0.55
9	38.33	17.88	35.86	17.34	18.57	8.38	15.06	6.73	30.28	6.30	0.31	0.22
10	155.18	70.07	51.03	30.33	73.62	26.15	53.80	38.87	57.58	39.34	0.63	0.19
11	195.35	120.20	68.72	60.88	88.01	77.16	107.47	70.18	116.40	65.23	0.90	0.65
12	26.31	10.19	27.73	21.56	14.16	2.69	15.98	7.10	11.94	1.57	0.50	0.22
13	157.01	93.56	108.44	93.01	66.99	59.58	147.93	115.04	132.49	106.65	1.12	0.49
14	27.97	8.52	40.36	26.17	19.82	2.36	18.77	7.74	23.46	6.55	0.59	0.20
15	34.51	21.48	11.10	9.59	30.32	11.17	32.53	10.64	35.99	1.78	0.51	0.10
16	45.25	20.15	25.64	21.77	17.89	7.84	23.95	12.43	29.91	13.27	0.77	0.47
17	27.97	8.46	20.99	12.50	22.56	4.68	16.18	6.39	20.26	7.68	0.33	0.09
18	10.04	11.29	14.30	10.87	5.88	3.28	7.65	4.60	12.45	3.12	0.45	0.24
19	15.13	8.06	5.40	2.27	9.82	1.87	13.86	5.21	10.90	2.71	0.62	0.27
20	57.57	32.27	23.22	20.85	32.55	20.54	20.07	13.98	26.49	3.99	0.57	0.10
X	59.63	36.38	35.43	28.47	35.01	21.03	36.94	24.21	40.41	19.17	0.67	0.29

(*) Se refiere a fertilización fosfatada.

TABLA III

VALORES DE "t" CALCULADOS PARA LA COMPARACION ENTRE PROMEDIOS DE EXTRACCION DE LOS
DIFERENTES METODOS (TODOS LOS SUELOS).

Métodos	MEHLICH MOD.	CENICAFE	BRAY II MOD.	OLSEN	BRAY II
BRAY II	2.09*	1.99*	2.46*	2.00N.S.	
OLSEN	0.34N.S.	0.21N.S.	0.71N.S.		
BRAY II MOD.	0.27N.S.	0.39N.S.			
CENICAFE	0.10N.S.				
MEHLICH MOD.					

* - Significativo al 5%.

N.S.- No significativo.

TABLA IV

VALORES DE "t" CALCULADOS PARA LA COMPARACION ENTRE PROMEDIOS DE EXTRACCION DE LOS
DIFERENTES METODOS (SUELOS NO FERTILIZADOS)".

Métodos	MEHLICH MOD.	CENICAFE	BRAY II MOD.	OLSEN	BRAY II
BRAY II	1,81 N.S.	1,24 N.S.	1,70 N.S.	0,89 N.S.	
OLSEN	1,20 N.S.	0,53 N.S.	1,05 N.S.		
BRAY II MOD.	0,23 N.S.	0,39 N.S.			
CENICAFE	0,58 N.S.				
MEHLICH MOD.					

" = Se refiere a fertilización fosfatada.

N.S.= No significativo.

TABLA V

VALORES DE "t" CALCULADOS PARA LA COMPARACION ENTRE PROMEDIOS DE EXTRACCION DE LOS
DIFERENTES METODOS (SUELOS FERTILIZADOS)^a.

Métodos	MEHLICH MOD.	CENICAFE	BRAY II MOD.	OLSEN	BRAY II
BRAY II	1,38 N.S.	1,59 N.S.	1,89 N.S.	1,86 N.S.	
OLSEN	0,52 N.S.	0,15 N.S.	0,05 N.S.		
BRAY II MOD.	0,56 N.S.	0,19 N.S.			
CENICAFE	0,31 N.S.				
MEHLICH MOD.					

^a = Se refiere a fertilización fosfatada.

N.S. = No significativo.

^b = Se refiere a fertilización fosfatada.

+ = Significativo al 5%

++ = Significativo al 1%

+++ = No significativo.

TABLA VI

EFICIENTES DE CORRELACION (r) Y PORCENTAJES DE ASOCIACION (R²) ENTRE EL FOSFORO ABSORBIDO POR LA PLANTA, METODOS DE EXTRACCION Y FRACCIONES DE FOSFORO.
(SUELOS FERTILIZADOS)".

	P-fácilmente reemplazable	P-Ca, no apatítico	P-Ca, apatítico	P-Aluminio	P-Hierro
"P" ABSOR.	r 0,53 [†] R ² 28,74	0,69 ^{††} 48,59	0,29 N.S. 8,69	-0,11 N.S. 1,40	0,02 N.S. 0,08
BRAY II	r 0,57 ^{††} R ² 33,40	0,84 ^{††} 71,72	0,74 ^{††} 55,00	0,12 N.S. 1,55	0,28 N.S. 8,32
OLSEN	r 0,78 ^{††} R ² 60,95	0,88 ^{††} 77,48	0,69 ^{††} 47,93	0,26 N.S. 6,74	0,27 N.S. 7,72
BRAY II MOD.	r 0,52 [†] R ² 27,30	0,80 ^{††} 63,80	0,69 ^{††} 47,91	0,003 N.S. 0,001	0,16 N.S. 2,59
CENICAFE	r 0,87 ^{††} R ² 75,02	0,97 ^{††} 94,48	0,72 ^{††} 51,73	0,16 N.S. 2,73	0,19 N.S. 3,50
MENLICH MOD.	r 0,81 ^{††} R ² 66,44	0,94 ^{††} 89,52	0,71 ^{††} 50,04	0,14 N.S. 1,96	0,20 N.S. 4,14

" = Se refiere a fertilización fosfatada
† = Significativo al 5%
†† = Significativo al 1%
N.S. = No significativo.

TABLA VII

COEFICIENTES DE CORRELACION (r) Y PORCENTAJES DE ASOCIACION (R²) ENTRE LA EXTRACCION DE FOSFORO APROVECHABLE Y LA ABSORCION DE FOSFORO POR LA PLANTA, PARA LOS DIFERENTES GRUPOS DE SUELOS

Métodos	FERTILIZADO		NO FERTILIZADO		ALTIPLANO		CLIMA MEDIO		TODOS LOS SUELOS	
	r	R ²	r	R ²	r	R ²	r	R ²	r	R ²
BRAY II	0,52 ⁺	27,56	0,57 ⁺⁺	32,76	0,55 ⁺	30,65	0,51 ^{N.S.}	26,71	0,57 ⁺⁺	33,05
OLSEN	0,57 ⁺⁺	33,34	0,68 ⁺⁺	47,05	0,57 ⁺	33,36	0,31 ^{N.S.}	9,95	0,57 ⁺⁺	33,05
GENICAFE	0,67 ⁺⁺	45,23	0,62 ⁺⁺	39,48	0,68 ⁺⁺	46,52	0,62 ^{N.S.}	38,92	0,63 ⁺⁺	40,40
BRAY II MOD.	0,61 ⁺⁺	37,40	0,76 ⁺⁺	57,89	0,69 ⁺⁺	48,49	0,41 ^{N.S.}	17,49	0,68 ⁺⁺	46,24
MENLICH MOD.	0,61 ⁺⁺	37,40	0,57 ⁺⁺	32,65	0,62 ⁺	39,15	0,76 ⁺	58,01	0,65 ⁺⁺	42,49

+ = Significativo al 5%

++ = Significativo al 1%

N.S. = No significativo.

TABLA VIII

COEFICIENTES DE CORRELACION (r) Y PORCENTAJES DE ASOCIACION (R²) ENTRE EL FOSFORO APROVECHABLE EXTRAIDO POR LOS DIFERENTES METODOS (TODOS LOS SUELOS).

Método	MEHLICH MOD.		CENICAFE		BRAY II MOD.		OLSEN		BRAY II	
	r	R ²	r	R ²	r	R ²	r	R ²	r	R ²
BRAY II	0.88**	77.68	0.87**	75.22	0.90**	80.87	0.79**	61.94		
OLSEN	0.88**	78.39	0.92**	84.37	0.82**	66.99				
BRAY II MOD.	0.85**	73.50	0.85**	72.53						
CENICAFE	0.91**	94.40								
MEHLICH MOD.										

** - Significativo al 1%.

FOSFORO ABSORCION - mg / muestra
TABLA IX

FORMAS DE FOSFORO EN LOS SUELOS ESTUDIADOS (ppm.).

REGION	SUELO	P-fácilmente reemplazable	P-Ca. no apatítico	P-Ca. apatítico	P-Aluminio	P-hierro
ALTIPLANO DE PASTO	Angenoy	3,27	13,42	47,16	204,27	149,48
	Aranda	5,61	18,30	42,68	106,08	149,21
	Botana	17,13	121,58	53,38	88,17	155,33
	Catambuco	10,18	55,19	44,01	82,30	155,84
	Cujacal	1,64	30,59	38,60	88,27	149,32
	Cenoy	1,94	51,71	27,28	63,08	144,16
	K-10 Chechag. Trazas	17,17	0,69	33,28	121,87	195,06
	La Estrella	6,87	71,55	39,61	72,95	136,56
	La Laguna	0,26	26,82	41,51	135,86	158,15
	Obonuco	18,42	92,37	57,76	109,54	198,18
	Tangus	6,83	156,52	57,56	75,38	140,19
	Toro Bajo	62,44	10,07	34,71	70,32	167,88
	Yacuanquer		212,79	68,04	170,90	180,71
CLIMA MEDIO	Bombón	4,23	28,04	38,47	66,72	101,03
	Consacá	11,77	43,76	34,96	57,78	106,15
	El Ingenio	0,65	18,09	36,30	79,50	197,57
	La Florida	0,70	13,80	47,88	65,69	110,71
	Nariño	2,50	13,26	42,72	112,68	118,96
	Sandoná	6,40	40,04	36,07	69,57	137,95
	Tambo	10,88	21,40	59,49	150,02	164,61

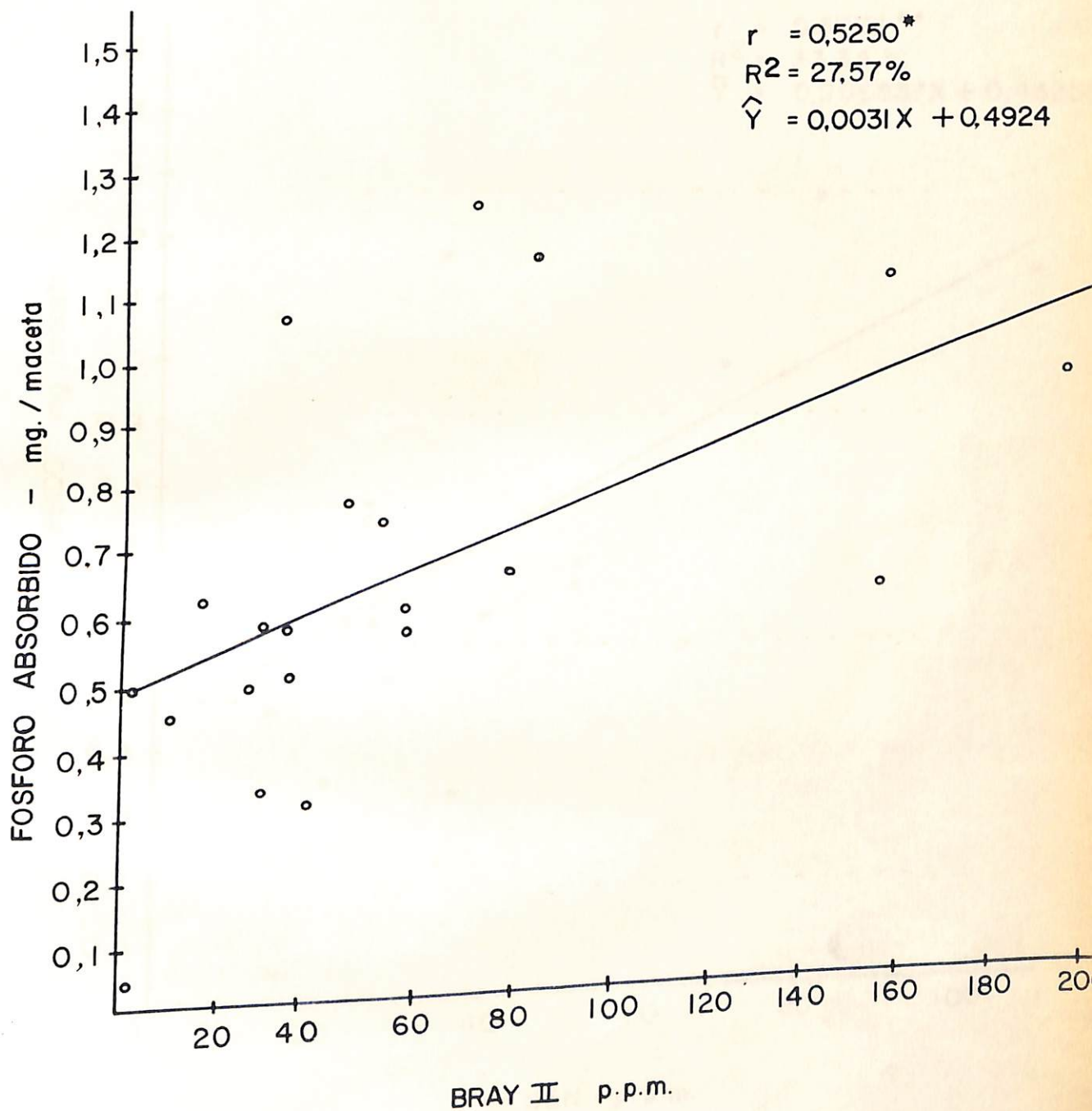


Fig. -I- Relación entre el fósforo absorbido y el fósforo aprovechable extraído por el método BRAY II en los suelos fertilizados.

