

COMPARACIÓN DE METODOS DE EXTRACCIÓN DE FOSFORO DISPONIBLE BRAY I SOBRE LA RESPUESTA DE LA FERTILIZACIÓN FOSFATADA EN TRIGO.

EC ZAMUNER, HE ECHEVERRIA, LI PICONE

Unidad Integrada EEA INTA Balcarce – Facultad de Ciencias Agrarias (UNMP). CC 276, (7620) Balcarce, Argentina. Email: fisicabalc@balcarce.inta.gov.ar

Recibido 30 de agosto de 2004, aceptado 13 de diciembre de 2004

PHOSPHORUS EXTRACCTION AND WHEAT RESPONSE FERTILIZATION

Soil test interpretation in order to estimate P fertilizer requirements in wheat under no-tillage (SD) is based on the integration of the analytic result of available P Bray1 (Pd) and crop P requirements. The concentration of Pd depends on the position tubes during the extraction phase. There are, however, no published reports about their influence in the diagnosis of the fertilization requirements. The objectives of this work were to compare the effect of the position of the tubes during the analytic Pd determination in: I) the quantity of Pd obtained, and II) the relationship between response of wheat and Pd at sowing. The study was conducted in 17 farm fields with wheat (*Triticum aestivum L.*) under SD in the southeast of Buenos Aires province. Pd was determined in samples taken to a soil depth of 20 cm and segmented into 0-5, 5-10 and 10-20 cm and using the tubes in horizontal or vertical position during extraction phase. Wheat yield response was expressed as relative yield (RR) and related to Pd by using linear-plateau model, for the depths of 0-5, 0-10 and 0-20 cm. Pd obtained using different tubes positions were positively correlated ($r=0,85$, $p=0,0001$), but more Pd was extracted by the horizontal position than by the vertical placement (27,5 and 15,0 mg P kg⁻¹; respectively). Soil samples taken from less than 20 cm deep did not improve the R² values in the model used. Although the use of both positions tubes resulted in similar R² values when 0-10 or 0-20 soil sampling depth was used (R²: 0,55-0,58 and 0,67-0,70 for 0-10 and 0-20 cm, respectively), the regression lines parameters were different and, as consequence, the critical value of Pd was higher when the tubes were placed horizontally.

Key words: available phosphorus – no tillage – bray 1 -triticum aestivum – diagnosis fertilization

INTRODUCCION

El desarrollo del método de diagnóstico de requerimiento de fósforo (P) basado en la extracción de fósforo disponible (Pd), puede ser dividido en tres etapas: correlación, calibración e interpretación (Dahnke, Olson 1990). En la primera se determina si existe relación entre el rendimiento del cultivo y el Pd extraído del suelo por un método analítico definido. Durante el período de calibración se relacionan los valores de Pd con el rendimiento relativo o absoluto del cultivo (Bartholomew 1972). La etapa de interpretación se refiere a la integración de ésta información con los requerimientos de P del cultivo para lograr un rendimiento objetivo, de manera de poder efectuar una recomendación de fertilización. Para el cultivo de trigo bajo labranza convencional en el sudeste bonaerense Echeverría y García (1998) mostraron que el procedimiento de extracción

de Pd de Bray y Kurtz 1 (Pd) en muestras de suelo de 0-20 cm de profundidad correlacionaba satisfactoriamente con el rendimiento relativo del cultivo. Empleando un modelo continuo establecieron categorías de concentración de Pd en el suelo de acuerdo a la probabilidad de respuesta del cultivo al agregado de fertilizante. Finalmente, integrando el valor de Pd en el suelo con la cantidad de P exportada en los granos y, el empleando el concepto de nivel de suficiencia y parcial reconstrucción del nivel de P en el suelo (Dahnke Olson 1990), generaron los criterios necesarios para efectuar las recomendaciones de fertilización fosfatada válidas para los suelos de la zona.

