

FOSFORO APROVECHABLE EXTRAIDO POR DIFERENTES METODOS EN RELACION CON LAS FRACCIONES MINERALES DE P Y SU ABSORCION POR LA PLANTA EN SUELOS VOLCANICOS DE NARIÑO, COLOMBIA *

S. López Arteaga, E. Salas Eras o, R. Guerrero Riascos **

RESUMEN

En suelos volcánicos andinos de Nariño (Andept y Tropept) se extrajo el P aprovechable mediante las siguientes metodologías : Bray II, Olsen, Bray II modificado (HCl 0,05N y FNH_4 0,03N), Mehlich modificado (H_2SO_4 0,05N y HCl 0,05N) y Cenicafe (H_2SO_4 0,08N). La totalidad de las soluciones extractoras solubilizaron intensamente los fosfatos de calcio no apatítico y en menor proporción los apatíticos, pero extrajeron muy poco del fósforo ligado al hierro y al aluminio.

El P absorbido por la planta estuvo asociado con el P fácilmente reemplazable ($R^2 = 28\%$) y con los fosfatos de calcio no apatíticos ($R^2 = 48\%$). En cambio, los fosfatos de calcio apatíticos aportaron en una proporción muy baja a la nutrición fosfatada de la planta ($R^2 = 8\%$) y la contribución de los fosfatos de hierro y aluminio al mismo proceso fue prácticamente nula. La modificación propuesta al método Bray II incrementó en un 25%, la eficiencia de extracción del P aprovechable, en relación al P absorbido por la planta, y se constituyó en la metodología más recomendable. Los niveles críticos de P aprovechable se establecieron en 30 ppm para Bray II y 20 ppm para Bray II modificado.

ABSTRACT

Available P was extracted from andean volcanic soils from Nariño (Andept and Tropept) by means of these methods : Bray II, Olsen, Modified Bray-II (HCl 0,05N and FNH_4 0,03N), modified Mehlich (H_2SO_4 0,05N and HCl 0,05N) and Cenicafe (H_2SO_4 0,08N). All extractive solutions solubilized highly non apatitic calcium phosphates and in a lower grade the apatitic ones, although, phosphorus bonded to iron and aluminum extractions were low.

The P absorbed by plant was associated with easily exchangeable P ($R^2 = 28\%$) as well as with non apatitic-calcium phosphates ($R^2 = 48\%$). In the other hand, apatitic calcium phosphates contributed with a very low proportion, to plant phosphates nutrition to the same process was practically none. The proposed change to Bray II method increased to a 25% the available P extraction efficiency, as related with absorbed P by plant, which resulted as the most recommendable method. The critical available P levels were determined as 30 ppm for the Bray II method and 20 ppm for the modified Bray II.

* Trabajo realizado dentro del Programa de Investigación en Suelos, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia

** Ingenieros Agrónomos y Profesor Asociado, respectivamente. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas. Dirección actual del Ing. Guerrero : Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, Bogotá.

INTRODUCCION

Una fertilización eficiente supone el conocimiento previo de la fracción aprovechable de los diferentes nutrimentos en el suelo. Así mismo, el éxito de esta práctica depende en buena parte de la mayor o menor eficacia en la extracción de esa fracción disponible a la planta y de la exactitud con que se determinen los niveles críticos.

Para el caso del fósforo, reconocido como el nutrimento limitante en suelos volcánicos, la búsqueda racional de una metodología adecuada para la extracción de su fracción disponible implica el conocimiento básico de las interrelaciones, fosfatos del suelo-absorción de P por la planta-extracción de P por una solución dada.

En los suelos volcánicos andinos de Nariño, los patrones de respuesta a la fertilización fosfatada frecuentemente no coinciden con los niveles críticos desarrollados en base al método Bray II que se viene utilizando (20). De allí la importancia del presente estudio.

REVISION DE LITERATURA

El flujo del fósforo desde la fase sólida del suelo hacia la fase líquida (solución del suelo) permite restituir el fósforo absorbido por la planta. En este caso la fase sólida está constituida por los fosfatos minerales activos del suelo (fosfatos de aluminio, hierro y calcio) y por el fósforo orgánico. La mayor o menor contribución de las diferentes formas de fosfatos en el proceso de restitución del fósforo dependen de factores múltiples inherentes principalmente a las condiciones del suelo y su manejo (13, 14, 15, 18, 19, 28, 31).

En suelos ácidos de la zona templada, estudios de correlación estadística han demostrado que la contribución de las frac-

ciones minerales del fósforo a la nutrición fosfatada de la planta tiene la siguiente secuencia de intensidad: $P-Al > P-Fe < P-Ca$ (7, 32, 33, 37, 38). La misma conclusión se ha derivado de estudios que han utilizado la técnica de la dilución isotópica en combinación con el fraccionamiento de fosfatos de Chang y Jackson (6, 9, 11, 26, 39, 41).