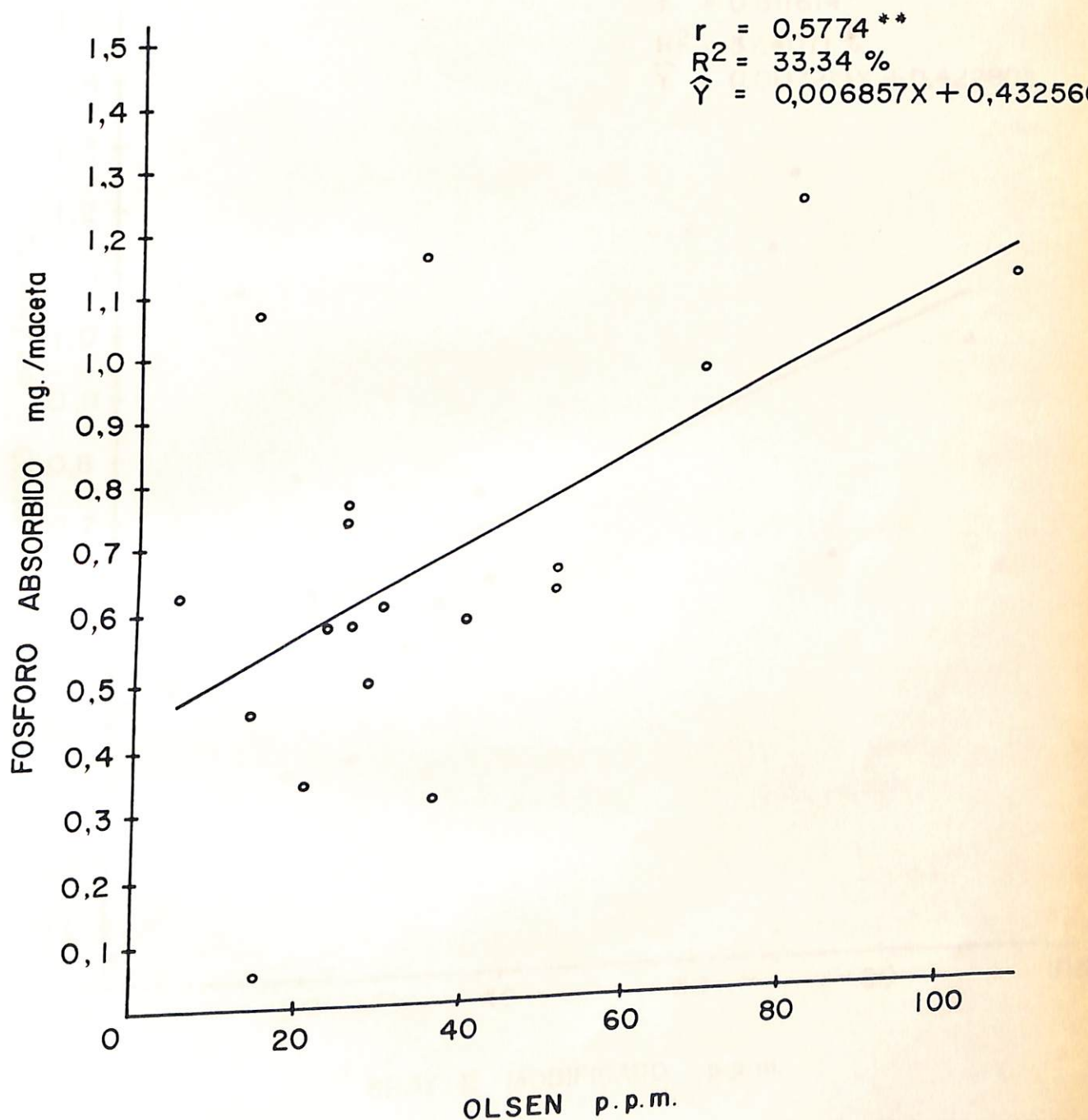


Fig.-2- Relación entre el fósforo absorbido y el fósforo aprovechable extraído por el método OLSEN en suelos fertilizados

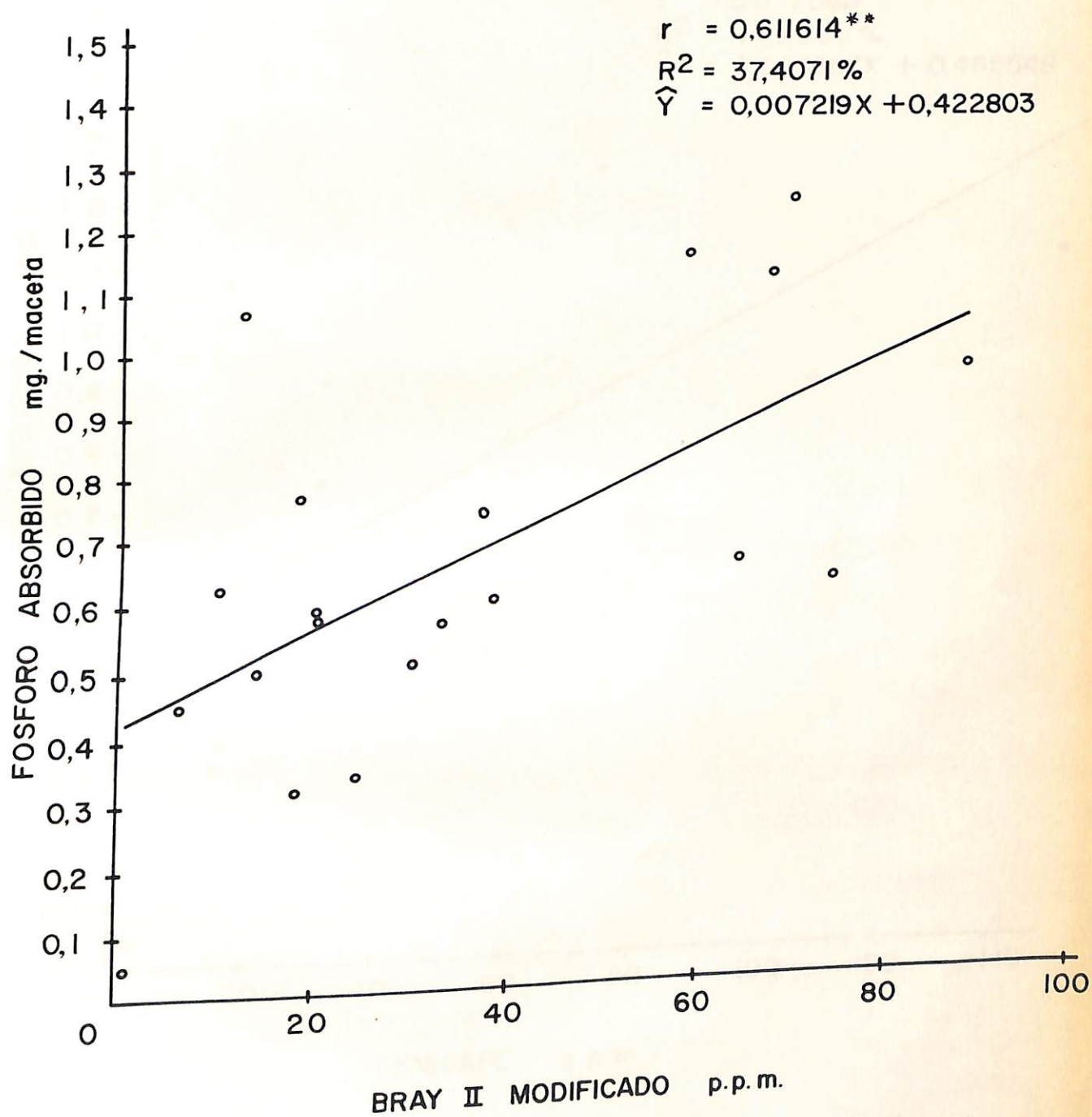


Fig.-3- Relación entre el fósforo absorbido y el fósforo aprovechable extraído por el método BRAY II MODIFICADO en suelos fertilizados.

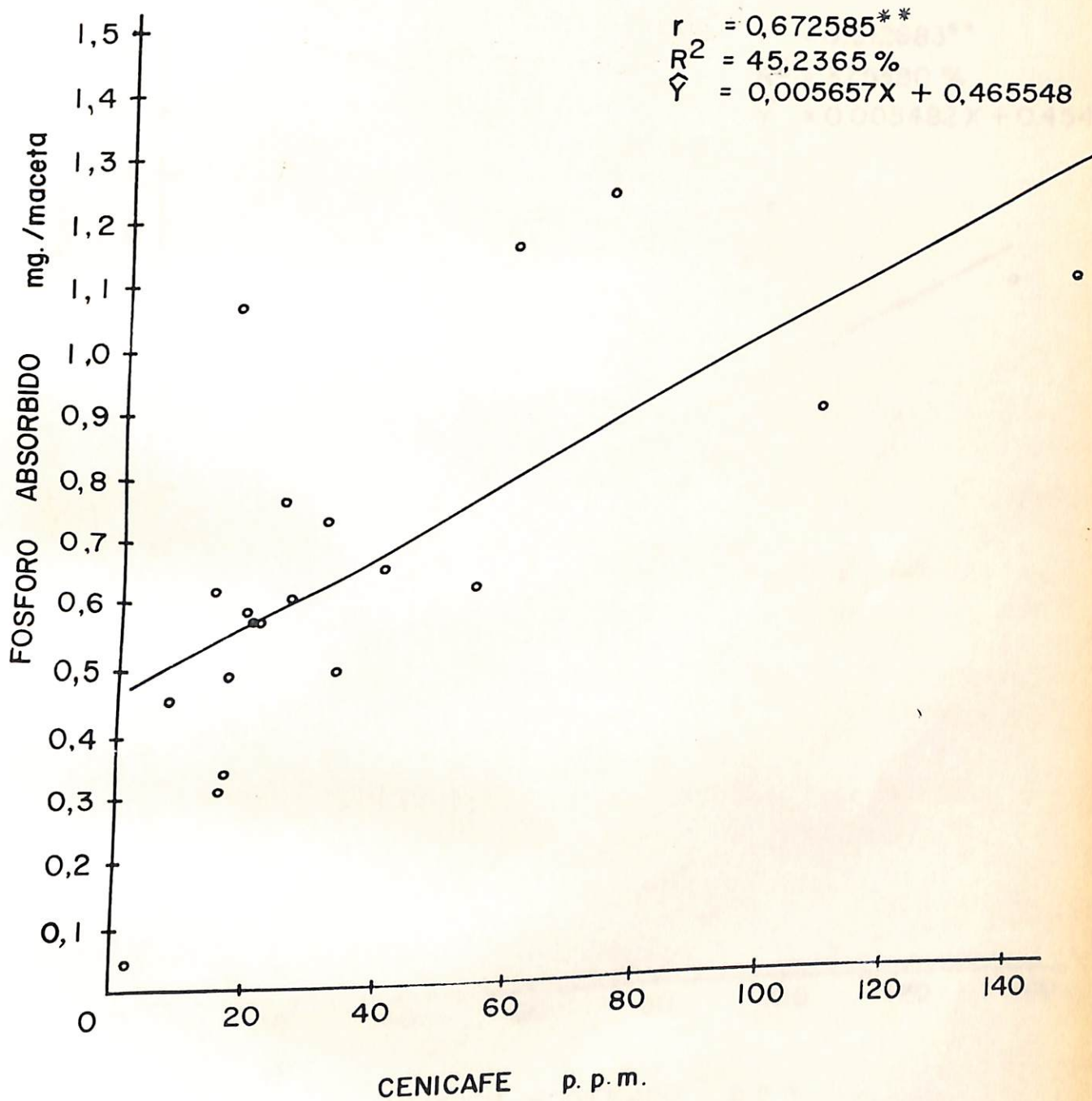


Fig. - 4- Relación entre el fósforo absorbido y el fósforo aprovechable extraído por el método CENICAFE en suelos fertilizados.

