

## EVALUACION DE LA RESPUESTA A FOSFORO DE LOS CULTIVOS ESTIVALES: MAIZ, GIRASOL Y SOJA

Berardo, A., Ehrt, S., Grattone, F. y Amigorena, M.  
*Unidad Integrada Balcarce. Fac Ciencias Agrarias – EEA INTA Balcarce.*

### INTRODUCCION

Los suelos del sudeste bonaerense se caracterizan por presentar bajos niveles de fósforo disponible (Ps); por consiguiente la fertilización es una de las prácticas de manejo que contribuye a incrementar el rendimiento de los cultivos. Numerosos estudios han cuantificado los efectos de la fertilización con fósforo (P) sobre la producción de cultivos y principalmente en trigo (Berardo, 1994).

En los cultivos estivales, cuya difusión en la zona es más reciente, se ha trabajado sobre todo en maíz, siendo menor la cantidad de información referida a girasol y soja.

Para maíz en los primeros trabajos realizados entre 1967 y 1973 en el Sudeste Bonaerense, se obtuvieron respuestas a P variables entre 400 y 1200 kg ha<sup>-1</sup> con niveles de Ps (Bray I) inferiores a 10 mg kg<sup>-1</sup> (Berardo *et al.*, 1974). Con posterioridad, en la década del 80, con un umbral crítico de Ps de 12 mg kg<sup>-1</sup>, las respuestas máximas fueron de 1500 kg ha<sup>-1</sup> (Darwich, 1984). En trabajos más recientes, se han obtenido respuestas variables entre 1500 y 500 kg ha<sup>-1</sup>, con contenidos de Ps variables entre 6-7 y 15-16 mg kg<sup>-1</sup> respectivamente (García *et al.*, 1997; Berardo *et al.*, 2000).

Para girasol y soja, en la región se han obtenido respuestas máximas variables entre 400 y 800 kg ha<sup>-1</sup>, con contenidos de Ps inferiores a 9-10 mg kg<sup>-1</sup> (Valetti *et al.*, 1995; Fariña y Darwich, 1993, Melgar *et al.*, 1995).

Frente a la expansión del área sembrada en la región con cultivos estivales, y frente a los cambios tecnológicos y a los mayores niveles de rendimientos de los cultivos, resulta de utilidad actualizar la información experimental sobre la respuesta a P en los mismos.

Para tal fin a partir de parcelas con contenidos variables de Ps (correspondientes a un ensayo previo de evaluación de residualidad de P en trigo) se diseñaron ensayos de fertilización fosfatada sobre los tres cultivos estivales: maíz, girasol y soja, con el objetivo de evaluar los rendimientos y la respuesta a P.

### MATERIALES Y METODOS

Los ensayos se realizaron en la Unidad Integrada Balcarce en un suelo Argiudol típico de textura franca en el horizonte superficial, con 5,8 % de materia orgánica y 5,9 de pH. El ensayo se realizó durante tres años consecutivos (1997/1998 a 1999/2000) en maíz y los últimos dos años en girasol y soja. Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado con arreglo en parcela dividida, correspondiendo la parcela principal (10,5 m x 40 m) al contenido de Ps y las subparcelas (3,5 m x 40 m) a los tratamientos de fertilización fosfatada: 0, 11 y 22 kg ha<sup>-1</sup> de P para las parcelas con contenidos de Ps inferiores a 10-12 kg ha<sup>-1</sup> y 0 y 22 kg ha<sup>-1</sup> de P en las restantes. El P se aplicó en la línea de siembra, bajo la forma de superfosfato triple (0-20-0).

Debido a los altos requerimientos de nitrógeno (N) del cultivo de maíz y a la baja disponibilidad inicial del nutriente (61, 42 y 75 kg ha<sup>-1</sup> de N en cada uno de los tres años, en los primeros 60 cm de profundidad), se incorporaron previo a la siembra 120 kg ha<sup>-1</sup> de N como urea para asegurar un adecuado suministro del mismo.

Los contenidos de Ps presentaron cierta fluctuación entre años y, en los testigos variaron entre 6 y 26 mg kg<sup>-1</sup> en maíz, entre 8 y 19 mg kg<sup>-1</sup> en girasol y entre 8 y 28 mg kg<sup>-1</sup> en soja.

Los cultivos se sembraron en las fechas consideradas óptimas para cada uno: primera quincena de octubre para el maíz, fines de octubre para el girasol y principios de noviembre para la soja. En maíz se utilizó Dekalb 639, con una densidad de 68000 plantas ha<sup>-1</sup>; en girasol CF11 de Zéneca con 55000 plantas ha<sup>-1</sup> y en soja A 4100 RG de Nidera con 450000 plantas ha<sup>-1</sup>.

Para el control de malezas se utilizó en preemergencia atrazina (PF 90 %) y metolaclor (PF 96 %) en maíz, fluorocloridona (PF 25 %) y metolaclor (PF 96 %) en girasol y dos aplicaciones de glifosato en soja.

En el transcurso de la estación de crecimiento se midió la acumulación de materia seca (MS) en distintos estados fenológicos: V6, floración y madurez fisiológica en maíz, estrella, floración y madurez fisiológica en girasol y R1-R2, R5 y madurez fisiológica en soja. El rendimiento en grano a madurez fisiológica fue evaluado a través de la recolección manual de submuestras, en una superficie de 10 m<sup>2</sup> para maíz y girasol, y con cosechadora mecánica a lo largo de toda la parcela (20 m<sup>2</sup>) en soja. Tanto en las muestras de MS como en el grano, se determinó el contenido de P total por digestión en húmedo según el método de Blanchar *et al.*, (1965).

Durante el desarrollo de los cultivos se efectuó un control periódico del contenido de humedad en el suelo y en el último año, al alcanzar niveles inferiores al 60% de agua útil, se aplicaron riegos complementarios a la mitad (20 m) de cada parcela, durante el periodo crítico de cada cultivo. En este último año a su vez las mediciones de MS y de análisis de P en los cultivos se efectuaron con mayor detalle bajo riego que en secano, tanto por la periodicidad como por el número de tratamientos evaluados.

La disponibilidad hídrica para cada cultivo, considerando el agua útil hasta 1 m de profundidad a la siembra (AUS), la precipitación mensual (PM), el riego (R) y la evapotranspiración real (ETR) se indica en la Tabla 1.

**Tabla 1.** AUS hasta 1 m de profundidad, PM, R y ETR en mm. para cada uno de los cultivos en secano (S) y con riego (R). Años 1997/98, 98/99 y 99/2000.

CULTIVO	AÑO	AUS	PM y R					ETR
			Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	
Maíz	97/98 (S)	68	88	109	86	124	<b>475</b>	
	98/99 (S)	100	16	43	34	45	<b>238</b>	
	99/00 (S)	100	66	50	66	122	<b>404</b>	
	99/00 (R)	100	66	50	66 + 135	122 + 60	<b>599</b>	
Girasol	98/99 (S)	100	16	43	34	45	<b>238</b>	
	99/00 (S)	110	40	50	66	122	<b>388</b>	
	99/00 (R)	110	40	50	66 + 70	122 + 60	<b>518</b>	
Soja	98/99	100		43	34	45	10	<b>232</b>
	99/00 (S)	90		10	66	122	112	<b>400</b>
	99/00 (R)	90		10	66 + 60	122 + 60	112	<b>520</b>

