

Incidencia de las diferencias entre cultivares de trigo en la cantidad de fósforo exportada en los granos

Lázaro, L.; P.E. Abbate y V.T. Manfreda

RESUMEN

El fósforo (P) es uno de los macronutrientes menos disponible en el suelo. Se predijo para los próximos años un incremento en el uso de fertilizantes fosforados debido al crecimiento de la demanda de alimentos. Una de las prácticas que puede contribuir a un uso más sustentable de los fertilizantes fosforados es la selección de cultivares con baja concentración de P en los granos. Para saber si existen diferencias en la concentración de P en los cultivares de trigo utilizados actualmente en la Argentina, se compararon 66 cultivares durante las campañas 2008/09 y 2009/10, en Balcarce. Hubo diferencias entre cultivares en la concentración de P, el rendimiento y la exportación de P (los rangos fueron 0,22 - 0,38%; 5170 - 9740 kg/ha y 13 - 29 kg P/ha, para concentración de P en grano, rendimiento y P exportado respectivamente). Para el productor las implicancias económicas de utilizar cultivares con menor concentración de P no resultan relevantes, ya que sólo representan diferencias en el costo menores al 2% del rendimiento. Sin embargo, a largo plazo y en el país, estas diferencias cobran una dimensión considerable.

Palabras clave: exportación de fósforo, concentración de fósforo, rendimiento de trigo

Lázaro, L.; P.E. Abbate and V.T. Manfreda, 2012. Incidence of the differences in the amount of P exported between wheat cultivars. Agriscientia XXIX: 1-13

SUMMARY

Phosphorus (P) is one of the least available macronutrients in soil and a rise in the use of phosphate fertilizers was predicted due to the growing food demand. A practice that can contribute to a more efficient use of P fertilizers and reduce soil P extraction is the selection of cultivars with low concentration of P in grains. In order to find out if there are differences in P concentration in wheat cultivars that are currently used in Argentina, 66 cultivars, grouped in two sowing dates, during 2008/09 and 2009/10, were compared in Balcarce, under potential conditions. There were differences between cultivars in P concentration, P exportation and yield (ranges were: 0.22 – 0.38%; 5170 - 9740 kg/ha and 13 - 29 kg P/ha) for P concentration in grains, yield and P export, respectively). However,

when considering the economic implications for farmers of using cultivars with lower P concentration, these differences between cultivars were not relevant, since the differences in cost were less than 2% yield, while at long-term and for country (Argentina), these differences have another dimension.

Key words: exportation phosphorus, phosphorus concentration, wheat yield

L. Lázaro y V.T. Manfreda, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional del Centro de la Prov. Bs. As. Av. Rep. de Italia s/n. C.P. 7300. Azul, Bs. As. Argentina. P.E. Abbate, EEA Balcarce - INTA, Bs.As., Argentina. Correspondencia a: llazaro@faa.unicen.edu.ar.

INTRODUCCIÓN

El P es uno de los macronutrientes menos disponibles en el suelo (Vance *et al.*, 2003) y frecuentemente limita el rendimiento del cultivo de trigo en muchas partes del mundo. Por esta razón los cultivos son fertilizados con P. Los fertilizantes fosforados son uno de los insumos más caros utilizados en la producción de trigo y, como además el P es un recurso no renovable, es poco probable que el precio de los fertilizantes disminuya en el futuro. Proyecciones para el año 2020 predicen un incremento del 50% en el uso de fertilizantes fosforados debido a un incremento en la demanda de alimentos generada por el aumento de la población mundial (Manske *et al.*, 2000). Mientras que Abelson (1999) predijo que para el año 2050 se acabarían las reservas de P del planeta, Hammond *et al.* (2004) estimaron que el P podría agotarse dentro de los próximos 60-90 años. Si bien ese fue el panorama que se mantuvo durante las últimas dos décadas, la proximidad de tal agotamiento está puesta en duda, ya que, según algunos informes (Van Kauwenbergh, 2010) no se habían cuantificado correctamente las reservas de P que alcanzarían para por lo menos los próximos 200 años. Aun así la fertilización con P seguirá siendo un insumo de alto costo.

Para el caso particular de la Argentina, las estadísticas del año 2007 (Cruzate y Casas, 2009) muestran que sólo se reponen por fertilización el 60% del P exportado en los granos, y este desbalance se agudiza cada vez que se producen cosechas récord a nivel nacional. Contrariamente a los sistemas de producción agropecuarios argentinos, en países desarrollados de Europa es habitual el exceso de fertilización fosforada, lo que es actualmente motivo de preocupación (Withers *et al.*, 2001). Estos excesos producen polución

de ríos y arroyos que contribuyen al fenómeno de eutrofización de acuíferos. Bajo las condiciones actuales de producción, tanto a nivel nacional como internacional, existe preocupación por realizar un uso más racional de la aplicación de fertilizantes fosforados (Ahmad *et al.*, 2001). Esto se debe, en situaciones productivas de escaso capital, al elevado gasto que implica su uso o a la falta de fertilizantes fosforados (Egle *et al.*, 1999) y, cuando el capital es menos limitante, porque un uso más eficiente del P implica proteger el ambiente, reduciendo la polución del suelo y del agua (Ahmad *et al.*, 2001; Osei *et al.*, 2003). Dentro de este contexto en el que existen consideraciones ambientales y económicas, el manejo del P se presenta como un factor de importancia para la producción de cultivos en general y de trigo en particular.

Una de las prácticas que podría contribuir a disminuir el problema de la extracción de P del suelo es la selección y elección de cultivares con baja concentración de P en el grano, lo cual conduciría a aumentar la eficiencia de uso del P del sistema de producción (Batten *et al.*, 1984). Esta práctica también resulta compatible con la "agricultura sustentable de bajos insumos" (Ahmad *et al.*, 2001). La disminución de la concentración de P en el grano, además contribuye a disminuir la acumulación de P en la excreta de los monogástricos alimentados a base de estos productos, principal factor causante de la eutrofización (Whiters *et al.*, 2001). Con el fin de minimizar la exportación del nutriente fuera del sistema, los cultivares ideales serían aquellos que alcancen el máximo rendimiento con baja concentración de P en el grano (alta eficiencia de uso del P), ya sea a través de una menor absorción de P por parte del cultivo y/o destinando la menor cantidad posible a la

reserva de P en los granos (bajo índice de cosecha de P). Es así que la utilización de cultivares que posean baja concentración de este elemento en los granos contribuye a la sustentabilidad de los sistemas productivos. Las ventajas de esta práctica sencilla y de bajo costo no son visualizadas por los productores y mejoradores de la región pampena para elegir y seleccionar, respectivamente, los cultivares adecuados para cada situación productiva, posiblemente debido a que la información de este tipo es escasa. El desarrollo de cultivares de trigo de rendimiento alto y estable continua siendo el objetivo prioritario de los programas de mejoramiento genético, tanto en la Argentina (Nisi *et al.*, 1996) como en otras regiones trigueras del mundo (Kholi *et al.*, 1999) donde otros aspectos como la exportación de P son escasamente considerados. El reconocimiento de diferencias en concentración de P entre cultivares, no sólo puede ser importante para el mejoramiento genético y la elección del cultivar, sino también para la modelización del cultivo. Los modelos disponibles no consideran que puedan existir diferencias en la concentración de P de los granos. Este aspecto es particularmente importante cuando se los utiliza para la estimación de los requerimientos de nutrientes y las recomendaciones de fertilización. Los objetivos de este trabajo fueron (1) evaluar si existen diferencias en la concentración de P del grano entre los cultivares de trigo utilizados actualmente en la Argentina y (2) cuantificar el ahorro del P exportado que se lograría por medio de cultivares con baja concentración de P en el grano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Experimentos

