

VARIABILIDAD ESPACIAL DEL FÓSFORO EXTRACTABLE A NIVEL MICROESCALA DURANTE EL CICLO DE UN CULTIVO DE TRIGO BAJO DOS SISTEMAS DE LABRANZA¹

Extractable phosphorus spatial variability at microscale level during a wheat crop cycle under two tillage systems

Lidia Giuffré², Carla Pascale², Marta Conti², Silvia Ratto² y Olga Heredia²

ABSTRACT

This work was carried out taking into account new trends of plot management according to specific-site characteristics. Its objectives were to analyse Bray-extractable P variability in a field experiment with a wheat crop under two tillage systems: reduced tillage and no-tillage, and also to compare them with a degraded pasture. 30 soil samples spaced 30 cm from each other were obtained from a transect for each treatment during the months of July, October and December. Bray P values showed high spatial variability with variation coefficients ranging from 12 to 26% whereas the degraded pasture presented temporal homogeneity, with non-significant differences related to sampling time ($P < 0.05$). For the second sampling date (October), extractable P values from the reduced tillage treatment showed significantly lower values ($P < 0.05$) and no-tillage treatments displayed a significant increase ($P < 0.05$). Bray P and gravimetric moisture showed a positive ($r = 0.53$, $n = 90$) and significant ($P < 0.01$) correlation coefficient under no-tillage conditions.

Key words: extractable phosphorus, spatial variability, tillage.

INTRODUCCIÓN

El manejo de potreros por sitio específico, con mapas de suelos archivados en una base de datos provenientes del Geographical Information System (GIS), ha reactualizado el interés por el estudio tanto del contenido de nutrientes de un lote, como de la variabilidad espacial de los mismos, que sin duda es de importancia en la determinación de los rendimientos, e influirá en el caso de aplicaciones localizadas de fertilizantes. Al adoptarse esta tecnología, cada lote o potrero debe contar con archivos que muestren su variabilidad, que con el análisis de las respues-

tas obtenidas en rendimientos para cada situación de manejo considerada, servirá como base de guía para las decisiones alternativas.

Para obtener la mayor eficiencia en el uso de los recursos, la variabilidad espacial tanto del agua como de los nutrientes debe ser evaluada, de modo que un insumo externo como la fertilización permita mantener la sustentabilidad del sistema (Brower *et al.*, 1994). Los factores que determinan la variabilidad espacial natural son variados (Giuffré *et al.*, 1994), y a ellos puede agregarse la distribución heterogénea de la materia orgánica particular a nivel microescala, y a condiciones de anaerobiosis en partes de algunos macroagregados (Luo *et al.*, 1994).

El fósforo es un macronutriente que presenta una alta variación tanto en el espacio como en el

¹Recepción de original: 22 de mayo de 1997.

²Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Av. San Martín 4453, 1417. Buenos Aires, Argentina. E-mail: giuffre@ifeva.edu.ar

tiempo. Los mapeos exactos deberían basarse en muestreos detallados, con una distancia entre muestras que no supere los 20 metros (Wollenhaupt *et al.*, 1994). En el caso de los fosfatos se han empleado, por ejemplo, rangos de 10 metros (Lookman *et al.*, 1996), 20 metros y 6 metros (Giuffré *et al.*, 1994).

Además de la variabilidad natural de los potreros, debe tenerse en cuenta los cambios en la distribución espacial de los nutrientes causados por acción de los sistemas de labranza o la aplicación de fertilizantes, que han sido considerados como una variabilidad espacial "extrínseca", que difiere de la variabilidad natural (Nkedi-Kizza *et al.*, 1994).

Los sistemas de manejos conservacionistas conducen en general a una estratificación del fósforo, con concentraciones superiores en la superficie del suelo a las encontradas con laboreos convencionales (López Fando y Almendros, 1995; Pezzarrosa *et al.*, 1995). Además existe consenso acerca de las dificultades para su muestreo, tanto en suelos no fertilizados como en tratamientos con fertilización fosforada que producen también concentración en determinadas áreas (Grant y Bailey, 1994).

