

ESTRATEGIAS DE FERTILIZACIÓN FOSFATADA EN UNA SECUENCIA AGRÍCOLA BAJO CERO LABRANZA

Mirian Barraco¹; Martín Díaz-Zorita²; Cristian Álvarez¹; Carlos Scianca¹

¹ EEA INTA General Villegas, CC 153, 6230, Drabble, Pcia de Bs. As.

² FAUBA-CONICET, Merck CropBioscience Argentina, DZD AGRO

mbarraco@correo.inta.gov.ar

Palabras claves: Fósforo, umbrales de suficiencia, restitución

INTRODUCCIÓN

Las recomendaciones de fertilización con fósforo (P) responden a distintos criterios de manejo de la práctica, basados entre otros conceptos en los de suficiencia o de balance del nutriente por restitución.

El modelo de suficiencia se basa en las respuestas de los cultivos en relación con el P extractable del suelo o “disponible”, la cantidad de P adicionada y otras variables edáficas (ej. textura) o de manejo (ej. ubicación del fertilizante). La información obtenida por este modelo permite manejar un umbral de disponibilidad de P según niveles extractables del mismo en el suelo por sobre el cual las respuestas a la aplicación de fertilizantes son erráticas o no significativas.

En el modelo del balance por restitución, las recomendaciones de fertilización se basan en el aporte de nutrientes necesarios para reponer las cantidades extraídas por el cultivo y exportadas del sitio con la cosecha de grano. La recomendación es indistinta del valor de P extractable del suelo y la dosis a aplicar es en función del objetivo de rendimiento y consecuente extracción del nutriente.

La información disponible comparando los efectos de largo plazo de estas estrategias de fertilización bajo condiciones extensivas de producción es limitada. No obstante, la cuantificación de la producción de cultivos resulta en una herramienta útil para el diseño de planteos sustentables de producción atendiendo tanto a los cambios en propiedades de los suelos como en los rendimientos. Se supone que al aplicarse modelos de ferti-

lización por suficiencia en condiciones de oferta de P superiores a los niveles críticos de respuesta tenderá a la disminución en los niveles extractables de este elemento. En cambio, al aplicarse modelos de balance por restitución la oferta de P tenderá a estabilizarse y reducir la variabilidad en la productividad de los cultivos a disminuir la frecuencia de sectores con niveles de P potencialmente limitantes.

Objetivo:

Evaluar el efecto de dos estrategias de fertilización fosfatada sobre la productividad de cultivos de maíz, girasol, soja y trigo y sobre propiedades edáficas superficiales de un Hapludol bajo una secuencia agrícola de 6 años de duración.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental y tratamientos

El ensayo se estableció en un módulo de producción agrícola de 72 has ubicado en el Campo Experimental de la Estación Experimental Agropecuaria de INTA en General Villegas (34° 54'S, 63° 44'W) en Drabble (Buenos Aires), sobre un suelo con predominio de Hapludoles Típicos, franco arenosos (Alfieri et al., 1991) (MO = 27,1 g kg⁻¹, Pe = 22 mg kg⁻¹, pH = 6,2). Este módulo de producción se inició en el año 1996 con una secuencia agrícola de 6 años de duración (maíz-soja de primera-girasol-trigo/soja de segunda-maíz-girasol) bajo sistemas de cero labranza, en parcelas de 12 has de manera de instalar todas las fases de la secuencia todos los años. Durante el período 1996 y 2001 los cultivos no recibieron fertilización con P. En el otoño de 2001 cada parcela de 12 has se dividió en dos partes iguales donde se aplicaron las dos estrategias de fertilización fosfatada propósito de este estudio: i) de suficiencia y ii) de balance por restitución.

Para el criterio de suficiencia se consideraron umbrales de P del suelo (capa de 0 a 20 cm) de 18 mg kg⁻¹ para trigo y maíz y de 11 mg kg⁻¹ para soja y girasol. Para la estrategia de balance por restitución se estimó el P extraído para una producción promedio de 9000 kg ha⁻¹ de maíz, 4000 kg ha⁻¹ de trigo, 4000 kg ha⁻¹ de girasol, 3500 kg ha⁻¹ de soja de primera y 2000 kg ha⁻¹ de soja de segunda. En la tabla 1 se presentan las extracciones estimadas de P y las dosis medias de P agregadas en cada cultivo según las estrategias de fertilización aplicadas.