Los datos provienen de cuatro experimentos realizados en la Estación Experimental Agropecuaria Balcarce del INTA (37° 45' S, 58° 18' O, 130 msnm). Dos de los experimentos se realizaron en la campaña 2008/09 (BT08) y los

dos restantes en la campaña 2009/10 (BT09). Se evaluaron 29 cultivares el primer año y 38 el segundo. Se realizaron siembras en dos épocas (Tabla 1) y cada cultivar se ubicó en una de ellas siguiendo la recomendación de su respectivo criadero de origen. En 2008 se evaluaron 17 cultivares en la primera época (experimento BT08-1) y 12 cultivares en la segunda (BT08-2); mientras que en 2009 se compararon 21 en la primera (BT09-1) y 17 en la segunda época (BT09-2). Los experimentos incluyeron a la Red de Ensayos de Trigo Pan (RET) de Argentina de Alta Tecnología (AT), coordinada por el INASE (Instituto Nacional de Semillas) de los años 2008 y 2009 de INTA Balcarce (Abbate *et al.*, 2009, 2010). Los experimentos se condujeron sobre suelos Argiudoles típicos, Serie Mar del Plata (USDA, Taxonomy), que a la siembra presentaron valores promedio (de 0 a 20 cm de profundidad) de 18 ppm de P Bray, 6,6% de materia orgánica y 70 kg/ha de N disponible (N-NO₃ a 0-60 cm). Una descripción detallada del manejo de los experimentos, como así también de otras características relevantes de la RET AT fueron presentadas en Abbate *et al.* (2009, 2010). Sin embargo, se expone aquí una breve descripción para una mejor comprensión. En los experimentos se utilizó riego complementario, alta dosis de fertilizante y doble aplicación de fungicidas.

Manejo de los experimentos

El fósforo y parte del nitrógeno se aplicaron previo a la siembra en cobertura total en forma de fosfato diamónico (18%N, 20%P) a razón de 18 kg de P/ha. El fertilizante se incorporó con el paso de la sembradora. El sistema de siembra fue con laboreo previo del suelo. Se completó la fertilización nitrogenada con urea en dos momentos: macollaje y principios de encañazón, sumando un total de 304 kg de urea/ha. Junto con esta última fertilización nitrogenada se aplicó yeso (30 kg/ha) para prevenir deficiencias de azufre, y a principios de encañazón se realizó una aplicación preventiva de micronutrientes usando una solución

Tabla 1: Fecha (promedio entre cultivares) de ocurrencia de los principales eventos de desarrollo para trigos sembrados en dos fechas de siembra (Fecha 1 y 2) en dos campañas (2008 y 2009) en la RET AT (Red de Ensayos de Trigo Pan de alta tecnología) de Balcarce.

Evento	Campaña			
	2008		2009	
	Fecha 1	Fecha 2	Fecha 1	Fecha 2
Fecha de siembra	19-jun	12-ago	13-jun	20-jul
Fecha de emergencia	10-jul	30-ago	07-jul	11-ago
Fecha de espigazón	02-nov	09-nov	07-nov	02-nov
Madurez fisiológica	11-dic	14-dic	17-dic	16-dic

comercial, BIO-BLOEMEN (2,2%N, 0,7%P, 0,7K, 3,2%S, 1,9%Ca y microelementos quelatados) a razón de 2 litros p.c./ha. Se aplicaron riegos complementarios con un equipo de aspersión con un caudal promedio de 8 mm/h; en total se aplicaron 168 mm en los BT08 y 220 mm en los BT09.

En cada experimento los cultivares se dispusieron según un diseño de bloques completos aleatorizados, con tres repeticiones. El tamaño de la parcela fue de 7 surcos y 5,5 m de largo, distanciados a 0,2 m. En la Tabla 1 se presentan para cada experimento las fechas en las que ocurrieron los principales eventos de desarrollo.

Mediciones

Se consideró que el cultivo emergió cuando más del 50% de las plantas de cada experimento presentaron una longitud de la primer hoja superior a 3 cm sobre la superficie del suelo (aproximadamente estado Z10, según la escala Zadocks). La fecha de espigazón (Z59) correspondió al momento en que el 50% de las espigas de la parcela emergieron completamente de la vaina de la hoja bandera; mientras que la fecha de madurez fisiológica correspondió al momento en que el 50% de los pedúnculos de las espigas habían perdido su color verde en al menos 2 cm (aproximadamente Z85). El porcentaje de espigas en cada estado se determinó por aproximación visual.

Luego de madurez se cosecharon las parcelas mecánicamente, midiendo previamente el largo de cada parcela y registrando posteriormente las eventuales pérdidas de cosecha. Al pesar el grano cosechado, se tomó una submuestra de aproximadamente 40 g que se pesó en húmedo y en seco (a 65°C) para calcular el porcentaje de humedad del grano. Los rendimientos son presentados con la humedad de comercialización (14%). Una submuestra de granos limpia fue molida y utilizada para determinar la concentración de P. Ésta se determinó por el método colorimétrico del amarillo de vanado-molibdico, luego de la digestión húmeda de las muestras con una mezcla de ácidos (nitrato-perclórico 3:2 v/v). El P total (PT) en los granos se calculó como la concentración de P en los granos multiplicado por el rendimiento en seco.

Para el análisis económico se utilizaron los valores extremos y el promedio de la relación de precios entre el fosfato diamónico y el trigo, de una serie de 20 años, en dólares constantes al 31/12/2010 (Agromercado, 2010). Se estimó,

además, para una serie de 8 años, la extracción de PT a nivel nacional a partir de concentración de P promedio de todos los experimentos presentados en este trabajo y de los datos correspondientes a la producción de trigo a nivel nacional, del Sistema Integrado de Información Agropecuaria del Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca (MAGYP, 2010).

