



INVESTIGACION
INPOFOS
EDUCACION

INSTITUTO DE LA POTASA Y EL FOSFORO
POTASH & PHOSPHATE INSTITUTE
POTASH & PHOSPHATE INSTITUTE OF CANADA

FOSFORO: DINAMICA Y MANEJO EN SISTEMAS DE SIEMBRA DIRECTA

Fernando O. García¹ y Liliana I. Picone²

Introducción

La siembra directa (SD) es un sistema de manejo que no remueve el suelo y mantiene cubierta la superficie con los residuos de cultivos anteriores. Esta forma de manejo conserva el suelo al disminuir el impacto de la erosión hídrica y/o eólica. Otras ventajas de la SD son: mayor disponibilidad de agua para los cultivos, mejor fertilidad química, física y biológica del suelo, menor costo de producción por unidad de superficie, rendimientos más altos y estables y la posibilidad de secuestrar carbono (C) en el suelo. Los problemas observados bajo SD son: exceso de residuos en zonas templado-frías que dificultan la implantación y el crecimiento inicial de los cultivos, cambios en la población de plagas que pueden afectar el crecimiento de las plantas y formación de capas compactadas en el perfil del suelo explorado por las raíces.

El fósforo (P), después del nitrógeno (N), es el nutriente que más frecuentemente afecta la producción de cultivos. El P forma parte de enzimas, ácidos nucleicos y proteínas y está involucrado en prácticamente todos los procesos de transferencia de energía. El contenido total de P en el suelo está controlado por el material parental y el clima. En general, las zonas más húmedas son las más deficientes en este nutriente. Del contenido total de P en el suelo, sólo las fracciones inorgánicas y orgánicas solubles y lábiles están disponibles para las plantas durante el ciclo del cultivo. Las fracciones de P en el suelo mantienen un equilibrio dinámico y complejo. Solamente una pequeña fracción del P está en forma soluble, pero esta fracción está en equilibrio con la fracción lábil que comprende el P orgánico fácilmente mineralizable y los fosfatos débilmente adsorbidos en las arcillas. La mayor parte del P del suelo está en formas insolubles como fosfatos de calcio (Ca), hierro (Fe) y aluminio (Al), retenidas en el humus o fijadas fuertemente en las arcillas.

Efectos de la siembra directa sobre el ambiente edáfico

La introducción de la SD genera cambios en el ambiente edáfico que afectan el comportamiento de los nutrientes en el suelo. La presencia de residuos en superficie y la falta de remoción del suelo alteran algunas propiedades físicas

OCTUBRE 2004

No. 55

Contenido

	Pág.
Fósforo: Dinámica y Manejo en Sistemas de Siembra Directa	1
Fijación de Fósforo en Suelos Derivados de Ceniza Volcánica	5
Manejo de Fósforo en Estanques de Peces en Suelos Rojos	9
El Fósforo en la Nutrición Animal	12
Reporte de Investigación Reciente	14
Cursos y Simposios	15
Publicaciones de INPOFOS	16

Editor: Dr. José Espinosa

- 1 INPOFOS Cono Sur (PPI/PPIC) - Av. Santa Fe 910, Acassuso, Buenos Aires, Argentina. fgarcia@inpfos.org
- 2 Facultad Ciencias Agrarias (UNMdP) - INTA Balcarce - CC276, (7620) Balcarce, Argentina. lpicone@balcarce.inta.govar

Se permite copiar, citar o reimprimir los artículos de este boletín siempre y cuando no se altere el contenido y se citen la fuente y el autor.

que influyen directa e indirectamente en la dinámica de los nutrientes. Bajo SD se origina un ambiente más húmedo que en labranza convencional (LC) debido principalmente a la cobertura superficial que promueve una menor tasa de evaporación del agua. Las variaciones de temperatura son también menores bajo SD debido al efecto aislante de los residuos, al menor albedo y al mayor contenido de agua. La falta de remoción altera otras propiedades del ambiente físico del suelo como la densidad aparente, la porosidad, la aireación y la resistencia a la penetración.