Para suelos tropicales, la información es sumamente escasa. Sin embargo, en un latosol de Nariño (31) la aprovechabilidad de los fosfatos de aluminio y hierro fue mayor que la de los fosfatos de calcio no apatíticos y apatíticos. Por el contrario, en suelos volcánicos de América Central (15, 28), el fósforo fácilmente reemplazable y los fosfatos de calcio tuvieron una mayor participación en los procesos de nutrición fosfatada de la planta que los fosfatos de hierro y aluminio.

No obstante, parece evidente que los modelos anteriores son afectados sustancialmente en suelos que han recibido fertilizante fosfatado. Las relaciones dependen entonces de la fuente fosfatada utilizada, conforme lo sugieren los resultados obtenidos por Ortega y Guerrero (31).

Las diferentes soluciones extractoras de fósforo aprovechable solubilizan los distintos fosfatos del suelo con un grado de intensidad diferencial. Así, de acuerdo a Lindsay y Moreno (23), la solubilidad de los fosfatos cálcicos aumenta al disminuir el pH; por ello las soluciones extractoras ácidas, como la utilizada por los métodos de Bray II 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, de donde resulta que las soluciones extractoras alcalinas como la utilizada por el método Saunder, extraigan cantidades considerables de fósforo en suelos con predominio de P-Al y P-Fe.

De lo anterior resulta claro que la escogencia de una solución extractora adecuada para el P disponible dependerá de la relación fosfatos del suelo absorción de P por la planta. Si la nutrición fosfatada de la planta depende principalmente de los fosfatos de calcio, la solución extractora adecuada será del tipo ácido. Por el contrario, será recomendable utilizar una solución extractora alcalina cuando los fosfatos de aluminio y hierro sean los que tengan mayor participación en el suministro de P a la planta. Naturalmente que pueden darse situaciones intermedias.

La determinación de fósforo aprovechable por la planta en suelos de la América Tropical ha sido objeto de varios estudios (3, 4, 10, 16, 17, 24, 29, 30, 35). Las metodologías empleadas buscan siempre obtener una acción extractora muy semejante a la acción extractora de la planta (27). 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 (3, 13, 15, 17).

De otra parte, la elección del método más adecuado de extracción de fósforo asimilable depende, en última instancia, de la asociación o correlación entre las cantidades de P extraídas y la respuesta a la fertilización fosfatada e invernadero o en el campo. De esta manera, se pueden establecer niveles críticos a escalas de apreciación que permitan dar recomendaciones acertadas sobre fertilización fosfatada (20).

MATERIALES Y METODOS

Localización del área de estudio

El estudio se llevó a cabo en suelos de dos regiones andinas de Nariño: Altiplano de Pasto y Región de Clima Medio. El Altiplano de Pasto está situado al Suroeste de Colombia, al pie del Volcán Galeras. Es una depresión del Nudo de los Pastos en la Cordillera Andina y tiene una altitud comprendida entre los 2.500 y 2.800 m, con una temperatura máxima de 20°C y mínima de 6°C para un promedio de 13,5°C. La precipitación es de aproximadamente 700 mm/año (8). Las formaciones vegetales que se encuentran son el Bosque seco montano bajo y Bosque húmedo montano bajo (12).

La región de Clima Medio incluida en el estudio está ubicada a lo largo de la carretera de circunvalación que rodea al Volcán Galeras a una altura entre 1.000 y 2.000 msnm, con una temperatura promedio de 20°C y una precipitación promedio anual que oscila entre 1.300 y 1.864 mm (8). Ecológicamente esta zona está ubicada en la faja montano bajo y subtropical (12).

Suelos

Los suelos son del tipo morfológico A-C o A (B) C; se han desarrollado de cenizas volcánicas o de una mezcla de éstas con material coluvial del tipo andesítico. Los suelos desarrollados de cenizas volcánicas presentan las típicas características de los Andosoles: alto contenido de materiales amorfos, alto contenido de C-orgánico, alta C.I.C., baja cantidad de arcilla, alta porosidad y densidad aparente menor de 0,85 g/cc, pudiendo clasificarlos en el sistema taxonómico de suelos norteamericano dentro del orden Inceptisoles, sub-orden Andept. Los suelos desarrollados de materiales complejos tienen bajo contenido de mate-

riales amorfos, mayor contenido de arcilla, densidad aparente cercana a la unidad, alta saturación de bases, menor contenido de C-orgánico y se clasifican dentro del orden Inceptisol, sub-orden Tropept (25)

Se tomaron muestras del primer horizonte en 20 suelos, algunas de cuyas características se presentan, en sus valores promedios, máximos y mínimos, en el Cuadro I.

Procedimiento experimental

Los suelos provenientes de cada localidad se repartieron en macetas plásticas de 750 g de capacidad. Cada suelo se distribuyó en 4 macetas, a dos de las cuales se les agregó 200 ppm de P_2O_5 y a todos se les aplicó 35 ppm de N (úrea del 46% N) y 10 ppm de K_2O (KCl del 60% K_2O). Como planta indicadora se utilizó el sorgo (*Sorghum vulgare*), dejando una planta por maceta. A los 60 días se cosechó y en la parte aérea se determinó el P-absorbido por la planta mediante la digestión en mezcla ternaria nítrico-sulfúrico-perclórica (10:1:4), según la técnica descrita por Jackson (21). En el extracto se determinó P mediante la técnica del azul cloromolibdico (21).