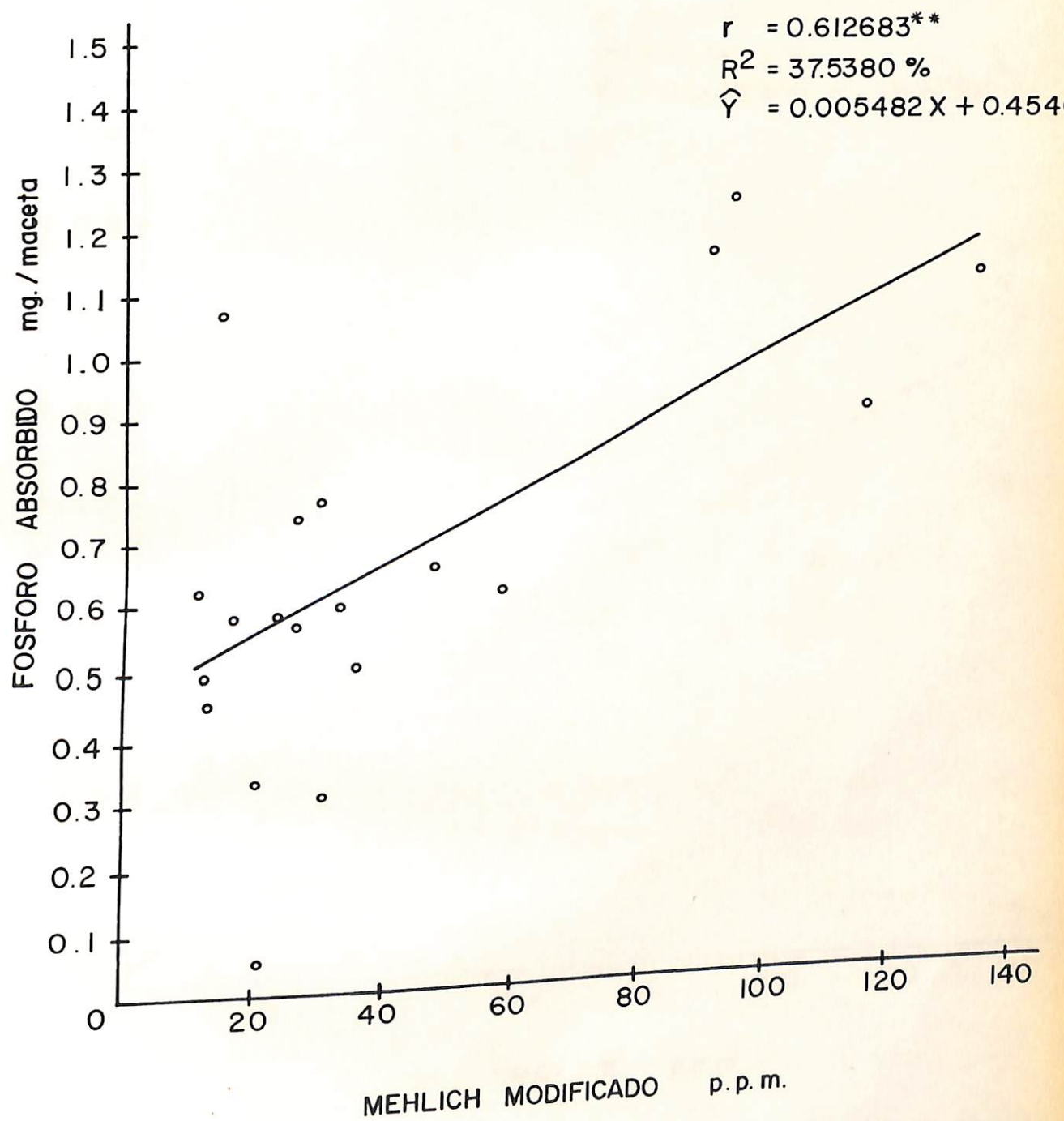


Fig.-5- Relación entre el fósforo absorbido y el fósforo aprovechable extraído por el método MEHLICH MODIFICADO en suelos fertilizados.

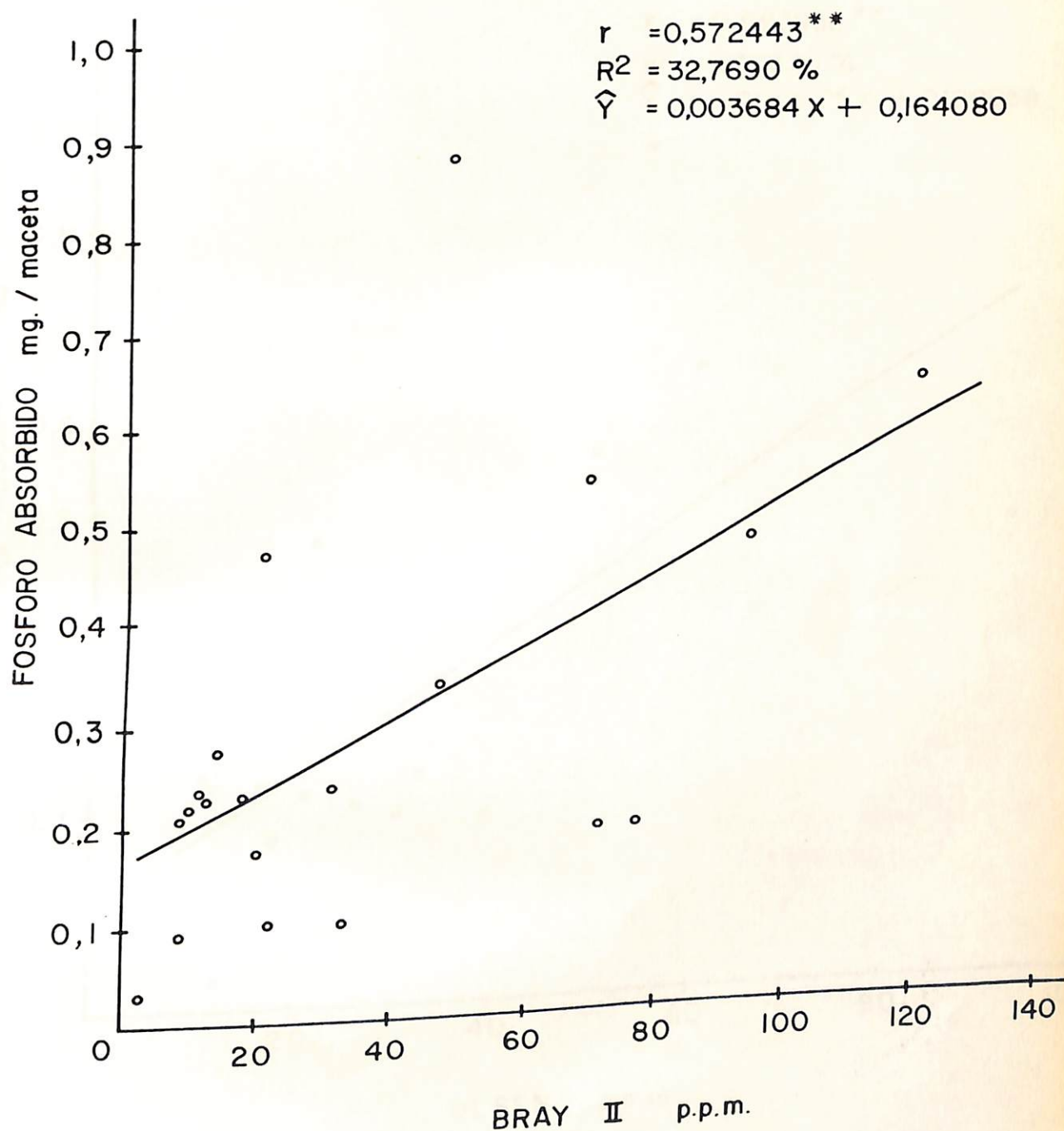


Fig. - 6 - Relación entre el fósforo absorbido y el fósforo aprovechable extraído por el método BRAY II en los suelos no fertilizados.

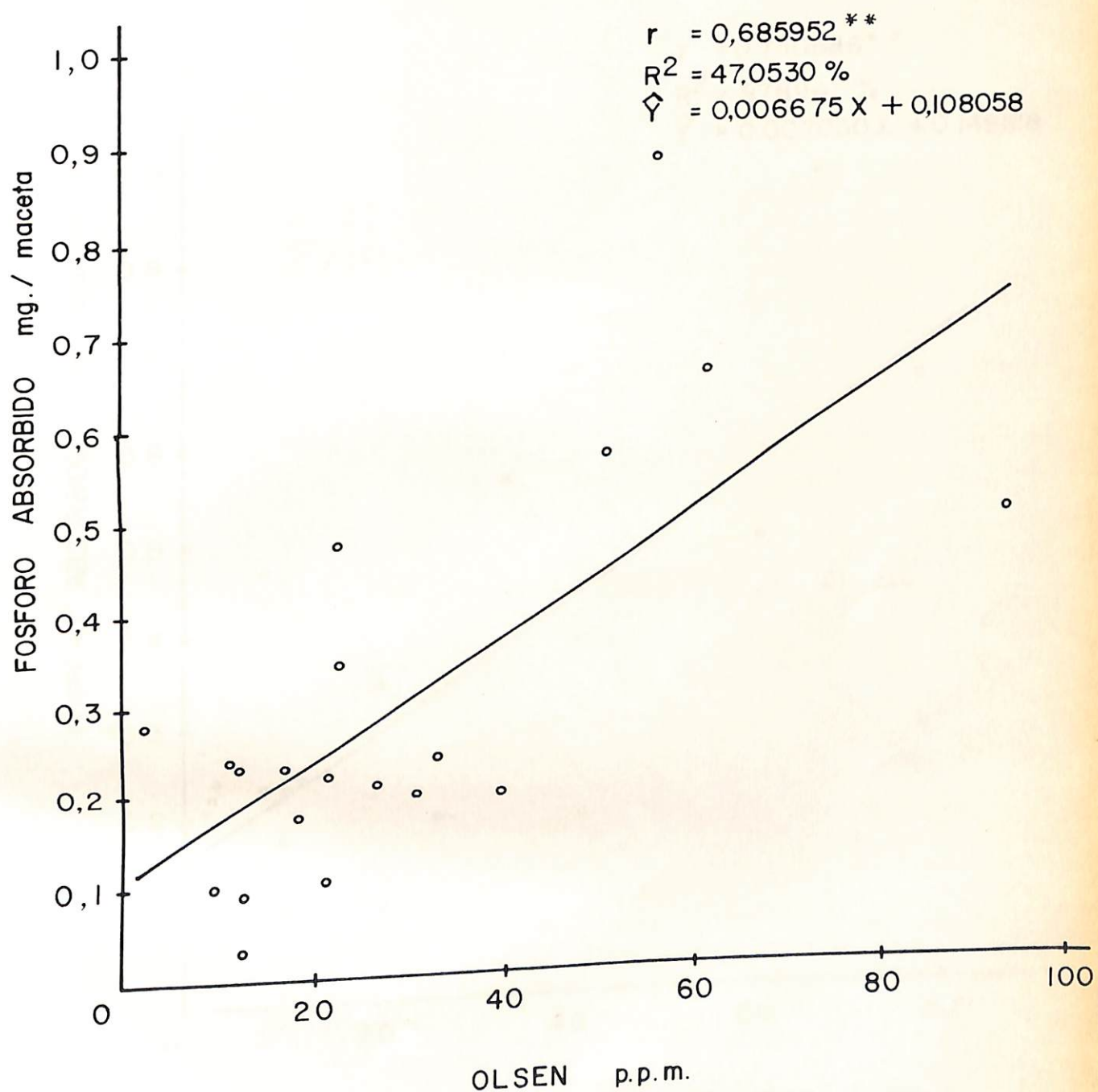


Fig.-7- Relación entre el fósforo absorbido y el fósforo aprovechable extraído por el método OLSEN en los suelos no fertilizados.