Los cambios en cantidad y distribución de materia orgánica y propiedades físicas y químicas del suelo resultan en efectos directos e indirectos sobre la composición y dinámica de las poblaciones microbianas. El C orgánico, N mineralizable y C de la biomasa microbiana son mayores en la capa superficial del suelo bajo SD (0 - 10 cm). El conteo de hongos y bacterias aeróbicas es también superior en superficie bajo SD. Las bacterias anaeróbicas obligadas y denitrificadoras se incrementan a profundidad en el suelo sin laboreo reflejando la mayor energía, humedad y densidad aparente en este sistema. En definitiva, los efectos sobre los microorganismos del suelo se reflejan en las transformaciones de nutrientes como el N y el P.

Dinámica del fósforo bajo siembra directa

Una característica de la dinámica de P en los sistemas de SD es la estratificación a profundidad. Se encuentran mayores concentraciones de P disponible en la capa superficial (0 - 10 cm) debido a la acumulación de residuos y a la aplicación superficial de fertilizantes fosfatados (Figura 1).

El reciclaje de P a través de la biomasa microbiana es también influenciado por los cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo bajo SD. El mayor contenido

de agua y de C y N orgánicos se reflejan en una mayor población microbiana con respecto al suelo bajo LC. El contenido de P en la biomasa microbiana es también mayor en los suelos bajo siembra directa (Figura 2). En suelos altamente meteorizados con deficiencia, la disponibilidad de P para las plantas puede depender más del reciclaje del P orgánico de la biomasa microbiana que del P inorgánico.

Para identificar si existe acumulación o disminución de las diferentes formas lábiles de P con diferente labranza, Zamuner et al. (2004a) calcularon un cociente que relaciona la concentración de cada fracción de P en el suelo bajo SD respecto a las mismas fracciones en LC a diferentes profundidades (Tabla 1). Esta relación muestra que hay una mayor concentración de formas lábiles de P en los primeros 10 cm de un suelo bajo SD que bajo LC, principalmente de las formas inorgánicas de P extraídas con membrana de intercambio aniónico (Pi-MIA). Estos autores sugieren que el incremento de formas lábiles de P como Pi-MIA, en los primeros 10 cm del suelo bajo SD, se debe a una combinación del efecto de la reducción de pH que incrementa el desarrollo de cargas positivas dependientes del pH y al aumento en la concentración de C orgánico total (COT) que favorece la formación de complejos con P.

Manejo de la fertilización fosfatada bajo siembra directa

La respuesta de los cultivos a la fertilización fosfatada depende del nivel de P disponible en suelo, pero también depende de factores del suelo, del cultivo y de manejo del fertilizante. Entre los factores del suelo se destacan la textura, la temperatura, el contenido de materia orgánica y el pH, mientras que entre los factores del cultivo deben mencionarse los requerimientos y el nivel de rendimiento.

A pesar de las diferencias en la distribución del P extractable a diferentes profundidades por efecto de la

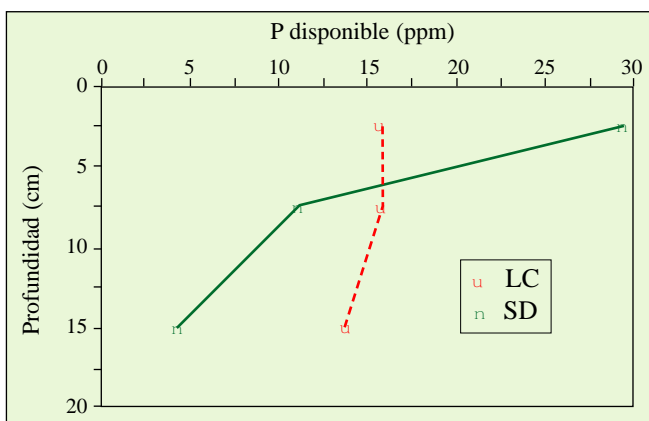


Figura 1. Estratificación de P en profundidad bajo siembra directa (SD) y labranza convencional (LC). Fuente: Ricardo Bergh. Tres Arroyos, Buenos Aires, Argentina.