Los objetivos de este trabajo fueron: determinar la variabilidad espacial del fósforo extractable a nivel microescala, mediante la obtención de muestras de suelo en una transecta cada 30 cm; comparar la variabilidad en un cultivo de trigo con dos sistemas de labranza: reducida y siembra directa, y en una pastura degradada adyacente; y relacionar el contenido de fósforo extractable con la humedad del suelo en el momento de muestreo para cada situación de manejo estudiada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un ensayo a campo durante 1994 en el marco del Ensayo Cultivos sin Labranza, en la Estación Experimental del Instituto Nacional

de Tecnología Agropecuaria (INTA) Marcos Juárez, provincia de Córdoba, República Argentina (32° 43' Latitud Sur y 62° 8' Longitud Oeste). La temperatura media anual es de 17 °C, y la precipitación media anual de 900 mm. El suelo estudiado fue un Argiudol típico, serie Marcos Juárez, con pH levemente ácido (6,4) y con moderado contenido de carbono total (1,6%).

Las parcelas experimentales de trigo (*Triticum aestivum* L. cv. PROINTA Federal) fueron sembradas en 1994 y tenían una superficie de 450 m². El ensayo se realizó sobre cultivo de trigo que venía de una rotación de 8 años soja (*Glycine max* L.)/maíz (*Zea mays* L.) en sistemas de labranza de siembra directa y reducida.

Los tratamientos fueron: labranza reducida y siembra directa, ambos sin fertilización, y una pastura degradada de 5 años, adyacente al ensayo, compuesta por alfalfa (*Medicago sativa* L.) y festuca (*Festuca arundinacea* L.). La labranza reducida se efectuó con cincel a 15 cm de profundidad, rastra de discos a 10 cm de profundidad, y rastra de dientes. La siembra directa se realizó con una sembradora para siembra directa (Semeato). El control de malezas se realizó con Metsulfuron Metil 60% + Dicamba 48% (Misil) y 2,4-D éster 80% (2-4 D) durante el barbecho y luego se aplicó Misil al cultivo en ambos tratamientos.

Se tomaron muestras perpendiculares a las operaciones de labranza, según lo aconsejado por Chung *et al.* (1995) cada 30 cm obteniéndose 30 muestras puntuales por tratamiento, de 0-5 cm de profundidad. No se realizaron aplicaciones de fertilizantes en el cultivo ni en el antecesor. Las muestras de la pastura fueron extraídas siguiendo el mismo patrón de muestreo que en las parcelas del cultivo.

Todos los puntos de muestreo se identificaron de modo de estudiar la variabilidad estacional, obteniéndose repeticiones en las siguientes épocas, según escala de Feekes para el cultivo de

trigo: germinación y emergencia (2-3 hojas, 29 de julio), formación y maduración de grano (grano lechoso, 26 de octubre) y cosecha de trigo (15 de diciembre).

El contenido de fósforo extractable fue determinado a temperatura constante (20 +/- 2 °C) en todas las determinaciones, con la técnica de Bray-Kurtz Nº 1 (Jackson, 1970). Se realizaron análisis estadísticos clásicos con el programa Statistix versión 4,0 (1994).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las Figuras 1, 2 y 3 se observa la variabilidad espacial del P para cada tratamiento en los tres muestreos sucesivos realizados sobre idénticos puntos espaciados a 30 cm. Aunque existe una importante variación de las determinaciones, ésta fue menor que en trabajos anteriores (Giuffré *et al.*, 1994) debido a la microescala empleada (30 cm). Los coeficientes de variabilidad oscilaron entre 15 y 26% para la pastura (medios a altos), 18 y 19% para la labranza reducida (medios), y 12 y 18% (medios) para la siembra directa (Pimentel Gomes, 1987), como puede observarse en el Cuadro 1.

Tiessen y Santos (1989), consideran que la variabilidad espacial natural de los indicadores de fertilidad como el fósforo puede ser muy amplia, y encontraron para este elemento coeficientes de variación del 50%.