Análisis estadísticos

En cada experimento se realizó un análisis de varianza; además, como no todos los cultivares se repitieron en ambos años, con los cultivares de cada fecha de siembra que se sembraron en los dos años, se realizaron nuevos análisis de varianza combinando años, en los que se evaluó el efecto del cultivar, del año y la interacción cultivar x año. Las diferencias entre las medias de los cultivares se establecieron por el método de la mínima diferencia significativa, cuando el análisis de la varianza indicó diferencias significativas. También se realizaron análisis de regresión y correlación lineales tomando como dato la media de cada tratamiento. Para todos los análisis se utilizó un nivel de significancia de $P=0,05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Concentración de P en los granos

Hubo diferencias en la concentración de P del grano entre cultivares, en todos los experimentos (Tablas 2 y 3); para el conjunto de cultivares los valores oscilaron entre 0,20 y 0,40%.

Por otro lado, los cultivares de ciclo largo (primera fecha de siembra) y los de ciclo corto (segunda fecha de siembra) se comportaron de manera diferente en cuanto a la interacción año x cultivar; esta interacción fue significativa sólo para los de ciclo largo (Tabla 4). Entre estos últimos se identificaron casos en los que la concentración de P fue más baja que el promedio en ambos años (i.e. Buck Taita), más alta que el promedio (Buck Ranquel) o los que causaron interacción, como por ejemplo Klein Carpincho, que presentó alta concentración el primer año y baja el segundo, o Baguette 30 que tuvo un comportamiento opuesto (baja el primer año y alta el segundo) (Fig. 1). Entre los ciclos cortos (Fig. 2) la interacción año x cultivar no fue significativa (Tabla 4). ACA 901, Klein Tigre y Sirirí tuvieron baja concentración de P (0,27%) y Buck Puelche, Klein Tauro y Baguette 9 tuvieron alta (0,32%). En los cultivares analizados

Tabla 2. Concentración de P (P), fósforo exportado (PT) en los granos y rendimiento (RTO) para los cultivares evaluados en la primera fecha de siembra en los experimentos BT08 y BT09.

	Cultivar	Experimento					
		P (%)	BT08-1 PT (kg/ha)	RTO (kg/ha)	P (%)	BT09-1 PT (kg/ha)	RTO (kg/ha)
1	ACA 303	-	-	-	0,37	22	5919
2	ACA 304	0,37	17	4444	-	-	-
3	ACA 315	-	-	-	0,35	21	5965
4	ACA 320	-	-	-	0,35	21	6025
5	Buck Baqueano	0,36	20	5644	-	-	-
6	Buck Guatimozín	0,35	18	5305	-	-	-
7	Buck Malevo	0,27	14	5259	-	-	-
8	Buck Mangrullo	-	-	-	0,35	21	5817
9	Buck Norteño	0,38	20	5287	-	-	-
10	Buck Ranquel	0,35	21	6006	0,34	19	5662
11	Buck Taita	0,31	19	6243	0,27	18	6698
12	Baguette 10	0,30	18	5973	0,37	24	6446
13	Baguette 11	0,30	21	7214	0,36	18	4942
14	Baguette 17	0,33	20	6059	0,30	19	6453
15	Baguette 18	0,30	22	7140	0,26	17	6606
16	Baguette 19	0,33	26	8013	-	-	-
17	Baguette 21	0,31	22	6969	-	-	-
18	Baguette 30	0,28	22	7624	0,35	23	6605
19	Baguette 31	0,33	27	8373	0,37	24	6504
20	BIOINTA 2002	0,35	22	5901	-	-	-
21	BIOINTA 2004	0,28	20	7127	0,34	19	6574
22	BIOINTA 3000	0,34	20	5976	-	-	-
23	BIOINTA 3004	0,30	20	6631	0,32	18	5853
24	BIOINTA 3005	-	-	-	0,35	24	5549
25	Ch 12559	0,28	16	6623	-	-	-
26	Klein Capricornio	0,31	17	5509	-	-	-
27	Klein Carpincho	0,38	24	6486	0,27	16	6849
28	Klein Gavilan	0,35	22	6226	-	-	-
29	Klein Guerrero	0,32	18	5621	0,28	16	5811
30	Klein Pantera	0,32	21	6469	0,30	18	6025
31	INIA Torcaza	0,33	22	6621	0,34	22	6396
32	LE 2330	0,33	17	5048	0,28	16	5617
33	SRM Nogal	-	-	-	0,36	25	7032
34	Themixs	0,33	17	5049	0,32	19	5994
	Media general	0,324	20,09	6221	0,327	20,00	6125
	g.l. ¹	27	27	27	21	21	21
	Significancia ²	*	*	*	*	*	*
	MDS ³	0,050	3,93	871,5	0,054	3,81	779,9

¹g.l.: grados de libertad de cultivar; ²* prueba de F significativa ($P \leq 0,05$) para cultivar en el ANVA. ³mínima diferencia significativa para comparar la media de cultivares dentro de cada experimento.

no parece existir ninguna tendencia particular entre el semillero de origen de los cultivares y la concentración de P de los granos.

El rango de concentraciones encontradas fue amplio y relativamente similar a los de otros conjuntos de cultivares del mundo como, por ejemplo, al informado por Ozturk *et al.* (2005) para 73 genotipos de trigo pan y trigo candeal.

La concentración de P en esos genotipos varió entre 0,25 y 0,42%. Otros investigadores, en experimentos bien fertilizados con P, obtuvieron concentraciones máximas de P similares a la de los experimentos de Balcarce: 0,40% (Lipsett, 1964), 0,41% (Norrish, 2003) y 0,45% (Lázaro *et al.*, 2004). Estos experimentos se realizaron a campo y al menos el último mencionado también fue en

Tabla 3: Concentración de P (P), fósforo exportado (PT) en los granos y rendimiento (RTO) para los cultivares evaluados en la segunda fecha de siembra en los experimentos BT08 y BT09.