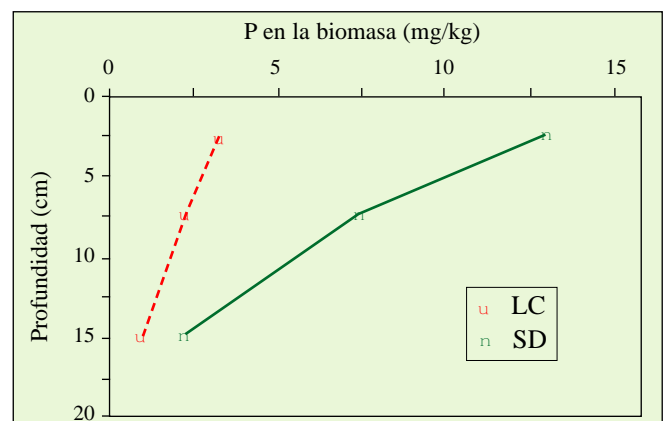


Figura 2. Fósforo en la biomasa microbiana bajo siembra directa (SD) y labranza convencional (LC) en el sudeste de Buenos Aires, Argentina (Zamuner et al., 2004a).

Tabla 1. Concentración de P en fracciones lábil (P lábil), moderadamente lábil (P mod lábil) y no lábil (P no lábil) bajo siembra directa (SD) y labranza convencional (LC), a diferentes profundidades y la relación SD/LC de dichas fracciones (Zamuner et al., 2004a).

Fracciones de P	Concentración de P		Relación SD/LC
	LC	SD	
----- mg P kg ⁻¹ -----			
----- Profundidad 0 - 5 cm -----			
P lábil	50.6	86.5	1.7
P moderadamente lábil	146.9	173.5	1.2
P no lábil	390.0	412.4	1.1
----- Profundidad 5 - 10 cm -----			
P lábil	41.4	64.5	1.6
P moderadamente lábil	143.6	150.1	1.0
P no lábil	370.1	413.7	1.1
----- Profundidad 10 - 20 cm -----			
P lábil	36.3	24.9	0.7
P moderadamente lábil	125.4	120.5	1.0
P no lábil	366.1	421.2	1.2

estratificación, los niveles críticos de P para SD coinciden con aquellos para LC cuando se muestrea el suelo a profundidad de 0 - 15 ó 0 - 20 cm. En el sudeste de Buenos Aires, Argentina y en Uruguay se ha observado que los niveles críticos de P Bray 1 en el suelo para decidir la fertilización fosfatada de trigo y maíz son similares bajo SD y LC (García et al., 1997; Calviño et al., 2000; Bordoli et al., 2004). Zamuner et al. (2004b) reportaron mejores ajustes para la calibración del rendimiento relativo de trigo en función del nivel de P Bray 1 a profundidad de 0 - 20 cm que a 0 - 5 ó 5 - 10 cm en el sudeste de Buenos Aires (Figura 3).

La coincidencia de niveles críticos en SD y LC, a pesar de los mayores contenidos de P en formas biodisponibles bajo SD, podría atribuirse al hecho de que la gran mayoría de los métodos de análisis de P extractable (Bray, Mehlich, Olsen) se basan en la extracción y determinación de formas inorgánicas de P. Sin embargo, no incluir la evaluación de fracciones

orgánicas de P bajo SD podría explicar la falta de ajuste en la calibración de los análisis de suelo en sistemas de SD estabilizados y puede ser una fuente de error en la recomendación de fertilización. Vivas et al. (2004) encontraron una relación significativa entre el rendimiento de soya y la fracción orgánica lábil bajo SD.