En esta situación no se repitieron los resultados de un trabajo anterior (Giuffré *et al.*, 1995), en que la labranza convencional resultó en una mayor homogeneidad de los niveles de fósforo en un ensayo de maíz de varios años de duración. En este ensayo, recién implantado, no se observaron diferencias con la labranza convencional, que por acción del arado produce una mezcla que resulta menos heterogénea, y por tanto con menores valores de coeficiente de variabilidad.

Los valores de P extractable no son limitantes en estos suelos. Los "pools" minerales disponibles en general son más variables que los "pools" totales, requiriéndose al menos 30 muestras en un buen muestreo (Bowman, 1991), lo que se ha cumplido en este caso. El P disponible es una de las propiedades medibles más variables, y en suelos de baja capacidad de suministro de fósforo, la variabilidad puede resultar en grandes diferencias en los rendimientos de los cultivos (Davis Carter, 1990).

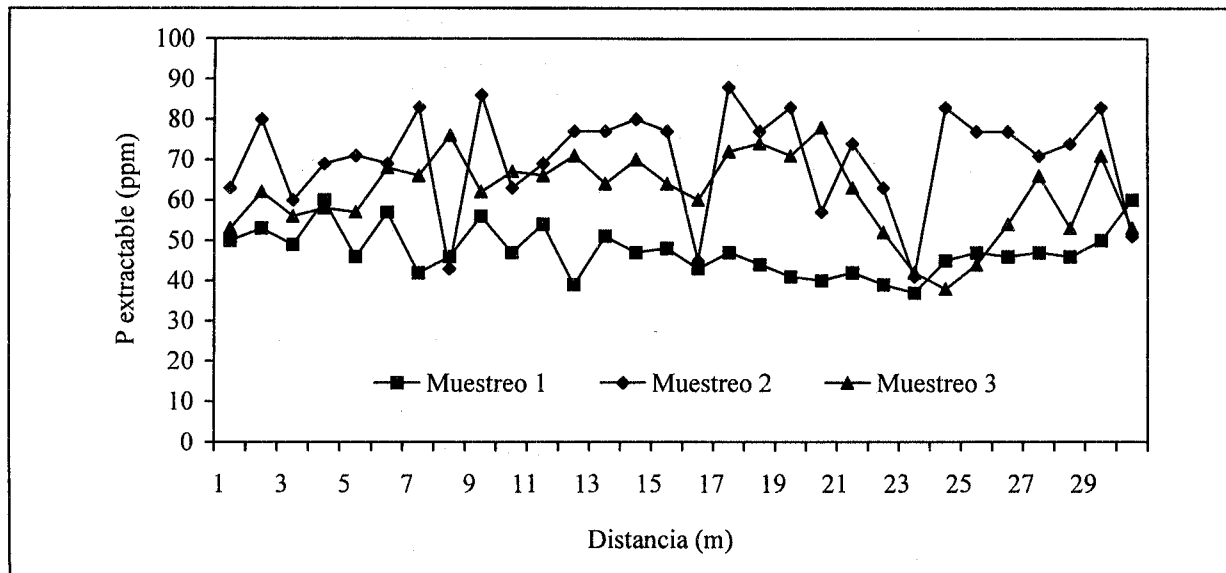


Figura 1. Variabilidad espacial de P extractable en siembra directa.

Figure 1. Extractable P spatial variability under no-tillage conditions.