A muestras duplicadas de cada uno de los suelos experimentales se les extrajo el P-aprovechable mediante las siguientes soluciones extractoras :

Bray II : 2 g de suelo seco al aire se agitaron durante 1 minuto con 20 ml de una solución 0,1N HCl + 0,3N FNH_4 (3)

Olsen : 5 g de suelo seco al aire se agitaron durante 30 minutos con 100 ml de una solución 0,5M $NaHCO_3$ (pH 8,5) + 1 g de C-activado (3)

Cenicafé : 2 g de suelo seco al aire se agitaron durante 1 minuto con 20 ml de una solución 0,08N H_2SO_4 (24)

Bray II modificado : 2 g de suelo seco al aire se agitaron con 20 ml de una solución 0,05N HCl + 0,03N FNH_4 , durante 1 minuto

Mehlich : 2 g de suelo seco al aire modificado se agitaron durante 1 minuto con 20 ml de una solución 0,05N HCl + 0,5N H_2SO_4 .

Las determinaciones de P en los extractos se realizaron utilizando el método del azul cloromolibdico (3). Las modificaciones a Bray II y Mehlich son propuestas por los autores.

En muestras provenientes de las macetas en donde se realizó el experimento de invernadero, se determinaron las fracciones minerales de fósforo, mediante la técnica de Chang y Jackson (6) con las modificaciones de Ghani descritas por Sen-Gupta y Cornfield (34). Las fracciones determinadas y las soluciones extractoras utilizadas fueron :

P-fácilmente reemplazable :

NH_4Cl 1N

P-Ca-no apatítico :

CH_3COOH 0,5N

P-Al: NH_4F 0,5N pH 7,0

P-Fe: NaOH 0,1N

P-Ca-apatítico :

H_2SO_4 0,5N

Con el objeto de evaluar las relaciones entre las fracciones de P y la absorción de P por la planta se determinaron los coeficientes de correlación lineal entre estas variables. De la misma ma-

nera se estimó la relación entre fracciones de P y P-extraído por las diferentes metodologías. La eficiencia de la metodología de extracción de P aprovechable se estimó con base en los coeficientes de correlación y asociación entre los respectivos valores de P aprovechable y P-absorbido por las plantas.

El nivel crítico de P se estimó a partir del rendimiento relativo, mediante la técnica de Cate y Nelson (5). El rendimiento relativo se calculó así:

$$\text{Rend. relat} = \frac{\text{Rend. de mat. seca en suelo no fertilizado con P}_x}{\text{Rend. de mat. seca en suelo fertilizado con P}} \times 100$$

RESULTADOS Y DISCUSION

La adecuada interpretación de los resultados obtenidos, 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 los diferentes fosfatos del suelo y las existentes entre estos 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, 15, 18, 22, 28, 31, 32) y, por otra parte las diferentes soluciones extractoras extraen el P aprovechable desde los diferentes fosfatos con mayor o menor intensidad dependiendo también de las características del suelo (2, 3, 7, 32, 36)

Capacidad extractora de las soluciones utilizadas

En el Cuadro 2 se presentan los valores de extracción de P obtenidos con

las diferentes metodologías de extracción y en el Cuadro 3 los resultados de la comparación estadística para promedios de extracción

El método Bray II extrajo, en promedio, cantidades significativamente mayores ($P < 0,05$) que los demás métodos. En estas condiciones, la capacidad de extracción de los diferentes métodos arrojó la siguiente secuencia:

$$\text{Bray II} > \text{Olsen} = \text{Cenicafé} = \text{Bray II modificado} = \text{Mehlich modificado}$$

Este resultado es lógico ya que el método Bray II tiende a extraer más fósforo en razón de que uno de los componentes de su solución extractora es NH_4F que, de acuerdo a la técnica de Chang y Jackson (6) extrae fósforo unido al aluminio, forma predominante en los suelos estudiados (Cuadro 4). La modificación propuesta al método Bray II extrajo aproximadamente el 50% de lo extraído por la metodología original ($P < 0,05$), en razón de la menor concentración de HCl en su solución extractora (0,05N Vs. 0,1N). Este resultado tiene implicaciones importantes que se discuten más adelante.

Excepto Bray II, entre las demás metodologías utilizadas no hubo diferencia significativa en cuanto a sus promedios de extracción (Cuadro 3). Esto supone una relativa homogeneidad en la capacidad extractora de Bray II modificado, Cenicafé, Mehlich modificado, y Olsen, lo cual se explica en razón de que la naturaleza ácida de las tres primeras y ligeramente alcalina de la última no da base para conseguir una diferencia apreciable en las cantidades de P solubilizadas desde las distintas formas de fosfatos.

Fosfatos del suelo y su relación con las soluciones extractoras

Esta relación se evaluó por medio de los coeficientes de correlación (r) y asociación (R^2) obtenidos entre las diferentes formas de fósforo en el suelo y las cantidades de P extraídas mediante las soluciones extractoras utilizadas, cuyos resultados se presentan en el Cuadro 5.