El peligro de erosión hídrica que se presenta en algunas áreas de la región pampeana es uno de los factores que ha impulsado la difusión de sistemas de cultivo sustentables como la siembra directa (SD)

(Peiretti 2002). Esta práctica modifica algunas propiedades físicas y químicas del suelo y la dinámica de los nutrientes respecto de los sistemas convencionales. En el caso particular del P se ha observado en algunos casos una acumulación superficial de Pd y una marcada disminución del mismo con el aumento de la profundidad de suelo (Cowie *et al.* 1996; Selles *et al.* 1999), lo que ha inducido a que algunos investigadores sugieran emplear profundidades de muestreo menores a las utilizadas en labranza convencional (Wells 1985). Por el contrario, Bordoli y Mallarino (1998) recomiendan no variar la profundidad de muestreo respecto a la utilizada en labranza convencional. Para los suelos del sudeste de la provincia de Buenos Aires la estratificación ha sido corroborada por Calviño *et al.* (2002) en cultivos de trigo bajo SD. Sin embargo, luego de analizar las curvas de respuesta en rendimiento del cultivo en función del Pd a diferentes profundidades de muestreo, estos autores sugieren la validez de realizar el

diagnóstico de los requerimientos de fertilizante fosfatado, para trigo bajo SD, empleando la metodología descrita para labranza convencional.

El método de análisis de Pd en el suelo de Bray y Kurtz 1 remueve los fosfatos más disponibles para el crecimiento vegetal (Jackson 1960) utilizando una mezcla de $\text{NH}_4\text{F}0,03\text{N}$ y $\text{HCl} 0,025\text{N}$ y los cuantifica empleando una técnica colorimétrica. La etapa de extracción de Pd es clave en el análisis, y la cantidad de Pd que puede obtenerse depende de la relación suelo:solución y de la forma y tiempo de agitación empleado (Hasset, Walker 1974; Barrow, Shaw 1979). En el sudeste bonaerense, el método de Bray y Kurtz 1 ha sido correlacionado y calibrado empleando para la extracción una relación suelo:solución 1:8, colocando los tubos en posición vertical y agitándolos por 5 min. a 140 golpes min^{-1} (Echeverría *et al.* 1980). Una experiencia realizada por Boschetti *et al.* (2003) con suelos de Buenos Aires y Entre Ríos pone en

Tabla 1: Ubicación, características edáficas y prácticas de manejo de los lotes utilizados en este estudio.

Table 1: Location, soil characteristics and management practices at the study sites.

| Lote | Ubicación | pH | COT | Pd | Años SD | Dosis P | Cultivo antecesor | Varietal sembrada |
|------|-----------|-----|-----------------------|---------------------|---------|---------------------|-------------------|-------------------|
| | | | G 100 g ⁻¹ | mg kg ⁻¹ | | kg ha ⁻¹ | | |
| 1 | B | 5,8 | 4,58 | 17,5 | 3 | 14 | G | Pegaso |
| 2 | B | 5,8 | 4,18 | 18,3 | 3 | 12 | G | Pegaso |
| 3 | B | 5,8 | 4,87 | 10,1 | 3 | 13 | M | Pegaso |
| 4 | B | 6,2 | 4,23 | 25,2 | 2 | 12 | S | Poncho |
| 5 | B | 5,7 | 3,83 | 10,3 | 3 | 10 | G | Estrella |
| 6 | B | 6,0 | 3,89 | 17,6 | 4 | 16 | S | Pegaso |
| 7 | B | 5,9 | 4,00 | 26,9 | 5 | 10 | G | Estrella |
| 8 | B | 5,7 | 3,01 | 8,7 | 5 | 16 | S | Estrella |
| 9 | B | 5,7 | 3,54 | 9,7 | 4 | 16 | S | Poncho |
| 10 | T | 5,8 | 3,60 | 19,1 | 6 | 14 | M | Estrella |
| 11 | T | 5,8 | 3,60 | 24,9 | 6 | 14 | M | Estrella |
| 12 | T | 5,6 | 3,94 | 13,2 | 3 | 20 | G | Poncho |
| 13 | T | 5,8 | 3,13 | 16,5 | 1 | 21 | S | Estrella |
| 14 | T | 5,8 | 3,42 | 19,1 | 4 | 21 | S | Estrella |
| 15 | T | 6,2 | 2,90 | 10,5 | 5 | 20 | G | Estrella |
| 16 | T | 5,5 | 3,77 | 5,5 | 3 | 20 | S | Poncho |
| 17 | T | 5,9 | 4,35 | 17,8 | 1 | 22 | S | Dragon |

B:Partido de Balcarce, T:Partido de Tandil, SD:Siembra directa

pH: Relación suelo:agua 1:2,5 (0 a 20 cm), COT: Carbono orgánico total (0 a 20 cm), Pd: P disponible Bray 1 (0 a 20 cm).