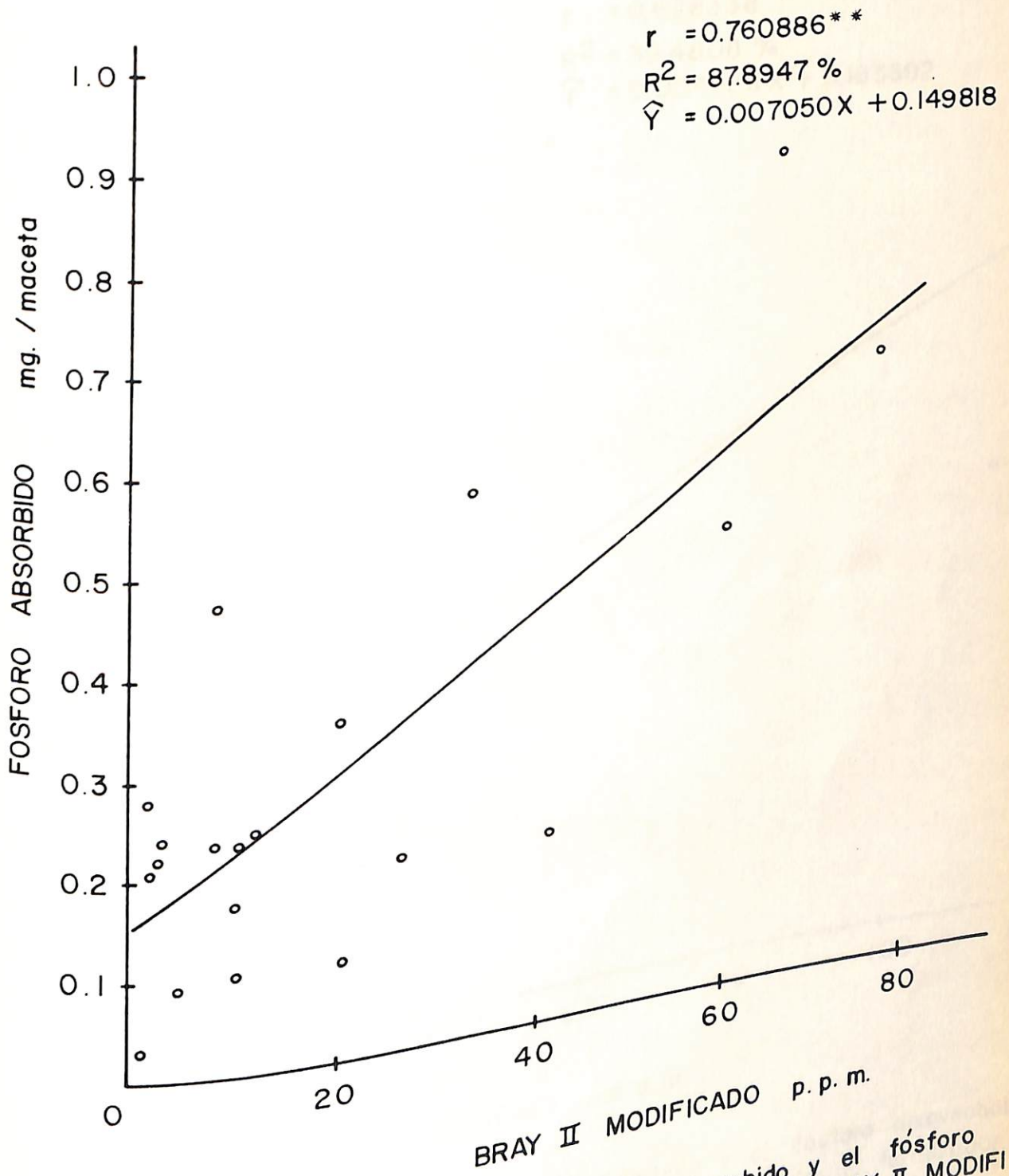


Fig. -8- Relación entre el fósforo absorbido y el fósforo aprovechable extraído por el método BRAY II MODIFICADO en los suelos no fertilizados.

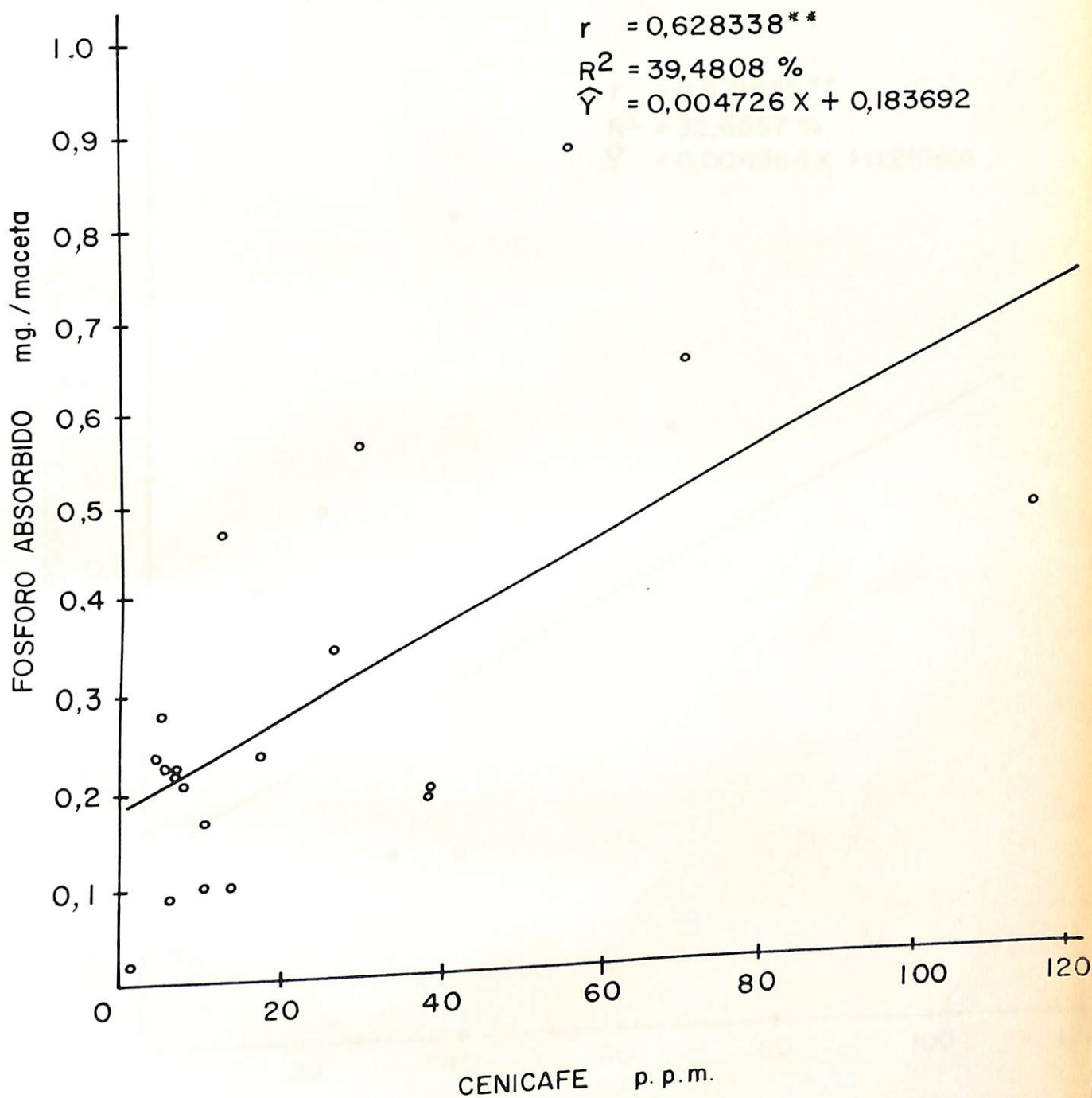


Fig.- 9 - Relación entre el fósforo absorbido y el fósforo aprovechable extraído por el método CENICAFE en suelos no fertilizados.

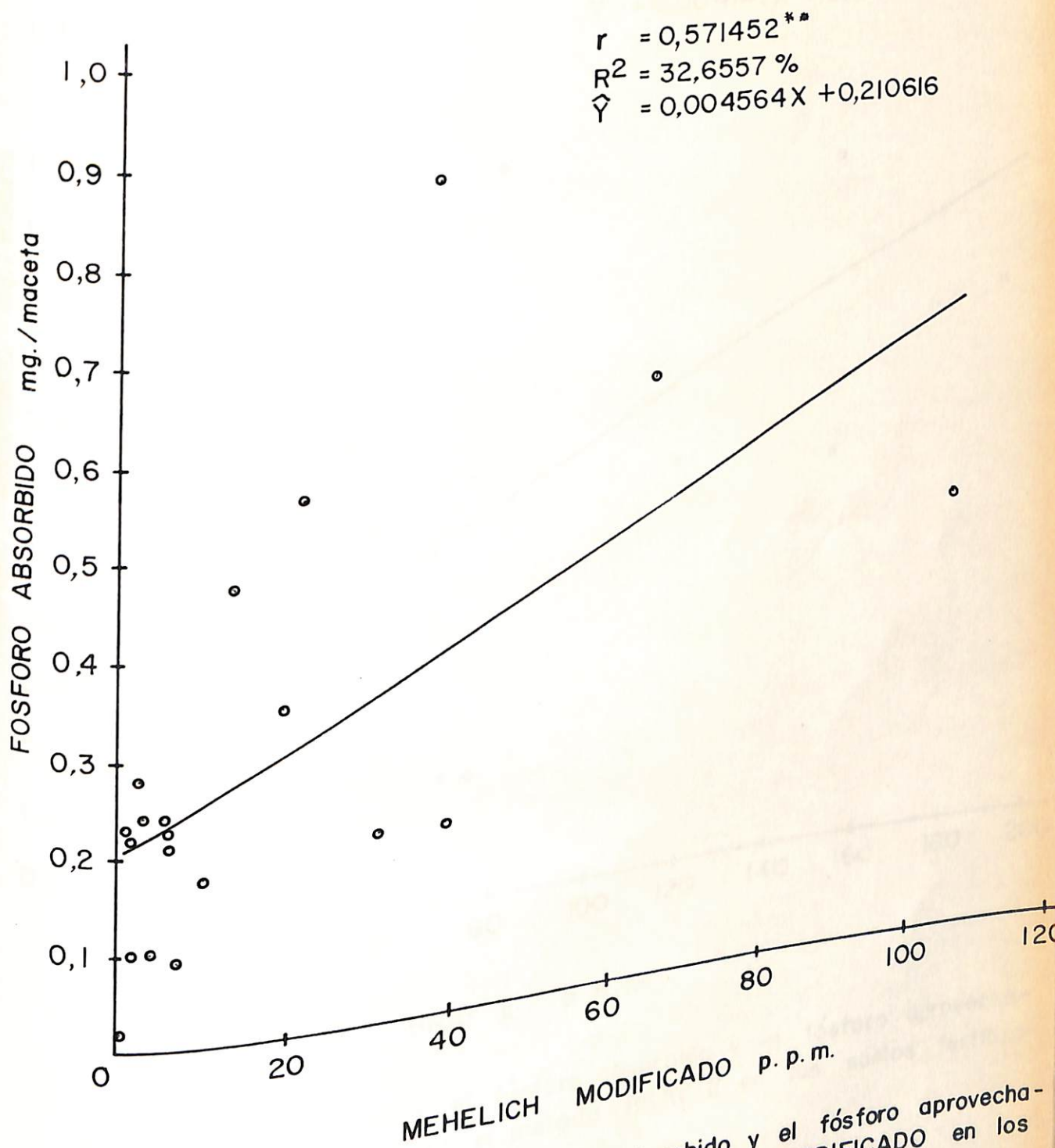


Fig.-10- Relación entre el fósforo absorbido y el fósforo aprovechable extraído por el método MEHLICH MODIFICADO en los suelos no fertilizados.

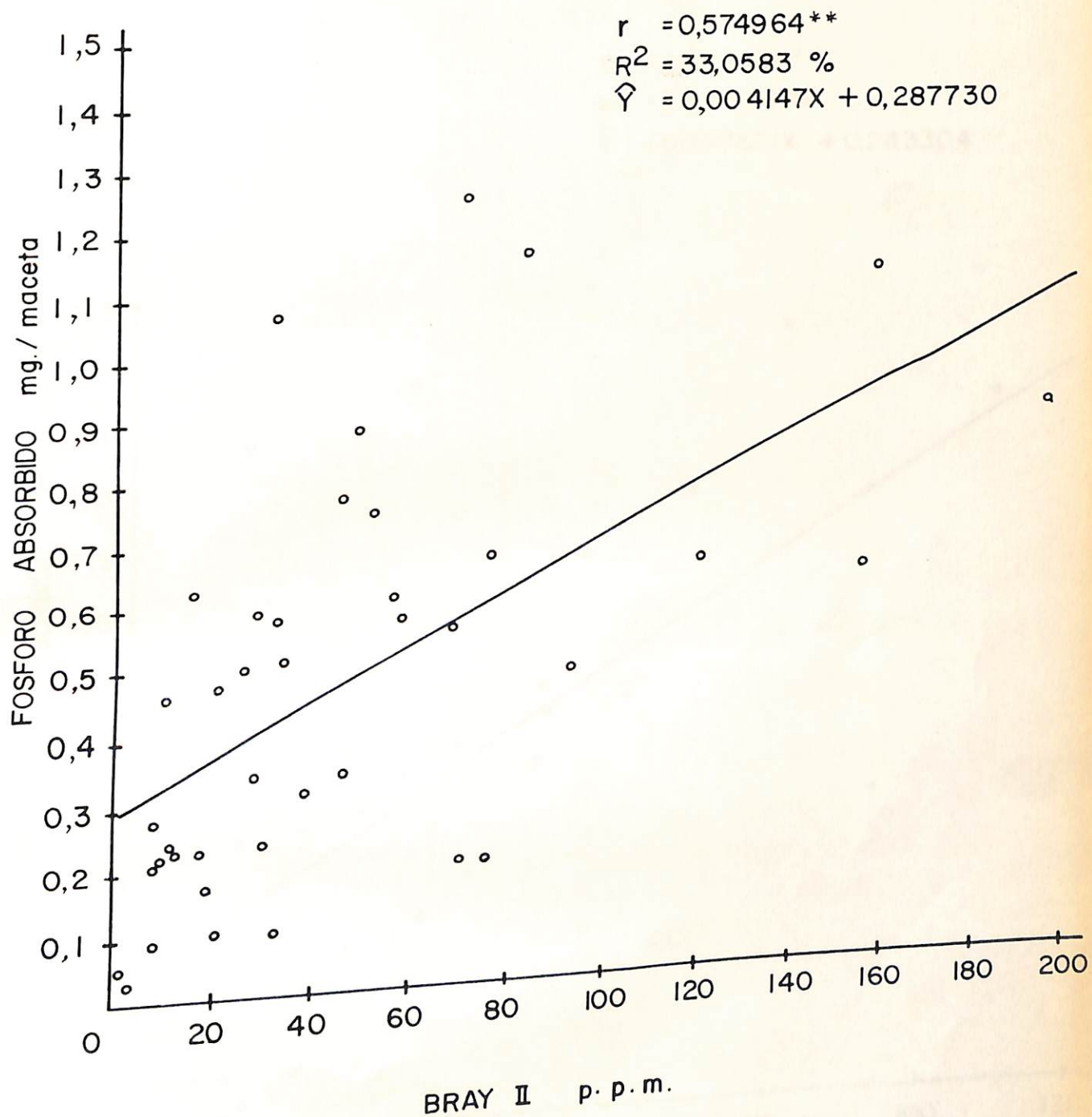


Fig.-II- Relación entre el fósforo absorbido y el fósforo aprovechable extraído por el método BRAY II en los suelos fertilizados y no fertilizados.