## RESULTADOS Y DISCUSION

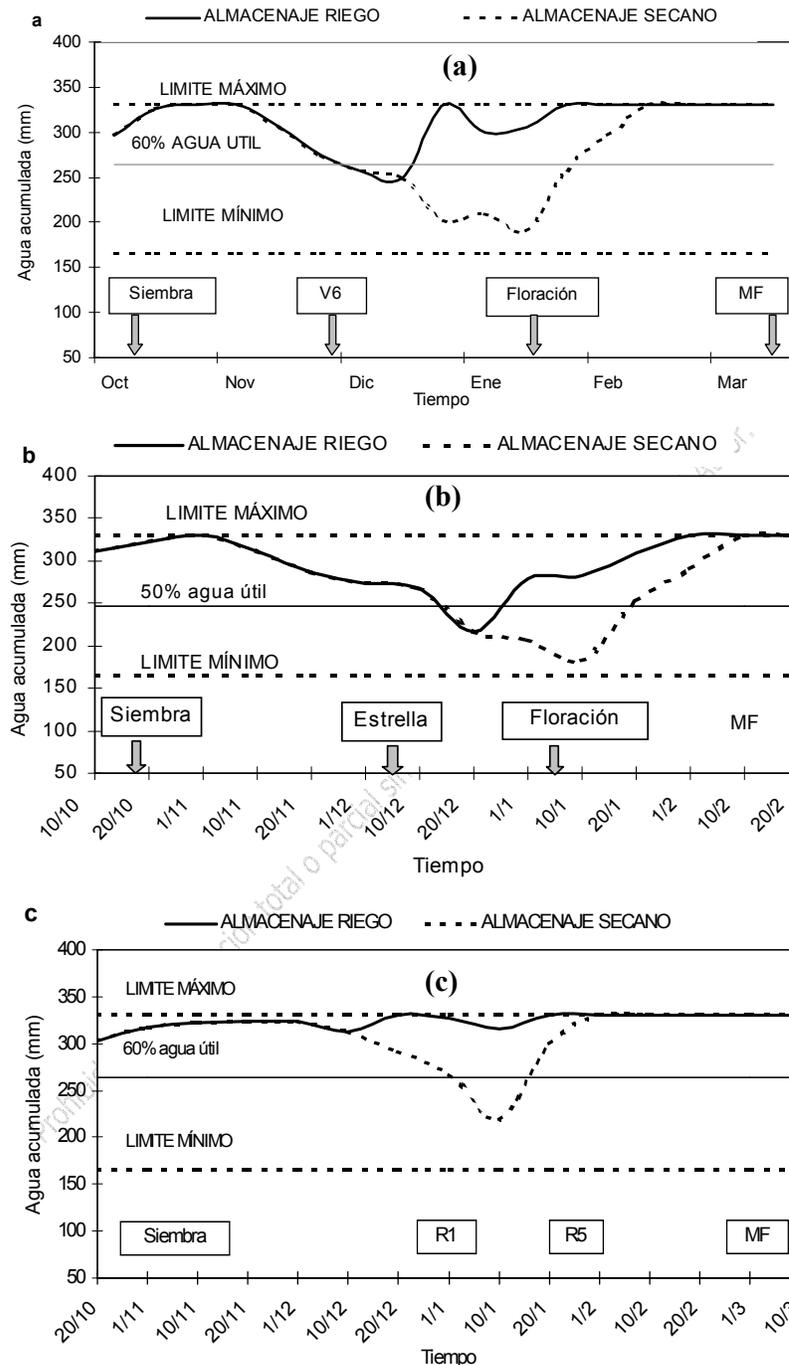
### 1. Disponibilidad hídrica para los cultivos.

En maíz bajo condiciones de secano se registraron períodos de stress hídrico de duración e intensidad variables entre años. En 98/99 el stress fue muy intenso y prolongado, con una disponibilidad hídrica total (ETR) de sólo 238 mm, que apenas cubrió los requerimientos del cultivo para cumplir su ciclo y producir grano (Rhoads y Benett, 1990). El stress se manifestó desde 30 días previos a la floración hasta la madurez, acentuado por la ocurrencia de temperaturas superiores a las normales durante casi todo el ciclo del cultivo.

En los dos años restantes se manifestó también stress hídrico durante el periodo crítico del cultivo, ya que el ETR de 475 y 404 mm (Tabla 1) fue inferior al requerimiento hídrico promedio del maíz en Balcarce que se aproxima a 600 mm (Della Maggiora *et al.*, 2000).

Al igual que para maíz, durante el período 1998/99 en girasol y soja se registraron déficit hídricos muy intensos con un ETR de 238 y 232 mm en cada cultivo respectivamente (Tabla 1). Estos valores son considerablemente inferiores a los requerimientos hídricos promedio de 500 mm para girasol y 455 mm para soja, estimados por Della Maggiora *et al.*, (2000). En el último año, con un ETR en secano de 388 y 400 mm en girasol y en soja (Tabla 1), el stress hídrico fue menos intenso. En soja, las lluvias de enero y febrero permitieron cierta recuperación del cultivo, afectado por el stress hídrico en las etapas iniciales de su desarrollo.

Para el último año en la Fig. 1 se indica la evolución del balance hídrico en cada uno de los tres cultivos en secano y bajo riego.



**Figura 1:** Balance hídrico en secano y bajo riego con los principales eventos fenológicos en maíz (a), girasol (b) y soja (c) Campaña 1999/2000. UIB.

En maíz el abastecimiento de agua fue suficiente, hasta fines de noviembre (estado V8 aproximadamente), cuando el almacenaje alcanzó niveles por debajo del 60% del agua útil (Fig. 1a). Con posterioridad se aplicaron varios riegos durante el período crítico del cultivo: desde 20 días antes hasta 20 días después de floración, cubriendo así sus requerimientos hídricos (ETR =

599 mm). En secano, en cambio, con una ETR de 404 mm, el cultivo estuvo bajo severas limitaciones hídricas durante más de 30 días en el período crítico, tal como lo reflejan los rendimientos que se presentan más adelante.

En girasol (Fig. 1b) el abastecimiento de agua permitió el normal desarrollo del cultivo hasta el estado de estrella, alcanzando con posterioridad un almacenaje inferior al 50% de agua útil. El déficit hídrico durante el período crítico se prolongó desde 20 días previos hasta 20 días después de floración, siendo el ETR de 388 mm inferior al requerimiento del cultivo (500 mm.). Bajo riego, por su aplicación tardía, se presentó un moderado déficit hídrico durante los primeros 15 días del período crítico, lo cual afectó en cierta medida al rendimiento del cultivo.

Para la soja (Fig. 1c) el requerimiento hídrico fue cubierto hasta el estadio R1-R2 aproximadamente, cuando el almacenaje alcanzó niveles por debajo del 50% del agua útil. Posteriormente, el déficit hídrico en secano se prolongó durante más de 20 días; sin embargo, por el prolongado período de floración de la soja, las lluvias posteriores favorecieron una recuperación parcial del cultivo, con rendimientos levemente inferiores a los alcanzados bajo riego.

## 2. Acumulación de materia seca

### 2.1. Maíz

En la Tabla 2.1.1 se indica para los tres años la MS acumulada en maíz en floración y en madurez fisiológica, con distintos contenidos de Ps y con la fertilización.

**Tabla 2.1.1.** Acumulación de MS kg ha<sup>-1</sup> en maíz en floración (FI) y en madurez fisiológica (MF) con distintos contenidos de Ps y con la aplicación de 22 kg ha<sup>-1</sup> de P, en secano (S) y con riego (R), en los tres años. Evapotranspiración real (ETR) y eficiencia de uso del agua (EUA).

Ps (mgkg <sup>-1</sup> )	FI				MF			
	Año	97/98	98/99	99/00	97/98	98/99	99/00	
		S	S	S R	S	S	S R	
7		8050	--	6300 7950	17350	--	13450 19850	
11		9100	--	--	18350	--	13450 --	
15		9700	--	7200 8650	16650	--	14650 21630	
21		9950	--	--	17750	--	-- --	
26		11200	--	8750 9350	20800	--	15870 23350	
+ 22 P		10600	--	8470 9520	19650	--	15980 23800	
<b>PROMEDIO</b>		9770	6400	7680 8870	18430	8700	15000 22150	
<b>ETR (mm)</b>					475	238	403 598	
<b>EUA (kg MS mm<sup>-1</sup>)</b>					39	37	37 37	

Tanto en el primero como en el último año es evidente el efecto de la disponibilidad de P sobre la acumulación de MS del cultivo, alcanzándose con los mayores contenidos de Ps una producción similar o aún superior a la obtenida con la fertilización. En el segundo año, con stress hídrico desde el inicio del período crítico hasta el final del ciclo del cultivo (ETR de 238 mm), el efecto del nivel de Ps y de la fertilización no resultaron significativos; por lo tanto se indica solamente el promedio de MS en floración y en madurez fisiológica.

Las diferencias en la producción de MS entre años deben atribuirse principalmente a la distinta disponibilidad hídrica para el cultivo. En efecto, la eficiencia en el uso de agua (EUA) fue similar en los tres años, tanto en secano como con riego, variando entre 37 y 39 kg de MS mm<sup>-1</sup> (Tabla 2.1.1). Estos valores de EUA son levemente inferiores a los 46 kg ha<sup>-1</sup> de MS mm<sup>-1</sup>, obtenidos en Balcarce por Della Maggiora *et al.* (2000). En general, el stress hídrico se manifestó durante el período crítico del cultivo o después de la floración. Por consiguiente las tasas diarias de acumulación de MS en cada año fueron poco variables entre V6 y floración, y con diferencias marcadas entre floración y madurez fisiológica (Tabla 2.1.2). Por tal razón, la proporción de MS

acumulada en floración en relación a la de madurez fisiológica alcanzó el valor teórico del 40 % (Andrade *et al.*, 1996) solo bajo riego; en seco varió entre el 51 y 73% (Tabla 2.1.2), correspondiendo este último valor a 1998/99, por la sequía muy intensa y prolongada ya mencionada. Las tasas de crecimiento entre floración y madurez variaron según la intensidad y la duración del stress hídrico, entre 50 y 150 kg de MS ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> en seco y entre 180 a 200 kg de MS ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> bajo riego (Tabla 2.1.2).

**Tabla 2.1.2.** Tasa diaria de acumulación de MS (kg ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>) de maíz y su variación entre los contenidos máximos y mínimos de Ps en los períodos evaluados (V6 a floración, 15 días antes a 15 días después de floración (Flor. ± 15 días), floración a madurez fisiológica (Flor. a MF)) y proporción de MS acumulada en floración en relación a la de madurez fisiológica (MS FI/MS MF).