G:Girasol, M:Maíz, S:Soja, T:Trigo.

evidencia que se extrae más Pd cuando los tubos se colocan en posición horizontal que vertical, sin hacer referencia al efecto que esta diferencia puede tener en el diagnóstico de fertilización.

En función de éstos antecedentes se hipotetiza que: la relación entre la concentración de Pd y la respuesta en rendimiento, es similar cuando se cuantifica Pd empleando los tubos en posición horizontal o vertical.

Para probar la hipótesis planteada en cultivos de trigo del sudeste bonaerense bajo SD, se plantearon como objetivos establecer la relación entre la concentración de Pd obtenida utilizando los tubos en posición horizontal o vertical durante la etapa de extracción; y examinar la relación entre la respuesta en rendimiento en grano y la concentración de Pd del suelo obtenida utilizando los tubos en posición horizontal o vertical, para distintas profundidades de muestreo.

MATERIALES Y METODOS

Esta investigación se llevó a cabo en el sudeste de la provincia de Buenos Aires en 17 lotes de productores, ubicados en los partidos de Balcarce y Tandil. Estos lotes fueron cultivados con trigo bajo SD en la campaña agrícola 2000-2001. Los suelos predominantes en la zona pertenecen a los subgrupos Argiudol típico y Paleudol petrocálcico (USDA Soil Classification). El clima es mesotermal-húmedo-subhúmedo (Damario, Pascale 1988) con una precipitación media anual de 928 mm (promedio

1970-2000), ocurriendo el 80% de las mismas en primavera-verano.

En cada lote se delimitó una franja de aproximadamente 14 m de ancho que se conservó sin fertilizar con P (tratamiento testigo), mientras que el resto del lote fue fertilizado (tratamiento fertilizado). Se marcó una parcela de 10 m² en la franja sin fertilizar con P y otra de igual tamaño en la zona fertilizada. Se aplicó fosfato diamónico a la siembra en línea a una dosis variable entre 50 y 110 kg P ha⁻¹, que se calculó en base a la concentración de Pd a la siembra en muestras de suelo de 0-20 cm de profundidad y el requerimiento de P por Tn de grano para obtener un rendimiento esperado de 4500 kg ha⁻¹ (Echeverría, García 1998). Se aseguró la disponibilidad de nitrógeno durante el ciclo del cultivo en todos los tratamientos, agregando urea al voleo en dosis variable según el lote. Algunas características edáficas, años previos de SD, dosis de fertilización fosfatada, cultivo antecesor y variedad se muestran en la Tabla 1.

Previo a la siembra del cultivo de trigo se tomaron muestras de suelo en las parcelas del tratamiento testigo. Cada muestra se compuso de 30 submuestras recolectadas al azar de los 0-20 cm de profundidad y segmentadas en 0-5, 5-10 y 10-20 cm, que se secaron al aire y se tamizaron por una malla de 0,5 mm. Se determinó Pd por el método de Bray y Kurtz 1 (Bray, Kurtz 1945), agitando 2,5 g de suelo y 20 mL de solución extractora (HCl 0,025N + NH₄F 0,03N) en tubos de 50 mL de capacidad en un agitador recíproco de 4 cm de recorrido durante 5 min. a 140 golpes min⁻¹. La suspensión se centrifugó durante 5 min. a 3000 rpm y se cuantificó el P inorgánico por el método de Murphy y Riley (1962).

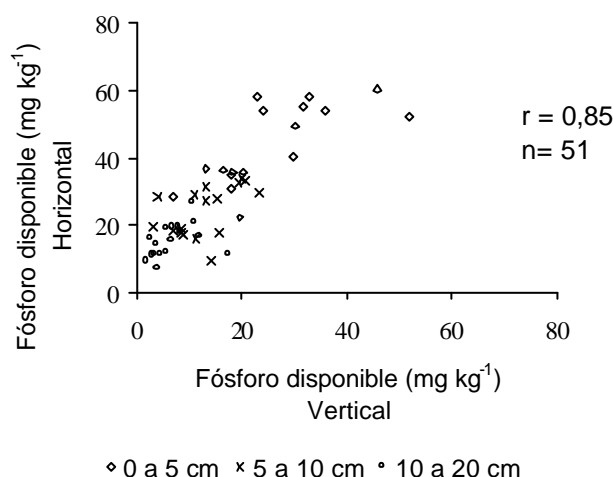


Figura 1: Relación entre la concentración de fósforo disponible-Bray determinada agitando los tubos en posición horizontal (Horizontal) y vertical (Vertical), a tres profundidades de muestreo de suelo.