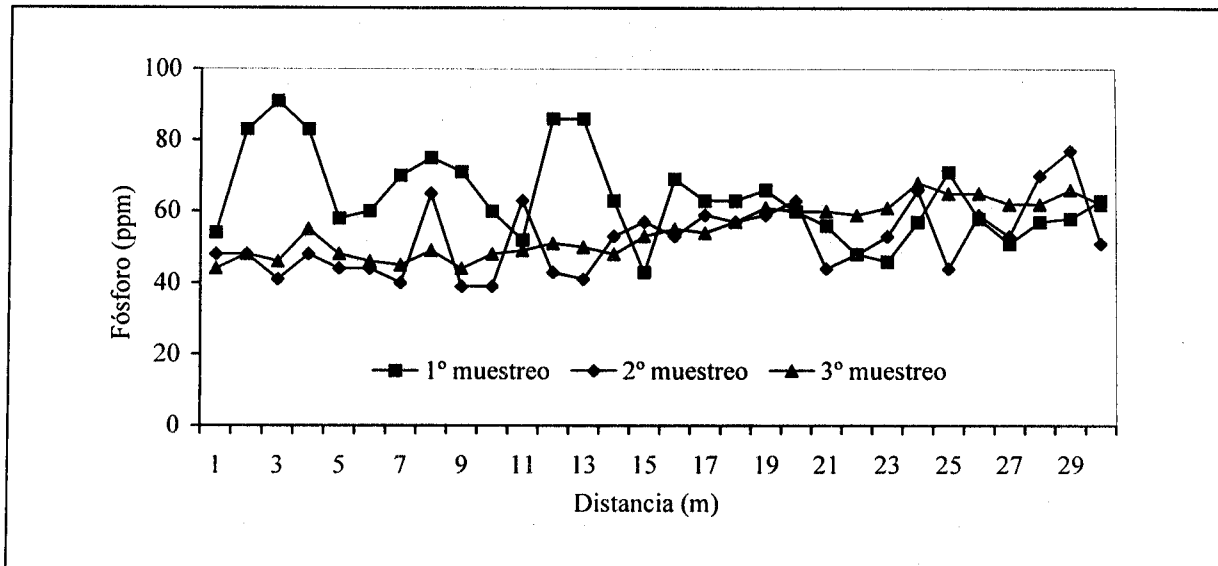


Figura 2. Variabilidad espacial de P extractable en labranza reducida.
Figure 2. Extractable P spatial variability under reduced tillage conditions.

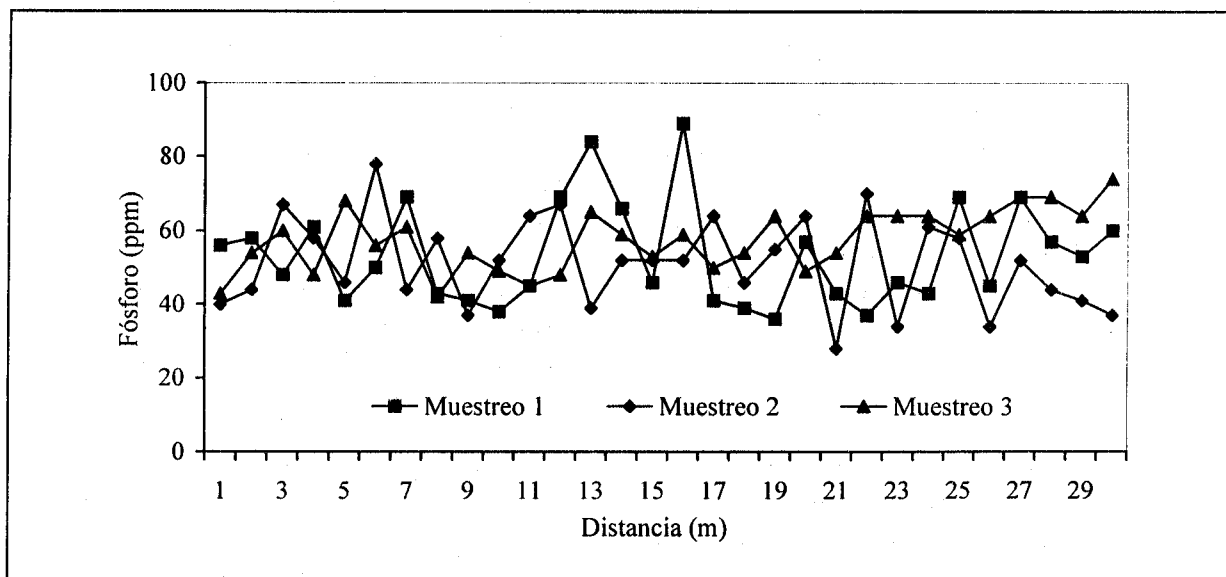


Figura 3. Variabilidad espacial del P en pastura.
Figure 3. Extractable P spatial variability in pasture.