	Cultivar	Experimento					
		BT08-2			BT09-2		
		P	PT	RTO	P	PT	RTO
		(%)	(kg/ha)	(kg/ha)	(%)	(kg/ha)	(kg/ha)
1	ACA 801	0,27	14	5072	-	-	-
2	ACA 901	0,22	13	6088	0,29	18	6438
3	ACA 903 B	-	-	-	0,33	18	5482
4	Atlax	-	-	-	0,34	20	5873
5	Baguette 9	0,33	17	4850	0,30	20	6687
6	Baguette 13	0,30	17	5600	-	-	-
7	Baguette 17	-	-	-	0,29	18	6373
8	BIOINTA 1000	0,31	14	5046	-	-	-
9	BIOINTA 1001	0,30	17	5832	-	-	-
10	BIOINTA 1002	0,29	16	5705	0,32	19	6053
11	BIOINTA 1005	0,30	18	6221	0,30	17	5864
12	BIOINTA 1006	-	-	-	0,34	21	6136
13	Buck 75 Aniv.	0,31	17	5480	0,32	19	5856
14	Buck Biguá	0,37	19	5250	-	-	-
15	Buck Brasil	0,27	13	4726	-	-	-
16	Buck Huanchen	0,26	16	5995	-	-	-
17	Buck AGP FAST	-	-	-	0,31	19	6097
18	Buck Puelche	0,32	16	4988	0,33	20	6111
19	Centinela	0,34	19	5643	-	-	-
20	Cóndor	0,35	18	5331	-	-	-
21	Cronox	0,30	17	5602	-	-	-
22	Klein Castor	0,29	14	4891	-	-	-
23	Klein León	-	-	-	0,32	20	6382
24	Klein Tauro	0,33	19	5748	0,31	17	5336
25	Klein Tigre	0,28	17	6108	0,28	18	6269
26	Klein Zorro	0,32	18	5655	-	-	-
27	LE2331	0,33	18	5446	0,33	22	6632
28	LE 2333	-	-	-	0,35	18	6177
29	Sirirí	0,28	15	5268	0,30	17	5518
30	Churrinche	0,37	18	4801	-	-	-
31	Onix	0,32	21	6622	-	-	-
	Media general	0,307	16,73	5470	0,315	18,88	6010
	g.l. ¹	23	23	23	16	16	16
	Significancia	*	*	*	*	ns	*
	MDS ²	0,065	4,09	794,2	0,040	3,43	696,7

¹g.l.: grados de libertad de cultivar; ²* Prueba de F significativa ($P \leq 0,05$) para cultivar en el ANVA. ns: prueba de F no significativa. ³mínima diferencia significativa para comparar la media de cultivares dentro de cada experimento.

condiciones cercanas a las potenciales (regado, fertilizado con altas dosis de N y P y con buen control de plagas, malezas y enfermedades). Melchiori *et al.* (2004) en suelos de Entre Ríos (Argentina) obtuvieron, para algunos de los cultivares aquí empleados, valores más altos (0,57%) con rendimientos no muy diferentes. Algunos autores (Masoni *et al.*, 2007) consideran que podrían encontrarse diferencias en concentración de

P en los granos causadas por la absorción posantesis. En este sentido, en invernáculo se han alcanzado mayores concentraciones aún superiores a 0,70% con el cultivar Gavo creciendo con altas temperaturas (Chowdhury & Wardlaw, 1978). Por otro lado, también suelen encontrarse concentraciones menores a las aquí presentadas, incluso con alta fertilización fosforada (Egle *et al.*, 1999). Estos últimos autores compararon

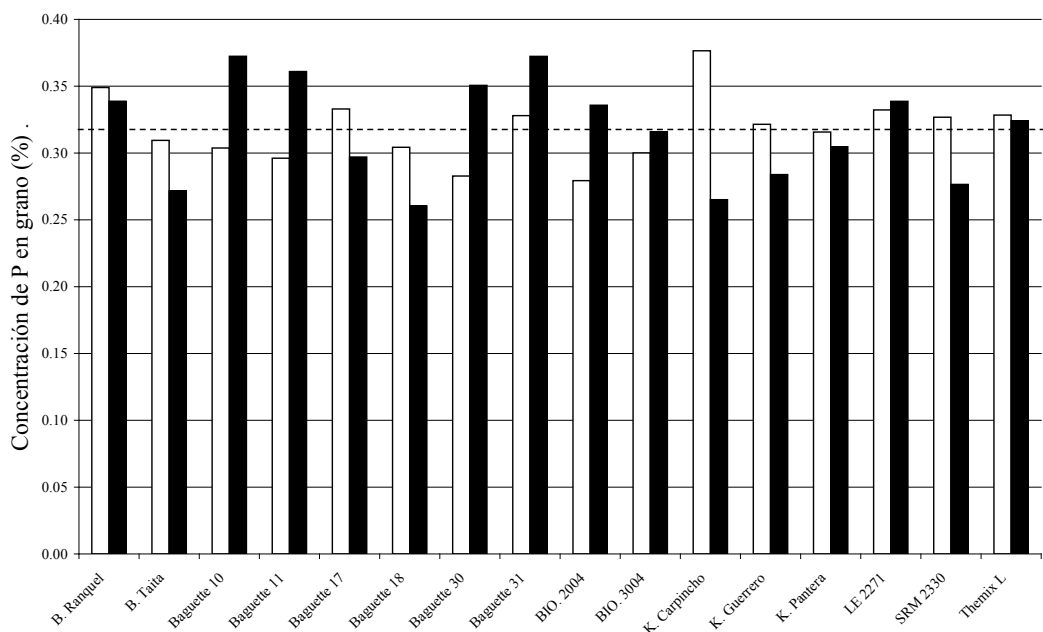


Figura 1: Concentración de P, en porcentaje, de los granos de los cultivares de ciclo largo comunes a los años 2008 (barras blancas) y 2009 (barras negras). La línea punteada indica la concentración promedio. Mínima diferencia significativa para comparar cultivares de un mismo año: 0,056% P.

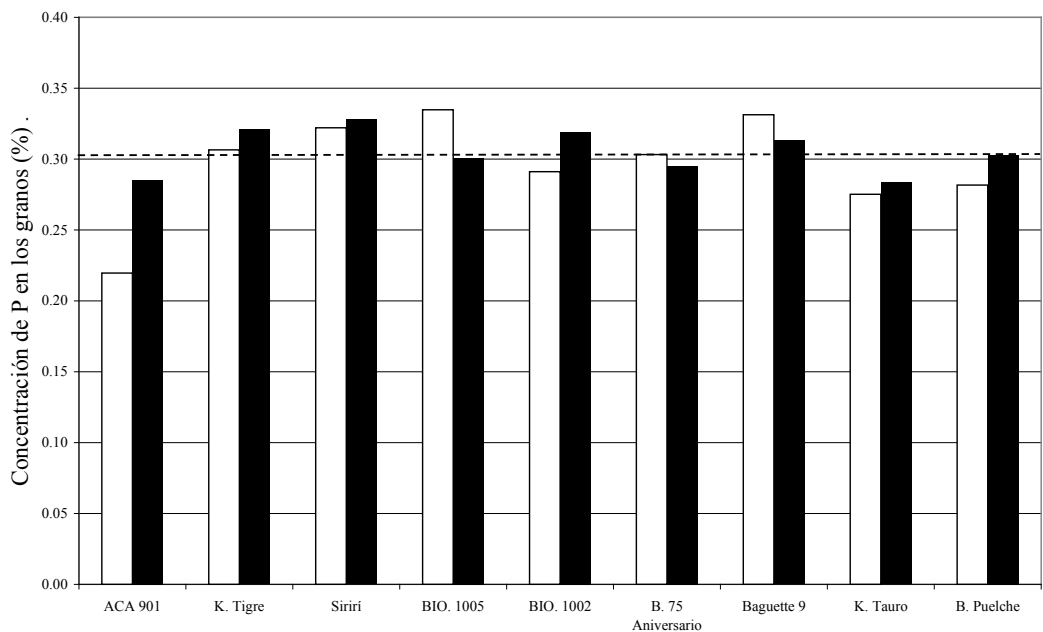


Figura 2: Concentración de P, en porcentaje, de los granos de los cultivares de ciclo corto comunes a los años 2008 (barras blancas) y 2009 (barras negras). La línea punteada indica la concentración promedio. Mínima diferencia significativa para comparar cultivares de un mismo año: 0,044% P.