Figure 1: Relationship between available P-Bray 1 shaking the tubes in horizontal (Horizontal) or vertical (Vertical) position at three sampling depths.

La agitación del suelo con la solución extractora se realizó con los tubos colocados en posición horizontal o vertical. Todos los análisis de suelo se realizaron por duplicado, en cada muestra compuesta. Se correlacionaron las concentraciones de Pd obtenidas agitando el suelo con la solución extractora en tubos colocados en ambas posiciones, empleando el PROC CORR del programa Statistical Analysis System (SAS Institute Inc. 1988). La comparación de medias entre ambos tratamientos (vertical y horizontal) se realizó utilizando la prueba t de muestras apareadas.

Cuando el cultivo alcanzó la madurez fisiológica se cosechó manualmente un área de 0,54 m² en las parcelas testigo y fertilizada. El material vegetal se secó a temperatura ambiente, se determinó el contenido de humedad en el grano y se ajustó el rendimiento al 14% de humedad. La respuesta en rendimiento se expresó como rendimiento relativo (RR) en porcentaje, que se calculó como el cociente entre el rendimiento del cultivo sin fertilizar y el del cultivo fertilizado. Las curvas de respuesta fueron representadas para las profundidades de muestreo de 0-5, 0-10 y 0-20 cm. La concentración de Pd hasta los 5 cm correspondió a la determinada en las muestras tomadas a la profundidad de 0-5 cm. La disponibilidad de P entre los 0 y 10 cm se calculó como: (Pd a 0-5 cm + Pd a 5-10 cm) / 2. La correspondiente a 0 a 20 cm se calculó como: (Pd a 0-5 cm + Pd a 5-10 cm + 2* Pd 10-20 cm) / 4. Para describir la relación entre la concentración de Pd y RR para cada combinación de posición de los tubos con profundidad de muestreo, se empleó el modelo lineal-plateau. Las funciones se ajustaron usando el procedimiento del modelo lineal general (GLM) y de regresión no lineal (NLIN) del programa Statistical Analysis System (SAS Institute Inc. 1988). Se obtuvo el valor crítico de Pd en el suelo que corresponde al punto de intersección del componente lineal y plateau del modelo. Para evaluar las diferencias entre los parámetros de las ecuaciones se utilizó un modelo de regresión múltiple con variables Dummy.

RESULTADOS Y DISCUSION

La metodología tradicionalmente empleada para cuantificar la disponibilidad de P en el suelo con fines de diagnóstico de fertilización en el sudeste bonaerense agita los tubos en posición vertical durante la etapa de extracción, por lo que la ubicación horizontal de los mismos fue considerada una alternativa a la metodología tradicional. Ambos procedimientos de extracción se evaluaron en un amplio rango de Pd, comprendido entre 1,9 y 60,1 mg P kg⁻¹, registrándose una estrecha ($r=0,85$) y significativa ($p=0,0001$) correlación entre la

concentración de Pd obtenida por ambos (Figura 1). La colocación horizontal de los tubos, al mejorar el contacto del suelo con la solución extractora, permitió extraer una cantidad de Pd significativamente ($p=0,0001$) mayor que la ubicación vertical ($27,5 \pm 2,1$ y $15,0 \pm 1,5$ mg P kg⁻¹, respectivamente), concordando con lo señalado por Boschetti *et al.* (2003).

Dado que la finalidad del análisis de suelo es el diagnóstico de la fertilización fosfatada, el siguiente paso fue establecer la relación entre la concentración de Pd obtenida con ambos procedimientos de extracción y el RR. Como la respuesta del cultivo no depende únicamente de la disponibilidad de nutrientes del suelo, el seguimiento de algunas condiciones ambientales permitió considerar su efecto sobre la producción de grano. Al momento de la siembra la humedad del suelo aseguró una buena emergencia. Las precipitaciones fueron suficientes para cubrir la demanda de agua del cultivo durante las primeras etapas del desarrollo, disminuyendo a partir de Noviembre y provocando balances hídricos ligeramente negativos (5 a 15 mm) en los 20 días previos a la cosecha. Bajo estas condiciones se obtuvieron rendimientos promedio en grano de 4 Mg ha⁻¹ en las parcelas testigo y 4,7 Mg ha⁻¹ en las fertilizadas.