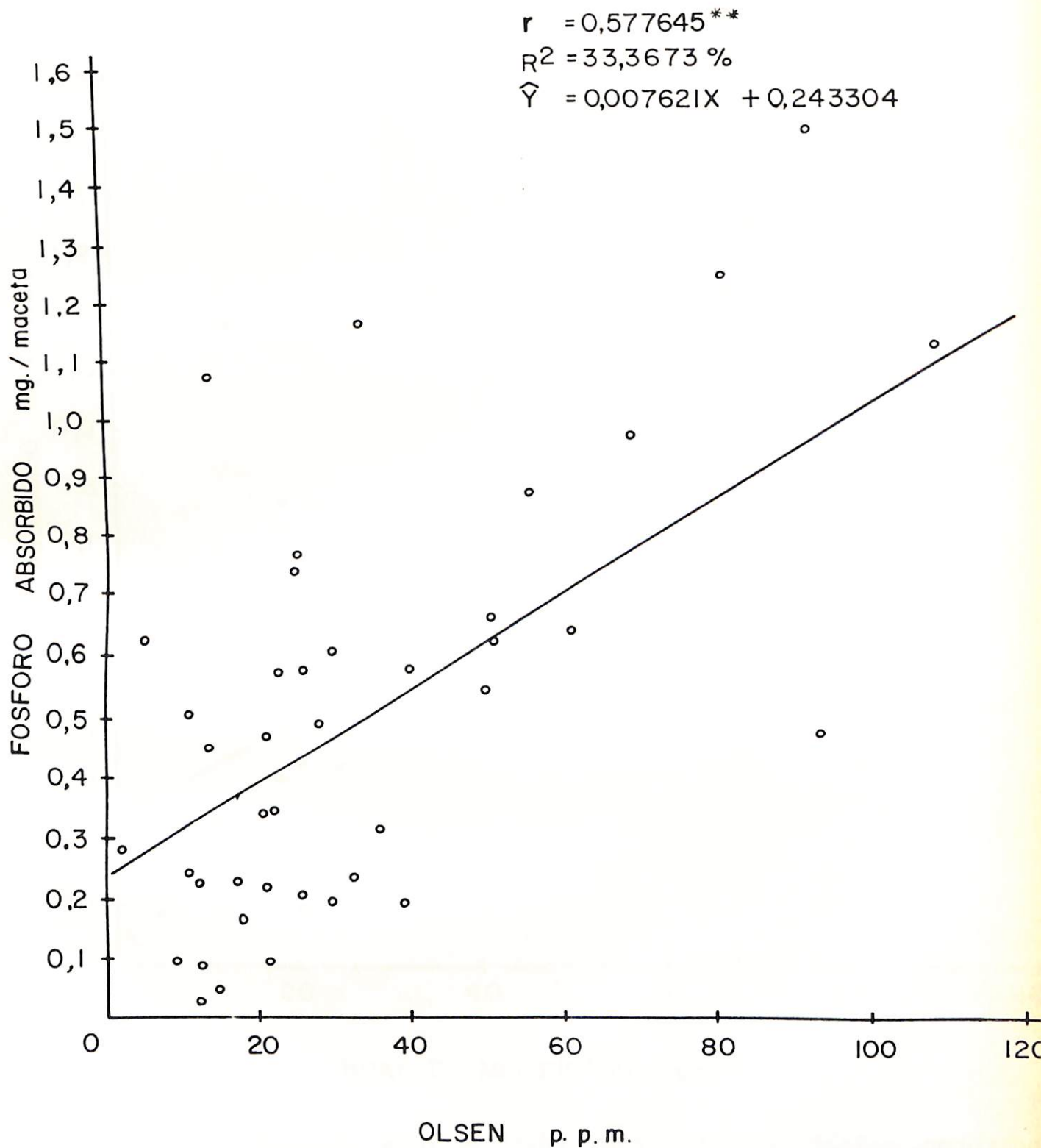


Fig.-12- Relación entre el fósforo absorbido y el fósforo aprovechable extraído por el método OLSEN en los suelos fertilizados y no fertilizados.

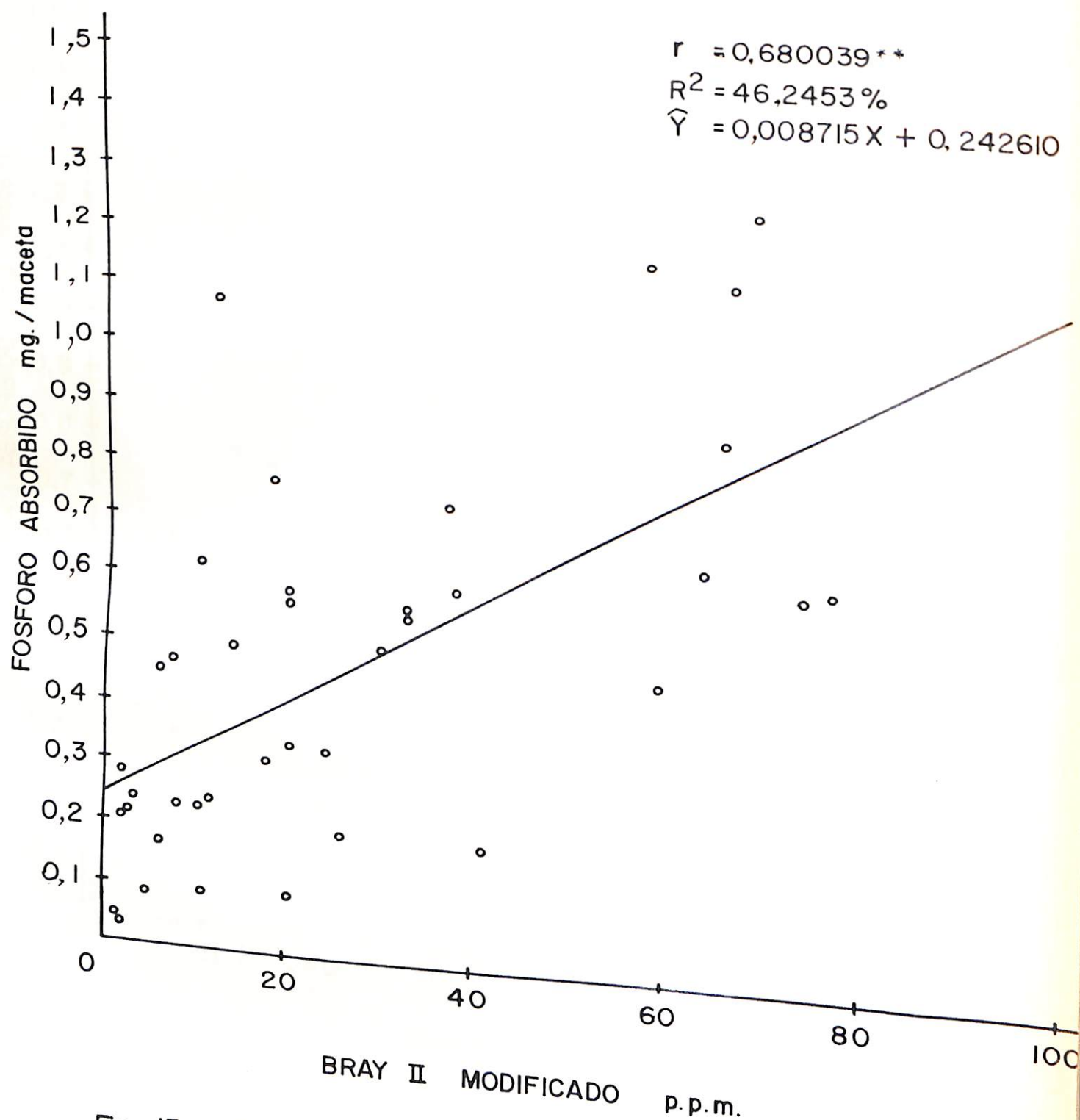


Fig.-13- Relación entre el fósforo absorbido y el fósforo aprovechable extraído por el método BRAY II MODIFICADO en los suelos fertilizados y no fertilizados.

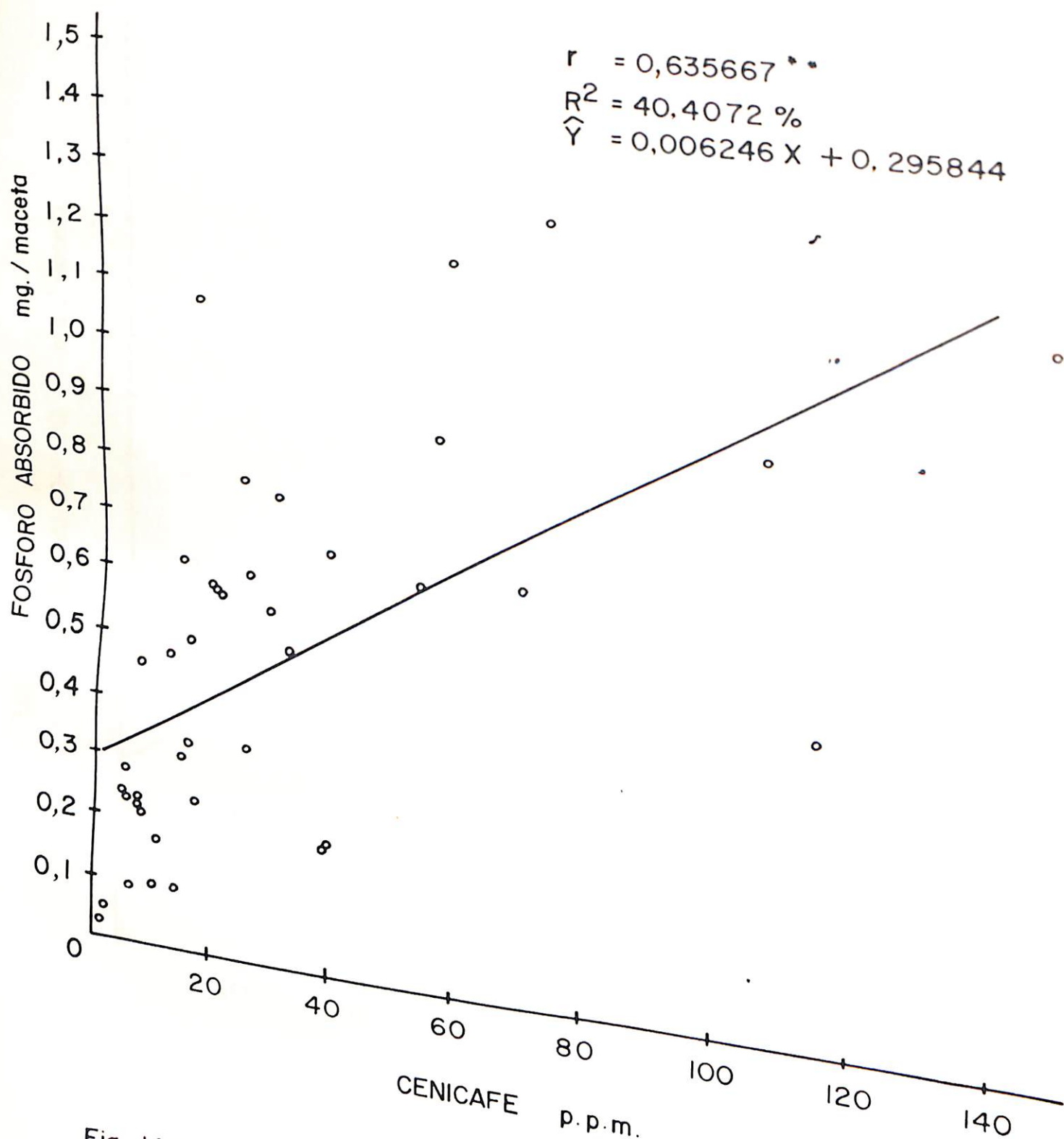


Fig.-14- Relación entre el fósforo absorbido y el fósforo aprovechable extraído por el método CENICAFE, en los suelos fertilizados y no fertilizados.