Tabla 1: Extracción de fósforo (Andrade et al., 1996) y dosis promedios de P agregado según el cultivo y estrategia de fertilización.

Estrategias de fertilización			
Cultivo	Extracción P	Suficiencia	Restitución
	(kg P tn ⁻¹)	Dosis de P (kg ha ⁻¹)	Dosis de P (kg ha ⁻¹)
Maíz	3,0	13	27
Trigo	3,8	13	27
Soja de segunda	6,7	0	12
Girasol	4,0	0	17
Soja de primera	6,7	0	20

En todos los tratamientos las aplicaciones del fertilizante con P se realizaron en el momento de la siembra. En girasol y soja en aquellos casos en que las dosis de fertilizante resultaron superiores a 45 kg ha⁻¹ se aplicaron fraccionadas en partes equivalentes en el surco y en el entresurco para reducir problemas de fitotoxicidad en las semillas.

Evaluaciones edáficas y de los cultivos

En los otoños del 2001 y del 2007 se tomaron muestras compuestas de suelo de la capa 0-20 cm georeferenciadas, siguiendo un muestreo en grilla a razón de 1 muestra por ha (6 muestras por franja de cultivo y modelo de fertilización) para la determinación de los contenidos de P extractable (Pe, Bray y Kurtz, 1945), de materia orgánica (MO)(Walkey y Black, 1934) y de pH en agua (potenciometría). Los valores de Pe se utilizaron para establecer las dosis de fertilización con P en el criterio de suficiencia en cada una de las parcelas.

Anualmente se determinó la producción de grano de los cultivos, por cosecha y trilla manual de muestras de 3 m² de cada cultivo coincidentes con las posiciones georeferenciadas en donde se realizaron las determinaciones de suelo descriptas. Los resultados de producción se expresaron corregidos a contenidos de humedad de los granos de 110 para girasol y de 140 g kg⁻¹ para maíz, trigo y soja.

Manejo general de los cultivos:

Maíz: La siembra se realizó a partir del 1 de octubre, con híbridos de ciclo largo, con una densidad de siembra de 81000 plantas ha⁻¹ y con un distanciamiento entre hileras de 0,52 m. La fertilización con N se realizó en el momento de la siembra o en estadios de V4 de los cultivos, logrando una disponibilidad de N (N suelo + N fertilizante) de 140 kg N ha⁻¹.

Girasol: La siembra se realizó a mediados de octubre, con híbridos de ciclo largo convencionales en las campañas 2001 a 2004 y con tecnología Clearfield en las restantes, con una densidad de siembra de 61000 plantas ha⁻¹ y con un distanciamiento entre hileras de 0,52 m.

Trigo: La siembra se realizó a mediados de junio, con cultivos de ciclo intermedios, con una densidad de siembra de 300 semillas m⁻² y con un distanciamiento entre hileras de 0,175 m. La fertilización con N se realizó al momento de la siembra hasta inicios de macollaje logrando una disponibilidad de N (N suelo + N fertilizante)

de 130 kg N ha⁻¹.

Soja de segunda: La siembra se realizó de mediados a fines de diciembre, con variedades de grupo de madurez IV largo, con una densidad de siembra de 40 semillas m⁻² inoculadas y con un distanciamiento entre hileras de 0,52 m.

Soja de primera: La siembra se realizó a principios de noviembre, con variedades de grupo de madurez IV largo, con una densidad de siembra de 40 semillas inoculadas m⁻² y con un distanciamiento entre hileras de 0,52 m.

En todos los cultivos se realizaron controles de malezas en barbecho, pre-siembra o siembra y postemergencia según correspondiera para evitar la competencia de éstas sobre el normal crecimiento de los cultivos.

Análisis de los resultados

Para cada cultivo se calculó el balance aparente de P (BAP) como la diferencia entre la cantidad de P extraída en los granos y el P agregado al fertilizar.

$$\text{BAP (kg ha}^{-1}\text{)} = \text{Rendimiento (kg ha}^{-1}\text{)} \times \text{Pgr (kg kg}^{-1}\text{)} - \text{Pfert (kg ha}^{-1}\text{)}$$

Dónde: Pgr es la concentración de P en los granos (Tabla 1) y Pfert es la dosis de P aplicada al fertilizar (Tabla 1).