cultivares nuevos y viejos del CIMMYT y no encontraron diferencia en la concentración de P (0,26% promedio de todos los cultivares). Mientras que Calderini et al. (1995) compararon cultivares argentinos liberados en distintas décadas del siglo pasado, entre 1920 y 1990 y concluyeron que la concentración había disminuido desde 0,45% a 0,32%, valor que coincide con el promedio de los experimentos presentados en este trabajo. Todos los experimentos citados crecieron en condiciones favorables al cultivo y no se encontró ninguna asociación entre el nivel de rendimiento de cada experimento con la concentración de P en los granos.

Rendimiento y exportación de P en los granos

El rendimiento de los cultivares varió entre 5170 y 9740 kg/ha y existieron diferencias entre ellos en cada uno de los cuatro experimentos (Tablas 2 y 3). Por otro lado, en el análisis del grupo más pequeño de cultivares, los que se repitieron en ambos años, para la primera fecha de siembra se observó interacción del cultivar x año (Tabla 4) siendo el efecto de cada factor por separado no significativo. En la segunda fecha de siembra la interacción no fue significativa (Tabla 4) y hubo una diferencia en rendimiento del 10% entre años, pero los cultivares no se diferenciaron entre ellos.

La cantidad de P a exportar con los granos osciló entre 13 y 27 kg/ha y se encontraron diferencias entre cultivares en tres de los cuatro experimentos,

con la excepción de BT09-2 (Tablas 2 y 3). El análisis de esta variable restringido a los cultivares utilizados en las dos campañas, mostró una interacción cultivar x año significativa en la primera fecha de siembra (Tabla 4) pero, a diferencias del rendimiento, hubo efectos importantes del cultivar y del año. En la segunda fecha de siembra (cultivares de ciclo corto sembrados en los dos años) se observó el mismo comportamiento que para rendimiento (interacción y efecto cultivar no significativos, Tabla 4) y el promedio del P exportado del segundo año fue un 10% mayor que el primero.

El rendimiento no se asoció con la concentración de P en los granos (Fig. 3, $P=0,25$; $g.l.=89$; considerando los datos de los cuatro experimentos), por lo que existieron cultivares con alto rendimiento y alta o baja concentración de P en el grano. Un 20% de los casos muestra que es posible obtener rendimientos por arriba del promedio con concentraciones de P menores a la media (casos ubicados en el cuadrante inferior derecho de la Fig. 3). Los cultivares que se encontraron en esta situación fueron en la primera fecha de siembra: Baguette 18, 17, 19, 21, 30 y 11, Buck Taita; Klein Pantera y los BIOINTA 2004 y 3004; mientras que en la segunda fecha de siembra fueron Klein Tigre y León, Onix, Cronox, Buck Puelche, Taita y AGP FAST; ACA 901, BIOINTA 1005 y 1000 y Baguette 9.

La falta de asociación entre el rendimiento y la concentración de P permitió analizar sus efectos sobre la exportación de P en los granos en forma

Tabla 4: Análisis de la varianza del grupo de cultivares que se repitieron ambos años (2008 y 2009) en dos fechas de siembra (1 y 2).

Variable	FV	Fecha siembra 1			Fecha siembra 2		
		GL	CM	p	GL	CM	p
Rendimiento	Año (A)	1	5299829	0,156	1	3141815	0,104
	Cultivar (C)	15	2492334	0,000	8	745129	0,032
	Interacción AxC	15	1692009	0,000	8	683810	0,047
	Error	60	369758		32	299861	
	Total	95	1023319		53	509951	
% P	Año (A)	1	0,0001	0,897	1	0,001165	0,195
	Cultivar (C)	15	0,0021	0,058	8	0,003292	0,041
	Interacción AxC	15	0,0040	0,000	8	0,001246	0,537
	Error	60	0,0012		32	0,001402	
	Total	95	0,0018		53	0,001590	
P exportado	Año (A)	1	42,161	0,211	1	45,88249	0,017
	Cultivar (C)	15	30,471	0,000	8	5,444256	0,449
	Interacción AxC	15	14,739	0,008	8	7,984579	0,203
	Error	60	6,0427		32	5,393281	
	Total	95	12,202		53	6,369734	

FV: fuente de variación. GL: grados de Libertad. CM: cuadrados medios. p: probabilidad prueba de F.

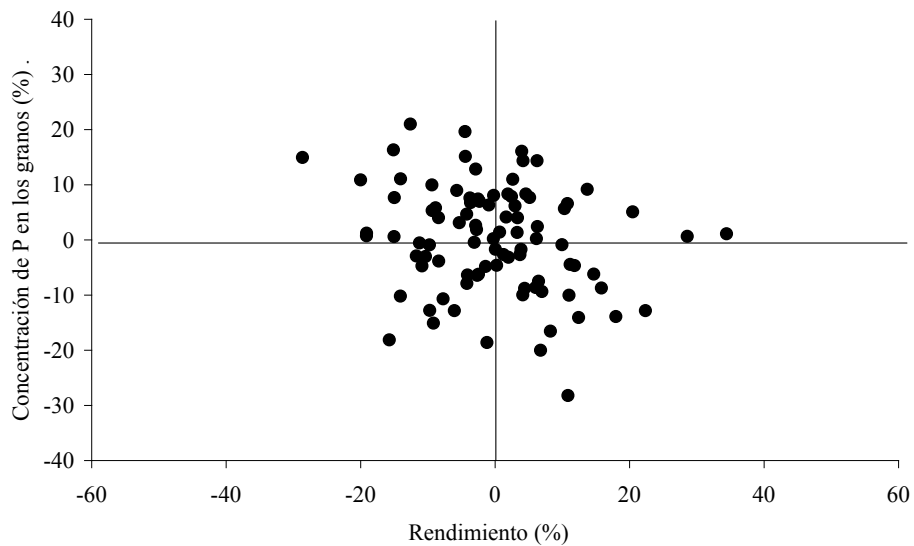


Figura 3: Relación entre la concentración de P en los granos y el rendimiento en grano de cultivares de trigo de ciclo largo y corto; variables expresadas como valores relativos al promedio de cada experimento.

independiente. La cantidad de P exportada en los granos se asoció tanto con la concentración de P de éstos como con el rendimiento del cultivar (en ambos casos: $P \leq 0,05$; g.l.=89), si bien el grado de asociación fue mayor con el rendimiento ($R^2=0,57$) que con la concentración de P ($R^2=0,30$). Esto implica que si se desea obtener altos rendimientos, la exportación de P también será alta.