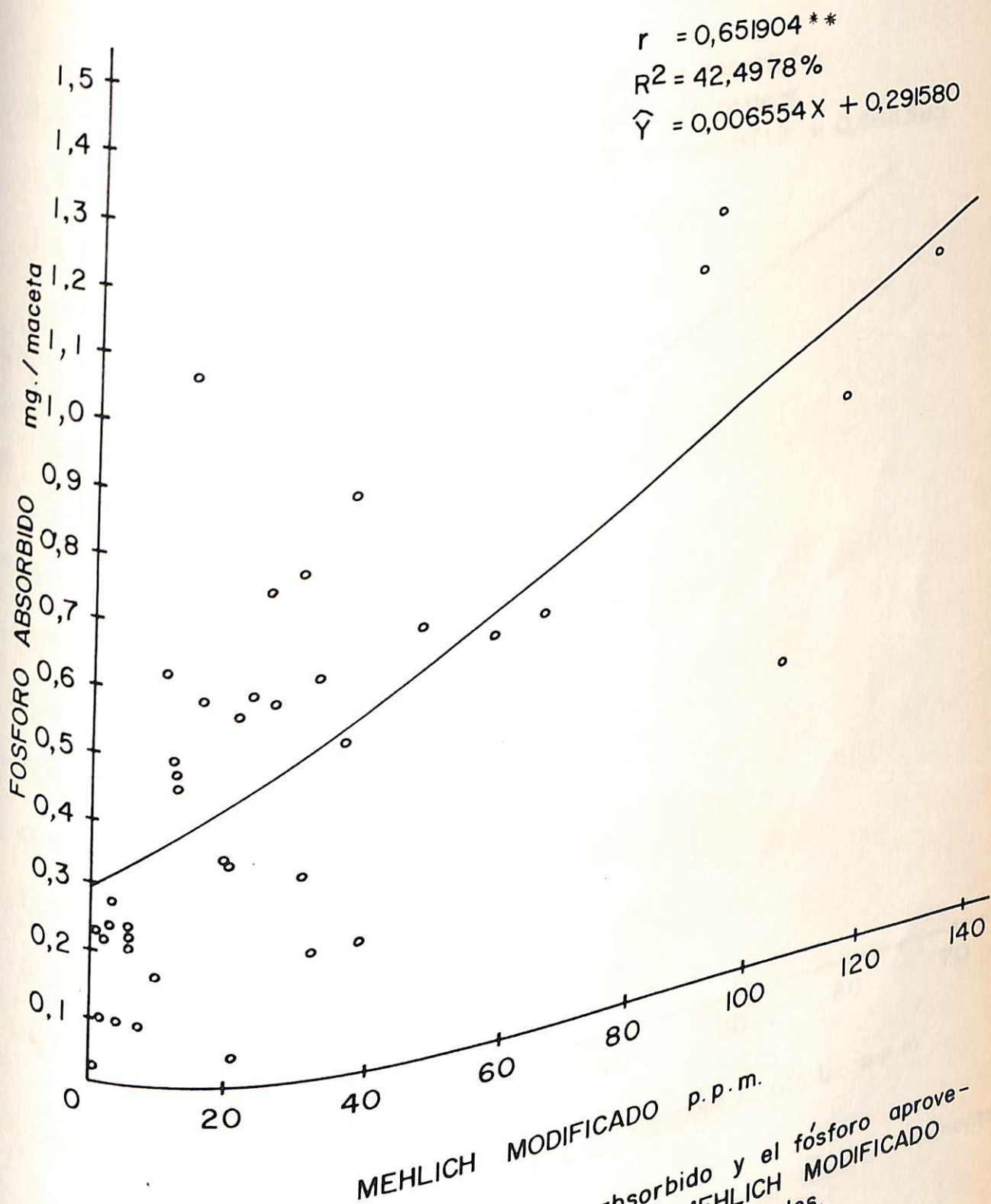


Fig.-15- Relación entre el fósforo absorbido y el fósforo aprovechable extraído por el método MEHLICH MODIFICADO en los suelos fertilizados y no fertilizados.

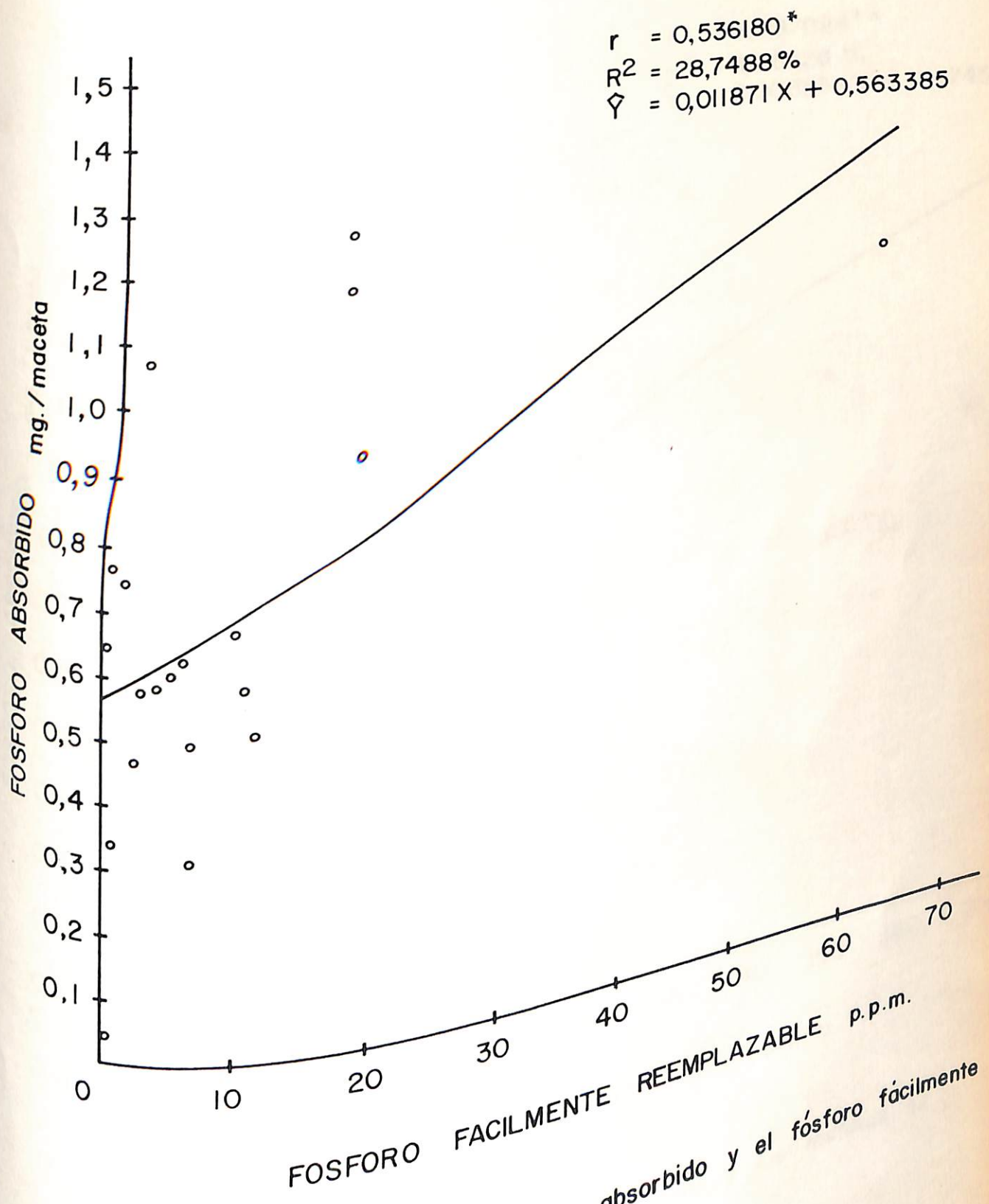


Fig.- 16- Relación entre el fósforo absorbido y el fósforo fácilmente reemplazable.

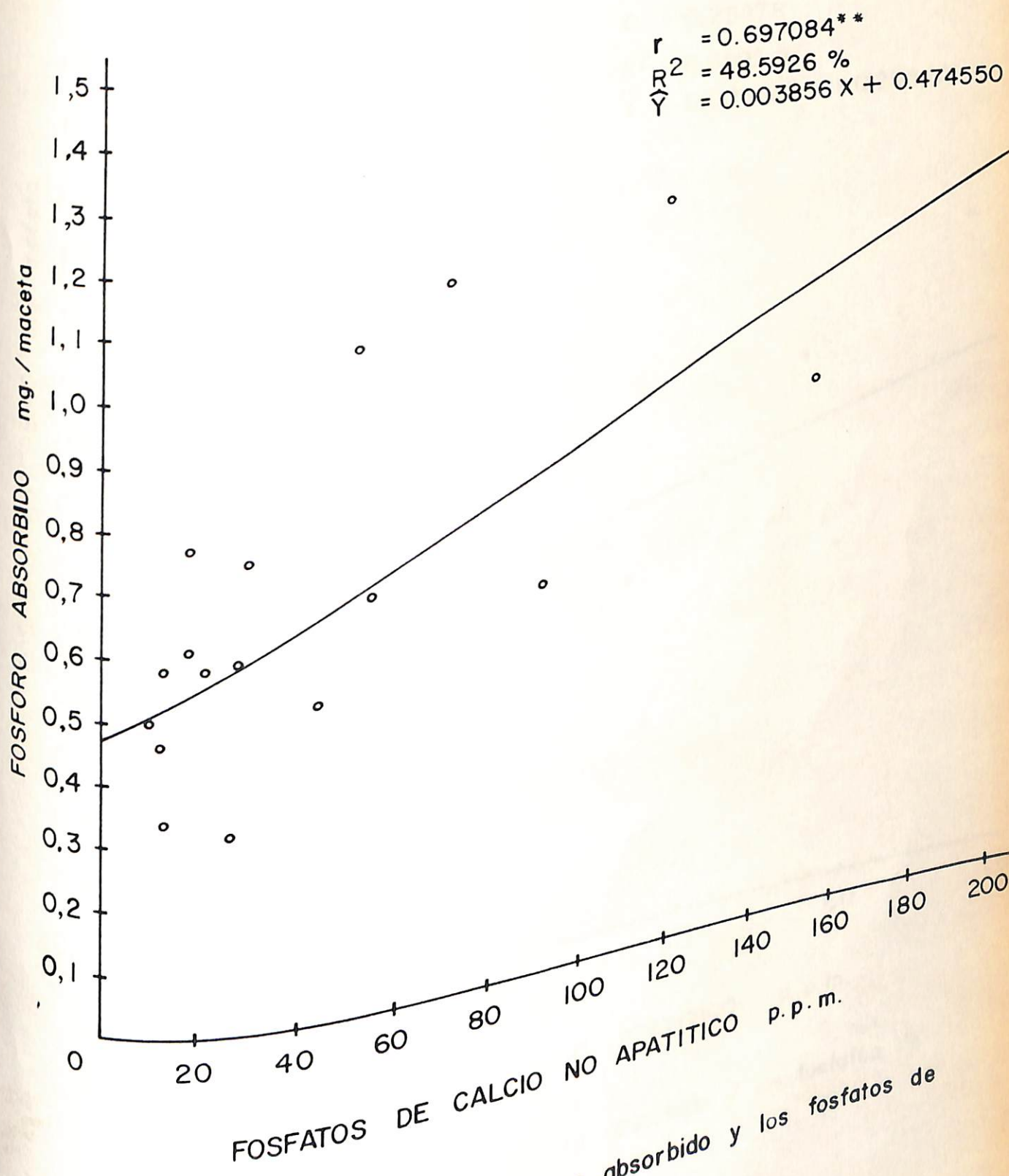


Fig.-17- Relación entre el fósforo absorbido y los fosfatos de calcio no apatítico.