Año		V6 a floración	Flor. ± 15 días	Flor. a MF	MS FI/MS MF
1997/98	Secano	150-180	220-260	120-150	0,53
1998/99	Secano	110-120	--	40-50	0,73
1999/00	Secano	120-150	200-220	90-110	0,51
1999/00	Riego	140-170	240-270	180-200	0,40

Para el último año la acumulación de MS a lo largo del ciclo del cultivo se presenta más adelante junto con la de P en planta (Fig. 4) alcanzándose con el mayor contenido de Ps (22 mg kg<sup>-1</sup>) niveles de producción de MS similares al fertilizado con P, tanto en seco como bajo riego; por lo tanto con el nivel más alto de Ps debería alcanzarse también el rendimiento máximo.

El efecto de la disponibilidad de P sobre la acumulación de MS en los distintos estadios del cultivo, estimado a través del coeficiente de regresión (b1Ps), se muestra en la Tabla 2.1.3.

**Tabla 2.1.3.** Relación entre el contenido de Ps y la MS acumulada (kg ha<sup>-1</sup>) en maíz en distintos estadios fenológicos; en seco (S) y bajo riego (R). Producción de MS (kg ha<sup>-1</sup>) mínima (MS min) y máxima (MS máx) correspondiente a los contenidos más bajos y más altos de Ps, con los respectivos incrementos relativos de MS (%).

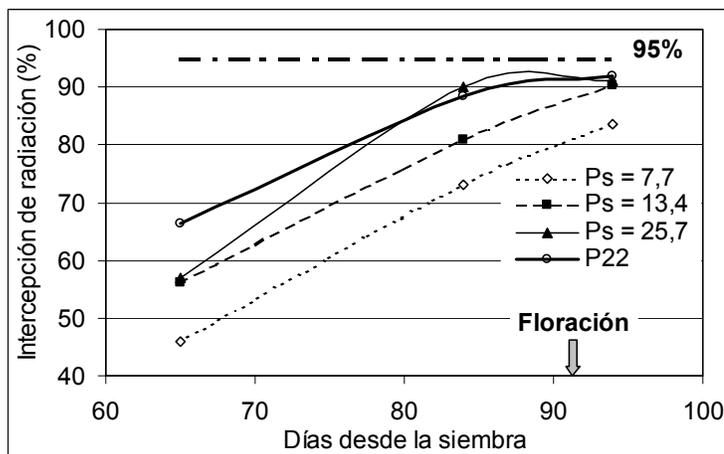
Estadio Fenológico	Año	b0	b1Ps	R <sup>2</sup>	MS min.	MS máx.	Incremento MS
V6	97/98 (S)	215	8,1	0,53	270	600	120
	99/00 (S)	520	15,6	0,32	750	1300	73
Floración	97/98 (S)	7020	150	0,58	8070	10500	30
	99/00 (S)	5500	147	0,79	6525	8500	30
	99/00 (R)	6050	193	0,68	7400	9500	28
Madurez Fisiológica	97/98 (S)	14950	180	0,34	16200	20000	23
	99/00 (S)	12360	145	0,63	13385	16000	20
	99/00 (R)	15140	483	0,68	18520	23800	28

El efecto de la disponibilidad de P resultó significativo en todos los casos, con una magnitud y un grado de ajuste (R<sup>2</sup>) variable según el estadio fenológico y la disponibilidad hídrica para el cultivo. Para cada momento fenológico, a mayor disponibilidad hídrica, mayor fue el efecto lineal de la disponibilidad de Ps sobre la producción de MS. Por lo tanto, las mayores diferencias se registraron al final del ciclo del cultivo; así para el último año el efecto lineal fue de 145 y 483 kg MS mg<sup>-1</sup> de Ps en seco y bajo riego respectivamente (Tabla 2.1.3).

El mayor efecto inicial o "starter" de la disponibilidad del Ps sobre el crecimiento del cultivo (Barber, 1980) se evidencia a través de los mayores incrementos relativos en MS en V6 (70 a 120 %) en relación a los estadios posteriores (30% en floración y de 20 a 28 % en madurez fisiológica aproximadamente). Los incrementos relativos en MS, principalmente en floración, son en general similares al de los rendimientos en granos.

La producción de MS en madurez fisiológica varió para los dos años entre 13000 y 18000 kg ha<sup>-1</sup> para los contenidos más bajos de Ps, y entre 16000 y 24000 kg ha<sup>-1</sup> para los contenidos más altos de Ps o con la fertilización.

Las diferencias en la producción de MS por efecto del contenido de Ps deben atribuirse a una distinta intercepción de la radiación (IR). A título de ejemplo, para el último año y bajo riego al inicio del período crítico (Fig. 2), la IR varió entre el 70 y 85% con los contenidos más bajos e intermedios de Ps (8 y 13 mg kg<sup>-1</sup>), alcanzando con los niveles más altos de Ps (26 mg kg<sup>-1</sup>) o con la fertilización valores de IR levemente inferiores al óptimo (95%) requerido para la máxima tasa de crecimiento y el máximo rendimiento (Andrade y col., 2000).



**Figura 2:** Intercepción de la radiación incidente (%) en maíz bajo riego durante el período crítico con distintos contenidos de Ps y fertilizado con 22 kg P ha<sup>-1</sup>. Se indica también con línea punteada el valor de 95 % de intercepción de radiación incidente. Campaña 1999/2000.

## 2.2. Girasol

En girasol, en la Tabla 2.2 se presenta la MS acumulada en distintos estadios fenológicos con contenidos promedios de Ps de 9, 13 y 18 mg kg<sup>-1</sup> considerados bajos, intermedios y altos, respectivamente; se indica además la MS promedio del tratamiento fertilizado con 22 kg ha<sup>-1</sup> de P.

En el primer muestreo, correspondiente al estado "estrella", la MS de los testigos se incrementó hasta los mayores contenido de Ps, siendo considerablemente mas elevada con el agregado de P, con un marcado efecto "starter" de la aplicación localizada de este nutriente. En los muestreos posteriores, al igual que en maíz, se redujo el efecto del contenido de Ps y de la fertilización sobre la acumulación de MS, siendo mayores las diferencias bajo riego que en seco.

**Tabla 2.2.** Acumulación promedio de materia seca (kg ha<sup>-1</sup>) en distintos estadios fenológicos (estrella (Es), floración (Fl) y madurez fisiológica (MF)) de girasol bajo riego y en seco con distintos contenidos de Ps y fertilizado (22 kg ha<sup>-1</sup> de P). 1999/2000.

Ps	Secano			Riego		
	Es	Fl	MF	Es	Fl	MF
9	429	5130	6987	451	5758	7835
13	467	5421	7116	600	6192	8671
18	757	6626	8114	692	7212	10165
+ 22 P	1211	6856	7991	1159	6921	9316

Al final del ciclo la MS en seco varió entre 7000 y 8000 kg ha<sup>-1</sup> aproximadamente con los contenidos mas bajos y mas altos de Ps y entre 8000 y 10000 kg ha<sup>-1</sup> bajo riego. A su vez la MS promedio de todos los tratamientos en seco y bajo riego fue de 7500 y 9000 kg ha<sup>-1</sup> con un incremento promedio de 20% aproximadamente.

### 2.3. Soja

En soja, la MS acumulada en distintos estadios, con contenidos promedio de Ps de 9, 12 y 16 mg kg<sup>-1</sup> considerados bajos, intermedios y altos respectivamente junto con el tratamiento de fertilización con 22 kg ha<sup>-1</sup> de P, se indican en la Tabla 2.3. La MS de los testigos se incrementó con el mayor contenido de Ps y con la fertilización en una magnitud similar tanto en el primer muestreo en R1-R2, como en R5 y en madurez. La mayor temperatura del suelo en la siembra más tardía de este cultivo en relación a las del maíz y del girasol, así como las diferencias entre especies, pueden ser las causas del menor efecto del P sobre el desarrollo inicial del cultivo.

**Tabla 2.3.** Acumulación promedio de MS (kg ha<sup>-1</sup>) de soja en distintos estadios fenológicos (R1-R2, R5 y MF) bajo riego (R) y en MF en secano (S), con distintos contenidos promedio de Ps y fertilizada con 22 kg ha<sup>-1</sup> de P (1999/2000).

Ps	R 1-2	R 5	MF	MF
	R		S	
9	1452	5338	6672	6093
12	1649	5758	7197	6521
16	1964	6891	8613	7378
+ 22 P	2058	7144	8930	8663

La estimación de la MS en este cultivo en secano se efectuó solamente en madurez fisiológica siendo la diferencia con la MS bajo riego inferior a la obtenida en los otros cultivos por la ocurrencia de lluvias durante el período crítico, que dieron lugar a la recuperación del cultivo.

## 3. Rendimientos

### 3.1. Maíz

Los rendimientos promedio de maíz correspondientes a distintos contenidos de Ps en cada año se presentan en la Tabla 3.1. Se indica además la respuesta a P y las regresiones que estiman el efecto de la disponibilidad de Ps sobre los rendimientos de maíz, la eficiencia del uso del agua (EUA) en la producción de grano y su variación en función de la disponibilidad de Ps y/o de la fertilización.