Eficiencia de uso de P

La comparación de genotipos en condiciones no limitantes de P, como la de los experimentos evaluados en este trabajo, permite identificar tanto aquellos cultivares que presentan mecanismos que limitan el consumo de lujo de P (Manfreda, 2004) como a los cultivares que a un consumo dado generan más rendimiento; en ambos casos serán cultivares con alta eficiencia en el uso de P para producir grano (rendimiento en grano por unidad de nutriente absorbido). La eficiencia de uso de P para producir grano puede analizarse como el cociente entre el índice de cosecha de P (cociente entre la cantidad de P acumulado grano y la cantidad total de P acumulada por el cultivo a madurez) y la concentración de P en el grano (Cogliatti *et al.*, 1994). En este trabajo no se cuantificó el índice de cosecha de P pero sí la concentración de P en el grano. En general, el índice de cosecha de P se encuentra entre 0,75 y 0,81 (Abbate y Andrade, 2006; García y Berardo, 2006) aunque pueden existir diferencias entre cultivares; éstas en general

no son muy importantes (Melchiori *et al.*, 2004; Valle *et al.*, 2011). Entonces, puede inferirse que la eficiencia de uso del P aumentará al disminuir la concentración de P en los granos (Clarke *et al.*, 1990; Melchiori *et al.*, 2004; Abbate *et al.*, 2007).

Concentración de P en los granos: implicancias en la calidad panadera y nutricional y en el vigor de plántulas

La disminución en la concentración de P en los granos, a diferencia de lo que ocurre con la concentración de N, no tiene ninguna implicancia en la calidad comercial o panadera del trigo, por lo que bajo este interés no habría inconvenientes en disminuir la concentración de P en los granos. Si se considera la calidad nutricional, para monogástricos (incluidos los humanos) tampoco se justifica una alta concentración de P en grano. Un alto contenido de P se asocia con un alto contenido de fitatos, ya que la mayor parte del P en el grano está bajo esta forma química (Batten, 1986; Guttieri *et al.*, 2004). El fitato es considerado un anti-nutriente porque es un secuestrante de minerales como Ca, Fe y Zn (Raboy *et al.*, 1991) que entonces no pueden ser absorbidos y por lo tanto, fomenta las carencias nutricionales.

Disminuir la concentración de P en los granos tiene un límite, 0,14% según Bolland & Barker (1988), ya que existen efectos negativos sobre el vigor de las plántulas originadas a partir de semillas con muy bajas concentraciones de P;

pero la influencia de las bajas concentraciones de P sobre el vigor decrece al fertilizar con P el suelo (Ascher *et al.*, 1994). Según Di Pane *et al.* (1998) la concentración de P en las semillas influye más sobre la cantidad de días que las plántulas mantienen su crecimiento máximo que sobre el vigor. Egle *et al.* (1999) discutieron sobre la selección de genotipos que remuevan pocas cantidades de P del suelo por baja concentración de P en los granos. Estos autores hipotetizaron que utilizar como criterio de selección muy bajos contenidos de P (0,1%), podría ser cuestionable porque el P es importante para la germinación de las semillas y el establecimiento de las plantas. Aunque esto podría remediarse fácilmente con recubrimientos de los granos destinados a siembra con fertilizantes fosforados o con fertilización en la línea de siembra.

Concentración de P en los granos, implicancias económicas para el productor

Si bien se encontraron diferencias entre cultivares en la concentración de P (Fig. 1 y 2), esto por sí solo no da una idea clara si representa una ventaja para los productores. Para tener una referencia en términos económicos de lo que implican las diferencias entre cultivares encontradas en rendimiento y en concentración de P en los granos, se calculó el costo total del P exportado. Los cálculos se hicieron con la relación de precios promedio, mínima y máxima de la serie 1980/2011 entre el precio del fosfato diamónico y del grano de trigo (Fig. 4). Para la serie de años analizada, en promedio se necesitaron 16 kg de trigo para pagar 1kg de P, pero los valores oscilaron

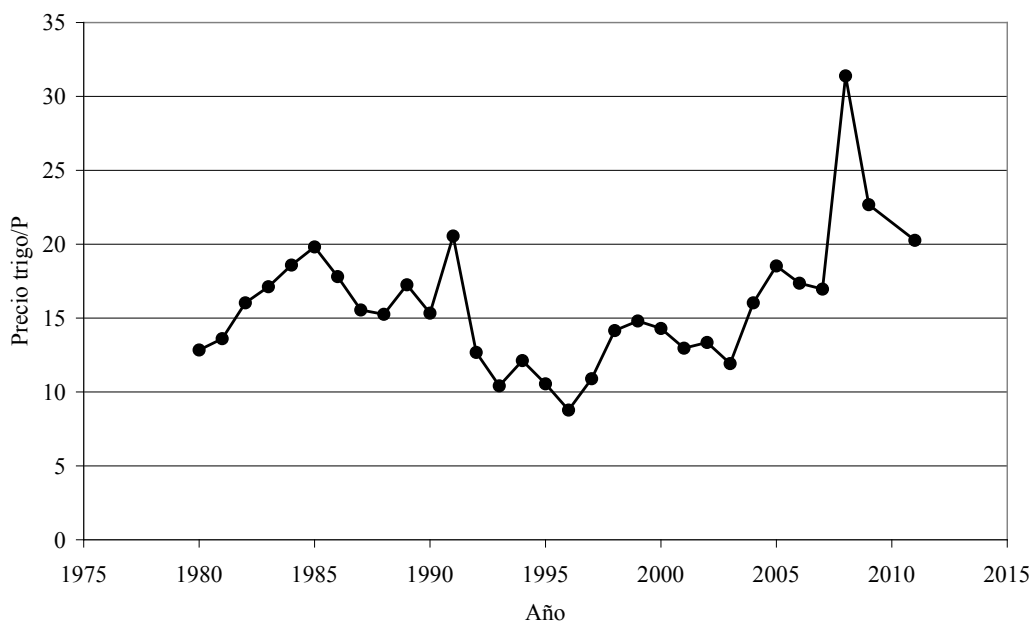


Figura 4: Evolución de la relación de precios entre el precio/kg de trigo y de fósforo a partir de los precios a moneda constante del fosfato diamónico y del precio FOB del trigo (Agromercado 2010).

