



Estación Experimental Agropecuaria Pergamino
"Ing. Agr. Walter Kugler"
UCT Agrícola Ganadero del Centro
AER 9 de Julio

**FORMAS DE APLICACIÓN DEL FÓSFORO EN SECUENCIAS
AGRÍCOLAS EN SIEMBRA DIRECTA EN
SUELOS HAPLUDOLES ENTICOS.**

Rillo Sergio¹
C Álvarez²
M Díaz-Zorita³
Setiembre de 2013

Introducción

De los macronutrientes requeridos para la producción de granos, el N y el P son los que frecuentemente limitan la producción en la región pampeana. En trigo y maíz la incorporación de los nutrientes por fertilización es común y frecuente. En soja el N es mayormente abastecido por la fijación biológica (FBN) con aportes de hasta el 85% de sus requerimientos y positivas respuestas a la inoculación. En cambio, la fertilización con P esta menos adoptada. Un suministro deficiente de P disponible en los cultivos limita la productividad, siendo el segundo nutriente que más se consume a nivel nacional y el tercero a nivel mundial. (Rivero, E y Cruzate, G.2008).

Si bien en la última década se observa un marcado crecimiento en el uso de P como fertilizante, la relación entre las dosis aplicadas y la remoción por los cultivos presenta balances negativos, reponiéndose solamente un 59% del P extraído por los granos de soja, maíz, trigo y girasol. La dosis media utilizada como fertilizante en la región pampeana es de 11, 8 y 2,6 kg de P ha⁻¹ (FAO 2004). Los porcentajes de recuperación del P como fertilizante se ubican entre el 10 a 30%, considerándose que el nutriente no empleado en el año estará parcialmente disponible para los cultivos siguientes. La forma de aplicación del P en los cultivos, mayoritariamente, es en la línea y en el momento de siembra dado que es un nutriente de baja movilidad en el suelo, se prioriza la respuesta anual del nutriente sin considerar sus efectos en la secuencia rotacional.

Con el aumento y estabilización de los sistemas agrícolas bajo siembra directa se percibe un incremento de las aplicaciones superficiales de P en cobertura (al voleo) con anticipación a la siembra del cultivo. En general no se registraron respuestas respecto a la eficiencia de uso de P y el rendimiento en aplicaciones realizadas en la línea de siembra versus las aplicaciones al voleo bajo siembra directa (Berardo y col.,1998; Ferraris y col., 2010). Otros estudios sugieren que cuando los suelos presentan valores superiores de P Bray I a 10 mg Kg⁻¹ y las dosis son iguales o mayores a 22 Kg P ha⁻¹ (100Kg ha⁻¹ de FDA o SFT), aplicadas con anticipación y suceden lluvias posteriores de al menos 50 mm, las aplicaciones en cobertura total son igualmente eficientes que las aplicaciones en línea en el momento de la siembra (Ciampitti, et al 2009). En la Pampa Arenosa se ha demostrado que cuando los suelos son deficientes en P, la incorporación del nutriente en la línea de siembra es más eficiente que las aplicaciones en cobertura total. (Barraco y col.,2006).

1- Técnico de la AER 9 de Julio – UCT Agrícola Ganadero del Centro INTA Pergamino
2- INTA Gral. Pico
3- CONICET-INBA, Novozymes BioAg S.A.

No obstante, la información sobre las fertilizaciones con dosis elevadas de P y sus efectos acumulados en el tiempo son escasas.

Considerando que los suelos del centro oeste de Buenos Aires son de textura Franco-arenoso y con bajos niveles de P (Bray I) se estudio el efecto de la aplicación en la línea de siembra y en cobertura total de 22 Kg P ha⁻¹ (100 kg ha⁻¹ de SFT) sobre el rendimiento de los cultivos y en el contenido de P en el suelo en la secuencia agrícola de trigo - soja 2 , maíz y soja1 bajo SD.