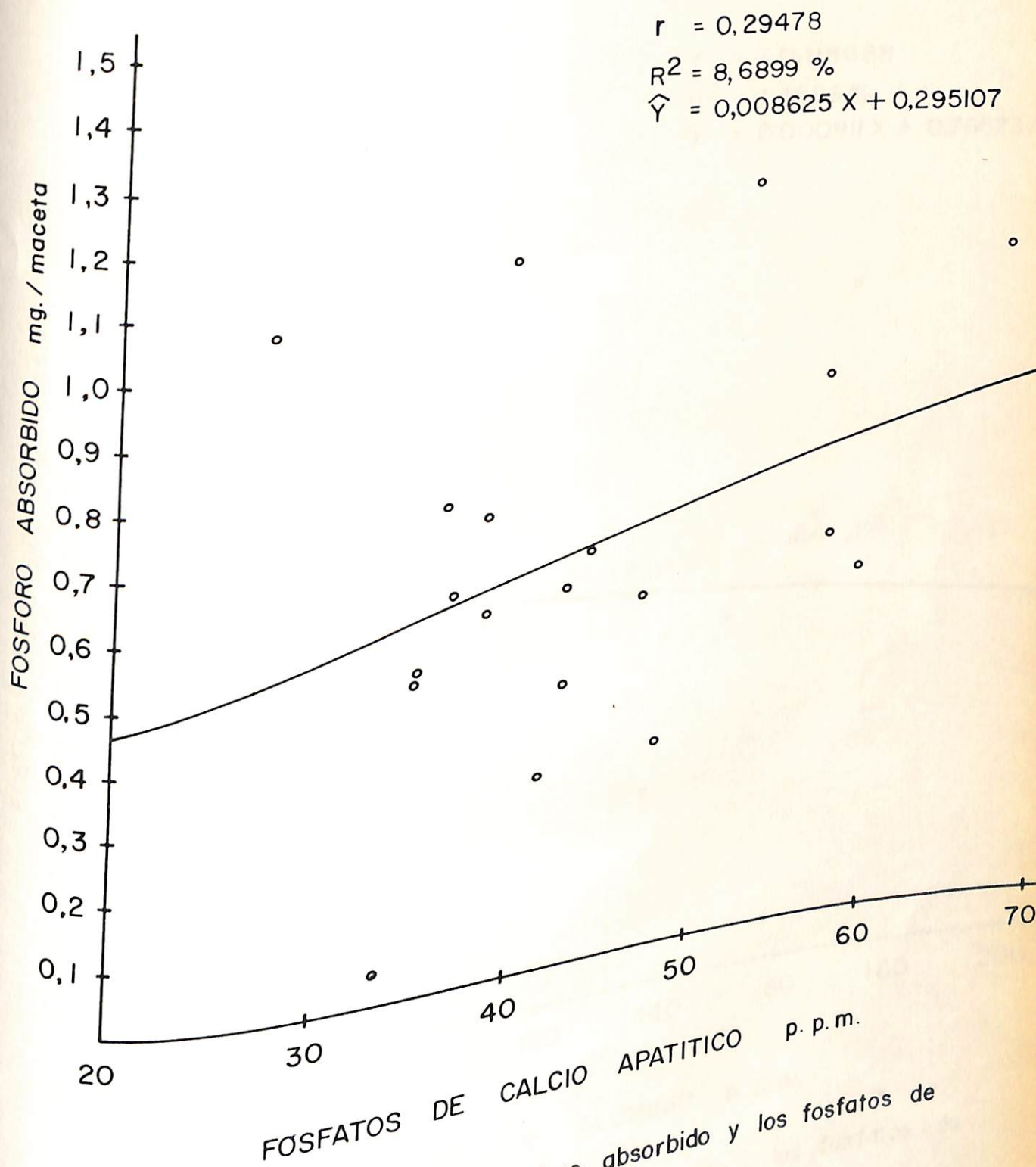


Fig. - 18- Relación entre el fósforo absorbido y los fosfatos de calcio apatítico.

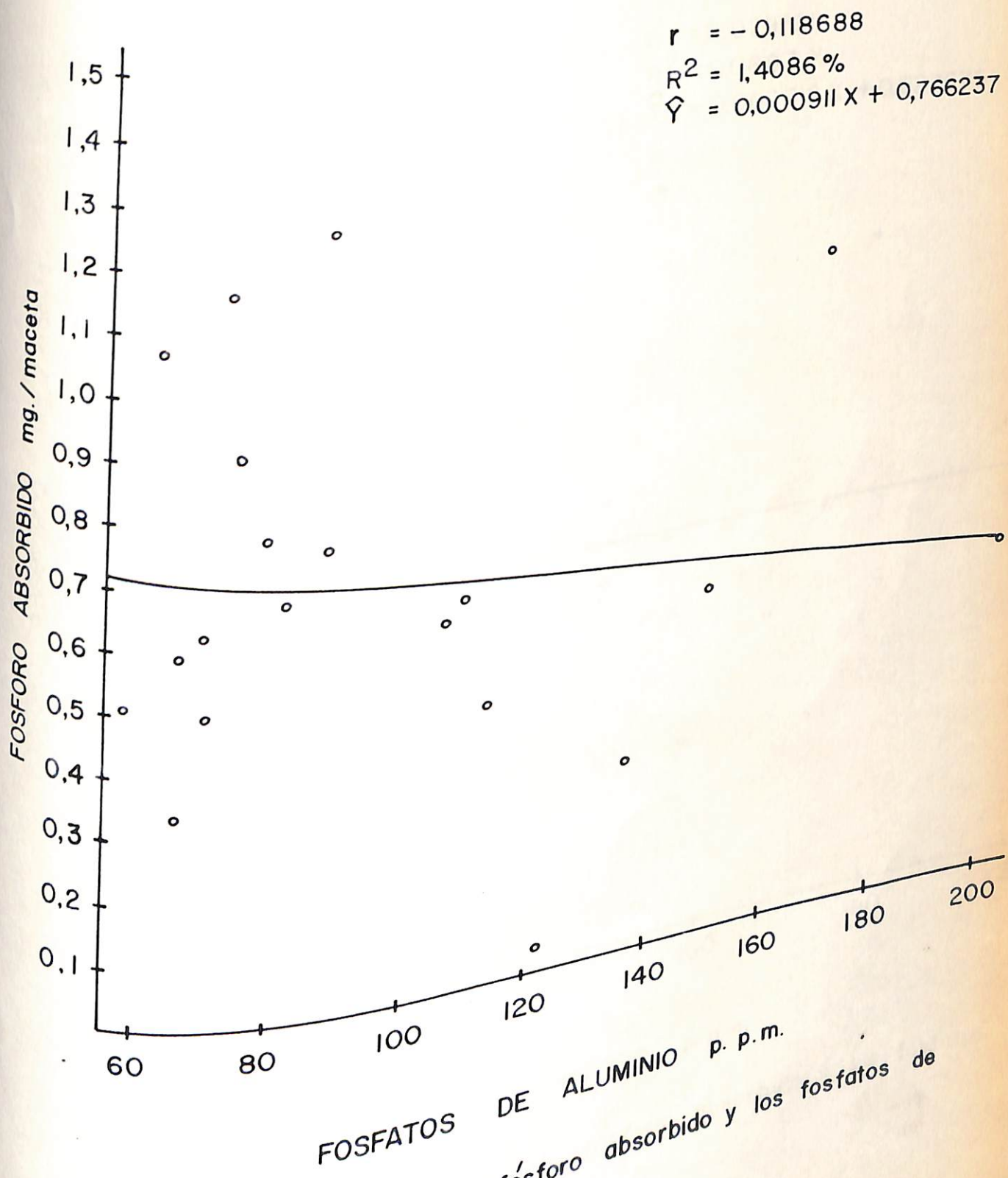


Fig. - 19 - Relación entre el fósforo absorbido y los fosfatos de aluminio.

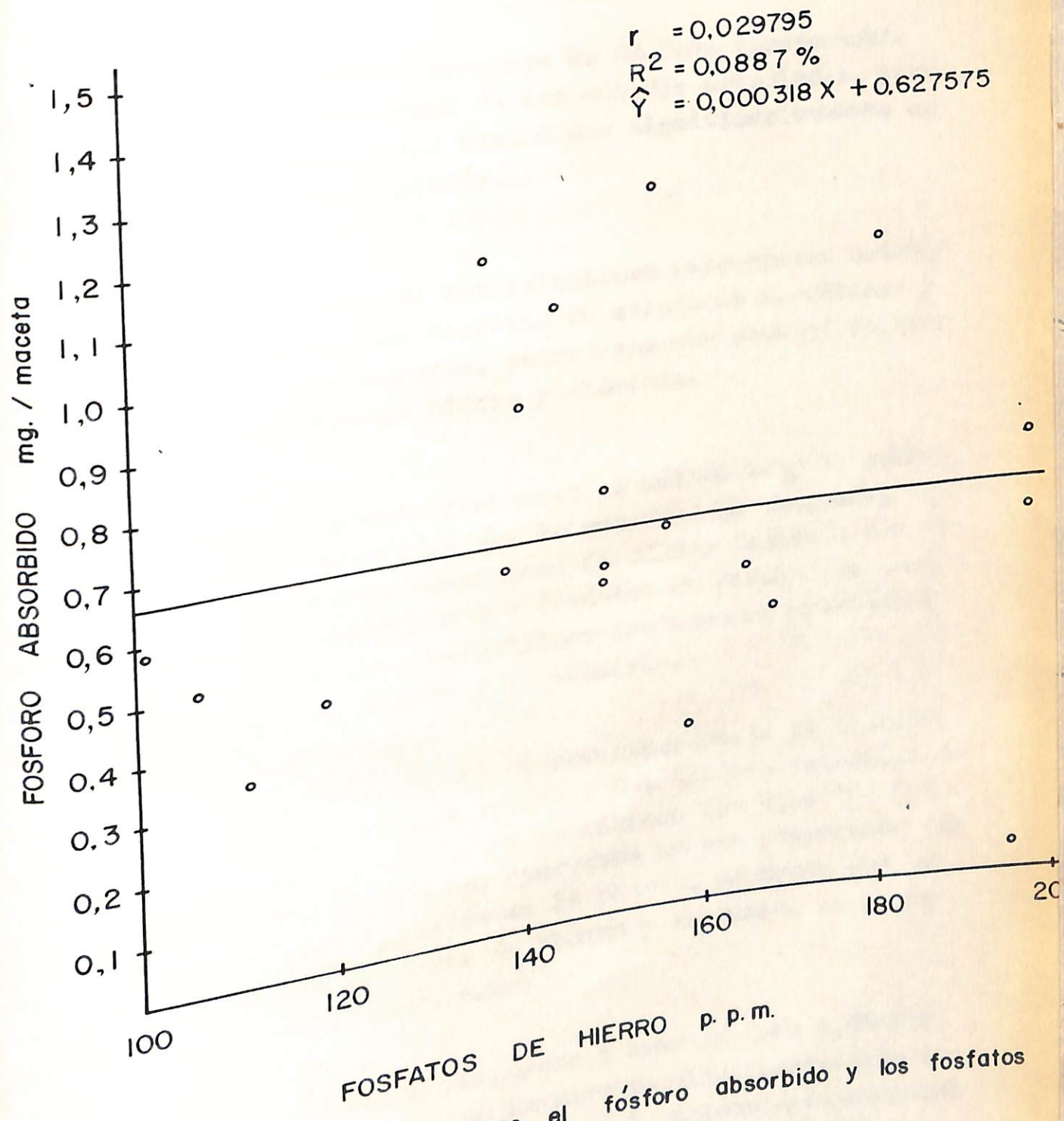


Fig. - 20 - Relación entre el fósforo absorbido y los fosfatos de hierro.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. La capacidad extractora de fósforo aprovechable fué relativamente homogénea en los métodos estudiados, pero Bray II o Olsen extrajeron cantidades significativamente superiores que los demás métodos.
2. La totalidad de las soluciones extractoras solubilizaron intensamente los fosfatos de calcio no apatíticos y apatíticos. Por el contrario, extrajeron muy poco el fósforo ligado a los fosfatos de hierro y aluminio.
3. La modificación propuesta al método Bray II solubilizó con menor intensidad que la metodología original, el fósforo unido al calcio apatítico. El método Cenicafé fué el que más correlacionó con los fosfatos de calcio, en tanto que el Olsen tiende a solubilizar las mayores cantidades del fósforo unido al hierro y al aluminio.
4. La planta se nutrió directamente desde la fracción fácilmente reemplazable ($r = 0,53^+$) y del fósforo solubilizado desde los fosfatos de calcio no apatíticos ($r = 0,69^{++}$). Los fosfatos de calcio apatíticos aportaron en una proporción muy baja a la nutrición fosfatada de la planta, en tanto que la contribución de los fosfatos de hierro y aluminio, al mismo proceso, fué prácticamente nula.
5. La modificación propuesta a Bray II (HCl 0,05 N y FNNH_4 0,03 N) se tradujo en un incremento significativo en la eficiencia (13 a 25%), con respecto a la metodología original al método Olsen, en todos los grupos de suelos, excepto en los de clima medio. Además fué la metodología más eficiente

en los suelos no fertilizados ($r = 0,76^{++}$), en los suelos del Altiplano de Pasto ($r = 0,69^{++}$) y en los suelos tomados en conjunto ($r = 0,68^{++}$). Por esto y su comportamiento uniforme la acredita como la más recomendable para los suelos volcánicos de la región Andina de Mariño, especialmente los de clima frío.

6. La modificación propuesta a Mehlich (H_2SO_4 0,05 N y HCl 0,05 N) fue la única metodología que funcionó con eficiencia ($r = 0,76^{+}$) en los suelos de la región de clima medio.