Tabla 5: Costo máximos, medios y mínimos del rango total de cultivares evaluados, del fósforo exportado (PT) en los granos para tres relaciones de precio entre el trigo y el fertilizante (ver Fig. 4).

Relación de precio kg de trigo / kg de P	Costo del PT exportado					
	kg/ha de trigo			% Rendimiento		
	Min	Med	Max	Min	Med	Max
9	98	159	219	1,4	2,2	3,0
16	176	286	396	2,4	3,9	5,4
31	350	567	784	4,8	7,8	10,8

Tabla 6: Producción total de trigo en Argentina, rendimiento promedio y fósforo exportado en los granos, calculado con la concentración de P promedio de los experimentos de Balcarce (0,318%) y ahorro teórico (en t de P) por utilizar cultivares con menor concentración de P en los granos.

Año	Producción¹ (t 10⁶)	Rendimiento¹ (kg/ha)	P exportado (t 10³)	Ahorro de P (t 10³)
2000	15,96	2490	50,70	11,38
2001	15,29	2235	48,58	10,88
2002	12,30	2033	39,08	8,75
2003	14,56	2539	46,26	10,38
2004	15,96	2630	50,70	11,38
2005	12,59	2530	40,00	9,00
2006	14,55	2625	46,21	10,38
2007	16,35	2831	51,93	11,63
2008	8,37	1963	26,60	5,94
Promedio	14,00	2431	44,45	9,97

¹ Calculado a partir de las estadísticas del MAGPyA (2010).

entre 9 kg de trigo/kg P en la campaña 1996 y 31 kg de trigo/kg P en la 2008. El costo promedio del P exportado/ha es equivalente al 4% del rendimiento promedio de todos los experimentos (Tabla 5). Por el uso de cultivares de baja exportación P en los granos podría producirse un ahorro máximo equivalente a 219 kg de trigo/ha, con la relación de precios menos favorable, o a lo sumo, en un año con un alto precio del fertilizante (2008) el ahorro alcanzaría a un máximo de 784 kg de trigo/ha. Si se consideran la diferencia entre el cultivar con menor exportación de P y un cultivar promedio, se debe computar la mitad de la diferencia mencionada, las cuales representan entre 1,5 y 5,4% del rendimiento y no resultan de gran importancia. Así, desde el punto de vista económico, elegir cultivares con la menor concentración de P en los granos no se vería reflejado en un ahorro económico significativo directo para los productores.

Concentración de P en los granos: implicancias económicas para el país

En los últimos años en la Argentina se ha tomado conciencia que el balance de nutrientes entre el exportado en los granos y la reposición por medio de la fertilización, es negativo (Cruzate y Casas, 2009). La producción anual de trigo de la Argentina fue de alrededor de 14 millones de toneladas (promedio de la serie 2000-2008, Tabla 6), si bien los últimos 3 años fue 24% menor. A partir de estas estadísticas y la concentración media de P en los granos de los experimentos de Balcarce (0,318%), se calculó el total de P exportado en el país (Tabla 6). Los resultados difieren levemente de los de Cruzate y Casas (2009), ya que la concentración de P promedio de los ensayos aquí

presentados resultó levemente menor a los 0,352 utilizada por estos autores. En el país, por año se extraen 44.450 t de P en los granos de trigo. La utilización de cultivares con baja concentración de P podría significar a nivel país un beneficio anual equivalente a 10 mil t de P (Tabla 6) o 160 mil t de trigo, que al precio actual equivalen a 24 millones de dólares, suma que resulta significativa.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Grupo Trigo de INTA Balcarce, especialmente a Juan Toledo, Alejandro Cabral y Julio Retamar por la colaboración en la conducción de los experimentos, y a Andrea Alonso por su colaboración en las determinaciones químicas.

BIBLIOGRAFÍA

- Abbate, P.E. y F.H. Andrade, 2006. Capítulo 3. Los nutrientes del suelo y la determinación del rendimiento de los cultivos de grano. 43-65. En Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Editores H.E. Echeverría y F.O. García. Editorial INTA. 525 pp.
- Abbate, P.E.; L. Lázaro, F. Gutheim and J.H. Bariffi, 2007. Nitrogen and phosphorus grain concentration and use efficiency in wheat. En Actas de la 1° Conferencia Internacional sobre Cereales y Productos de Cereales, Calidad e Inocuidad (ICC) en Latinoamérica 23 al 27 de setiembre, 2007, Rosario, Argentina, pp. 65-66.
- Abbate P.E.; M. Lorenzo, A. Cabral y J.I. Toledo, 2010. Red de evaluación de cultivares de trigo pan con alta tecnología. Balcarce campaña 2009-2010. <http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/agric/>