Los menores contenidos de fósforo extractable se encontraron en la pastura degradada, lo que puede deberse a la importancia de las formas orgánicas en este manejo (Martino, 1994). Los suelos bajo pastura pueden tener hasta tres veces

más P en la biomasa microbiana que en un sistema de rotación agrícola continua (García Morón, 1994). Como se sabe, existe una continua absorción de fósforo por las leguminosas, para cubrir sus elevados requerimientos en este nutriente.

Cuadro 1. Estadística descriptiva de las variables fósforo extractable (a) y humedad (b)**Table 1. Descriptive statistics for the variables extractable P (a) and humidity (b)**

	1 ^{er} muestreo		2 ^o muestreo		3 ^{er} muestreo	
	\bar{x}	CV (%)	\bar{x}	CV (%)	\bar{x}	CV (%)
a) Fósforo extractable (ppm)						
Testigo	53,49	26	51,37	24	57,66	14
Labranza reducida	64,08	19	52,38	19	54,74	18
Siembra directa	47,41	12	70,31	18	61,84	12
b) Humedad (%)						
Testigo	12,29	13	26,26	10	11,68	23
Labranza reducida	19,52	18	32,90	10	13,62	22
Siembra directa	16,80	14	29,70	11	10,36	25

\bar{x} : Valor medio de las variables.

CV: Coeficiente de variabilidad.

En la Figura 4 puede observarse que en invierno, los valores de P para siembra directa fueron mínimos. Esto puede deberse a diversas causas, entre otras a que la tasa de mineralización de la materia orgánica es reducida, por lo que el aporte de N y P puede ser menor que en el caso de suelos con labranza. Además, el rastreo de maíz tiene un bajo porcentaje de P, por lo que el sistema tiende a la inmovilización microbiana de este nutriente. Según Schomberg *et al.* (1994), existe inmovilización neta de P del residuo si el porcentaje de fósforo en el mismo es menor a 0,2-0,3%.

Esto se acentúa con las bajas temperaturas del suelo en invierno. La capa de residuos en superficie actúa como un aislante térmico, y es posible una menor disponibilidad de P inorgánico debido a las bajas temperaturas (Martino, 1994). Schomberg *et al.* (1994) estudiaron la reducción de la actividad microbiana en suelos con labranza reducida. El suelo se hace más frío y más húmedo, con menores temperaturas que en suelos desnudos o cultivados (Horton, 1994).

La siembra directa también está asociada con una acidificación en superficie producida por la acumulación de material orgánico, lo que puede

producir un cambio a formas de P menos disponibles (Wells y Beegle, 1995). Otro problema adicional en los suelos de siembra directa es la compactación, cuyo efecto puede resultar en un menor contenido de P disponible para las plantas (Lipiec y Stepniewski, 1995), y al comienzo del cultivo puede acentuar la inmovilización en formas orgánicas.

A la salida de la estación invernal, el contenido de P extractable en suelo bajo pastura fue significativamente inferior ($P < 0,05$) al encontrado en la siembra directa (2^o y 3^{er} muestreo, Figura 4). En el caso de la pastura no hubo efecto de la época de muestreo, ya que los valores se mantuvieron más o menos constantes a lo largo del experimento.

Efectuado el análisis de interacción entre tratamiento x época se encontró que ésta era significativa debido a los distintos tratamientos, pero no por efecto de la época ($P < 0,05$). En este ensayo los cambios en el P extractable producidos entre el primer muestreo y los otros dos parecerían deberse en el caso de la siembra directa, a un gran efecto sobre la mineralización debido a cambios de más de 10 °C en las temperaturas medias mensuales entre julio y octubre que podría enmascarar la absorción por el cultivo.