Para el análisis de los rendimientos se utilizó un diseño factorial, considerando como tratamientos a las campañas, y criterios de fertilización. Las diferencias de medias se analizaron mediante la prueba de diferencia de medias de Tukey (P<0,05).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

a) Rendimiento de los cultivos

Maíz: el rendimiento de los cultivos varió entre 5606 y 14739 kg ha⁻¹, con rendimientos medios de 8884 y 11226 kg ha⁻¹ con antecesor girasol y trigo/soja, respectivamente. Se observaron diferencias significativas entre campañas (p<0,01), entre estrategias de fertilización (p<0,01) e interacción entre campañas y estrategias de fertilización (p<0,05). (Fig. 1a). No obstante la diferencia de rendimientos entre estrategias de fertilización fue independiente del cultivo antecesor (p<0,74). En las campañas 2001, 2003 y 2005 los rendimientos de los cultivos bajo prácti-

cas continuas de fertilización según un modelo de balance por restitución fueron mayores que los observados según el modelo de suficiencia. La diferencia de rendimiento entre las dos estrategias de fertilización fue de 1777 kg ha⁻¹ cuando se consideraron sólo las campañas 2001, 2003 y 2005 y de 776 kg ha⁻¹ cuando se promediaron los 6 años evaluados.

Trigo: el rendimiento de los cultivos varió entre 2114 y 4350 kg ha⁻¹, con rendimientos medios de 3438 kg ha⁻¹, con diferencias significativas entre campañas (p<0,01), entre estrategias de fertilización (p<0,01), sin mostrar interacciones entre campañas y estrategias de fertilización (p<0,10) (Fig. 1b). En las campañas 2003, 2005 y 2006 los rendimientos de los cultivos según un modelo de balance por restitución fueron mayores que los observados según el modelo de suficiencia, mientras que en las tres campañas restantes fueron similares entre ellas. La diferencia de rendimiento entre las dos estrategias de fertilización fue de 867 kg ha⁻¹ cuando se consideraron las campañas 2003, 2005 y 2006 y de 464 kg ha⁻¹ cuando se promediaron los 6 años de la secuencia agrícola.

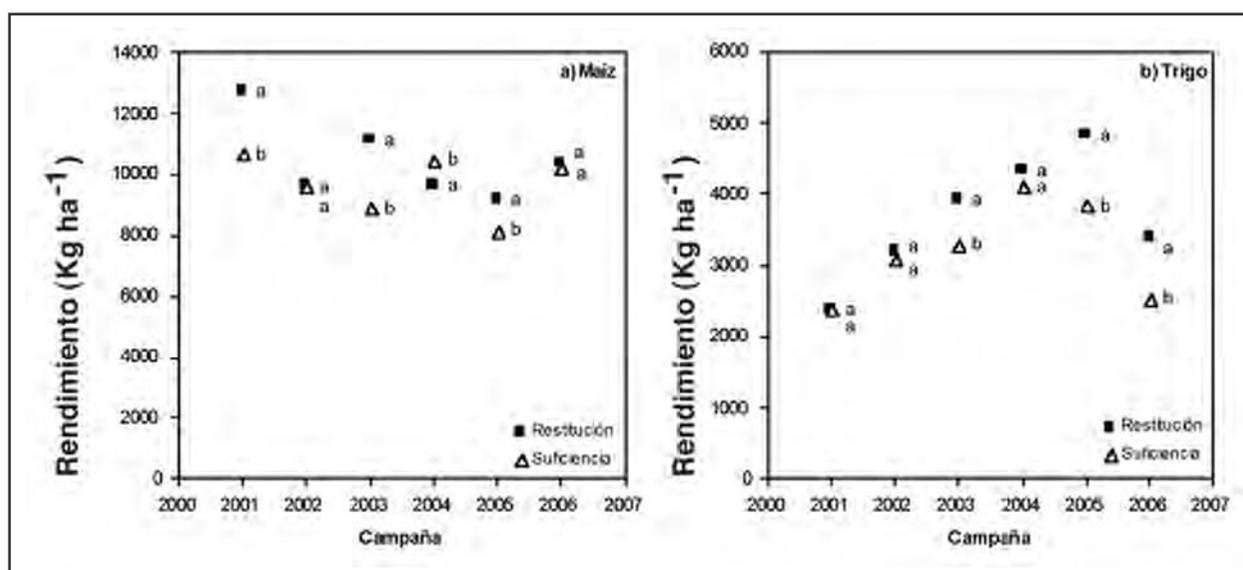


Fig.1: Rendimientos de maíz (a) y de trigo (b) según dos criterios de fertilización con fósforo.