Tanto los rendimientos como la respuesta a P están altamente relacionados con la ETR que fue de 475, 238, 403 mm en cada uno de los tres años en secano y de 598 mm en el último año bajo riego (Tabla 1).

La EUA para la producción de grano de maíz en secano varió entre 15 y 18 kg mm<sup>-1</sup>, siendo levemente inferior en el segundo año (98/99) por el prolongado stress hídrico que afectó al cultivo durante más de 70 días y por la ocurrencia de temperaturas superiores a la normales. Esto dio lugar a rendimientos muy bajos (3000 a 3600 kg ha<sup>-1</sup>) e impidió la manifestación de la respuesta a P (Tabla 3.1).

Con el riego, la EUA varió según la disponibilidad de Ps entre 15 y 20 kg de grano mm<sup>-1</sup>, alcanzando sin limitaciones de P valores similares a los logrados con frecuencia bajo riego sin limitaciones nutricionales (Rhoads y Bennet, 1990).

En secano, la respuesta máxima a P con el agregado de 22 kg ha<sup>-1</sup>, varió entre 1000 y 1300 kg ha<sup>-1</sup> (15 a 25%), con rendimientos de los testigos de 6100 a 6800 kg ha<sup>-1</sup> para los niveles más bajos de Ps. Bajo riego la respuesta alcanzó 2500 kg ha<sup>-1</sup> (28%) con testigos de 9000 kg ha<sup>-1</sup>. Con el agregado de 11 kg/ha de P, la respuesta fue levemente inferior, 600 a 850 kg ha<sup>-1</sup> en secano y 2000 kg ha<sup>-1</sup> con riego. La respuesta a P en secano fue similar a la encontrada en trabajos previos en la región (Darwich, 1984; García y col., 1997) siendo considerablemente mayor bajo riego.

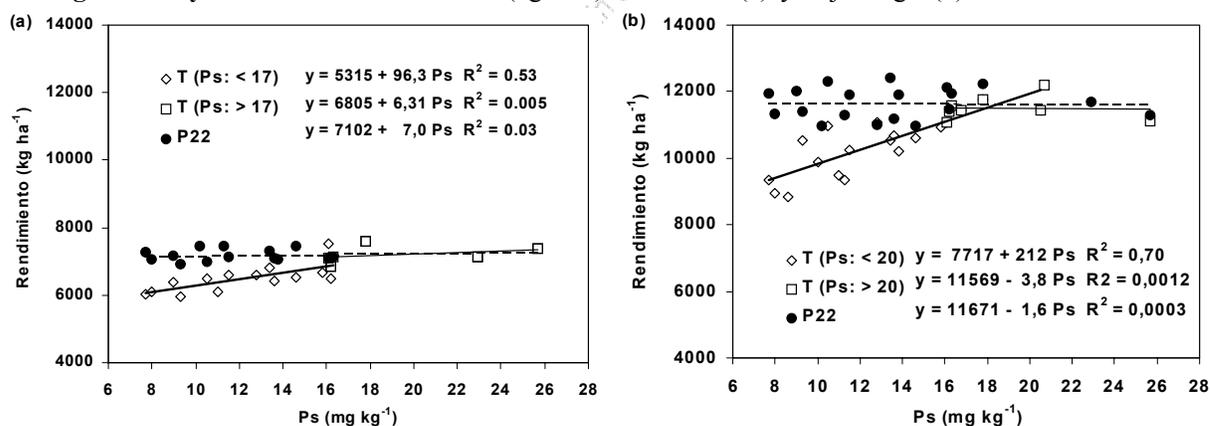
**Tabla 3.1.** Rendimientos promedio de maíz ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) con distintos contenidos de Ps ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en los tres años, con la respuesta a P (RP) y con las regresiones correspondientes en seco (S) y bajo riego (R); ETR y EUA

AÑO	97/98		98/99		99/00		
	Ps	(S)	Ps	(S)	Ps	(S)	(R)
	6,4	6800	6,8	3000	8,3	6160	9040
	7,2	7350	10,3	2900	10,5	6290	10100
	12,5	7650	12,7	2800	13,6	6590	10620
	15,1	7700	16,6	3200	16,5	6860	11360
	21,5	7300	23,5	3600	22,0	6960	11590
	25,7	8400					
<b>RP (<math>\text{kg ha}^{-1}</math>)</b>		(700-1300)		N.S.		100-1000	200-2500
<b>b0</b> “		6664				5315	7720
<b>b1P</b> “		74				96	212
<b>R<sup>2</sup></b>		0,67				0,53	0,70
<b>ETR (mm)</b>		475		238		403	598
<b>EUA (<math>\text{kg mm}^{-1}</math>)</b>		15-18		13-15		15-18	15-20

Los coeficientes lineales de las regresiones, expresan incrementos en los rendimientos por cada unidad de Ps de 74 y 96  $\text{kg ha}^{-1}$  en los dos años con respuesta a P en seco y de 212  $\text{kg ha}^{-1}$  en el último año bajo riego. (Tabla 3.1).

Para el último año, los rendimientos de los testigos se incrementaron hasta los niveles de 17 y 20  $\text{mg kg}^{-1}$  de Ps en seco y con riego, respectivamente, tal como lo indican las regresiones ajustadas con los testigos y con los tratamientos fertilizados con 22  $\text{kg ha}^{-1}$  de P (Fig. 3). Con esta disponibilidad de P los rendimientos fueron similares a los tratamientos fertilizados, que fueron aproximadamente 7100 y 11700  $\text{kg ha}^{-1}$  en seco y bajo riego respectivamente.

**Figura 3 a y b:** Rendimiento de maíz ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) en seco (a) y bajo riego (b) en función del



contenido de Ps en los testigos y en los fertilizados con 11  $\text{kg ha}^{-1}$  de P. 1999/2000.

Los incrementos en los rendimientos por efecto del riego variaron entre 3300 y 4600  $\text{kg ha}^{-1}$  con los contenidos más bajos y más altos de Ps respectivamente, siendo marcada la interacción con la disponibilidad de P.

El contenido de Ps y/o la fertilización fosfatada afectaron los rendimientos fundamentalmente a través del número de granos no resultando significativo su efecto sobre el peso de los mismos. Las regresiones obtenidas en seco (S) y con riego (R) fueron las siguientes:

**Secano:**  $\text{N}^\circ \text{ granos m}^{-2}$ :  $2600 + 36 \text{ Ps}$   $R^2 = 38$

**Riego:**  $\text{N}^\circ \text{ granos m}^{-2}$ :  $3210 + 93 \text{ Ps}$   $R^2 = 61$

Los efectos lineales de Ps sobre el número de granos/ $\text{m}^2$  de maíz (36 y 93 granos  $\text{mg}^{-1}$  Ps en seco y bajo riego) presentan por consiguiente diferencias proporcionalmente similares a los

coeficientes que relacionan el efecto del Ps sobre los rendimientos ( $96$  y  $212$   $\text{kg mg}^{-1}$  Ps) en las mismas condiciones hídricas respectivamente. Para los contenidos más bajos y más altos de Ps, el número de granos  $\text{m}^{-2}$  varió entre  $2800$  y  $3200$  en seco y entre  $4000$  y  $4800$  bajo riego.

### 3.2. Girasol

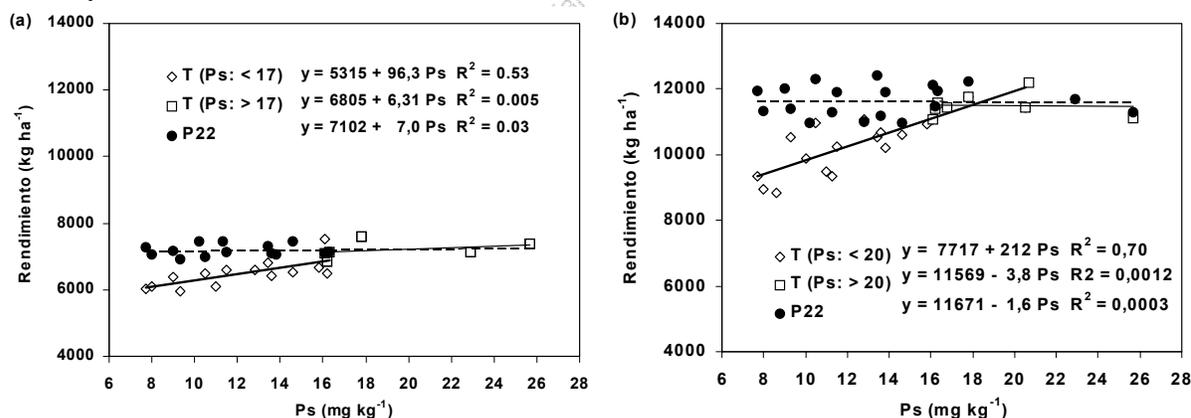
Los rendimientos promedios con distintos contenidos de Ps y la respuesta a P en seco y con riego para la campaña 1999/2000, se indican en la Tabla 3.2.