Materiales y métodos

Presentamos resultados de un estudio llevado a cabo por el INTA 9 de Julio en la Escuela de agricultura y ganadería MC y ML Inchausti, UNLP. (Valdés y Santiago Garbarini - partido de 25 de Mayo- (Bs.As). (S 35°35'38,0'' - W 60°33'46,5'') y (S 35°27'41,1'' - W 60°20'57,9''). Se inicio en el año 2005 en lotes que provenían de 6 años en siembra directa (SD). El suelo fue clasificado como Hapludol éntico perteneciente a la serie Norumbega, originado a partir de materiales eólicos arenosos con un perfil pobremente desarrollado y de textura franca- arenosa. (INTA 1972). Se evaluaron 7 lotes de producción con una secuencia agrícola de trigo/soja de 2 , maíz y soja de 1 con diferentes rangos de P asimilable Bray Kurtz 1(mg Kg⁻¹), (0-20 cm), que variaron entre 5,8 a 7,4 ppm de P (Tabla 1). 4 lotes se evaluaron en el transcurso de las campañas agrícolas 2005-2007 (Secuencia I) y 3 lotes durante las campañas 2006-2008 (Secuencia II).

Se empleó un diseño experimental de bloques completos aleatorizados con tres repeticiones donde cada parcela experimental ocupó una superficie de 40 m².

Los tratamientos evaluados fueron un testigo sin la aplicación de fósforo (P) y 22 kg ha⁻¹ de P (100 kg de superfosfato triple de calcio - SFT, 46% P₂O₅), aplicado en cobertura total (voleo), y en la línea de siembra. El P aplicado al voleo, se realizó entre 45 a 60 días antes de la siembra y en la línea, en el momento de la siembra, al costado de la semilla y a unos 6 cm de profundidad.

La fertilización se realizó todos los años y a los cultivos de trigo, maíz y soja de primera. En soja de segunda no se fertilizó analizándose sobre este cultivo, los efectos residuales del P aplicado al cultivo de trigo.

Además se adicionó como fertilizante, al voleo superficial, una mezcla de urea (48 % N) más sulfato de amonio (21% N + 24% S) (150 y 7 kg ha⁻¹ de nitrógeno(N) y azufre (S)), al trigo y maíz, respectivamente. El cultivo de soja de 1 se fertilizó solamente con azufre La fecha de siembra, variedades utilizadas se presentan en la tabla 2 y en la tabla 3 se presentan las precipitaciones anuales de las campañas 2005, 06,07 y 08.

Al inicio y al final de cada secuencia de cultivos se evaluó en todos los sitios el nivel de fósforo extractable en el espesor 0-20 cm de suelo (Bray I). Se realizaron 6 submuestras por tratamiento y por cada bloque, en el medio de las líneas de siembra.

A partir de los rendimientos de los cultivos se realizo el Balance aparente de P (BAP), considerando las extracciones de P de los cultivos según el rendimiento y el requerimiento de P por tonelada, de acuerdo a Andrade y col. (2006), donde establecen requerimientos de 3,8 – 3,0 y 6,7 kg de P t⁻¹ de trigo, maíz y soja, respectivamente.

Se realizó análisis de varianza (ANOVA), el test de Fisher a 0,10 de nivel de probabilidad ($p < 0,10$) fue usado para determinar diferencias entre tratamiento para cada cultivo.

Tabla 1. Análisis de suelo inicial. Materia orgánica (M.O.), pH, Nitrógeno total (Nt) y fósforo (P). Al inicio del estudio para el espesor 0-20 cm del suelo.

Secuencia	M.O. %	p.H	Nt %	P (ppm)
I	2,82	5,7	0,141	6,0
I	2,28	5,9	0,114	7,4
I	2,30	5,5	0,115	6,1
I	2,02	5,6	0,101	8,0
II	3,48	5,9	0,174	5,8
II	3,62	5,8	0,181	7,6
II	3,22	6,0	0,161	6,2

Tabla 2. Variedad de trigo y soja e híbrido de maíz, fecha de siembra de cada sitio experimental.

Identificación	Variedad de trigo	Fecha de siembra	Variedad Soja 2	Híbrido de Maíz	Fecha de siembra de Maíz	Variedad Soja 1	Fecha de siembra de soja
L1	ACA 303	16/6/2005	DM 4400	Dekalb 664	20/9/2006	DM 3700	28/10/2007
L2	K. Capricornio	22/6/2005	DM 4200	Aca 2001	23/9/2006	DM 4200	22/10/2007
L3	K. Capricornio	26/6/2005	DM 4400	Dekalb 664	5/10/2006	DM 3700	25/10/2007
L4	K. Capricornio	28/6/2005	DM 4600	Aca 2001	25/9/2006	A-4613	30/10/2007
L5	K. Zorro	05/7/2006	DM 4200	Aca 467 bt	25/9/2007	DM 3700	30/10/2008
L6	K. gavian	20/6/2006	N-4613	Aca 472 bt	28/9/2007	N-4209	22/10/2008
L7	DM Cronox	01/7/2006	DM 4400	Aca 2001	6/10/2007	N-4613	29/10/2008