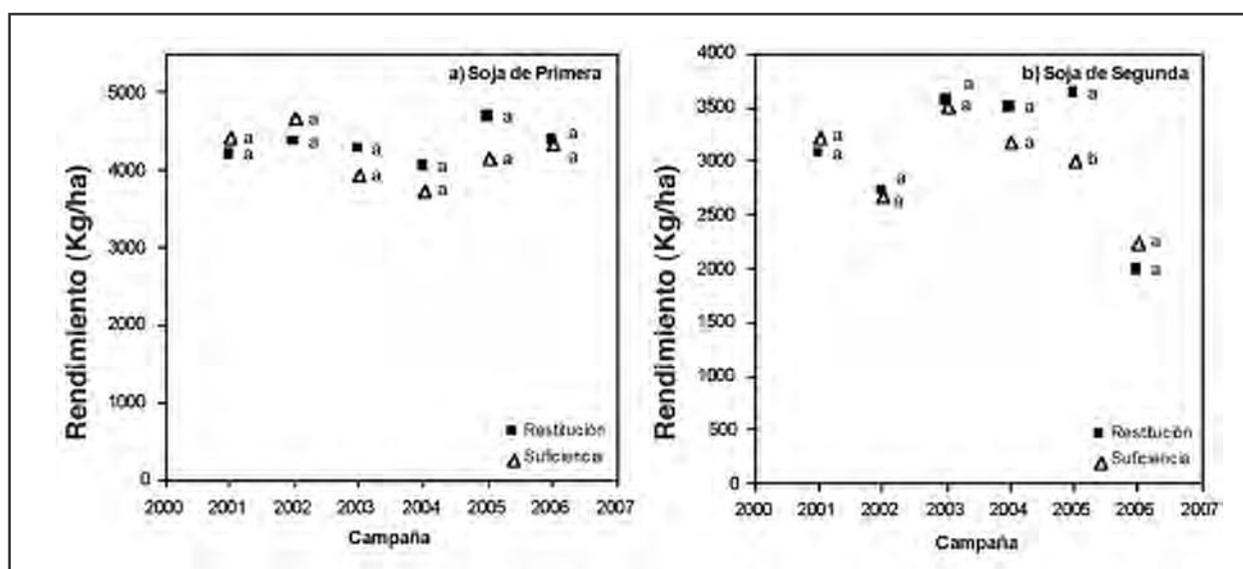


Fig.2: Rendimientos de soja de primera (a) y de soja de segunda (b) según dos criterios de fertilización con fósforo.

Soja de primera: el rendimiento de los cultivos varió entre 2583 y 5113 kg ha⁻¹, con rendimientos medios de 4263 kg ha⁻¹, con diferencias significativas entre campañas (p<0,01), pero no entre criterios de fertilización (p<0,25) ni interacciones entre campañas y criterios de fertilización (p<0,10) (Fig. 2a). La diferencia de rendimiento, promedio de los 6 años de evaluación, fue de 144 kg ha⁻¹ a favor del balance por restitución.

Soja de segunda: el rendimiento de los cultivos varió entre 1699 y 4350 kg ha⁻¹, con rendimientos medios de 3028 kg ha⁻¹, con diferencias significativas entre campañas (p<0,01), pero no entre criterios de fertilización (p<0,28) ni interacciones entre campañas y criterios de fertilización (p<0,10) (Fig. 2b). La diferencia de rendimiento, promedio de los 6 años de evaluación, fue de 144 kg ha⁻¹ a favor del balance por restitución.

Girasol: el rendimiento de los cultivos varió entre 1317 y 4583 kg ha⁻¹, con rendimientos medios de 2860 y 3149 kg ha⁻¹ según antecesores maíz y soja, respectivamente. Se observaron diferencias significativas entre campañas (p<0,01), entre criterios de fertilización (p<0,01) e interacciones entre campañas y criterios de fertilización (p<0,01) (Fig. 3). Los mayores rendimientos al aplicarse modelos de fertilización según balance por restitución por sobre los alcanzados con estrategias de suficiencia se observaron a partir de la campaña 2006 (Fig.3). La diferencia de rendimiento, promedio de los 6 años de evaluación, fue de solo de 96 kg ha⁻¹ a favor del balance por restitución.