**Tabla 3.2.** Rendimientos promedio de girasol ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de los testigos (T) con distintos contenidos de Ps en seco y bajo riego, y respuesta a la fertilización con  $22$   $\text{kg ha}^{-1}$  de P (RP22). Campaña 1999/2000.

Ps ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Secano		Riego	
	T	RP 22	T	RP 22
9	1976	381	2519	355
12	1914	304	2655	292
15	2138	163	2912	231
18	2437	150	3180	12

Con contenidos de Ps entre  $9$  y  $18$   $\text{mg kg}^{-1}$  los rendimientos de los testigos variaron entre  $2000$  y  $2400$   $\text{kg ha}^{-1}$  en seco y entre  $2500$  y  $3200$   $\text{kg ha}^{-1}$  bajo riego (Tabla 3.2). Por consiguiente el riego produjo incrementos en los rendimientos variables entre  $500$  y  $800$   $\text{kg ha}^{-1}$  aproximadamente según el contenido de Ps.

A su vez la relación entre los contenidos de Ps y los rendimientos de los testigos y de los tratamientos fertilizados con las respectivas regresiones en seco y bajo riego se indican en la Fig. 3 c y d.



**Figura 3 c y d:** Rendimientos de girasol ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) en seco (c) y bajo riego (d) en función del contenido de Ps en los testigos y en los fertilizados con  $22$   $\text{kg ha}^{-1}$  de P. (1999/2000).

Los incrementos en el rendimiento de los testigos por unidad de Ps fueron de  $54$  y  $80$   $\text{kg ha}^{-1}$  en seco y bajo riego con testigos de aproximadamente  $1800$  y  $2300$   $\text{kg ha}^{-1}$  para los contenidos más bajos de Ps ( $8$   $\text{mg kg}^{-1}$ ), y de  $2600$  y  $3300$   $\text{kg ha}^{-1}$  con los niveles más altos de Ps ( $16$ - $18$   $\text{mg kg}^{-1}$ ) por cada situación hídrica, respectivamente. La fertilización en la línea de siembra con bajos contenidos de Ps dio lugar a rendimientos inferiores a los alcanzados en los testigos con los niveles más altos de Ps. Resultados similares han sido encontrados por Valetti y col. 1995, quienes a su vez obtuvieron mayores rendimientos con la colocación del P por debajo de la línea de siembra.

En seco, en 1998/99 con un stress hídrico prolongado, el efecto del contenido de Ps sobre los rendimientos fue similar, con rendimientos de los testigos variables entre  $2100$  y  $2600$   $\text{kg ha}^{-1}$  para los niveles mínimos y máximos de Ps y con una ETR, al igual que en maíz, de tan solo  $238$

mm. Con contenidos de Ps variables entre 7 y 18 mg kg<sup>-1</sup> su relación con los rendimientos fue:  $Y = 1715 + 56 Ps$ , ( $R^2 = 38$ ). En esta situación la respuesta máxima a la fertilización fue de 300 kg ha<sup>-1</sup>.

### 3.3. Soja

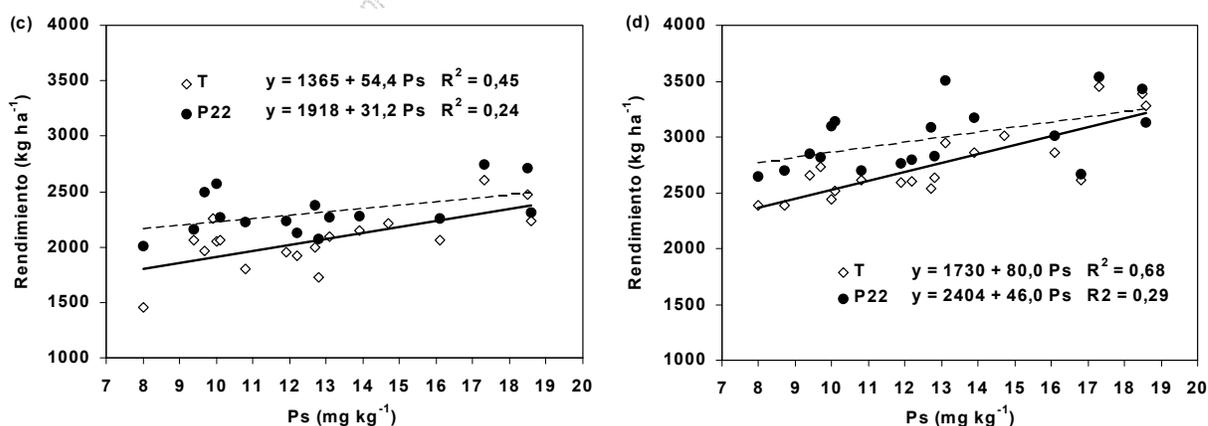
Los rendimientos promedio para distintos contenidos de Ps, con la correspondiente respuesta a P para la campaña 1999/00, se presenta en la Tabla 3.3.

**Tabla 3.3.** Rendimientos promedio de soja (kg ha<sup>-1</sup>) de los testigos (T) con distinto contenido de Ps en seco y bajo riego y respuesta (kg ha<sup>-1</sup>) a la fertilización fosfatada con 22 kg ha<sup>-1</sup> de P (RP22) Campaña 1999/00.

(RP22) Ps (mg kg <sup>-1</sup> )	Secano		Riego	
	T	Rta P22	T	Rta P22
9	2533	355	3027	372
11	2755	135	3000	279
16	3012	15	3382	97
20	3207	--	3511	--
28	3225	--	3424	--

Con contenidos de Ps entre 9 y 28 mg kg<sup>-1</sup> los rendimientos de los testigos variaron entre 2500 y 3200 kg ha<sup>-1</sup> en seco y entre 3000 y 3500 kg ha<sup>-1</sup> con riego, con una respuesta máxima a P de 350 a 370 kg ha<sup>-1</sup>. A su vez la relación entre los contenidos de Ps y los rendimientos de los testigos y de los tratamientos fertilizados, en seco y bajo riego, se muestran en las Fig. 3 e y f. Los incrementos en los rendimientos por cada unidad adicional de Ps fueron de 65 y 79 kg ha<sup>-1</sup> en seco y bajo riego respectivamente, con una diferencia mínima por la ocurrencia de lluvias durante el período crítico, como se mencionó anteriormente.

En función de estos resultados los rendimientos estimados de los testigos con contenidos de Ps variables entre 7 y 16 mg kg<sup>-1</sup> variaron entre 2400 y 3200 kg ha<sup>-1</sup> en seco y entre 2800 y 3500 kg ha<sup>-1</sup> bajo riego no evidenciándose respuesta a P con mayores contenidos de Ps tanto en seco como bajo riego. El efecto del riego sobre los rendimientos fue de solo 350 a 400 kg ha<sup>-1</sup> debido a la ocurrencia de lluvias al final del período crítico que permitieron la recuperación del cultivo, siendo la respuesta a la fertilización similar a la obtenida bajo riego.



**Figura 3 e y f:** Rendimiento de soja (kg ha<sup>-1</sup>) en seco (e) y bajo riego (f) en función del contenido de Ps en los testigos y en los fertilizados con 22 kg ha<sup>-1</sup> de P. Campaña 1999/2000.

En el año previo, en el mismo sitio experimental, con una sequía muy prolongada y con una ETR de 350 mm, los rendimientos de los testigos variaron entre 2000 y 2600 kg ha<sup>-1</sup> con

contenidos de Ps variables entre 7 y 18 mg kg<sup>-1</sup> y con una respuesta máxima a P de 300 a 400 kg ha<sup>-1</sup>. En tal situación la relación entre el contenido de Ps y el rendimiento fue:

$$Y = 1450 + 72 Ps, R^2 = 43.$$

Las respuestas en girasol y en soja con bajos contenidos de Ps son similares a las encontradas en trabajos anteriores realizados en la región (Valetti *et al.*, 1995; Fariña y Darwich, 1993).

Las relaciones obtenidas entre los niveles de disponibilidad de fósforo y los rendimientos de maíz, girasol y soja constituyen uno de los principales aportes del presente trabajo.

#### 4. Requerimientos de P

El consumo de P por los cultivos fue evaluado en la biomasa aérea acumulada en distintos momentos fenológicos y en el grano.

##### 4.1. Maíz

En maíz en el primer año de experimentación, se efectuó el análisis de P en distintas fracciones de la biomasa aérea (hoja, tallo y espiga) para evaluar la distribución y la removilización del P en planta (Amigorena, 2001)

En la Tabla 4.1a se indican, para niveles de Ps considerados como bajos, intermedios y altos (7, 15 y 26 mg kg<sup>-1</sup>) los contenidos de P en hoja, tallo y espiga en floración y en madurez, y en el grano. El nivel de disponibilidad de Ps afectó la concentración de P de cada una de las fracciones analizadas con una variación en hoja entre 0,17 y 0,21% en floración y entre 0,06 y 0,07 % en madurez. Para los mismos estadios la concentración de P en tallo varió entre 0,07 y 0,09 % y entre 0,0028 y 0,0032% y en espiga entre 0,33 y 0,37% y entre 0,24 y 0,29%, siendo en esta última levemente inferior a la del grano.