Tabla 3. Precipitaciones mensuales correspondientes a las campañas 2005/2009

Mes \ Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total Anual
2005	110	90	161	10	15	25	55	120	44	30	123	90	873
2006	224	160	40	142		57	15		27	280	58	126	1129
2007	137	82	211	63	14	7	3		114	90	60	46	827
2008	125	107	196		22	35	78		45	147	55	15	825
2009	20	64	15	40	26		45		136	30	171	230	777

Resultados

Las precipitaciones que recibieron los cultivos en el período crítico de definición del rendimiento, fueron del 34, 43 y 34 % del total anual representando un comportamiento normal de acuerdo a la serie histórica 1961-2009 (datos no mostrados). El 2008 fue el ciclo agrícola de menores precipitaciones.

1- Rendimiento de los cultivos.

Tabla 4. Rendimiento promedio anual por secuencia y promedio general. Respuesta a la fertilización de P (kg ha⁻¹ y %) y Eficiencia de uso del P (EUP kg gr/ kg de P).

Secuencia	Tratamiento	Cultivo				Acumulado
		Trigo	Soja 2	Maíz	Soja 1	
I	T	5318	3176	10048	3198	21740
I	PV	6260	3625	11445	4258	25588
I	PL	6475	3476	12117	4533	26661
II	T	5590	2628	10746	2320	21284
II	PV	6390	3282	11974	3082	24728
II	PL	6840	3300	12387	3240	25767
		Promedio				
	T	5454 b	2902 a	10397 b	2759 b	21512
	PV	6325 a	3454 a	11710 a	3670 a	25158
	PL	6658 a	3388 a	12282 a	3887 a	26214
	Rta kg/ha					
	PV	871	552	1313	911	3646
	PL	1204	486	1885	1128	4702
	Rta %					
	PV	16	19	13	33	
	PL	22	17	18	41	
	EUP kg gr / kg P					
	PV	40	25	60	41	55
	PL	55	22	86	51	71

Medias con una letra común no son significativamente diferentes(p<= 0,10)

En promedio para las 2 secuencias y en las condiciones experimentales se observó que:

- Todos los cultivos mostraron respuestas positivas al agregado de P, independientemente de la forma de aplicación.
- En promedio, la aplicación en la línea de siembra permitió alcanzar una mayor eficiencia de uso del P (mas kg de grano producidos por kg de P aplicado).
- Entre cultivos, la mayor eficiencia se logró con los cereales (maíz y trigo). En soja de 1, la fertilización al cultivo permitió alcanzar una mayor eficiencia de uso que en soja de 2 donde el aprovechamiento del P fue a partir del residual de la fertilización de trigo.
- Solo en soja de 2, se observó mayor eficiencia de aprovechamiento del P cuando la aplicación se realizó en superficie ("al voleo" en el cultivo de trigo)

2-Balance aparente de Fósforo (BAP)

En los sistemas agrícolas el ciclo del P es relativamente cerrado, es decir que minimizando los procesos erosivos la salida de P del suelo es por la exportaciones por los granos cosechados y la reposición es por la fertilización. Los balance de P en los sistemas productivos son altamente negativos debido a que el criterio usado para la fertilización, por la propia naturaleza del sistema agrícola, es el de alentar un máximo retorno económico de la práctica. En la campaña 2008 solamente se repuso el 50% del P exportado (IPNI, 2009).

En nuestro estudio el balance aparente de P, en promedio para todos los sitios y años analizados, resultó negativo tanto para el tratamiento testigo como para los tratamientos que tuvieron la incorporación de 22 kg de P año ha⁻¹.(Tabla 5).

Tabla 5. Rendimiento (Rto) de los cultivos, extracción de P por los cultivos (Extr.), P aportado por la fertilización y balance aparente de P (BAP) anual y global de cada secuencia, según modalidad de aplicación del P.