La relación entre RR y concentración de Pd, para las 3 profundidades de muestreo y ambos procedimientos de extracción (tubos en posición horizontal o vertical), se describió utilizando el modelo lineal-plateau (Figura 2) el cual presentó un estrecho ajuste ($p<0,05$) en todas las situaciones (Tabla 2). Cuando se utilizaron muestras de los primeros 5 cm de suelo y se colocaron los tubos en posición horizontal, el 38% de la respuesta en rendimiento del cultivo se explicó por la disponibilidad de Pd; sin embargo, cuando la extracción de Pd se realizó empleando la posición vertical, el coeficiente de determinación aumentó a 0,5. Para las profundidades de 0-10 y 0-20 cm, los valores de R² obtenidos con los tubos en posición horizontal y vertical fueron similares (Tabla 2).

Con respecto al empleo de muestras provenientes de diferentes profundidades de suelo, los resultados expresan que los muestreos a profundidades inferiores a los 20 cm resultan en menores R², independientemente del procedimiento de extracción (Tabla 2).

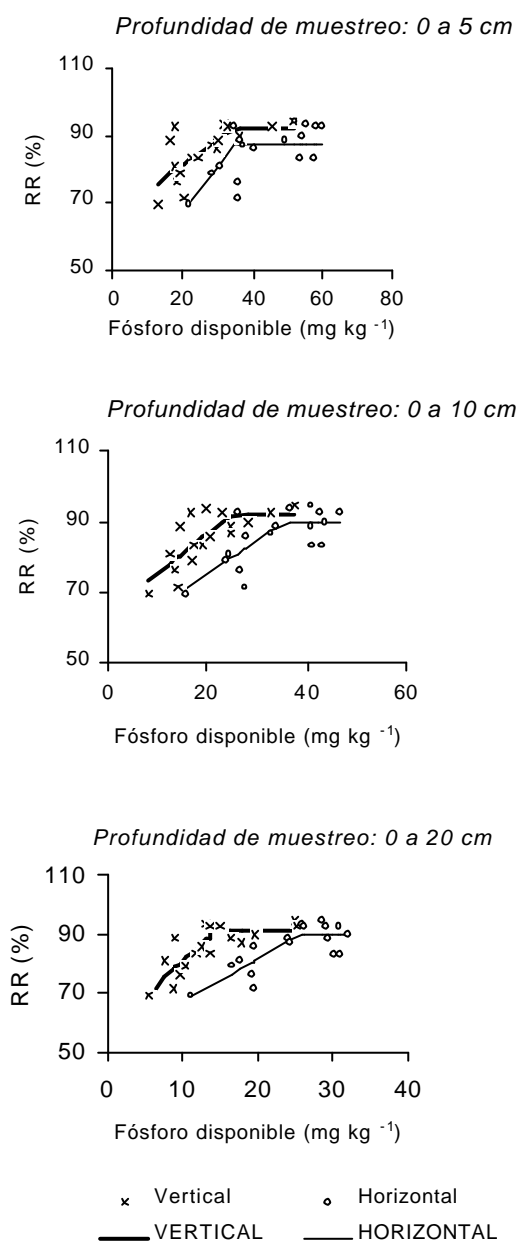


Figura 2: Modelo lineal-plateau utilizado para describir la relación entre el rendimiento relativo (RR) del cultivo de trigo bajo simebre directa y fósforo disponible-Bray1 determinado agitando los tubos en posición horizontal y vertical, para diferentes profundidades de muestreo de suelo.

Figure 2: Relative yield (RR) of wheat under no-tillage to available P-Bray1 shaking the tubes in horizontal (Horizontal) or vertical (Vertical) position, at three sampling depths.

Esto confirma lo informado por Calviño *et al.* (2002) quienes, evaluando ensayos de fertilización de trigo bajo SD en la zona sudeste de la provincia de Buenos Aires, obtuvieron los menores coeficientes de determinación ($R^2=0,31$) cuando los muestreos se realizaban hasta los 5 cm de profundidad, y valores de igual magnitud a los reportados en este trabajo cuando las muestras se tomaban a 0-20 cm ($R^2=0,67$). Si bien la concentración promedio de Pd decreció con la profundidad (43,6; 23,8 y 15,1 mg P kg^{-1} para muestras tomadas a 0-5, 5-10 y 10-20 cm; respectivamente) la cantidad de Pd en función del volumen de suelo explorado por las raíces incrementó en forma notable (21,8; 33,7 y 48,8 kg P ha^{-1} para 0-5, 0-10 y 0-20 cm de profundidad; respectivamente). Estos niveles de Pd en el subsuelo harían que el cultivo fuese menos dependiente de la disponibilidad en superficie, por lo cual los muestreos más profundos representaron mejor la provisión de Pd (kg ha^{-1}) durante la estación de crecimiento, y por lo tanto su respuesta en rendimiento.