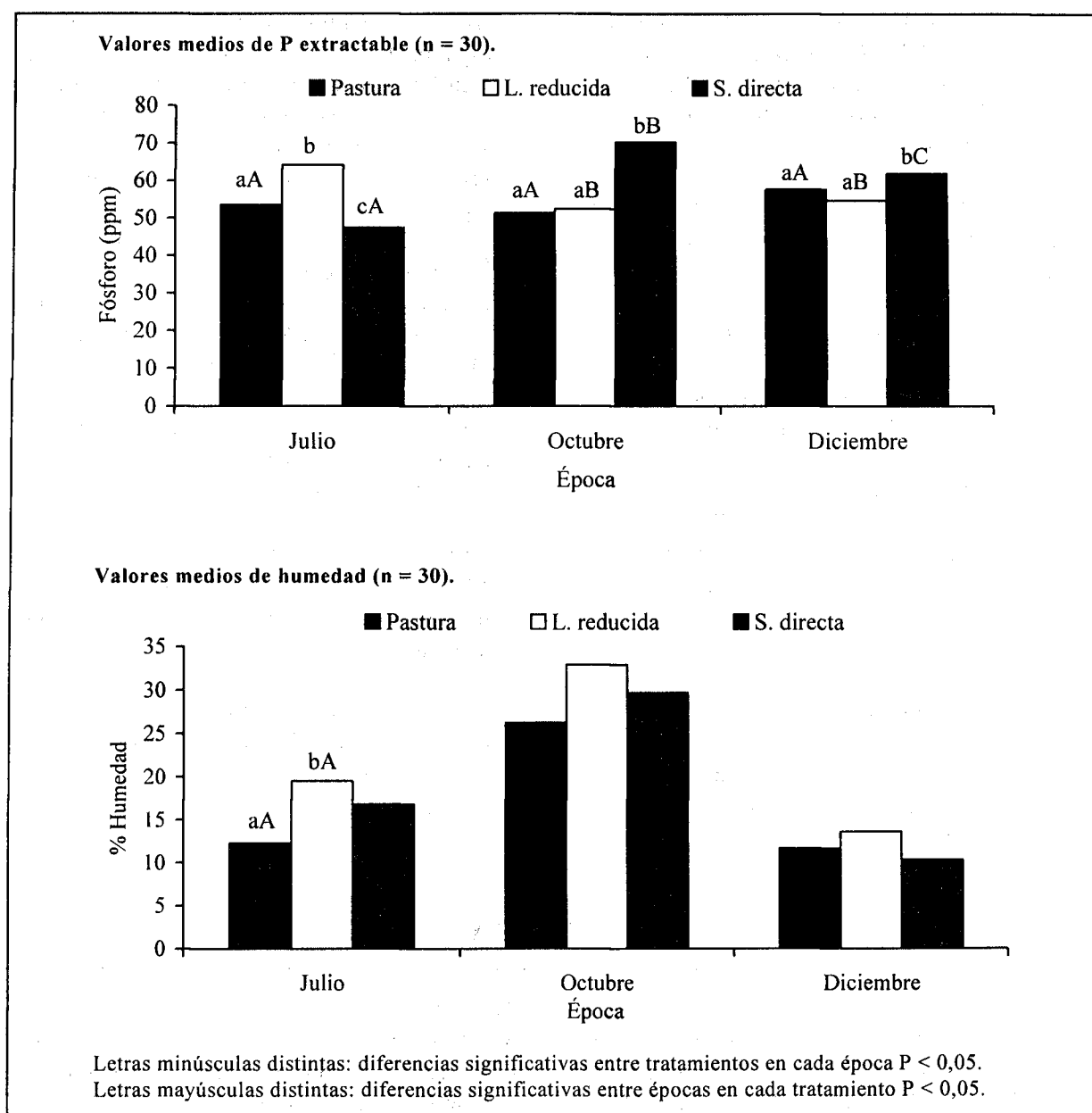


Figura 4. Valores medios de fósforo extractable y humedad para cada tratamiento y época de muestreo.
Figure 4. Extractable phosphorus and humidity values for each treatment and sampling date.

En labranza reducida se produjo una disminución significativamente importante en el contenido de P extractable en el segundo muestreo, que podría atribuirse a extracción por el trigo.

La humedad gravimétrica de las muestras al momento del muestreo y su variación se presen-

tan en la Figura 4 y Cuadro 1. El segundo muestreo presentó valores de agua retenida mayores que el primero, lo que se explica por un valor mensual de precipitaciones en julio de 72 mm durante ese año, y 125 mm durante el mes de octubre.