- cereales/ret/09/trigopanAT. Consultado el 16/11/2011.
- Abbate, P.E.; M. Lorenzo, J.I. Toledo y A. Cabral, 2009. Red de evaluación de cultivares de trigo pan con alta tecnología (RET AT): Resultados obtenidos en Balcarce durante la campaña 2008/09 <http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/agric/cereales/ret/08/trigopanAT>. Consultado el 16/11/2011.
- Abelson, P.H., 1999. A potential phosphate crisis. *Science*, 283: 5410-5415.
- Agromercado, 2010. Revista Agromercado 298, Pag. 31, en línea (12/9/2011): http://www.agromercado.com.ar/economico/precios_insumos/fda_precios.pdf
- http://www.agromercado.com.ar/economico/precios_agricolas/trigodarsena_precios.pdf. Consultado el 12/9/2011.
- Ahmad, Z.; A.M. Gill and R.H. Qureshi, 2001. Genotypic variations of phosphorus utilization efficiency of crops. *J. Plant Nutr.* 24(8):1149-1171.
- Ascher, J.S.; R.D. Graham, D.E. Elliot, J.M. Scott and R.S. Jessop, 1994. Agronomic value of seed with high nutrient content. En: *Wheat in heat stressed environments: irrigated dry areas and rice wheat farming systems*. Saunders & Hettel editores. Mexico D.F. CIMMYT, pp. 297-308.
- Batten, G.; M. Khan and B. Cullis, 1984. Yield responses by modern wheat genotypes to phosphate fertilizer and their implications for breeding. *Euphytica*: 81-89.
- Batten, G.D.; I.F. Wardlaw and M.J. Aston, 1986. Growth and the distribution of phosphorus in wheat developed under various phosphorus and temperature regimes. *Aust. J. Agric. Res.* 37, 459-469.
- Bolland M.D.A. and M.J. Barker, 1988. High phosphorus concentrations in seed of wheat and annual medic are related to higher rates of dry matter production of seedlings and plants. *Aust. J. Exp. Agric.* 28 765-770.
- Calderini, D.; S. Torres León and G. Slafer, 1995. Consequences of wheat breeding on nitrogen and phosphorus yield grain nitrogen and phosphorus concentration and associated trait. *Annals of Botany*, 76:315-322.
- Chowdhury, S.L. and I.F. Wardlaw, 1978. The effect of temperature on kernel development in cereals. *Australian Journal Agricultural Research*. 29:205-223.
- Clarke, J.M.; C.A. Campbell, H.W. Cutforth, R.M. DePauw and G.E. Winkelman, 1990. Nitrogen and phosphorus uptake, translocation, and utilization efficiency of wheat in relation to environment and cultivar yield and protein levels. *Can. J. Plant Sci.* 70:965-977.
- Cogliatti D.; N. Ponzio y J. Cardozo, 1994. Eficiencia de absorción y uso de fósforo en distintas variedades de trigo de ciclo corto (*Triticum aestivum*). En III Congreso Nacional de Trigo y Primer Simposio Nacional de Cereales de Siembra Otoño-Invernal, 26-28 de octubre de 1994, Bahía Blanca, pp. 69-70.
- Cruzate G.A. y R.R. Casas, 2009. Extracción de nutrientes en la Agricultura Argentina. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur (IPNI)* 44:21-26.
- Di Pane, F.J.; D.H. Cogliatti y J. Cardozo, 1998. ¿Cuánto dura el crecimiento normal de una planta de trigo sin aporte externo de fósforo?. En *Actas de la XXII Reunión Argentina de Fisiología Vegetal*, 23 al 25 de septiembre de 1998. Mar del Plata, Argentina, pp. 470-471.
- Egle, K.; G. Manske, W. Romer and P.L.G. Vlek, 1999. Improved phosphorus efficiency of three new wheat genotypes from CIMMYT in comparison with an older Mexican variety. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 162:353-358.
- García, F.O. y A. Berardo, 2006. Capítulo 11. Trigo. 233-253. En: *Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos*. Editores H.E. Echeverría y F.O. García. Editorial INTA, pp. 233-253.
- Guttieri, M.; D. Bowen, J.A. Dorsch, V. Raboy and E. Souza, 2004. Identification and characterization of a low phytic acid wheat. *Crop Sci.* 44 (2):418-424.
- Hammond, J.P.; M.R. Broadley and P.J. White, 2004. Genetic responses to phosphorus deficiency. *Annals of Botany*, 94:323-332.
- Jones, C.A.; A.N. Sharpley and J.R. Williams, 1991. Capítulo 14: Modeling phosphorus dynamics in the soil-plant system. En: *Modeling plant and soil systems*. Editors: Hanks J. and Ritchie J.T. Monograph serie N° 31. Madison, Wisconsin, pp. 323-365.
- Khohi, M.M.; J.G. Annone y R. García, 1999. Germoplasma de trigo específicamente adaptado a la siembra directa: análisis de factibilidad. En: VII Congreso Nacional de la Asociación Argentina de Productores de Siembra Directa. AAPRESID (Ed.), Mar del Plata, Bs. As., pp.151-182.
- Lázaro, L.; P.E. Abbate, D. Cogliatti y J. Cardozo, 2004. Respuesta a la deficiencia de fósforo de distintos cultivares de trigo. VI Congreso Nacional de Trigo, octubre 2004, Bahía Blanca, pp.149-150.
- Lipsett, J., 1964. The phosphorus content and yield of grain of different wheat varieties in relation to phosphorus deficiency. *Australian Journal of Agricultural Research*. 15(1): 1-8.
- MAGYP, 2010. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Sistema Integrado de Información Agropecuaria. Argentina. <http://www.siiia.gov.ar/>, consultado el 23/12/2010.
- Manfreda, V.T., 2004. Absorción y eficiencia de uso de P en diferentes genotipos de trigo. Tesis Doctoral. Universidad de Buenos Aires. 216 pp.

- Manske, G.G.B.; J.I. Ortiz-Monasterio, M. Van Ginkel, R.M. González, S. Rajaram; E. Molina and P.L.G. Vlek, 2000. Traits associated with improved P-uptake efficiency in CIMMYT's semidwarf spring bread wheat grown on an acid Andisol in Mexico. *Plant and Soil* 221:189-204.
- Masoni, A.; L. Ercoli, M. Mariotti and I. Arduini, 2007. Post anthesis accumulation and remobilization of dry matter, nitrogen and phosphorus in durum wheat as affected by soil type. *Europ. J. Agronomy* 26: 179-186.
- Melchiori, R.; O. Caviglia y P.E. Abbate, 2004. Variación en la eficiencia y utilización del fósforo entre cultivares de trigo. *Revista Científica Agropecuaria*. 8:91-98.
- Nisi, J.; C. Bainotti, J. López, G. Krenn, J. Salines and J. Fraschina, 1996. Long cycle and double purpose wheat improvement program INTA, Argentina. En: International workshop on facultative and double purpose wheat. M.M. Kohli (ed.), CIMMYT, Uruguay, pp. 25-38.
- Norrish, S. A. 2003. Soil and water interactions controlling wheat crop response to phosphorus fertiliser in north western New South Wales. Tesis doctoral Universidad de Western Sydney. Australia. 326 pp.
- Osei, E.; P.W. Gassman, L.M. Hauck, R. Jones, L. Beran, P.T. Dyke, D.W. Goss, J.D. Flowers, A.M. McFarland and A. Saleh, 2003. Environmental benefits and economic costs of manure incorporation on dairy waste application field. *Journal of Environment Management*. 68:1-11.
- Ozturk, L.; S. Eker, B. Torun and I. Cakmak, 2005. Variation in phosphorus efficiency among 73 bread and durum wheat genotypes grown in phosphorus deficient calcareous soil. *Plant and soil*, 269:69-80.
- Raboy, V.; M.M. Noaman, G.A. Taylor and S.G. Pickett, 1991. Grain phytic acid and protein are highly correlated in winter wheat. *Crop Sci*. 31:631-635.
- Valle S.R.; D. Pinochet and D. Calderini, 2011. Uptake and use efficiency of N, P, K, Ca and Al by Al-sensitive and Al-tolerant cultivars of wheat under a wide range of soil Al concentrations. *Field Crops Research*. 121:392-400.
- Van Kauwenbergh, S.J., 2010. World Phosphate Rock Reserves and Resources. *Boletín Técnico N° 75 del IFDC (International Fertilizer Development Center)*. 58 pp.
- Vance, C.P.; C. Uhde-Stone and D.L. Allan, 2003. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *New Phytologist* 157:423-447.
- Withers, P.J.A.; A. Edwards and R.H. Foy, 2001. Phosphorus cycling in UK. Agriculture and implications for phosphorus loss from soil. *Soil Use and Management* 17:139-149.