La secuencia de intensidad con que las soluciones extrajeron fósforo desde los diferentes fosfatos fue la siguiente :

P-fácilmente reemplazable :

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

Fosfatos de calcio no apatíticos :

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

Fosfatos de calcio apatíticos :

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

Fosfatos de aluminio :

Olsen ($r = 0,26$) > Cenicafé ($r = 0,16$) > Mehlich modificado ($r = 0,14$) > Bray II ($r = 0,12$) > Bray II modificado ($r = 0,003$).

Fosfatos de hierro :

Bray II ($r = 0,28$) > Olsen ($r = 0,27$) > Mehlich modificado ($r = 0,20$) > Cenicafé ($r = 0,19$) > Bray II modificado ($r = 0,16$).

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 y apatíticos, lo mismo que el P fácilmente reemplazable, en tanto que extraen muy poco el fósforo ligado al aluminio y hierro. Esto es explicable en razón de la naturaleza ácida o débilmente alcalina de las soluciones extractoras y coincide con los resultados obtenidos por diferentes investigadores (3, 7, 32, 36).

La modificación propuesta al método Bray II solubilizó con menos intensidad el P unido al calcio apatítico que el método original debido a la menor concentración de HCl de su solución extractora. Esta circunstancia sumada a la mayor correlación detectada entre el método Bray II y los fosfatos de hierro explica la mayor capacidad extractora de esta metodología. De otra parte, 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.

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

Al establecer la correlación estadística entre la absorción de fósforo por la planta y los diferentes fosfatos del suelo (Cuadro 5), se encontró que estos aportaron a la nutrición fosforada de la planta con la siguiente secuencia :

Fosfatos de calcio no apatíticos ($R^2 = 48\%$) > P fácilmente reemplazable ($R^2 = 28\%$) > fosfatos de calcio apatíticos ($R^2 = 8\%$) > fosfatos de aluminio ($R^2 = 1\%$) > fosfatos de hierro ($R^2 = 0\%$).

Es 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. En cambio, los fosfatos de calcio apatíticos tan solo contribuyeron en un 8% al mismo proceso en razón de su baja solubilidad, lo cual coincide con los resultados obtenidos por Ortega y Guerrero (31) en un latosol de Nariño.

La contribución de los fosfatos de aluminio y hierro a la reposición de P aprovechable fue prácticamente nula. Este resultado es contrario al obtenido por diferentes autores (1, 7, 22, 31, 32) en los ácidos del tipo latosólico, en los cuales esas formas de fosfato son las más relacionadas con la absorción de fósforo por la planta.

La predominancia de los fosfatos de calcio en el proceso de suministro de fósforo a la planta en los suelos estudiados coincide con el modelo encontrado por Fassbender y colaboradores (15) en suelos volcánicos de Centroamérica, e implica que los métodos más eficientes para la extracción de P aprovechable en los suelos andinos de Nariño serán los que utilicen una solución extractora ácida (3, 7, 23, 32).

Eficiencia de las metodologías de extracción

El criterio generalmente aceptado para decidir sobre la eficiencia de extracción de la forma aprovechable de un nutrimento es el mayor o menor grado de correlación o asociación entre el nutrimento extraído por un método dado y el extraído por la planta.

Sobre la base anterior (Cuadro 5), la eficiencia de las metodologías estudiadas tuvo la siguiente secuencia:

Bray II modificado ($r = 0,76^{**}$) > Olsen ($r = 0,68^{**}$) > Cenicafé ($r = 0,62^{**}$) > Mehlich modificado ($r = 0,57^{**}$) ≥ Bray II ($r = 0,57^{**}$).

Resalta el hecho de que la modificación propuesta al método Bray II supera a las demás metodologías, incluyendo la Bray II original, la cual presentó la menor eficiencia. El incremento en eficiencia conseguido con esta modificación, calculado en base a los porcentajes de asociación (Cuadro 5), fue del 25%.

La explicación al incremento en eficiencia conseguida mediante la modificación propuesta a Bray II reposa en los resultados ya discutidos en los acápites anteriores.

Aparentemente, el método Bray II solubiliza una mayor cantidad de fósforo, parte de la cual proviene de la fracción apatítica de los fosfatos de calcio, los cuales contribuyen muy poco al suministro de fósforo para la planta. En la modificación propuesta a Bray II se disminuye la concentración de HCl lo cual permite disminuir la extracción de P ligado a los fosfatos de calcio apatíticos e incrementar por tanto, la eficiencia de la metodología.

Niveles críticos de fósforo aprovechable

En las Figuras 1 y 2 se presentan los resultados de la determinación del nivel crítico de P aprovechable, mediante la técnica de Cate y Nelson (5), para los métodos Bray II y Bray II modificado, respectivamente.

Para la metodología Bray II original el nivel crítico fue de 35 ppm y para el Bray II modificado fue de 22 ppm.

Lo anterior explica el hecho frecuente de encontrar una alta respuesta a la fertilización fosfatada en suelos volcánicos de Nariño cuyo nivel de P aprovechable Bray II era de 30 ppm o más, cuando según ICA (20) esa concentración de P aprovechable se califica como alta.