	Secuencia rotacional I (2005-2007)				Secuencia rotacional II (2006-2008)			
	Rto	Extr global	Aporte	BAP	Rto	Extr	Aporte	BAP
	(t ha ⁻¹)	(kg P ha ⁻¹)	(kg P ha ⁻¹)	(kg P ha ⁻¹)	(t ha ⁻¹)	(kg P ha ⁻¹)	(kg P ha ⁻¹)	(kg P ha ⁻¹)
Trigo								
Testigo	5,317	20,20	0	-20,20	5,59	21,24	0	-21,24
P Voleo	6,259	23,78	22	-1,78	6,39	24,28	22	-2,28
P Línea	6,474	24,60	22	-2,60	6,84	25,99	22	-3,99
Soja 2								
Testigo	3,176	21,28	0	-21,28	2,628	17,61	0	-17,61
P Voleo	3,624	24,28	0	-24,28	3,282	21,99	0	-21,99
P Línea	3,475	23,28	0	-23,28	3,300	22,11	0	-22,11
Maíz								
Testigo	10,04	30,12	0	-30,12	10,802	32,41	0	-32,41
P Voleo	11,44	34,32	22	-12,32	11,974	35,92	22	-13,92
P Línea	12,17	36,51	22	-14,51	12,386	37,16	22	-15,16
Soja 1								
Testigo	3,198	21,43	0	-21,43	2,328	15,60	0	-15,60
P Voleo	4,258	28,53	22	-6,53	3,082	20,65	22	1,35
P Línea	4,533	30,37	22	-8,37	3,240	21,71	22	0,29
Rendimiento, extracción, aporte y BAP Global					Rendimiento, extracción, aporte y BAP Global			

Testigo	21,731	93,0	0	-93,0	21,348	86,85	0	-86,85
P Voleo	25,581	111	66	-45	24,728	103	66	-37,0
P Línea	26,652	115	66	-49	25,766	107	66	-41,0

En la tabla 5 se observó que el tratamiento testigo registró un déficit de 93 y 86 kg P ha⁻¹, el P aplicado en cobertura total de 45 y 37 kg P ha⁻¹ y el P aplicado en la línea de 49 y 41 kg P ha⁻¹.

Las incorporaciones del P en cobertura total cubrieron, en promedio, el 61,5 %, mientras que el P incorporado en la línea el 59,5, del total del P extraído por los cultivos.

El mayor déficit de P se registró en el cultivo de soja de 2, dado que no recibió aportes de P.

3-Evolución del contenido de fósforo en el suelo.

Los niveles iniciales de Pe fueron bajos en todos los sitios analizados con valores máximos de 8 y mínimos de 6 mg kg⁻¹, encontrándose muy distantes de los rangos umbrales de suficiencia de P para el espesor 0,20 m del suelo (15-20; 13-18; y 9-14 mg kg⁻¹ para trigo, maíz y soja, respectivamente. Ciampitti y col.2009).

En el análisis realizado de fósforo extractable (Pe), luego de 3 años, al final de cada secuencia de cultivos, se determinó una disminución de P en todos los tratamientos respecto al P inicial. Siendo en el testigo de mayor magnitud. (Tabla 6)

Tabla 6. Fósforo extractable (P.e. mg kg⁻¹) al final de la secuencia de cultivos. Promedio de todos los sitios evaluados.

	P.e. (mg kg ⁻¹)	Diferencia respecto inicio	Tasa (disminución respecto al inicio)
P inicial	6,70 a		
Testigo final	3,50 c	3,20	1,10
PV final	4,80 b	1,90	0,60
PF final	4,10 b c	2,60	0,80

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p <= 0,10)

En todos los casos, los contenidos extractables de P luego de 3 años de cultivos continuos con fertilización anual con P a razón de 22 kg/P/año disminuyeron con respecto a la situación inicial. Esta reducción fue de mayor magnitud en el caso de aplicaciones localizadas que al fertilizar en superficie. La tasa de reducción anual en los niveles de Pe. En ausencia de fertilización fue de 1.1 ppm y superior a la detectada en condiciones de fertilización. Estos niveles de reducción son semejantes a los descriptos por ejemplo en la región de la pampa arenosa durante el ciclo de expansión de la agricultura con insuficiente aplicación de fertilizantes fosfatados.

Comentarios finales

En las condiciones de este estudio se validó la importancia de la fertilización fosfatada, independientemente de la forma de aplicación, para mejorar la producción de cultivos de trigo, soja y maíz. La ubicación del fertilizante en la línea de siembra permitió una mayor eficiencia de aprovechamiento del nutriente que cuando la fertilización se realizó al voleo. En tratamientos residuales de fertilización la respuesta fue mayor en sistemas con aplicaciones de P al voleo.