**Tabla 4.1a.** Contenidos de P (% y kg ha<sup>-1</sup>) en hoja, tallo, espiga en materia seca total (MS total) en floración (FL) y en madurez fisiológica (MF) y en grano con niveles de Ps considerados como bajos, intermedios y altos (7, 15 y 26 mg kg<sup>-1</sup>) (Amigorena, 2001).

Ps (mg kg <sup>-1</sup> )		7		15		26	
		FL	MF	FL	MF	FL	MF
<b>Hoja</b>	P %	0,17	0,060	0,20	0,066	0,21	0,074
	P kg ha <sup>-1</sup>	5,1	2,4	6,6	2,66	7,0	2,8
<b>Tallo</b>	“ %	0,07	0,0028	0,08	0,003	0,09	0,0032
	“ kg ha <sup>-1</sup>	5,0	1,3	6,0	1,3	6,5	1,4
<b>Espiga</b>	“ %	0,33	0,24	0,35	0,26	0,37	0,29
	“ kg ha <sup>-1</sup>	8,3	20,7	11,2	23,1	15	30
<b>MS total</b>	“ %	0,15	0,14	0,17	0,16	0,19	0,19
	“ kg ha <sup>-1</sup>	18,4	24,4	23,8	27	28	34,2
<b>Grano</b>	“ %		0,28		0,31		0,34
	“ kg ha <sup>-1</sup>		17,8		19		24,5

Los contenidos de P en hoja en floración (0,17 a 0,21%) son inferiores a los considerados críticos 0,25% (Hanway y Olson, 1980). La reducción en los contenidos de P en hoja y sobre todo en tallo en madurez, en relación a los de floración, evidencian la elevada removilización de P en la planta con valores de 2,7 a 4,2 kg ha<sup>-1</sup> de P de la hoja y de 3,7 y 5 kg ha<sup>-1</sup> de P en tallo, siendo la removilización de P alrededor del 60% y del 80% respectivamente. En efecto en hoja y en tallo en madurez la concentración de P fue de tan solo el 35% y el 4% de la existente en floración. La removilización del P hacia el grano varió entre 7 y 10 kg ha<sup>-1</sup> (Amigorena, 2001) siendo la absorción de P hasta floración el 75 a 80% del requerimiento final del cultivo. Por lo tanto resulta de interés mantener las condiciones que favorezcan la absorción de fósforo por el cultivo principalmente en el período previo al llenado de grano correspondiente al período de máxima tasa de consumo.

El nivel de disponibilidad de Ps afectó la concentración de P de la biomasa aérea total (MS) y del grano, con los niveles más altos de Ps se alcanzaron contenidos y niveles de extracción de P similares a los obtenidos con la aplicación de P.

La distinta disponibilidad hídrica (ETR) en cada año y el riego en el último, afectaron también la concentración y, principalmente, la cantidad de P extraída por el cultivo y por el grano.

En la Tabla 4.1b se indica a su vez para cada año la relación entre el contenido de Ps y la concentración de P en la MS en floración y en madurez fisiológica y en el grano; se indica además la variación en la concentración y extracción total de P por el cultivo y por el grano, correspondiente a los niveles más bajos y más altos de Ps o a la fertilización.

**Tabla 4.1b** Relación entre los contenidos de Ps y la concentración de P (%) en planta, en floración (FL), en madurez fisiológica (MF) y en grano (G) en maíz en secano (S) y con riego (R).

Año	Estado fisiológico	Función	P (%) (1)	P (kg ha <sup>-1</sup> ) (2)
97/98 (S)	MS (FL) P(%) =	0.14 + 0,0019 Ps	R <sup>2</sup> = 0.42	0.15 a 0.19
	MS (MF) P(%) =	0.12 + 0,0028 Ps	R <sup>2</sup> = 0.56	0.14 a 0.19
	G P(%) =	0.25 + 0,0041 Ps	R <sup>2</sup> = 0.57	0.28 a 0.34
	Residuos ICP (%)			0.06 a 0.08
98/99 (S)	G P(%) =	0.25 + 0,006 Ps	R <sup>2</sup> = 0.40	0.30 a 0.40
	MS (MF) P(%) =	0.11 + 0,0029 Ps	R <sup>2</sup> = 0.62	0.13 a 0.19
99/00 (S)	G P(%) =	0.27 + 0,0017 Ps	R <sup>2</sup> = 0.31	0.29 a 0.31
	ICP (%) =			78 a 80
	MS (FL) P(%) =	0.10 + 0,0032 Ps	R <sup>2</sup> = 0.64	0.14 a 0.19
99/00 (R)	MS(MF) P(%) =	0.11 + 0,0022 Ps	R <sup>2</sup> = 0.40	0.13 a 0.17
	G P(%) =	0.18 + 0,0048 Ps	R <sup>2</sup> = 0.55	0.22 a 0.30
	ICP (%)			78 a 82

(1) y (2) % de P y extracción de P (kg ha<sup>-1</sup>) correspondiente a los contenidos más bajos y más altos de Ps o a la fertilización. ICP = Índice de cosecha de P (P en grano/P en MS total).

En floración, con una leve variación entre años y por efecto del riego, la concentración de P en la MS fue levemente superior a la existente en madurez fisiológica, variando entre 0,14 y 0,19 % y entre 0,13 y 0,18 % en cada estadio fenológico respectivamente. Estos contenidos son levemente inferiores a los mencionados por Flannery (1986) quien al inicio y al final del ciclo del cultivo obtuvo una concentración de P de 0,46 y 0,22 % para condiciones de altos rendimientos, con una concentración en grano de 0.30%.

En el grano el contenido de P, varió entre 0,25 y 0,40 % con variaciones en función del contenido de Ps y de las condiciones hídricas durante el llenado del grano, correspondiendo los valores más altos al año más seco (98/99). Dumenil (1974), citado por Munson y Nelson (1990) menciona contenidos de P en grano variables entre 0,20 y 0,36 %, para contenidos de Ps comprendidos entre 5 y 50 mg kg<sup>-1</sup>.

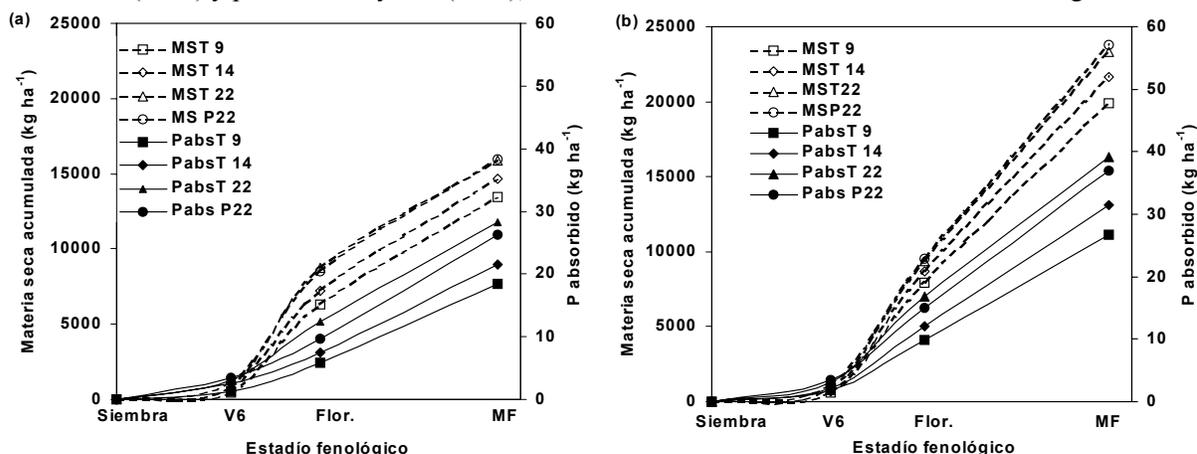
En función del contenido de Ps, sin considerar el año extremadamente seco (98/99), los niveles de consumo de P por el cultivo variaron entre 20 y 30 kg ha<sup>-1</sup> en secano y entre 27 y 40 kg ha<sup>-1</sup> bajo riego, con una exportación por el grano de 15 a 25 kg ha<sup>-1</sup> y de 21 y 32 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente. La cantidad de P devuelto al suelo varió entre 5 y 8 kg ha<sup>-1</sup>, con residuos de una concentración de P variable entre 0,06 y 0,08%.

En la Figura 4.1c, se indica la acumulación de P y de MS a lo largo del ciclo del cultivo en secano y bajo riego, con distintas cantidades de Ps y con fertilización. La alta absorción de P durante el período crítico del cultivo, debe atribuirse a las óptimas condiciones hídricas tanto en secano como bajo riego. Por el contrario, la escasez de lluvias durante la etapa inicial de crecimiento pudo haber restringido la absorción de P en la capa arable, al estar el suelo relativamente seco.

