

EVALUACION DE METODOS DE ANALISIS DE FOSFORO EN SUELOS DEL SUDOESTE BONAERENSE (ARGENTINA)

S G DE BUSSETTI¹, M M RON¹, T LOEWY²

¹Dpto Agronomía - Universidad Nacional del Sur - 8000 Bahía Blanca - Argentina ²E E A Bordenave INTA - 8187 Bordenave - Argentina

EVALUATION OF SOIL TESTS FOR PHOSPHORUS IN THE SOUTHWESTERN BUENOS AIRES (ARGENTINA)

The objective of this paper was to evaluate extractable phosphorus (PE) determined by four different methods and a sorption index (IS), in soils of southwestern Buenos Aires, Argentina. The methods were Bray N°1 (BK), Miller and Axley (MA), water soluble phosphorus (PW), and anion exchange resin phosphorus (PRIA). Forty two soil samples (0-12 cm) were analyzed for these and other soil properties: organic matter (MO), pH (water 1:2.5), clay % (hydrometer). Soils were grouped in suborders: Ustolls (22) and Udolls (20). The former were all medium textured and 18 of the latter had a finer texture. PE was MA > BK > PRIA >> PW. In the 18 finer textured soils the following significant correlations were found: PE (4 methods) with MO (positive) and BK and MA with pH (negative). IS was positively related with clay % (P < 0.05). IS was negatively associated with BK, MA and PW in the Udolls group. Soils with BK > 12 mg kg⁻¹ were classified as having low IS (IS < 46 %) and those with BK < 8.5 mg kg⁻¹ largely belonged to high IS class (IS > 46 %). Sensitivity of PE to IS was MA > BK > PW > PRIA. Correlation between the four PE methods was highly significant (r² = 0.58 - 0.86). The association between PW and the other methods was less significant for the group with high IS. Simple and multiple regressions were developed between wheat yield response in wheat (ΔY) and the four PE methods, for all the cases and the two IS classes. For the multiple regressions the variables added to PE were IS and M (a dummy variable to group soils according to texture). BK alone or combined with IS or M gave a better account of ΔY variations when all the cases were considered and for the high IS category.

Key words: Bray phosphorus - Water soluble phosphorus - Anion exchange resin phosphorus - Phosphorus sorption - Yield response.

INTRODUCCION

El objetivo principal de los análisis químicos en suelos es detectar y corregir carencias, para lograr una adecuada provisión de nutrientes a los cultivos. Se han desarrollado varios métodos de extracción que correlacionan bien con la absorción de fósforo. Estos han sido comentados por Avellaneda (1980) y más recientemente por Fixen y Grove (1990). Para suelos levemente ácidos a neutros, los extractantes más usados son soluciones de fluoruro, mejor relacionados con el factor capacidad del suelo. El fósforo lábil, susceptible de pasar a la solución del suelo en un tiempo restringido, se determina mediante resinas de intercambio. Otros enfoques estiman la intensidad, usando agua o sales diluidas.

La relación entre distintos métodos tiene varios objetivos: 1) seleccionar nuevos procedimientos (Fixen, Grove 1990), 2) permitir una conversión razonable de un análisis de fósforo a otro (Sharpley *et al.* 1985) y 3) obtener información sobre la selectividad de disolución de los extractantes. Cuanto más similar es ésta, mayor es la afinidad entre los mismos (Chang, Juo 1963).

En el Sudoeste Bonaerense, el método más difundido es el de Bray y Kurtz, que ha sido calibrado para trigo (Ron, Loewy 1990). Otros métodos ensayados deberían compararse con éste, particularmente en cuanto a su habilidad para predecir la respuesta a la fertilización. Asimismo, es importante estimar el efecto de la sorción de fósforo sobre la cantidad extraída (Mendoza 1989). Con esta hipótesis se planteó el objetivo de evaluar comparativamente cuatro métodos de extracción de fósforo y un índice de sorción, en suelos del Sudoeste Bonaerense.

MATERIALES Y METODOS

Se trabajó con 42 muestras de suelo (0-12 cm) correspondientes a sendos ensayos de fertilización fosfórica, distribuidos en el Sudoeste Bonaerense (Argentina). Los suelos pertenecían a los subórdenes Ustoles (22) y Udoles (20), con familia textural predominante franco gruesa y franco fina, respectivamente. Para estudiar algunas de las propiedades de los suelos se analizó, además del fósforo, materia orgánica (Walkley y Black) y pH potenciométrico en agua (1:2,5). En 22 de las muestras se determinó el porcentaje de arcilla por el método del hidrómetro (Black 1965 b). Se realizaron las siguientes determinaciones de