Algunos estudios sugieren que la acumulación superficial de P bajo SD podría resultar en una mayor disponibilidad para las plantas con respecto a LC, debido a la reducción de los procesos que sacan P de la solución del suelo a través de reacciones químicas de precipitación y de adsorción en los coloides y la tendencia a acumular formas de P más biodisponibles.

Al no mezclar la capa superficial del suelo con SD, el P residual en las bandas de aplicación de fertilizantes fosfatados genera variabilidad espacial (Figura 4). Se ha demostrado que en maíz bajo SD la concentración de P en la banda decrece logarítmicamente con la distancia desde el centro de la banda y que varía sustancialmente a lo largo de la dirección de aplicación de la banda. El P en el centro de la banda sería más fácilmente extractable con Bray 1 que el suelo no afectado por la banda. El muestreo de un suelo con la inclusión de bandas podría introducir error al sobreestimar el P disponible. A este proceso de variación horizontal se suma la variación vertical, generada por la estratificación, afectando el muestreo para el diagnóstico de la fertilidad y la recomendación de dosis de P para los cultivos.

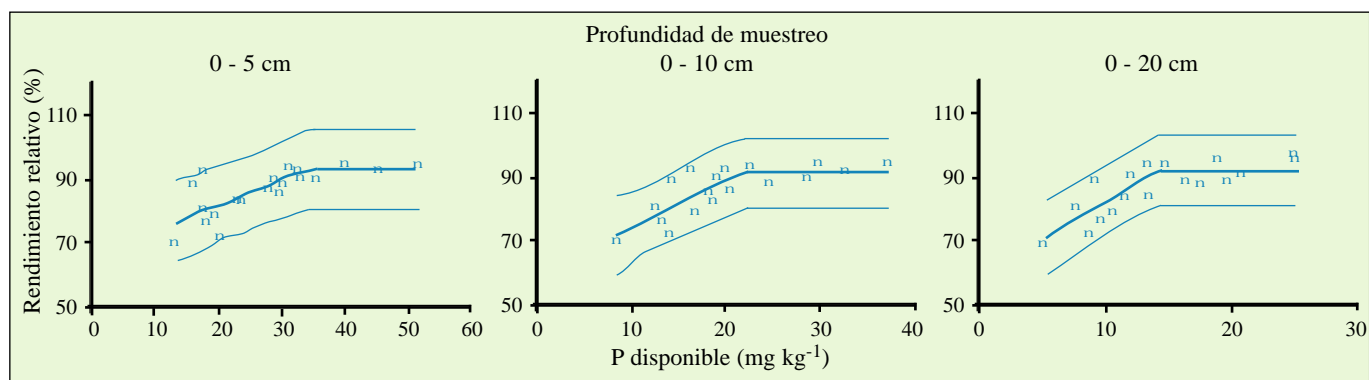


Figura 3. Rendimientos relativos de trigo en función del nivel de P Bray 1 a distintas profundidades de muestreo bajo siembra directa en el sudeste de Buenos Aires, Argentina (Zamuner et al., 2004b). Coeficientes de determinación R² de 0.5, 0.6 y 0.7 para 0 - 5, 0 - 10 y 0 - 20 cm, respectivamente.

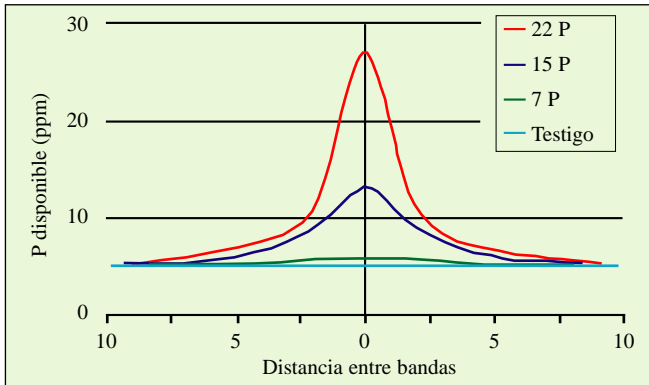


Figura 4. Distribución de P residual alrededor de una banda de fertilización (Kitchen et al., 1990).