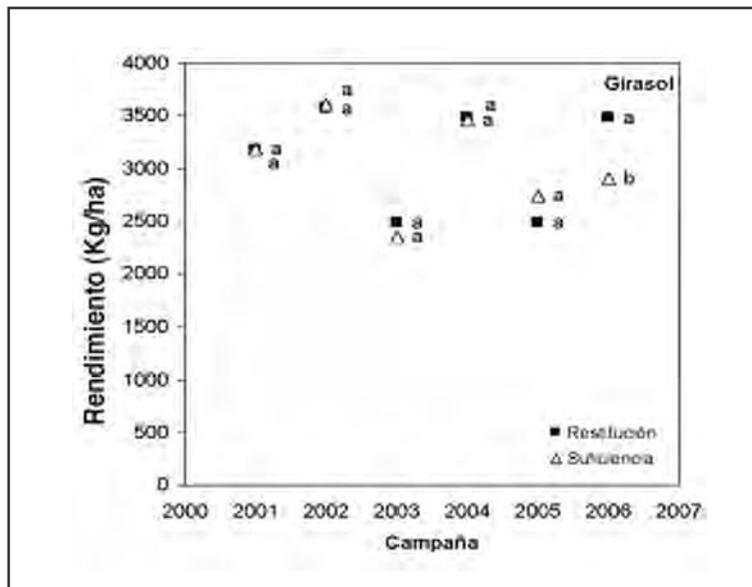


Fig. 3: Rendimientos de girasol según dos criterios de fertilización con fósforo.

b) Balance aparente de P

En promedio para las 6 campañas evaluadas el balance aparente de Pe resultó negativo en la mayoría de los cultivos para la estrategia de suficiencia, a excepción de trigo donde resultó levemente positivo (Tabla 2). Al aplicarse la estrategia de restitución el balance aparente fue positivo para girasol y trigo debido a que los rendimientos obtenidos resultaron inferiores a los estimados al calcular la dosis de restitución. En maíz y en soja el balance aparente

de P fue negativo como consecuencia de mayores rendimientos con respecto a los previstos en el planteo original (Tabla 1). En soja de segunda el balance resultó negativo pero si se considera la secuencia trigo/soja de segunda el aporte realizado en los dos cultivos compensa lo extraído por los dos cultivos.

Si promediamos los balances aparentes individuales de todos los cultivos de la secuencia obtenemos un balance aparente global de -14,0 y de -0,7 kg P ha⁻¹ campaña⁻¹ para los criterios de suficiencia y restitución, respectivamente.

c) Evolución de propiedades edáficas

Los contenidos de MO de los suelos no se modificaron significativamente entre las campañas 2001 y 2007, ni difirieron entre estrategias de fertilización. Los valores promedios al final de este estudio fueron de 26,4 y 26,7 g kg⁻¹ para las estrategias de suficiencia y de restitución de P, respectivamente.

Se observó una tendencia a una disminución en el pH de los suelos a través del tiempo, con valores promedios en el año 2007 de 6,1 y de 6,0 para las estrategias de suficiencia y de restitución de P, respectivamente.

Cuando se compararon los niveles de Pe del suelo entre las campañas 2001 y 2007 se observó que con la estrategia de suficiencia los niveles de Pe disminuyeron en promedio unos 4,0 mg kg⁻¹, mientras que con la estrategia de restitución aumentaron en 4,7 mg kg⁻¹. No obstante, con la estrategia de suficiencia se observó un incremento en la variabilidad de Pe entre los puntos georeferenciados con coeficientes de variación del 38 y del 60 % en los muestreos de 2001 y 2007, respectivamente (Fig. 4), en tanto que la variabilidad en los contenidos de Pe entre puntos disminuyó con la estrategia de restitución con coeficientes de variación del 39 y del 29 % en los muestreos de 2001 y 2007, respectivamente (Fig.4).

Finalmente con la estrategia de suficiencia de P se observó al final de este estudio un 19 % y un 55 % de los

Tabla 2: Rendimiento (Rto.) de los cultivos, extracción estimada de P (Extr.), P aportado por la fertilización (Fert.) y balance aparente de P (BAP) según dos criterios de fertilización con P. Promedio de 6 años de evaluación.