fósforo extraíble (PE): 1) Bray y Kurtz (1945) (BK), 2) Miller y Axley (Ashworth 1984) (MA), 3) soluble en agua (Black 1965 a) (PW) y 4) por resinas de intercambio aniónico (PRIA). Esta última se efectuó con relación suelo:agua:resina como la propuesta por Sibbesen (1977), agitando dos veces durante 3 horas, con reposo intermedio de 18 horas. Además se determinó el índice de sorción (Ron et al. 1995) (IS). En todos los casos se cuantificó el fósforo colorimétricamente, por el método de Murphy y Riley (1962). Se efectuaron correlaciones entre datos de sitio y los métodos a evaluar y de éstos entre sí. Las asociaciones se estudiaron para el conjunto de los casos y en grupos. La diferencia entre medias de PE, para grupos de IS alto y bajo, se testeó mediante contrastes de Scheffé (Steele, Torrie 1992). Para comparar sistemáticamente la habilidad de los 4 métodos (PE) en la predicción de la respuesta a 16 kg P ha^{-1} (ΔY), se utilizaron los datos de 24 ensayos de trigo (Ron, Loewy 1990). Se hicieron regresiones simples (ΔY vs. PE) y múltiples (ΔY vs. PE + otra variable) adicionando IS o textura.

RESULTADOS Y DISCUSION

Propiedades del suelo y fósforo extraíble

Las características analizadas se muestran en la Tabla 1. El pH no varió sustancialmente en rango o promedio, para los dos subórdenes, mientras que el porcentaje de arcilla y de materia orgánica fue mayor para los Udoles. La cantidad de fósforo extraído por los distintos métodos fue $MA > BK > PRIA \gg PW$. Los métodos de extracción de fósforo se asociaron positivamente, en los suelos de textura franco fina, con la materia orgánica. Además, esta correlación positiva fue altamente significativa para el PRIA, en el conjunto de los casos. La materia orgánica disminuye la adsorción de fósforo, tornándolo más disponible. Este fenómeno, junto con el aporte de fósforo por mineralización, explicaría las relaciones encontradas, particularmente en suelos más desarrollados. La relación negativa entre pH y BK hallada para ésta y otras

Tabla 1. Propiedades de los 42 suelos estudiados

| Propiedad | Promedio | Rango | Desvío Estándar |
|------------------------------|----------|-------------|-----------------|
| pH | 6,39 | 5,83 - 7,25 | 0,34 |
| Mat. orgánica (%) | | | |
| Ustoiles | 2,41 | 1,62 - 3,93 | 0,49 |
| Udoles | 3,47 | 2,30 - 5,17 | 0,70 |
| Arcilla (%) (n = 22) | | | |
| Ustoiles | 11,9 | 3,0 - 20,0 | 5,5 |
| Udoles | 24,3 | 18,0 - 30,0 | 4,2 |
| BK (mg kg^{-1}) | 9,7 | 3,4 - 24,0 | 5,1 |
| MA (mg kg^{-1}) | 10,7 | 4,1 - 25,8 | 5,4 |
| PW (mg kg^{-1}) | 0,25 | 0,09 - 0,55 | 0,11 |
| PRIA (mg kg^{-1}) | 7,3 | 1,9 - 16,8 | 3,8 |
| IS (%) | 49,2 | 18,0 - 97,7 | 18,0 |

BK, MA, PW y PRIA: fósforo extraíble por Bray y Kurtz, Miller y Axley, soluble en agua y por resinas de intercambio aniónico, respectivamente. IS: índice de sorción de fósforo.

zonas (Loewy, Puricelli 1982, Buschiazzi *et al.* 1990) sólo tuvo cierta importancia en los suelos de textura franco fina ($P < 0,10$).

Índice de sorción de fósforo

El IS se ensayó como una técnica orientativa de la capacidad reguladora de fósforo (CRP). Al igual que lo encontrado por Bolland *et al.* (1994) para un índice similar, la relación entre IS y CRP - estimada a partir de la ecuación de Bolaño (1984) - fue significativa. En general, la conexión entre los índices de sorción y la capacidad reguladora se basa en que ambos están asociados con el contenido de arcilla (López Camelo 1989). Para 22 casos

Tabla 2. Explicación de la variación de la respuesta a fósforo en trigo, para cuatro métodos de análisis, mediante regresiones simples.

| X | Coeficiente de determinación ($r^2 = \%$) de $\Delta Y = a + b X$ | | |
|------|---|---------|---------|
| | Todos los suelos | IS bajo | IS alto |
| BK | 44,2 ** | 27,1 | 74,8 ** |
| MA | 33,7 ** | 24,3 | 55,6 ** |
| PW | 29,9 ** | 30,8 | 47,0 ** |
| PRIA | 43,4 ** | 48,3 * | 38,3 * |

BK, MA, PW y PRIA: fósforo extraíble por Bray y Kurtz, Miller y Axley, soluble en agua y por resinas de intercambio aniónico, respectivamente. IS: índice de sorción de fósforo. *, **: regresiones significativas a $P < 0,05$ y $0,01$, respectivamente.