El análisis de los parámetros de las ecuaciones de regresión con igual RR y diferente procedimiento de extracción (Tabla 2) indicó que, dentro de cada profundidad de muestreo, no hubo diferencias significativas ($p>0,05$) entre las pendientes de las líneas de regresión. Sin embargo, las ordenadas al origen fueron mayores ($p<0,001$) cuando se utilizaron los tubos en posición vertical que horizontal. Esto indica la necesidad de construir una curva de ajuste diferente para cada procedimiento de extracción y profundidad de muestreo. De cada modelo de ajuste se obtuvo un valor crítico de Pd, que señala la concentración de Pd en el suelo por encima de la cual no se esperan incrementos en la respuesta en rendimiento debidos a la fertilización fosfatada. Los mismos variaron de 26 a 35 mg P kg^{-1} y de 14 a 34 mg kg^{-1} cuando se utilizaron los tubos en posición horizontal y vertical, respectivamente (Tabla 2). A pesar de la diferencia para cada una de las posiciones de agitación, se pone de manifiesto que el valor crítico disminuye en la medida que la profundidad de muestreo aumenta. Estos resultados tendrían implicancias en el diagnóstico de los requerimientos de fertilización fosfatada, ya que la modificación del procedimiento de extracción

Tabla 2: Ecuaciones de ajuste del modelo lineal-plateau y valor crítico de fósforo disponible-Bray 1 para tres profundidades de muestreo.

Table 2: Equations of linear-plateau model and critical levels of Bray 1 available P for three sampling depths.

| Profundidad de muestreo | Posición de los tubos | Ecuación | Pr>F | R ² | Valor crítico |
|-------------------------|-----------------------|--------------------|--------|----------------|---------------|
| 0 a 5 cm | <i>Horizontal</i> | RR = 39,3 + 1,4 Pd | 0,0350 | 0,38 | 35 |
| | <i>Vertical</i> | RR = 66,9 + 0,7 Pd | 0,0076 | 0,50 | 34 |
| 0 a 10 cm | <i>Horizontal</i> | RR = 56,0 + 1,0 Pd | 0,0037 | 0,55 | 35 |
| | <i>Vertical</i> | RR = 64,4 + 1,1 Pd | 0,0023 | 0,58 | 25 |
| 0 a 20 cm | <i>Horizontal</i> | RR = 53,3 + 1,4 Pd | 0,0002 | 0,70 | 26 |
| | <i>Vertical</i> | RR = 59,0 + 2,2 Pd | 0,0004 | 0,67 | 14 |

Para y = :Rendimiento Relativo (RR; %), x = Fósforo disponible (Pd; mg kg⁻¹).

Ecuación aplicable a valores de Pd menores al valor crítico.

Valor crítico (mg kg⁻¹).

de Pd y/o la profundidad de muestreo, cambiaría el valor crítico de Pd para el cultivo de trigo utilizada actualmente (Echeverría, García 1998).

La agitación del suelo en tubos en posición horizontal no mejoró los valores de R² (dentro de una misma profundidad), respecto a la posición vertical. (Tabla 2). Por lo tanto, no habría ventajas en reemplazar una metodología de extracción por otra si el objetivo fuese mejorar el R².

Dado que los muestreos a profundidades menores a los 20 cm no resultaron en un mejor ajuste de la función de regresión de Pd vs. RR (Tabla 2) y, teniendo en cuenta que habitualmente se toman muestras de 0-20, 20-40 y 40-60 cm para efectuar el diagnóstico de requerimiento de nitrógeno para el cultivo de trigo, se considera que la utilización de muestras a 0-20 cm tendría la ventaja de permitir la evaluación de ambos nutrientes.

En conclusión, para los suelos del sudeste bonaerense, la modificación en la posición de los tubos durante la extracción de Pd o la profundidad de muestreo no redundan en una mejora en el método de diagnóstico de requerimientos de P en trigo, por lo que no se recomienda la adopción de estas modificaciones.