CONCLUSIONES

1. La capacidad extractora de fósforo aprovechable fue relativamente homogénea en los métodos estudiados, pero Bray II extrajo cantidades significativamente mayores que los demás métodos.

2. La totalidad de las soluciones extractoras solubilizaron intensamente los fosfatos de calcio no apatíticos y, en menor grado, los apatíticos, en tanto que extrajeron muy poco del P ligado al hierro y al aluminio.

3. La planta se nutrió directamente desde la fracción de P fácilmente reemplazable ($R^2 = 28\%$) y del fósforo solubilizado desde los fosfatos de calcio no apatíticos ($R^2 = 48\%$). Los fosfatos de calcio apatíticos aportaron en una proporción muy baja al suministro de P a la planta ($R^2 = 8\%$) y la contribución de los fosfatos de hierro y aluminio fue nula ($R^2 = 1\%$).

4. La modificación propuesta a Bray II se tradujo en un incremento del 25% en la eficiencia de extracción, con respecto a la metodología original y se constituyó en la metodología más recomendable.

5. Tentativamente, se aconseja utilizar los siguientes niveles críticos de P aprovechable para la recomendación de fertilización fosfatada en los andinos de Nariño:

Métodos	P-aprovechable ppm	Nivel	Probabilidad de respuesta	Requerimiento de fertilización fosfatada
Bray II	< 30	Bajo	Alta	Alto
	30-60	Medio	Media	Medio
	> 60	Alto	Baja	Bajo
Bray II modificado	< 20	Bajo	Alta	Alto
	20-40	Medio	Media	Medio
	> 40	Alto	Baja	Bajo

LITERATURA CITADA

1. AL-ABBAS, A. N. y BARBER, S. A. 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 America Proceedings 28(2): 218-222. 1964.
2. ALBAN, L. A., VACHAROTAYAN, S. y JACKSON, M. L. Phosphorus availability in reddish brown lateritic soil. I. Laboratory studies. Agronomy Journal 56(6): 555-558. 1964.

3. BALERDI, F., MULLER, L. y FASSBENDER, H. W. 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.
4. CABALA, F. P. y SANTANA, M. B. Comparação de extractores químicos de fósforo em solos do sul de Bahia Brasil. Turrialba 22(1): 9-26. 1972.
5. CATE, R. B. Jr. y NELSON, L. A. A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data in two classes. Soil Science Society of America Proceedings 35(4): 658-659. 1971.
6. CHANG, S. C. y JACKSON, M. L. Fractionation of soil phosphorus. Soil Science 84: 133-144. 1957.
7. CHANG, S. C. y JUO, S. R. Available phosphorus in relation to forms of phosphorus in soils. Soil Science 95(1): 91-96. 1963.
8. CHAVES, M. et al. Estudio socio-económico de Nariño. Bogotá, Ministerio del Trabajo, 1959. 218 p.
9. CHU, W. K. y CHANG, S. C. Surface activity of inorganic soil phosphorus. Soil Science 101: 459-464. 1966.
10. CUELLAR, D. y HENAO, J. Evaluación de métodos químicos para determinar el fósforo asimilable en suelos arroceros. Tesis Ing. Agr. Bogotá, Universidad Nacional, Facultad de Agronomía, 1967. 44 p.
11. DUMBAR, A. D. y BAKER, D. E. Use of isotopic dilution in a study of inorganic phosphorus fractions from different soils. Soil Science Society of America Proceedings 29: 259-262. 1965.
12. ESPINAL, S. y MONTENEGRO, E. Formaciones vegetales de Colombia. Bogotá, Instituto Geográfico "Agustín Codazzi". 1963. 201 p.
13. FASSBENDER, H. W. Formas de fosfatos en algunos suelos de la zona oriental de la meseta central y de las llanuras atlánticas de Costa Rica. Fitoecnia Latinoamericana 3(1-2): 187-202. 1966.
14. _____. Deficiencia y fijación de fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas de América Central. In Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba, Costa Rica, IICA-FAO. pp. B.4.1. - B.4.10. 1969.
15. _____, MULLER, L. y BALERDI, F. Estudio del fósforo en América Central. II. Formas y su relación con la planta. Turrialba 18(4): 333-347. 1968.
16. GALIANO, E., PONCE, E. y ZAUSCHER, F. A. Evaluación de varios métodos químicos para determinar el fósforo asimilable en suelos arroceros. Tecnología 7(34): 28-42. 1965.