En general, los valores reportados por la bibliografía indican mayores contenidos hídricos en los tratamientos con siembra directa (Wells and Beegle, 1995), pero Franzluebber *et al.* (1995) encontraron en una experiencia mayor contenido de humedad en labranza convencional, debido a una mayor percolación en el caso de siembra directa, lo que coincide con los resultados de este ensayo.

La pastura degradada presentó valores de humedad gravimétrica significativamente más bajos, debido a que el suelo se encontraba bastante compactado al realizar los muestreos.

El P extractable solamente presentó correlación positiva ($r = 0,53$ $n = 90$), y significativa ($P < 0,001$) con el porcentaje de agua presente en el momento de muestreo, en el tratamiento de siembra directa.

CONCLUSIONES

- Se encontró variabilidad espacial del P extractable a nivel microescala, la que puede calificarse de media a alta.

- Los tratamientos afectaron la variabilidad espacial del P. Todos presentaron diferencias significativas entre sí para el primer muestreo. En los dos últimos muestreos hubo diferencia significativa entre labranza reducida y siembra directa, pero no entre labranza reducida y pastura.
- La siembra directa presentó los menores valores de P extractable en invierno, pero éstos aumentaron y fueron mayores que en la labranza reducida en los siguientes muestreos.
- La pastura presentó homogeneidad estacional, no así los tratamientos realizados sobre el cultivo de trigo.
- La labranza reducida mostró el efecto de la absorción del cultivo, que se vio enmascarado por otros procesos en el caso de la siembra directa.
- El P extractable en siembra directa presentó una correlación altamente significativa con la humedad gravimétrica en el momento de muestreo.

RESUMEN

Este trabajo se realizó teniendo en cuenta las nuevas tendencias de manejo de lotes de acuerdo a características específicas de sitio. El objetivo fue estudiar la variabilidad espacial del fósforo extractable por Bray 1, en un experimento de campo con un cultivo de trigo bajo dos sistemas de labranza: reducida y siembra directa, comparándolo con una pastura degradada. Se obtuvieron 30 muestras de suelo, espaciadas 30 cm, en una transecta que se efectuó durante los meses de julio, octubre y diciembre. El P extractable presentó alta variabilidad espacial, con coeficientes de variación que oscilaron entre 12 y 26%. La pastura degradada presentó homogeneidad temporal, con diferencias no significativas en el tiempo ($P < 0,05$). El P extractable en la-

branza reducida presentó valores significativamente menores ($P < 0,05$) en el segundo muestreo, mientras que en la siembra directa hubo un incremento significativo ($P < 0,05$) en igual período. La humedad gravimétrica y el P extractable presentaron una correlación positiva ($r = 0,53$, $n = 90$) y significativa ($P < 0,01$) para siembra directa.

Palabras claves: fósforo extractable, variabilidad espacial, sistemas de labranza.

Agradecimientos

Al Ing. Agrónomo Hugo Marelli, de la Estación Experimental Marcos Juárez, por la conducción de los ensayos.