Tabla 3. Explicación de la variación de la respuesta a fósforo en trigo, para cuatro métodos de análisis, mediante regresiones múltiples.

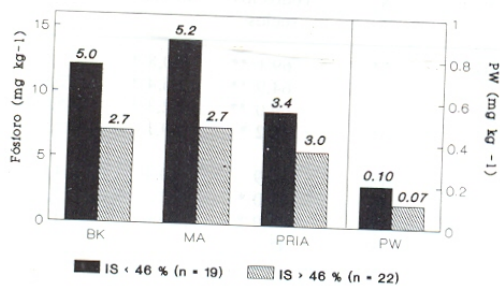
| X ₁ | X ₂ | Coef. de determinación ($r^2 = \%$) $\Delta Y = a + b X_1 + c X_2$ | | |
|----------------|----------------|--|---------|---------|
| | | Todos los suelos | IS bajo | IS alto |
| BK | M | 69,1 ** | 60,8 * | 77,6 |
| MA | M | 64,9 ** | 56,4 * | 72,8 * |
| PW | M | 69,0 ** | 52,3 * | 85,0 ** |
| PRIA | M | 56,2 * | 59,1 | 55,9 * |
| BK | IS | 49,9 | 30,4 | 84,6 * |
| MA | IS | 47,0 * | 32,1 | 52,5 |
| PW | IS | 47,9 * | 39,6 | 43,2 |
| PRIA | IS | 45,0 | 48,3 | 38,4 |

BK, MA, PW y PRIA: fósforo extraíble por Bray y Kurtz, Miller y Axley, soluble en agua y por resinas de intercambio aniónico, respectivamente. IS: índice de sorción de fósforo. M: variable dummy $M = 1$, textura franco-gruesa o gruesa $M = 0$, textura franco-fina. *, **: adición de X₂ a $Y = a + b X_1$ significativa a $P < 0,05$ y $0,01$, respectivamente.

en que se determinó el porcentaje de arcilla, se halló una relación positiva entre el IS y esta propiedad ($P < 0,05$). Esta también se verificó en los dos subórdenes, tomados aisladamente. El IS se relacionó negativamente con BK, MA y PW en los Udoles ($P = 0,04; 0,07$ y $0,01$ respectivamente). La relación entre IS y PE mantuvo las características ya señaladas para un menor número de casos (Ron *et al.* 1995): dos clases llamadas de alto y bajo IS (mayor o menor de 46 %), y predominancia de IS alto o bajo en suelos con BK menor de 8,5 o mayor de 12, en ese orden. En el grupo de IS alto el promedio de PE fue significativamente menor (Figura 1). Esto indica que los métodos son sensibles a la sorción de fósforo (MA > BK > PW > PRIA).

Correlación entre métodos de extracción de fósforo (PE)

Las correlaciones lineales entre los cuatro métodos fueron todas altamente significativas ($r^2 = 0,58 - 0,86$), cuando se consideró el conjunto de los casos. El nivel de asociación no difirió mayormente por familia textural. Por el contrario, cuando se agruparon por categorías de IS, PW mostró una relación mucho menos estrecha (aunque significativa) con los otros métodos, en los suelos con IS alto. Por ejemplo, para valores de PW entre 0,09 y $0,16 \text{ mg kg}^{-1}$ ($n = 12$) BK se mantuvo aproximadamente constante: alrededor de $5 - 6 \text{ mg kg}^{-1}$. Esto puede explicarse por el hecho que BK tiene la habilidad de reflejar la capacidad frente a una medida de la intensidad (PW). Considerando BK como el método estándar, la relación con MA tuvo pendiente muy cercana a 1, lo que indica que básicamente extraen las mismas cantidades de fósforo. En cuanto a PRIA en función de BK, la pendiente fue de 0,65 similar al valor encontrado por Baravalle *et al.* (1993).



BK: Bray Kurtz; MA: Miller y Axley; PRIA: Resinas; PW: soluble en agua. Números sobre barras: desvío estándar. Medias de las dos clases de IS difieren entre sí ($P < 0,01$) para 4 métodos.

Figura 1. Sensibilidad de los métodos de análisis de fósforo al índice de sorción.

Relación entre PE y respuesta a la fertilización (Y).