Cuadro 1. Características 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	5,80
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 orgánico, %	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., me/100 g	45,40	29,13	21,40	45,17	25,92	14,99
Ca camb., ppm	2486,00	1.296,00	311,00	3.963,00	2.189,20	1.037,61
K camb., ppm	350,00	311,80	103,00	733,22	298,00	81,84
Na camb., ppm	86,00	42,60	32,00	89,81	46,99	30,69
Mg camb., ppm	504,00	248,40	98,00	786,43	404,57	34,26

Cuadro 2. P aprovechable extraído por los diferentes métodos, P absorbido por la planta, materia seca y rendimiento relativo en los suelos estudiados

Suelo	Bray II Olsen		Bray II modifi- cado	Cenicafé	Mehlich	P absor- bido mg/ma- ceta	Materia seca (g)		Rendimiento relativo (%)
	ppm	ppm	Con adi- ción de P				Sin adi- ción de P		
Anganoy	19,60	18,03	9,74	10,63	10,05	0,17	0,1783	0,1405	78,79
Aranda	30,61	32,57	12,13	17,17	5,68	0,24	0,6017	0,8007	115,00
Botana	47,84	55,69	66,22	55,47	37,05	0,88	1,3167	1,4870	112,93
Cātambuco	76,31	39,40	41,30	38,74	31,88	0,19	0,4059	0,2984	73,51
Cujacal	46,81	22,16	20,63	26,04	19,00	0,34	0,3580	0,0953	26,62
Jenoy	12,86	12,56	10,52	6,67	0,40	0,23	0,4609	0,0247	5,35
Daza	2,83	12,09	1,19	1,05	Trazas	0,03	0,3807	0,2863	75,20
La Estrella	68,59	49,71	33,17	29,48	21,09	0,55	0,1435	0,1400	97,56
La Laguna	17,88	17,34	8,38	6,73	6,30	0,22	0,1256	0,1355	107,88
Otonuco	70,07	30,33	26,15	38,87	39,34	0,19	0,4651	0,4718	101,44
Tangua	120,20	60,88	77,16	70,18	65,23	0,65	0,2814	0,1000	35,53
Torobajo	10,19	21,56	2,69	7,10	1,57	0,22	1,2884	1,0812	83,91
Yacuanquer	93,56	93,01	59,58	115,04	106,65	0,49	0,1904	0,0719	37,76
Bomboná	2,30	26,17	2,56	7,74	6,55	0,20	0,2723	0,1135	41,68
Consacá	21,48	9,59	11,17	10,64	1,78	0,10	0,7466	0,3181	42,60
El Ingenio	20,15	21,77	7,84	12,43	13,27	0,47	0,2631	0,0727	27,63
La Florida	8,46	12,50	4,68	6,39	7,68	0,09	0,2809	0,1117	39,76
Nariño	11,29	10,87	3,28	4,60	3,12	0,24	0,3747	0,1148	30,63
Sandoná	8,06	2,27	1,87	5,21	2,71	0,27	0,1414	0,0768	54,31
Tambo	32,27	20,85	20,54	13,98	3,99	0,10			
\bar{X}	36,38	28,47	21,03	24,21	19,17				

Cuadro 3. Valores de 't' y significación estadística para la comparación entre promedios de extracción de P-provechable

Métodos	Mehlich modificado	Cenicafé	Bray II modificado	Olsen
Bray II	2,09*	1,99*	2,46*	2,00*
Olsen	0,34 NS	0,21 NS	0,71 NS	
Bray II modificado	0,27 NS	0,39 NS		
Cenicafé	0,10 NS			

* : Significativo con el 95% de probabilidades
 NS : No significativo

Cuadro 4. Formas de fósforo en los suelos estudiados

Suelo	P-fácilmente reemplazable	P-Ca no apatítico.	P-Ca apatítico	P aluminio	P hierro
	ppm				
Anganoy	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, 2	149, 32
Jenoy	1, 94	51, 71	27, 28	63, 08	144, 16
Daza	Trazas	0, 69	33, 28	121, 87	195, 06
La Estrella	17, 17	71, 55	39, 61	72, 95	136, 56
La Laguna	6, 87	26, 82	41, 51	135, 86	158, 15
Obonuco	0, 26	92, 37	57, 76	109, 54	198, 18
Tangua	18, 42	15, 6, 52	57, 56	75, 38	140, 19
Torobajo	6, 83	10, 07	34, 71	70, 32	167, 88
Yacuanquer	62, 44	212, 79	68, 04	170, 90	180, 71
Bomboná	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

Cuadro 5. Coeficientes de correlación (r) y porcentajes de asociación (R^2) entre el fósforo absorbido por la planta, fósforo extraído por los diferentes métodos y fracciones de fósforo en el suelo