El P exportado por el grano (ICP) de maíz varió entre 75 y 80 % del P total extraído por el cultivo, siendo esta cantidad similar o levemente inferior al P absorbido hasta floración.

Estos resultados indican un requerimiento por tonelada de grano variable de 3,5 a 4 kg de P por tonelada de grano en secano y de 3 a 3,5 kg bajo riego, con una exportación por el grano de

aproximadamente 3 a 3,5 y 2,5 a 3 kg por tonelada de grano para las mismas condiciones hídricas respectivamente. Los requerimientos de P en seco son similares a los mencionados por Haway y Olson (1980) y por Andrade y col. (2000), siendo levemente inferiores los obtenidos con riego.



**Figura 4.1c:** Acumulación de materia seca (símbolos vacíos) y de P absorbido (símbolos llenos) en maíz en seco (a) y con riego (b) para tres momentos fenológicos del ciclo del cultivo: V6, floración (Flor.) y madurez fisiológica (MF), con tres contenidos de Ps (9, 14 y 22 mg kg<sup>-1</sup> de P) y fertilizado con 22 kg ha<sup>-1</sup> de P. Campaña 1999/2000.

#### 4.2. Girasol

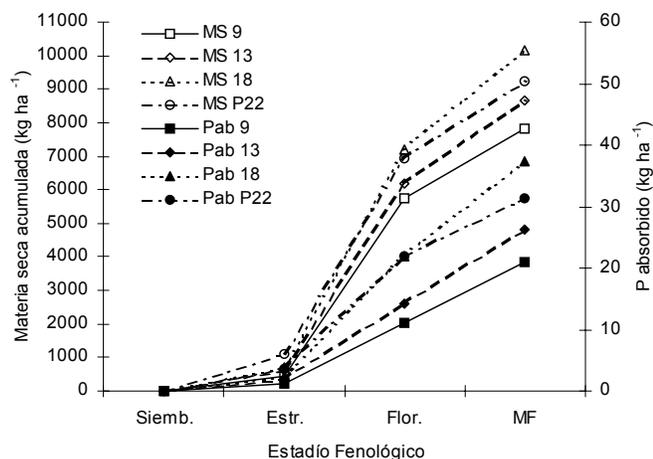
En girasol en el último año, en los testigos con distintos contenidos de Ps y en los respectivos tratamientos fertilizados, se determinó la concentración de P en la MS total en distintos estadios fenológicos y en el grano. En la Tabla 4.2. se indican las relaciones entre los contenidos de Ps y la concentración de P en la MS para los estadios de estrella, floración y madurez fisiológica y en el grano; se indica además la variación en la concentración y en la extracción total de P por el cultivo y por el grano correspondiente a los contenidos más bajos y más altos de Ps (7 y 18 mg kg<sup>-1</sup>) o a la fertilización.

**Tabla 4.2.** Relación entre el contenido de Ps y la concentración de P (%) en planta, en estrella (E), floración (FL), madurez fisiológica (MF) y en el grano (G).

	Regresiones lineales	P % (1)	Extracción de P kg ha <sup>-1</sup> (2)
MS (E)	P % = 0,220 + 0,0066 Ps R <sup>2</sup> = 0,54	0,29 a 0,33	2 a 4
MS (FL)	P % = 0,078 + 0,0115 Ps R <sup>2</sup> = 0,66	0,17 a 0,30	10 a 22
MS (MF)	P % = 0,160 + 0,0110 Ps R <sup>2</sup> = 0,51	0,20 a 0,30	18 a 32
G	P % = 0,200 + 0,0160 Ps R <sup>2</sup> = 0,73	0,33 a 0,48	10 a 16
ICP %			50 a 55

(1) y (2) % de P y extracción de P (kg ha<sup>-1</sup>) correspondiente a los contenidos más bajos y más altos de Ps o a la fertilización. ICP= Índice de cosecha de P.

La concentración de P en planta fue bastante similar en floración y en madurez fisiológica variando según el contenido de Ps entre 0,18 y 0,30 %. La absorción de P por el cultivo en los estadios de estrella y en floración representó aproximadamente el 10 % y el 60 a 70 % del consumo final del cultivo. Este último varió entre 18 y 32 kg ha<sup>-1</sup>, para una producción total de MS de 7000 a 10500 kg ha<sup>-1</sup>, como se indica para distintos contenidos de Ps y con la fertilización con 22 kg ha<sup>-1</sup> de P en los distintos estadios fenológicos en la Fig. 5.



**Figura 5:** Acumulación de MS (símbolos vacíos) y de P en planta (símbolos llenos) en los estadios fenológicos indicados en girasol: estrella (Estr.), floración (Flor.) y madurez fisiológica (MF), con distintos contenidos de Ps (9, 13 y 18 mg kg<sup>-1</sup>) y fertilizado con 22 kg ha<sup>-1</sup> de P (P22). 1999/2000.

El ICP en el cultivo de girasol fue bastante más bajo que en maíz, 50 a 55%, y similar (58%) al obtenido por Sfredo *et al.* (1985). En consecuencia, la extracción de P por el grano fue de 10 a 16 kg ha<sup>-1</sup> para rendimientos de 2500 a 3300 kg ha<sup>-1</sup>. Por lo tanto, el requerimiento de P del cultivo por tonelada de grano varió entre 7 y 9 kg, con una extracción por el grano de 3.5 a 4.5 kg. En consecuencia, la cantidad de P devuelta al suelo con los residuos es similar o levemente inferior a la exportada por el grano, lo cual contribuye a mejorar la nutrición fosfatada de los cultivos que le siguen en la rotación.

Estos niveles de requerimientos y de extracción de P por el grano, son inferiores a los encontrados por Sfredo *et al.* (1985), 11 y 6 kg t<sup>-1</sup> respectivamente, y mayores a los mencionados por Andrade *et al.* (2000). El bajo índice de cosecha de P es atribuible en parte a las condiciones de stress hídrico durante el llenado de grano, debiéndose considerar además que en suelos ricos en P la extracción puede ser mayor a la encontrada en el presente trabajo.

### 4.3. Soja

En soja, la relación entre los contenidos de Ps y la concentración de P en planta en R1-R2, en madurez fisiológica y en el grano junto con los % de P y de extracción en kg ha<sup>-1</sup> correspondientes a los contenidos más bajos y más altos de Ps o con la fertilización se indican en la Tabla 4.3.

No obstante el bajo grado de asociación entre la disponibilidad de P y su concentración en planta, cabe señalar que no se registraron grandes cambios en el % de P en planta a lo largo del ciclo del cultivo, siendo inclusive levemente mas bajos los encontrados en R1-R2 en relación a los de madurez.

**Tabla 4.3.** Relación entre los contenidos de Ps y la concentración de P (%) en planta en R1-R2, en madurez fisiológica (MF) y en el grano (G) de soja.

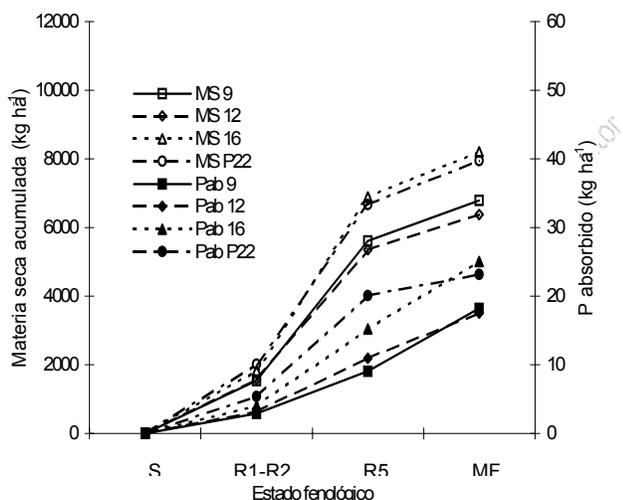
	Regresiones lineales		P % (1)	P kg ha <sup>-1</sup> (2)
MS R1- R2	P % = 0,14 + 0,0056 Ps	R <sup>2</sup> = 0,30	0,20 – 0,26	3 - 5
MS MF	P % = 0,22 + 0,0040 Ps	R <sup>2</sup> = 0,25	0,25 – 0,30	18 - 25
G	P % = 0,37 + 0,0110 Ps	R <sup>2</sup> = 0,26	0,45 – 0,60	14 - 20
ICP (%)				70 a 80

(1) y (2) % de P y extracción de P (kg ha<sup>-1</sup>) correspondiente a los contenidos mas bajos y mas altos de Ps o a la fertilización. ICP= Índice de cosecha de P.

La concentración de P varió según el contenido de Ps entre 0,25 y 0,30 % en la MS total a madurez fisiológica y entre 0,45 y 0,60 en el grano. Estos valores concuerdan con los obtenidos por Dumenil (1974), citados por Munson y Nelson (1990), al mencionar contenidos de P en grano de 0,45 a 0,73%, en suelos con contenidos de P Bray I variables entre 5 y 50 mg kg<sup>-1</sup>.