Con regresiones simples BK se destacó, junto con PW, en la explicación de la respuesta, mientras que MA no se reveló superior. PRIA sólo sobresalió para el grupo de IS bajo, probablemente por su menor sensibilidad a la sorción (Tabla 2) (Holford 1980). En las regresiones múltiples se destacaron nuevamente BK y PW. La familia textural tuvo un aporte consistente, en casi todas las categorías (Tabla 3). El IS fue útil como criterio para separar en clases de alto y bajo poder de sorción, más que como variable continua.

Consideraciones finales

Las correlaciones y caracterizaciones realizadas facilitan la interpretación de los análisis para el diagnóstico de fertilidad y recomendaciones de fertilización.

El método más popular (BK) se presenta como el mejor, particularmente cuando se agrupan los suelos por textura o IS.

El agrupamiento por familia textural es sencillo y permite separar los suelos franco-finos, que tuvieron un comportamiento más homogéneo. La determinación de IS para agrupar en categorías de "alto" y "bajo" no sería esencial para suelos con $BK < 8,5$ o $> 12 \text{ mg kg}^{-1}$.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue subsidiado por el Dpto. de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur.

REFERENCIAS

- Ashworth J. 1984 The 2-stage test for soil phosphorus. Does it work in Alberta? Alberta Soil Science Workshop. Proceedings: 209-219
- Avellaneda M O. 1980 Fósforo disponible en el suelo, su evaluación. IX Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo I: 123-159
- Baravalle R A, Rosell R A, Glave A E 1993 Phosphorus in the Pampean Semi-arid Region of Argentina. I Bray and anionic exchange resin extractable phosphorus. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 24:1567-1576
- Black C A. 1965 a Methods of soil analysis. Part I Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. American Society of Agronomy. Madison. pp 562-563
- Black C A. 1965 b Methods of soil analysis. Part II. Chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy. Madison. pp 1043-1044
- Bolaño A. 1984 Determinación de la capacidad reguladora y concentración ajustada de P en suelos de la Región Pampeana. Ciencia del Suelo 2:99-106
- Bolland M D A, Wilson I R, Allen D G. 1994 Effect of P buffer capacity and P retention index of soils on soil test P, soil test P calibration and yield response curvature. Aust. J. Soil Res. 32:503-17

- Bray R H, Kurtz L T. 1945 Determination of total, organic and available forms of phosphate in soils. *Soil Sci.* 59:39-45
- Buschiazzo D E, Hevia G, Hepper E N. 1990 Variación de la adsorción de fósforo y parámetros edáficos en una climosecuencia de suelos de la Región Semiárida Pampeana Central. *Ciencia del Suelo* 8:119-126
- Chang S C, Juo S R. 1963 Available P in relation to forms of phosphates in soils. *Soil Sci.* 95:91-96
- Fixen P E, Grove J H. 1990 Testing soil for phosphorus en R.L. Westerman (Ed.) *Soil testing and Plant Analysis*. 3rd. ed. SSSA Book Ser. 3. SSSA, Madison, WI. pp 141-180
- Holford I C R. 1980 Effects of phosphate buffer capacity on critical levels and relationships between soil tests and labile phosphate in wheat-growing soils. *Aust. J. Soil Res.* 18:405-14
- Loewy T, Puricelli C A. 1982. Disponibilidad de fósforo en suelos del área de la EEA Bordenave. Informe Técnico N° 28. 16 p
- López Camelo L G. 1989 Índices de sorción de fósforo y su relación con algunas propiedades de los suelos. *Ciencia del Suelo* 7:43-50
- Mendoza R E. 1989 Different performances of soil phosphate tests for reflecting the effects of buffering capacity on uptake of native phosphate with time. *Plant & Soil* 113:13-19
- Murphy J, Riley J P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta* 27:31-36
- Ron M, Loewy T. 1990 Fertilización fosfórica del trigo en el S.O. bonaerense. I Modelos de la respuesta. *Ciencia del Suelo* 8:187-194
- Ron M, Bussetti S G de, Loewy T. 1995 Uso de un índice de sorción como complemento del P extraíble en la fosfórica del trigo. *Ciencia del Suelo* 13:35-37
- Sharpley A W, Jones C A, Gray C, Cole C V, Tiessen H, Holzhey C S. 1985 A detailed phosphorus characterization of seventy eight soils. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service ARS-31, 32 pp.
- Sibbesen E. 1977 A simple ion exchange resin procedure for extracting plant-available elements from soil. *Plant and Soil* 46:665-669
- Steel R G D, Torrie J H. 1992 *Bioestadística : Principios y procedimientos*. McGraw Hill. p. 177