	P-fácilmente reemplazable	P-Ca no apatítico	P-Ca apatítico	P-aluminio	P-hierro	P-absorbido por la planta
P-absorbido por la planta	$r = 0,53^*$ $R^2 = 28,7\%$	$r = 0,69^{**}$ $R^2 = 38,5\%$	$r = 0,29^{NS}$ $R^2 = 8,6\%$	$r = 0,11^{NS}$ $R^2 = 1,4\%$	$r = 0,02^{NS}$ $R^2 = 0,08\%$	$r = 1,00$ $R^2 = 100,0\%$
Bray II	$r = 0,57^{**}$ $R^2 = 33,4\%$	$r = 0,84^{**}$ $R^2 = 71,7\%$	$r = 0,74^{**}$ $R^2 = 55,0\%$	$r = 0,12^{NS}$ $R^2 = 1,5\%$	$r = 0,28^{NS}$ $R^2 = 8,3\%$	$r = 0,57^{**}$ $R^2 = 32,7\%$
Olsen	$r = 0,78^{**}$ $R^2 = 60,9\%$	$r = 0,88^{**}$ $R^2 = 77,4\%$	$r = 0,69^{**}$ $R^2 = 47,9\%$	$r = 0,26^{NS}$ $R^2 = 6,7\%$	$r = 0,27^{NS}$ $R^2 = 7,7\%$	$r = 0,68^{**}$ $R^2 = 47,0\%$
Bray II modifi- cado	$r = 0,52^*$ $R^2 = 27,3\%$	$r = 0,80^{**}$ $R^2 = 63,8\%$	$r = 0,69^{**}$ $R^2 = 47,9\%$	$r = 0,03^{NS}$ $R^2 = 0,09\%$	$r = 0,16^{NS}$ $R^2 = 2,5\%$	$r = 0,76^{**}$ $R^2 = 57,8\%$
Cenicafé	$r = 0,87^{**}$ $R^2 = 75,0\%$	$r = 0,97^{**}$ $R^2 = 94,4\%$	$r = 0,72^{**}$ $R^2 = 51,7\%$	$r = 0,16^{NS}$ $R^2 = 2,7\%$	$r = 0,19^{NS}$ $R^2 = 3,5\%$	$r = 0,62^{**}$ $R^2 = 39,4\%$
Mehlich modificado	$r = 0,81^{**}$ $R^2 = 66,4\%$	$r = 0,94^{**}$ $R^2 = 89,5\%$	$r = 0,81^{**}$ $R^2 = 50,0\%$	$r = 0,14^{NS}$ $R^2 = 1,9\%$	$r = 0,20^{NS}$ $R^2 = 4,1\%$	$r = 0,57^{**}$ $R^2 = 32,7\%$