LITERATURA CITADA

- BOWMAN, R.A. 1991. Spatial variability of selected C, N and P parameters on acid and calcareous rangeland soils. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 22: 205-212.
- BROWER, J.; GAZE, S.R.; VAN EVERT, F.K.; ROTMANS, A. AND BUERKERT, A.C. 1994. Short-distance space variability in water and nutrient balances. XV International Soil Sci. Congress. SSSA. Acapulco. Vol. 4b: 14-15.
- CHUNG, C.K.; CHONG, S.K. AND VARSA, E.C. 1995. Sampling strategies for fertility on a silty loam soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 26: 741-763.
- DAVIS-CARTER, J.G. 1990. Influence of space variability of soil physical and chemical properties on the rooting patterns of pearl millet and sorghum. *Dissertation Abstracts International, Sciences and Engineering*, Vol. I. 50: 10.
- FRANZLUEBBERS, A.J.; HONS, F.M. AND ZUBERER, D.A. 1995. Tillage-induced seasonal changes in soil physical properties affecting soil CO₂ evolution under intensive cropping. *Soil & Till. Res.* 34: 41-60.
- GARCÍA MORÓN, A. 1994. Fósforo: extractabilidad y dinámica en el suelo. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias La Estanzuela. Uruguay. Serie Técnica 42: 27-31.
- GRANT, C.A. AND BAILEY, L.D. 1994. The effect of tillage and KCl addition on pH, conductance, P and Cl distribution in the soil profile. *Can. J. Soil Sci.* 74: 307-314.
- GIUFFRÉ, L.; SIERRA, J.; FUMAGALLI, C. Y RATTO, S. 1994. Variabilidad espacial de fósforo en suelo y planta en un Argiudol típico bajo cultivo de maíz. Universidad de Buenos Aires. *Revista de la Facultad de Agronomía* 14: 1-8.
- GIUFFRÉ, L.; HEREDIA, O.S.; ARRIGO, N., CONTI, M. Y STORTI, J. 1995. Sistemas de labranza y P extractable durante el ciclo de un cultivo de maíz. *Agronomía Costarricense* 19: 57-60.
- HORTON, R.; KLUITENBERG, G.J. AND BRISTOW, K.L. 1994. Surface crop residue effects on the soil surface energy balance. *In*: Unger, P.W. (Ed): *Managing agricultural residues*. Lewis Publishers. Boca Ratón, USA. p. 143-162.
- JACKSON, M.L. 1970. *Análisis químico de suelos*. Ed. Omega. Barcelona. 662 p.
- LIPIEC, J. AND STEPNIOWSKI, W. 1995. Effects of soil compaction and tillage systems on uptake and losses of nutrients. *Soil and Till. Res.* 35: 37-52.
- LOOKMAN, R.; JANSEN, K.; MERCKX, R. AND VLASSAK, K. 1996. Relationship between soil properties and phosphate saturation parameters. *Geoderma* 69: 265-274.
- LÓPEZ FANDO, C. AND ALMENDROS, G. 1995. Interactive effects of tillage and crop rotations on yield and crop rotations on yield and chemical properties of soils in semi-arid central Spain. *Soil & Tillage Research* 36: 45-57.
- LUO, J.; TILLMAN, R.W. AND ROGER BALL, P. 1994. Spatial variability of denitrification in a pasture. XV International Soil Sci. Congress. SSSA. Acapulco. Vol. IVb: 44-45.
- MARTINO, D. 1994. Agricultura sostenible y siembra directa en el litoral oeste uruguayo. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias La Estanzuela. Uruguay. Serie Técnica 42 p. 77-82.

- NKEDI-KIZZA, P.; GASTON, L.A. AND SELMI, H.M. 1994. Extrinsic spatial variability of selected macronutrients in a sandy soil. *Geoderma* 63: 95-106.
- PEZZAROSSA, B.; BARBAFIERI, M. Y BENETTI, A. 1995. Effects of conventional and alternative management systems on soil phosphorus content, soil structure and corn yield. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 26: 2869-2885.
- PIMENTEL GÓMES, F. 1987. A statistica moderna na pesquisa agropecuaria. Associacao Bras. Pesquisa da K e P. 3a. ed. Piracicaba. Sao Paulo, Brasil. 162 p.
- SCHOMBERG, H.H.; FORD, P.B. AND HARGROVE, W.L. 1994. Influence of crop residues on nutrient cycling and soil chemical properties. *In: Unger, P.W. (Ed.) Managing agricultural residues.* Lewis Publishers. Boca Ratón, USA. p. 99-122.
- STATISTIX. 1994. Statistix versión 4.0. © Analytical Software.
- TIESSEN, H. AND SANTOS, M.C.D. 1989. Variability of C, N and P content of a tropical semi-arid soil as affected by soil genesis, erosion and land clearing. *Plant and Soil* 119: 337-341.
- WELLS, K.L. AND BEEGLE, D.B. 1995. Nutrient management. *In: Blevins, R.L. and Moldenhauer, W.C. (Eds.) Crop residue management to reduce erosion and improve soil quality.* Agr. Research Service. USA. Conserv. Research Report 41: 22-27.
- WOLLENHAUPT, N.C.; WOLKOWSKI, R.P. AND CLAYTON, M.K. 1994. Mapping soil test phosphorus and potassium for variable-rate fertilizer application. *J. of Prod. Agric.* 7: 441-448.