7. El método Conicafé tuvo el mejor comportamiento en los suelos fertilizados ($r = 0,67^{++}$).

8. Todo parece indicar que el método Bray II, que viene siendo utilizado en los análisis de fertilidad de los suelos Andinos de Mariño, no está trabajando con eficiencia adecuada, como tampoco los niveles críticos sugeridos por el ICA en base a ésta metodología. Se hace necesario una calibración, con respuestas en el campo, que incluya básicamente las modificaciones a Bray II y a Mehlich propuestas en el presente estudio y el método Conicafé.

VI. RESUMEN

En suelos volcánicos de la Región Andina de Nariño, correspondientes al Altiplano de Pasto (Bosque seco a húmedo montano bajo) y región de Clima Medio (Bosque seco a húmedo bajo y subtropical), se llevó a cabo una comparación de dos métodos usuales de extracción de fósforo aprovechable: Bray II (HCl 0,1 N y FHH_4 0,03 N), Olsen (NaHCO_3 0,5 M a pH 8,5), dos métodos modificados por los autores: Bray II modificado (HCl 0,05 N y FHH_4 0,03 N) y Mehlich modificado (H_2SO_4 0,05 N y HCl 0,05 N) y la metodología sugerida por Cenicafé para suelos volcánicos (H_2SO_4 0,08 N).

La capacidad extractora de fósforo aprovechable fue relativamente homogénea en los métodos estudiados, pero Bray II y Olsen extrajeron cantidades significativamente superiores que los demás métodos. La totalidad de las soluciones extractoras utilizadas solubilizaron intensamente los fosfatos de calcio (no apatítico y apatítico), pero extrajeron muy poco del fósforo ligado a los fosfatos de hierro y aluminio. El método Cenicafé fue el que más correlacionó con los fosfatos de calcio, en tanto que Olsen tiende a solubilizar las mayores cantidades de fósforo unido al hierro y al aluminio.

La planta se nutrió directamente desde la fracción fácilmente reemplazable y del fósforo solubilizado desde los fosfatos de calcio no apatíticos. Los fosfatos de calcio apatítico aportaron en una proporción muy baja a la nutrición fosfatada de la planta, en tanto que la contribución de los fosfatos de hierro y aluminio al mismo proceso fue prácticamente nula.

La modificación propuesta a Bray II se tradujo en un incremento significativo en eficiencia, con respecto a la metodología original y el método de Olsen, en todos los grupos de suelos, excepto en los de clima medio, fué la metodología más eficiente en los suelos no fertilizados, en los suelos del Altiplano y en los suelos tomados en conjunto. Por esto y su comportamiento uniforme la acredita como la más recomendable para los suelos volcánicos de la Región Andina de Maricao, especialmente de los climas fríos.

La modificación propuesta a Mehlich fué la única metodología que funcionó con eficiencia en los suelos de la región de Clima Medio.

El método Cenicafé tuvo el mejor comportamiento en los suelos fertilizados.

Todo parece indicar que el método Bray II, que viene siendo utilizado en los análisis de fertilidad de los suelos Andinos de Maricao, no está trabajando con eficiencia adecuada, como tampoco los niveles críticos sugeridos por el ICA en base de ésta metodología. Se hace necesario una calibración, con respuestas en el campo, que incluya básicamente las modificaciones propuestas a Bray II y a Mehlich en el presente estudio y el método Cenicafé.

VII. SUMMARY

It was carried out a comparison between the methods related to the extraction of the available phosphorus in the volcanic regions of the Andes of the Department of Narino; it belongs to the plateau of the city of Pasto (Be to Bhab) and the region of mild climate (Bamb and Bat); that was performed by the Bray II (HCl 0,1 N and FNH_4 0,03 N), and Olsen (NaHCO_3 0,5 M to 8,5 pH); the two methods were modified by their authors: Bray II and Mehlich (HCl 0,05 N and FNH_4 0,03 N), (H_2SO_4 0,05 N and HCl 0,05 N) respectively; the Cenicafe technique was used because it is suggested for volcanic soils (H_2SO_4 0,08 N).

The extractive capacity of available phosphorus was more or less homogenous in the studied ways; but Bray II and Olsen had an amount highly significant in contrast with the other methods. All the extractive solutions that were used made soluble the calcium phosphates (apatitic and not apatitic), but they do not extract the attached phosphorus to the Fe and Al. The main extractive capacity of the apatitic Ca phosphates in the Bray II method gives an explanation for what this method extracted a double amount of phosphorus than the modified methodology. The Cenicafe method gave the greatest correlation with the Ca phosphates, but the Olsen method has the tendency to solve the greatest amounts of the attached phosphorus to the Fe and Al.

The apatitic Ca phosphates coming from the soluble phosphorus and of the easily exchangeable fraction of the phosphorus, is taken directly by the plant. The apatitic Ca phosphorus gave a low amount of phosphatic nutrient to the plant. The Fe phosphates gave a very deficient nutrient to the plant.

The modified Bray II gave an increase highly significant in the efficiency in comparison with the original methodology and the Olsen method; this was true in all the soils except in those of the mild climate, also this was the best methodology in the infertilized soils, in those of the plateau and in those which were taken in a global sample for this and its behaviour uniform all this makes this way the best to be used in the volcanic soils of the Department of Nariño, mainly in the cold climate.

The proposed modification to Mehlich was the only methodology that showed a high efficiency in the mild climate soils.

The Cenicafe method was the best for fertilized soils.

All this shows that the Bray II method which is actually used for fertilized soils in the Andes of Nariño is not the correct method, it also occurs for the critical levels that ICA has suggested. It's necessary a special checking with responses in the field, including Bray II and Mehlich modifications which are shown in this review and the Cenicafe methodology.

VIII. BIBLIOGRAFIA

1. AL-ABBAS, A.N. and S.A. BARBER. A soil test for phosphorus based upon fractionation of soil phosphorus. I correlation of soil phosphorus fractions with plant available phosphorus. Soil Science Society of American Proceeding. 28 (2): 218-221. 1964.
2. ALBAN, L.A., S. VACHAROTAYAN and JACKSON. Phosphorus availability in reddish brown lateritic soil. I Laboratory studies. Agronomy Journal 56 (6): 555-558. 1964.
3. ARIAS, M.A. y R. GUERRERO R. Algunas propiedades físicas de dos suelos derivados de cenizas volcánicas de Pasto, Colombia, determinadas por diferentes métodos. Turrialba 21 (4): 393-403. 1971.
4. BALBEDI, F., L. MULLER y H.W. PASSENDER. Estudio del fósforo en suelos de América Central. III. Comparación de cinco métodos químicos de análisis de fósforo disponible. Turrialba 18 (4): 348-359. 1968.
5. CABALA, F.P. y M.B. SANTANA. Comparação de extractores químicos de fósforo em solos do sul da Bahia Brasil. Turrialba 22 (1): 19-26. 1972.
6. CHANG, S.C. and M.L. JACKSON. Fractionation of soil phosphorus. Soil Science Society of American Proceeding. 84: 133-137. 1957.
7. CHANG, S.C. and S.R. JUO. Available phosphorus in relation to forms of phosphorus in soils. Soil Science Society of American Proceeding. 95 (1): 91-96. 1963.

- de Ciencias Agrícolas 4 (1): 55-65. 1972.
15. GUERRERO, R. Estudio de la capacidad de fijación de fósforo y sus formas en suelos volcánicos de cuatro regiones Andinas de Nariño. Tesis de promoción a la categoría de profesor asociado. Pasto, Universidad de Nariño Facultad de Ciencias Agrícolas, 1971. 38p. (Mecano - grafada).
16. GUERRERO, R., J. BURBANO y T. CABRERA. Capacidad de fijación de fósforo y sus formas en suelos de cuatro regiones volcánicas del Sur de Colombia. In II Panel sobre suelos volcánicos de América Latina. Pasto, Facultad de Ciencias Agrícolas, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. 1972. (En prensa).
17. HSU, F.H. and M.L. JACKSON. Inorganic phosphate transformation by chemical weathering in soil as influenced by pH. Soil Science Society of American Proceedings. 30 (1): 16-24. 1966.
18. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. Generalidades sobre la fertilidad de suelos colombianos. Bogotá, Min-Agricultura - ICA. Bol. Técnico. No. 11. 1971. 24p.
19. JACKSON, M.L. Análisis químico de suelos. 2a. Ed. Trad. J.B. Martínez. Barcelona, Omega, 1970. 662p.
20. JUD, A.S.R. and G.B. ELLIS. Chemical and physical properties of iron and aluminum phosphates and their relations to phosphorus availability. Soil Science Society of American Proceedings. 32 (2): 216-221. 1968.

21. KURTZ, L.T., E.E. DeTUNE and R.H. BRAY. Phosphate adsorption by Illinois soils. Soil Science Society of American Proceeding. 61: 111-124. 1946.
22. LINDBAY, W.L. and E.L. MORENO. Phosphate equilibrio in soils. Soil Science Society of American Proceeding. 24: 117-182. 1960.
23. LOPEZ, A.M. Determinación de fósforo aprovechable en suelos tropicales. *Cenicafé* 2 (5-6): 109-115. 1958.
24. MARTINEZ, A. y F. LUCENA. Determinación y formas de fósforo en la provincia de Salamanca. Nota I Estudio comparativo de doce soluciones extractoras de fósforo asimilable. *Anales de edafología y agrobiología*. 18 (2): 81-95. 1959.
25. MOLINA, G.E. y M. BLASCO. El nitrógeno en los suelos derivados de cenizas volcánicas del Altiplano de Pasto, Colombia. *Turrialba* 20 (3): 288-292. 1970.
26. MONTAÑO, A., V. ARAGON y R. GUERRERO. Estudio del efecto de la aplicación de Boro, Molibdeno y Cal sobre la Coliflor (*Brassica oleracea* var. *Botrytis*, L.), en los suelos volcánicos del Altiplano de Pasto, Colombia. *Revista de Ciencias Agrícolas* 3 (1): 39-54. 1971.
27. MORILLO, M.R. y H.W. FASSBENDER. Formas y disponibilidad de fosfatos de los suelos de la cuenca baja del río Choluteca, Honduras. *Turrialba* 18 (1): 26-33. 1968.

28. OÑORO, P.R. Comparación de cuatro métodos para la detección de fósforo aprovechable en suelos del Valle del Cauca. Tesis Ing. Agr. Palmira, Facultad de Agronomía. 1959. 31p.
29. ORDOÑEZ, G.H. Estudio sobre el Potasio en algunos suelos volcánicos del Altiplano de Pasto. Tesis Ing. Agr. Pasto, Universidad de Nariño, Instituto Tecnológico Agrícola, 1969. 114p. (Mecanografiada).
30. ORTEGA, E. Correlación entre métodos de análisis químicos del fósforo aprovechable por la planta y los rendimientos del maíz. México, Agricultura Técnica 11 (4): 148-151. 1963-64.
31. ORTEGA, J.E. y R. GUERRERO. Comportamiento de las formas de fósforo y su relación con la absorción del fósforo por la avena, bajo tres fuentes de fertilización fosfatada en un latosol de Nariño, Colombia. Turrialba 22 (4): 420-430. 1972.
32. PANTOJA, C. Fraccionamiento del fósforo en suelos de clima medio de Nariño. Tesis Ing. Agr. Pasto, Universidad de Nariño, Instituto Tecnológico Agrícola, 1969. 107p. (Mecanografiada).
33. PAYNE, H. and W.J. HANNA. Correlations among soil phosphorus fractions extractable phosphorus and plant content of phosphorus. Journal of Agriculture and Food Chemistry. 13: 322-326. 1965.
34. SAUNDER, D.H. Determination of available phosphorus in tropical soils by extractions with sodium hidroxide.

Soil Science Society of American Proceeding. 32 :
457-463. 1956.

35. SEN GUPTA, M.B. and A.H. CORNFIELD. Phosphorus in calcareous soils. I. The inorganic phosphorus fractions and their relations to the amount of calcium carbonate present. Journal of Science Food Agriculture 13: 652-655. 1962.
36. SHELTON, J.E. and H.T. COLEMAN. Inorganic phosphorus fractions and their relationship to residual value of large applications of phosphorus on high phosphorus fixing soils. Soil Science Society of American Proceeding. 32 (1): 91-94. 1968.
37. SILVA, M., F. Correlación entre los resultados de invaginadero y el valor "AN" o fósforo asimilable, extraído del suelo por tres métodos diferentes. Bogotá, Agricultura Tropical 11 (12): 925-928. 1955.
38. SING, L. and D.L. LANCASTER. Inorganic soil phosphorus extracted by conventional soil test. Original no consultado (Res. en Agronomy Abstracts 103p. 1970).
39. TIMABAN, R.H. Respuesta de la papa (Solanum tuberosum L.) a fuentes y dosis de fósforo en un andosol del altiplano de Pasto. Tesis Ing. Agr. Pasto, Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, 1971. 75p. (Mecanografiada).

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

T
631.85
L864
Ej.1

Inventario: 15108
Autor: Silvio E Lopez A y otro
Título: Modificaciones de los métodos
usuales....



T
631.85
L864
Ej.1

15108

Universidad de Nariño
Pasto (Nariño)