* : Significativo con el 95% de probabilidades

** : Significativo con el 99% de probabilidades

NS : No significativo

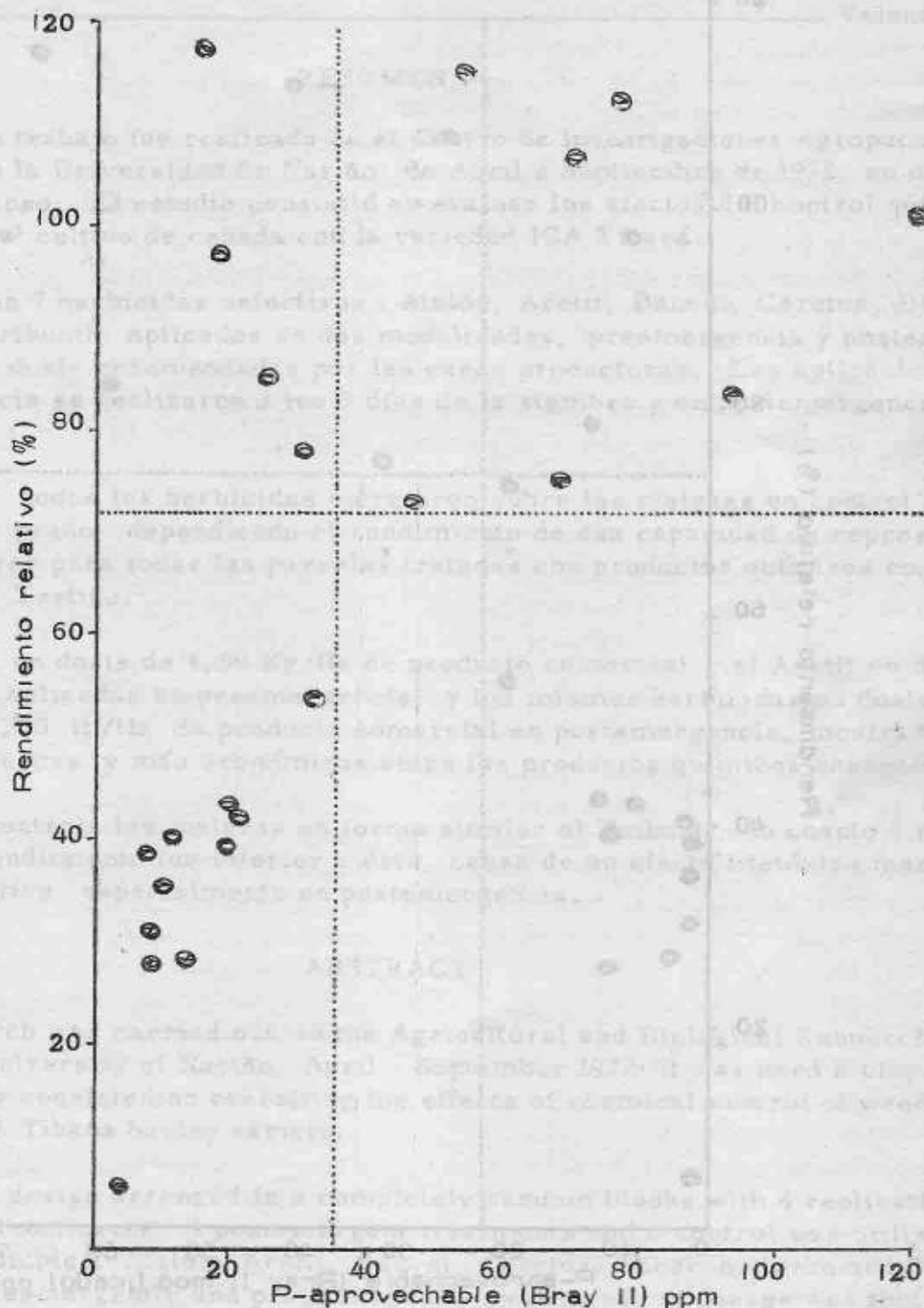


Figura 1. Determinación del nivel crítico de fósforo aprovechable para el método Bray II, mediante la técnica de Cate y Nelson (5) en suelos andinos de Nariño.

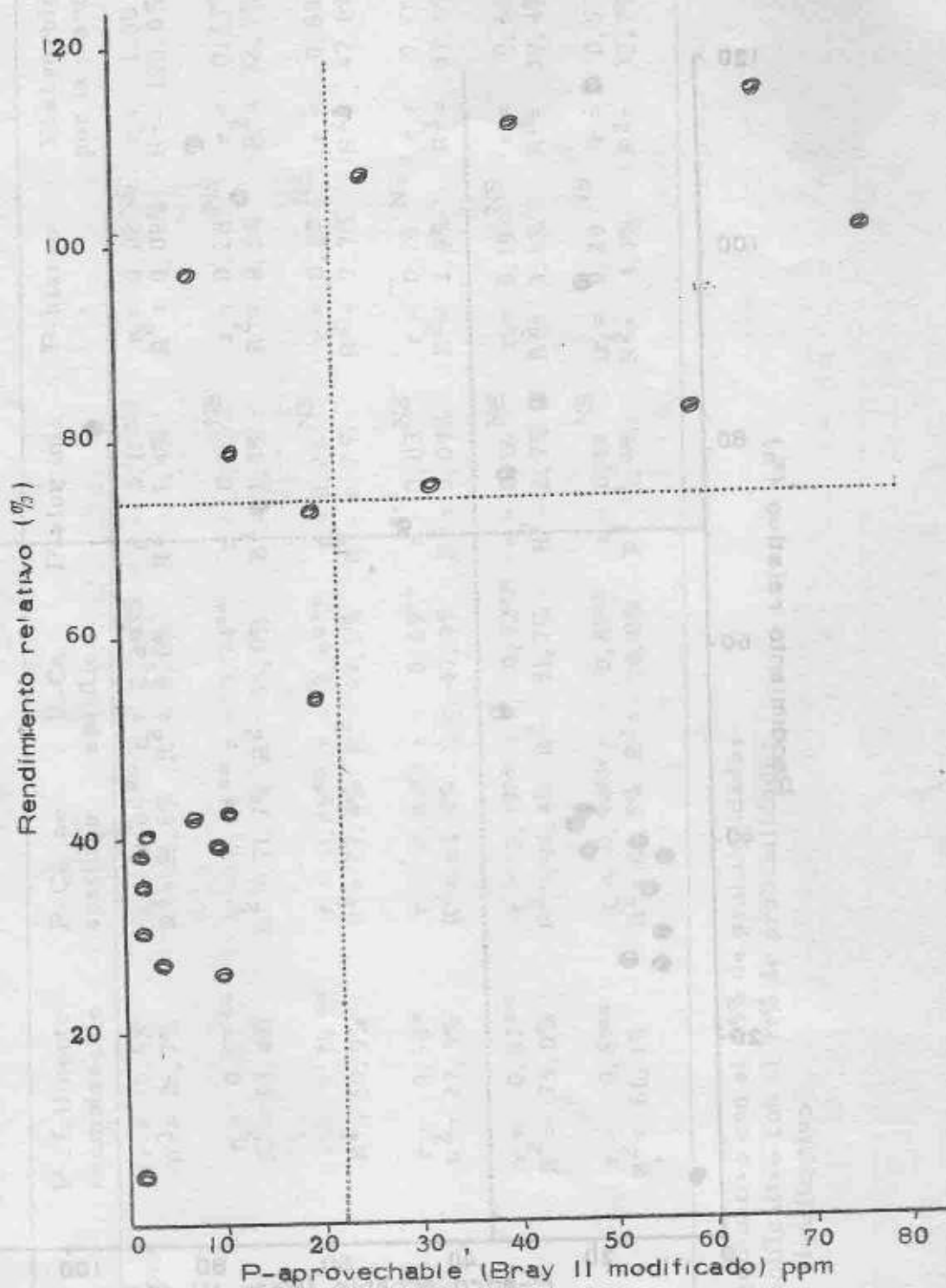


Figura 2. Determinación del nivel crítico de fósforo aprovechable para el método Bray II modificado, mediante la técnica de Cate y Nelson (5) en suelos andinos de Nariño