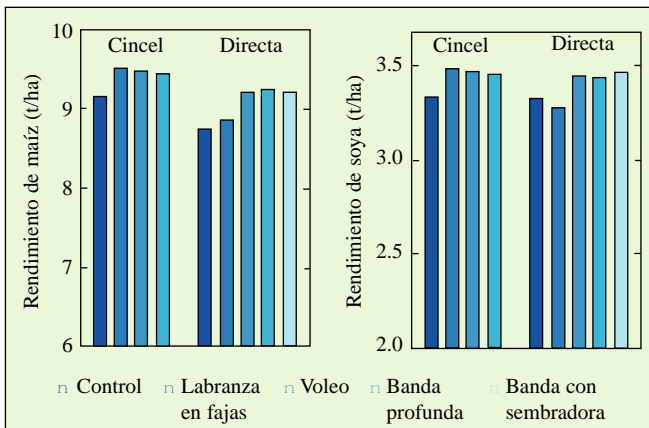


Figura 5. Rendimientos de maíz y soja bajo labranza con cincel y siembra directa con distintos métodos de aplicación de P en Iowa, EE.UU (Mallarino, 2001).

Se han sugerido distintas alternativas de muestreo de suelo para reducir el impacto de la variabilidad horizontal (P residual en bandas de años anteriores). Una alternativa consiste en incrementar el número de submuestras por muestra. Tyler y Howard (1991) consideran que el muestreo al azar es adecuado para evitar sobreestimar el efecto de la banda. Sin embargo, Kitchen et al. (1990) sugieren que una porción de la muestra debe ser tomada de la banda. La Comisión de Fertilidad de Suelos RS/SC (1997) sugiere el muestreo de fajas transversales a las bandas o líneas de fertilización de años anteriores, desde una entrebanda a la siguiente entrebanda incluyendo la línea fertilizada. El muestreo puede realizarse con barreno de 2.5 cm de diámetro en forma transversal a la banda de fertilización considerando 3 submuestras entre bandas y 1 sobre la banda, en bandas a 17.5 - 19 cm de separación, 7 submuestras entre bandas y 1 en la banda para bandas a 38 - 40 cm y 13 submuestras en la entrebanda y 1 en la banda para bandas a 60 - 80 cm.

Los efectos de estratificación y variabilidad horizontal de P también generan interrogantes acerca de la eficiencia de los métodos de aplicación de fertilizantes fosfatados. Las aplicaciones en cobertura total reducirían el impacto de la variabilidad horizontal, pero

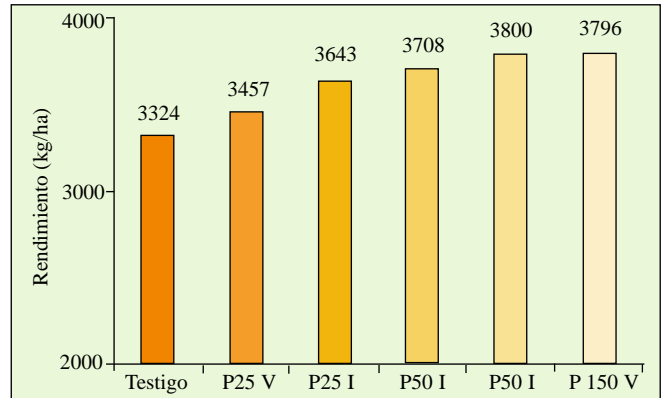


Figura 6. Rendimientos de trigo con aplicaciones de P al voleo, cobertura total, anticipado (40 días antes de la siembra) (V), o incorporado en líneas a la siembra (I) en dosis de 25, 50 y 150 kg/ha de P. Promedios de cinco sitios de la región pampeana argentina con niveles de P Bray de 8 a 22 mg/kg (Bianchini, 2003).