AGRADECIMIENTO

Trabajo financiado por el Proyecto AGR 163/03 de la Facultad de Ciencias Agrarias (UNMP) y por la Estación Experimental Agropecuaria INTA de Balcarce.

BIBLIOGRAFIA

Barber SA. 1980. Soil-plant interactions in the

phosphorus nutrition of plants. *En*: Khasawneh, F.E.; E.C. Sample and E.J. Kamprath (eds.) The Role of Phosphorus in Agriculture. ASA, CSSA, SSSA. Madison, WI. pp. 591-654.

Barrow NJ, Shaw TC. 1979. Effects of solution:soil ratio and vigour of shaking on the rate of phosphate adsorption by soil. *J. of Soil Sci.* 30:67-76.

Bartholomew WV. 1972. Soil nitrogen-supply processes and crop requirements. North Carolina State Univ. Int. Soil Testing Ser. Tech. Bull. 6.

Berardo A. 1994. Aspectos generales de fertilización y manejo de trigo en el área de influencia de la Estación Experimental INTA Balcarce. *Boletín Técnico* N° 128. Est. Exp. Agrop. INTA Balcarce. 34 p.

Boschetti G, Quintero C, Diaz-Zorita M, Barraco M. 2003. Determinación del fósforo disponible en el suelo por el método de Bray. El fósforo en la Agricultura Argentina. INPOFOS Cono Sur Ed. Pp. 69-74.

Bray RH, Kurtz L. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59: 39-45.

Calviño P, Echeverría HE, Redolati M. 2002. Estratificación de fósforo en el suelo y diagnóstico de la fertilización fosfatada en trigo en siembra directa. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur (INPOFOS)* 14: 1-4.

Covacevich F, Echeverría HE, Aguirrezabal LA. 1998. Influencia del fósforo sobre el crecimiento aéreo y radical de plantas de trigo. *Ciencia del Suelo* 16: 94-98.

Cowie BA, Hstie M, Hunt SB, Ashar M, Lack DW, Ashar M. 1996. Surface soil nutrient distribution following zero tillage and traditional tillage management. *Proceeding of the 8th Australian Agronomy Conference*, Toowoomba, Queensland, Australia. pp. 160-163.

Dahnke WC, Olson RA. 1990. Soil test correlation,

- calibration and recommendation. p. 45-71. *En:* R.L. Westerman (ed.). Soil testing and plant analysis. Soil Science Society of America Book Series N°3. SSSA, Madison, WI.
- Damarío EA, Pascale FO. 1988. Características agroclimáticas de la región pampeana argentina. *Rev. Fac. Agr.* 9:41-64.
- Echeverría HE, Navarro C, Iglesias M. 1980. Evaluación de distintos métodos de análisis de nitrógeno y fósforo disponible en suelos del sudeste bonaerense bajo condiciones de invernáculo. IX Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo. 491-498.
- Echeverría HE, García FO. 1998. Guía para la fertilización fosfatada de trigo, maíz, girasol y soja. EEA-INTA Balcarce. Boletín Técnico N° 149. 16 p.
- Hasset JJ, Walker WM. 1974. Method of correcting for the effect of shaking time on the Bray P₁ test. *Agron. J.* 66:826-828.
- Jackson ML. 1960. Soil chemical analysis. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- James DW, Wells KL. 1990. Soil sample collection and handling: Technique based on source and degree of field variability. *En:* SSSA, Inc (ed.) Soil Testing and Plant Analysis. Madison, WI pp. 25-44.
- Munson RL, Murphy LS. 1986. Factors affecting crop response to phosphorus. *En:* Phosphorus for Agriculture. A situation Analysis. Atlanta. G.A.
- Murphy J, Riley JP. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta.* 27: 31-36.
- Peiretti RA. 2002. Consideraciones sobre el sistema agrícola Argentino. Desafíos y oportunidades frente al escenario actual. X Congreso Nacional de AAPRESID. Rosario. Argentina. pp. 47-79.
- Power JF, Grumas DL, Reichmen GA, Willis WO. 1964. Soil temperature effects on phosphorus availability. *Agron. J.* 56: 545-548.
- SAS Institute Inc. 1988. SAS/STAT Users Guide. Version 6.03 Edition. Cary, NC.
- Selles F, McConkey BG, Campbell CA. 1999. Distribution and forms of P under cultivator and zero-tillage for continuous and fallow-wheat cropping systems in the semi-arid Canadian prairies. *Soil Till. Res.* 51: 47-59.