Criterio de fertilización con P								
Cultivos en secuencia	Suficiencia				Balance por restitución			
	Rto. kg grano ha ⁻¹	Extr.	Fert. kg P ha ⁻¹	Bap	Rto. kg grano ha ⁻¹	Extr.	Fert. kg P ha ⁻¹	Bap
Maíz	8533	25,6	13,0	- 12,6	9236	27,7	27,0	- 0,7
Soja 1°	4206	28,2	0,0	- 28,2	4320	28,9	20,0	- 8,9
Girasol	2982	11,9	0,0	- 11,9	3305	13,2	17,0	+ 3,8
Trigo	3090	11,7	13,0	+ 1,3	3498	13,3	27,0	+ 13,7
Soja 2°	2980	20,0	0,0	- 20,0	3076	20,6	10,0	- 10,6
Maíz	10802	32,4	13,0	-19,4	11651	35,0	27,0	- 8,0
Girasol	3076	12,3	0,0	-12,3	2908	11,6	17,0	+ 5,4

puntos georeferenciados con niveles de P subóptimos para la producción de soja y girasol ($Pe < 11 \text{ mg kg}^{-1}$) y de maíz y trigo ($Pe < 18 \text{ mg kg}^{-1}$), respectivamente, mientras que con la estrategia de restitución de P ningún punto mostró valores subóptimos para soja y girasol y sólo un 5 % para maíz y trigo.

CONCLUSIONES

- Los resultados de este estudio muestran mayores rendimientos promedios de trigo y maíz según un modelo de restitución de P por sobre un modelo de suficiencia de P. En cambio en soja y girasol no se observaron diferencias en los rendimientos entre las dos estrategias evaluadas.

- Los niveles de Pe disminuyeron en promedio unos $0,7 \text{ mg kg}^{-1} \text{ año}^{-1}$ para el modelo de suficiencia de P, mientras que con la estrategia de reposición éstos aumentaron en $0,8 \text{ mg kg}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

- Se requiere de estudios a largo

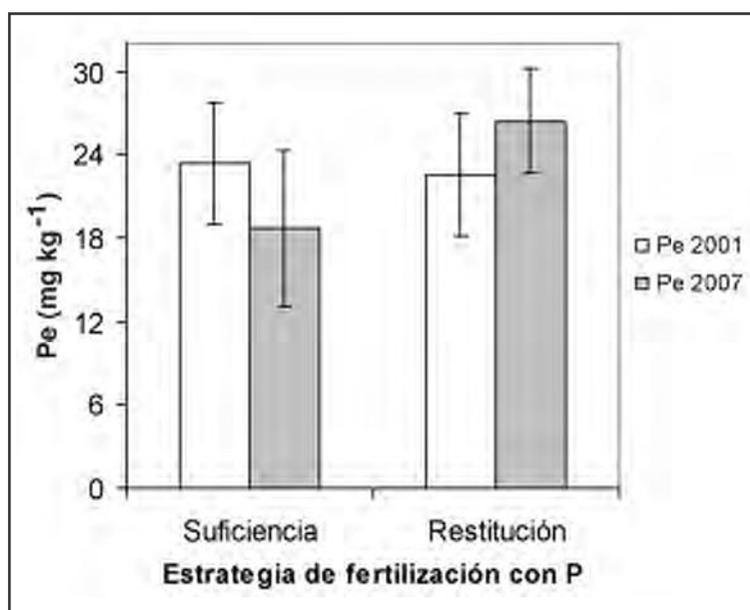


Fig. 4: Contenidos de fósforo extractable (Pe) en la capa superficial de los suelos según estrategias de fertilización con P. Las barras en cada columna muestran el desvío estándar de las observaciones.

plazo, considerando que el efecto acumulado de estrategias de fertilización modifica los niveles de Pe del suelo, lo cual podría incidir en diferencias de rendimiento, parcialmente detectadas hasta el presente.

BIBLIOGRAFIA

- Alfieri AE.; JC. Viale; RE. Sobral. 1991. Carta de suelos del campo experimental de la EEA General Villegas. INTA CIRN, 90 pág.
- Andrade F, H. Echeverría, N. Gonzalez, S. Uhart y N. Darwich. 1996. Requerimientos de nitrógeno y fósforo de los cultivos de maíz, girasol y soja. Boletín Técnico No. 134. EEA INTA Balcarce. Argentina.
- Bray R., & L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. Soil Sci. 59: 39-45.
- Walkley A., & T.A. Black. 1934. An examination of the Degtjaerff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37: 29-38.