simultáneamente resultarían en una mayor concentración superficial del P aplicado. En zonas húmedas del cinturón maicero norteamericano, Bordoli y Mallarino (1998) no encontraron diferencias en rendimiento de maíz o soja entre tres métodos de aplicación de P: voleo superficial en otoño y banda profunda a 15 - 18 cm o superficial a 5 cm a la siembra en primavera (Figura 5). Evaluaciones realizadas en Uruguay (Bordoli et al., 2004) y en la región pampeana argentina (Bianchini et al., 2003) han demostrado que, bajo las condiciones edafo-climáticas locales, las aplicaciones al voleo de fertilizantes fosfatados solubles antes de la siembra resultan en respuestas similares a las de las aplicaciones en bandas al momento de la siembra, aún en suelos de baja disponibilidad de P extractable (Figura 6). Estos resultados indicarían que la fijación de P en capas superficiales del suelo no sería un proceso de importancia bajo SD en molisoles. Las aplicaciones al voleo anticipadas presentan ventajas desde el punto de vista logístico ya que incrementan la capacidad de trabajo de los equipos y podrían reducir la variabilidad horizontal y, por lo tanto, los problemas asociados al muestreo y diagnóstico de la fertilidad.



Bibliografía

- Bianchini A. 2003. Localización de fósforo en siembra directa. Actas Simposio "El fósforo en la agricultura argentina". INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina. pp. 79-82.
- Bordoli J.M., A. Quincke y A. Marchessi. 2004. Fertilización fosfatada de trigo en siembra directa. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Actas CD. AACS, Paraná, Entre Ríos, Argentina.
- Bordoli J.M. y A. Mallarino. 1998. Deep and shallow banding phosphorus and potassium as alternatives to broadcast fertilization for no-till corn. *Agron. J.* 90:27-33.
- Calviño P., H. Echeverría y M. Redolatti. 2000. Estratificación de fósforo en el suelo y diagnóstico de la fertilización fosfatada en trigo en siembra directa. Actas CD XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. AACS. Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina.
- Comissao de Fertilidade do Solo-RS/SC. 1997. Recomendacoes de adubacao e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. SBCS-Nucleo Regional Sul. 3ª. Ed. Santa María, RS, Brasil.
- García F., K. Fabrizzi, M. Ruffo y P. Scarabich. 1997. Fertilización nitrogenada y fosfatada de maíz en el sudeste de Buenos Aires. Actas VI Congreso Nacional de Maíz. AIANBA. Pergamino, Buenos Aires, Argentina.
- Kitchen N., J. Havlin y D. Westfall. 1990. Soil sampling under no-till banded phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:1661-1665.
- Mallarino A. 2001. Manejo de la fertilización con fósforo y potasio para maíz y soya en el centro-oeste de los Estados Unidos. En Jornada de Actualización Técnica para Profesionales "Fertilidad 2001". INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- Tyler D.D y D.D. Howard. 1991. Soil sampling patterns for assessing no-tillage fertilization techniques. *J. Fert. Issues* 8: 52-56.
- Vivas H., C. Quintero, G. Boschetti, R. Albrecht y M. Befani. 2004. Fertilización con fósforo y azufre: Fracciones de P del suelo y rendimiento de soya y maíz. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Actas CD: AACS, Paraná, Entre Ríos, Argentina.
- Zamuner E., L.I. Picone y H.E. Echeverría. 2004a. Formas de fósforo en un suelo bajo labranza convencional y siembra directa. Actas CD XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Entre Ríos. AACS.
- Zamuner E., H.E. Echeverría y L.I. Picone. 2004b. Fósforo disponible en trigo bajo siembra directa. Actas CD XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Entre Ríos. AACS.✻