Los niveles de P extractable del suelo decrecieron en todos los tratamientos, en menor magnitud al aplicarse el P en superficie. Asimismo el nivel de fertilización anual establecido en la secuencia de cultivos no cubrió la exportación de P, dando en consecuencia BAP negativos.

Estos resultados muestran que en suelos deficitarios en P la fertilización localizada en todos los cultivos de la rotación permite mejorar su productividad y que la dosis aplicada es insuficiente para el mantenimiento de la fertilidad fosfatada de estos suelos.

Bibliografía:

Álvarez, R y H, Steinbach.2006. Balance de Carbono en suelos cultivados. En M.O. Valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos. Cap. pág. 55; 7

Andriulo, A; Irizar, A; Garcia, L; Hanuch, L y Rimatori, F. Efecto de los monocultivos de soja y maíz sobre el aporte de carbono y algunas propiedades edáficas luego de 20 años bajo siembra directa. Actas del XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. (en CD).2008

Andrade, F. H, Echeverría. N, Gonzales. S, Uhart y N Darwich. 1996. Requerimientos de nitrógeno y fósforo de los cultivos de maíz, girasol y soja. Boletín Técnico N 134. EEA. INTA Balcarce. Argentina.

Barraco. M Díaz-Zorita, C, Álvarez y C, Scianca. 2009. Estrategia de fertilización fosfatada en una secuencia agrícola bajo labranza cero en la pampa arenosa: I. Evaluación agronómica. En Simposio Fertilidad 2009.Pag.139; 143.

Barraco. M Díaz-Zorita, C. y Álvarez C. 2006. Aplicaciones incorporadas y en superficie de fósforo en cultivos de maíz. Actas XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. CD.

Berardo A., Grattone FD, Borrajo GA.1998. Efecto de las formas de aplicación de P sobre la producción de trigo. Actas del IV Congreso Nacional de Trigo. II Simposio de Cereales de Siembra Otoño-Invernal. Mar del Plata, 11 al 13 de Noviembre.

Ciampitti I.A.,Rubio, G., Piccone, L.E., y F.O Garcia. 2009. El fósforo en la agricultura. Mejores prácticas de manejo para una mayor eficiencia en la nutrición de cultivos. Simposio de fertilidad 2009. IPNI-Fertilizar. 35-57 pp.

FAO.2004. Uso de fertilizantes por cultivo en Argentina.

Ferraris G., Moussegne F., Álvarez C., Barraco M., Cavo J.J., Couretot L., Gutierrez Boem F., Lemos E., López de Sabando M., Ojuez C., Paganini A., Pérez G., Pontoni R., Torrens

Baudrix L., Scianca C., Sciolotto R., Solá R., Tellería G., Ventimiglia L. 2010. Dosis y localización de fuentes fosforadas en trigo en el norte, centro y oeste de Buenos Aires. Campañas 2008 y 2009. Área de Desarrollo Rural INTA EEA Pergamino y Villegas. Proyecto Regional Agrícola INTA.

Infostat (2004). Infostat versión 2004. Grupo Infostat. FCA. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina

INTA. Carta de suelos de la República Argentina. Instituto de suelos. Área de Investigación en Cartografía de suelos y evaluación de tierras. Hoja 3560 – 32 Del Valle. Escala 1: 50.000. Año 1993

Mallarino, A. 1997. Manejo de Fósforo, potasio y starters para maíz y soja en siembra directa. 5 Congreso Nacional de AAPRESID. Mar del Plata.p.11-19

Quiroga, A.R, Fernández. O, Ormeño y M, Sack. 2007. Evaluación del aporte de distintos nutrientes sobre propiedades edáficas y la productividad de la secuencia trigo-soja-maíz-soja. En Aspectos de la evaluación y el manejo de los suelos en la región semiárida pampeana. Ensayos de larga duración. Publicación Técnica N 69 EEA.INTA Anguil. ISSN 0325-2132-Abril de 2007.Pag.19; 33.

Rivero, E. y G. Cruzate. 2008. Materia orgánica, nitrógeno y fósforo: mapas de contenido y disponibilidad en distintos suelos de la República Argentina. XXI Congreso Argentino de la ciencia del suelo, Potrero de los Funes, San Luís. Actas en CD.

Agradecimientos

Al personal de la sección de agricultura y directores de la Escuela MC y ML Inchausti. A la empresa contratista Longarini Hnos. por la colaboración en este trabajo