En la Figura 6 se indica la evolución en la acumulación de MS y de P a lo largo del ciclo del cultivo, debiéndose destacar la alta tasa de consumo de P entre R1-R2 y R5.

El consumo total de P por el cultivo varió entre 18 y 25 kg ha<sup>-1</sup> para una producción de MS de 6500 a 9000 kg ha<sup>-1</sup> y de grano de 3000 a 3500 kg ha<sup>-1</sup>. Por lo tanto el requerimiento de P del cultivo por tonelada de grano varió entre 6 y 7 kg ha<sup>-1</sup> y la extracción por el grano entre 4,5 y 6 kg ha<sup>-1</sup>. Estos requerimientos son levemente inferiores a los mencionados por Andrade y col. (2000) y similares a los citados por Munson y Nelson (1990). La extracción de P por el grano varió entre 14 y 20 kg ha<sup>-1</sup> con un índice de cosecha de P similar al del maíz (70 al 80%).



**Figura 6:** Acumulación de materia seca (kg ha<sup>-1</sup>) (símbolos vacíos) y P absorbido (R1-R2, R5 y MF) (kg ha<sup>-1</sup>) (símbolos llenos) en soja con riego en tres momentos fenológicos del ciclo del cultivo (R1-R2, R5 y MF) con tres contenidos de Ps (9, 12 y 16 mg kg<sup>-1</sup> de P) y fertilizado con 22 kg ha<sup>-1</sup> de P (P22). 1999/2000.

## CONCLUSIONES

Los contenidos de Ps, variables entre 7-8 y 25-28 mg kg<sup>-1</sup> y la fertilización fosfatada afectaron la acumulación de MS, los rendimientos, la concentración de P en MS en distintos estadios fenológicos y en el grano, en los tres cultivos: maíz, girasol y soja.

El efecto del contenido de P sobre la producción de MS, los rendimientos y la concentración de P en planta y en grano varió además en cada cultivo en función de la ETR; por consiguiente el requerimiento de P y su extracción por el grano también cambiaron.

La relación entre el nivel de disponibilidad de P y su concentración en planta y en grano varió según el estadio fenológico, según el órgano de la planta analizada y según el cultivo.

El rendimiento de maíz se incrementó, por cada unidad de Ps (mg kg<sup>-1</sup>) entre 75 y 95 kg ha<sup>-1</sup> en seco y hasta más de 200 kg ha<sup>-1</sup> con el riego. Los testigos con los niveles más bajos de Ps (7 a 8 mg kg<sup>-1</sup>) fueron de 6000 - 7000 y de 9000 kg ha<sup>-1</sup> en las dos condiciones hídricas mencionadas respectivamente; los rendimientos máximos en seco (7000 a 8500 kg ha<sup>-1</sup>) se alcanzaron con 15 a 17 mg kg<sup>-1</sup> de Ps y bajo riego (11500 kg ha<sup>-1</sup>) con 20 mg kg<sup>-1</sup> de Ps. Por consiguiente, la respuesta máxima a P fue de 1000 a 1500 kg ha<sup>-1</sup> en seco y de 2500 kg ha<sup>-1</sup> bajo riego.

En girasol los incrementos en rendimientos por unidad de Ps (mg kg<sup>-1</sup>) fueron de 55 y 80 kg ha<sup>-1</sup> en seco y bajo riego, con testigos de 1800 y 2300 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente con los contenidos más bajos de Ps (8 mg kg<sup>-1</sup>) y de 2500 y 3500 kg ha<sup>-1</sup> con los más altos (15-18 mg kg<sup>-1</sup>). Con la fertilización la respuesta máxima fue de 400 a 500 kg ha<sup>-1</sup> para los contenidos más bajos de Ps, no alcanzándose por lo tanto los rendimientos logrados en los testigos con los niveles más altos de Ps.

En soja la relación fue bastante similar a la de girasol siendo de 65 y 80 kg ha<sup>-1</sup> mg<sup>-1</sup> de Ps en seco y bajo riego, con rendimientos de los testigos de 2300 y 2800 kg ha<sup>-1</sup> con el contenido más bajo de Ps (7 mg kg<sup>-1</sup>) y de 3200 y 3500 kg ha<sup>-1</sup> con el más alto (16 mg kg<sup>-1</sup>) en las mismas condiciones hídricas respectivamente. La respuesta máxima a la fertilización fue de 350-380 kg ha<sup>-1</sup>, sin alcanzar con los contenidos más bajos de Ps, al igual que en girasol, los rendimientos obtenidos en los testigos con los niveles más altos de Ps. Por lo tanto en estos dos cultivos la aplicación de P en línea a la misma profundidad de la semilla no parece ser la más adecuada para una óptima nutrición fosfatada, cuando los contenidos de fósforo en el suelo son bajos, por lo menos en suelos con labranzas.

El requerimiento de P de los cultivos varió en función del contenido de Ps, de la disponibilidad hídrica y de los rendimientos, siendo los valores más frecuentes de consumo de extracción por el grano y el índice de cosecha los siguientes:

	<b>Requerimiento de P (kg ton<sup>-1</sup>)</b>	<b>Extracción por el grano (kg ton<sup>-1</sup>)</b>	<b>Índice de Cosecha de P (%)</b>
<b>MAIZ</b>	3 a 4	2,5 a 3	75 a 80
<b>GIRASOL</b>	7 a 9	3,5 a 4,5	50 a 55
<b>SOJA</b>	6 a 7	4,5 a 6	75 a 80

## BIBLIOGRAFIA

- Amigorena, M. 2001. Contenido de fósforo del suelo: su incidencia sobre el rendimiento y los componentes ecofisiológicos determinantes del crecimiento del cultivo de maíz. Tesis Ingeniero Agrónomo. Fac. de Ciencias Agrarias. UNMdP.
- Andrade, F.A., H.E. Echeverría, N.S. Gonzalez t S.A. Uhart. 2000. Cap. 8: Requerimientos de nutrientes minerales. 207-233. En: Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Ed. Fernando H. Andrade – Victor O. Sadras.
- Andrade, F.H. 1995. Analysis of growth and yield of maize, sunflowers and soybean grown at Balcarce, Argentina. Field Crop Res. 41: 1-12.
- Barber, S.A. 1980. Soil-plant interactions in the phosphorus nutrition of plants. Pg. 591-615. In: The role of phosphorus in agriculture. Ed. F.E. Khasawneh Ed. Khasawneh, F.E., E.C. Sample and E.J. Kamprath. ASA-CSSA-SSSA. Madison, Wisconsin, USA.
- Berardo, A., J.Ph. Culot, N.A. Darwich y J.O. Duarte. 1974. Evaluación del potencial de producción y de la respuesta a la fertilización del cultivo de maíz en el Sudeste Bonarense. En "Memorias de la II Reunión Nacional de Fertilidad y Fertilizantes". Pg. 155-174.S.C.A. Buenos Aires.
- Berardo, A. 1994. Aspectos generales de fertilización y manejo del trigo en el área de influencia de la estación experimental INTA – Balcarce. Boletín Técnico N° 128. EEA INTA Balcarce.
- Berardo, A., F. Grattone. 2000. Fertilización fosfatada requerida para alcanzar niveles objetivos de P Bray en un argiudol. XVII° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina. En CD.
- Berardo, A., F. Grattone y S. Ehrt. 2000. Evaluación de la respuesta a fósforo en maíz. XVII° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina. En CD.
- Blanchar, R.W., Rehm, G. and Galdwell, A.C. 1965. Sulfur in plant materials with digestion with nitric and perchloric acid. Proceedings Soil Science, Vol. 29 N°1: 71-72.
- Darwich, N. 1984. Tecnología disponible para el cultivo de maíz en la zona sudeste de la Provincia de Buenos Aires. EEA INTA Balcarce.
- Della Maggiora, A.I., J.M. Gardiol y A.I. Irigoyen. 2000. Cap. 6: Requerimientos hídricos. Pg. 155-171. En: Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Ed. Fernando H. Andrade – Victor O. Sadras.
- Fariña, J.R. y N.A. Darwich. 1993. Fertilización fosfatada en el cultivo de soja. III Curso Internacional de Ecofisiología de Soja. EEA INTA Oliveros, Santa Fe.
- García, F., K. Fabrizzi, M. Ruffo y P. Scarabicchi. 1997. Fertilización nitrogenada y fosfatada de maíz en el sudeste de Buenos Aires. VI Congreso Nacional de Maíz. AINBA. Pergamino, Buenos Aires.

- Flannery, R.L. 1986. Plant food uptake in a maximum yield corn study. *Better Crops Plant Food*. 70: 4-5.
- Hanway, J.J. and R.A. Olson. 1980. Phosphate nutrition of corn, sorghum, soybeans and small grains. Pg. 681-692. In: *The role of phosphorus in agriculture*. Ed. F.E. Khasawneh Ed. Khasawneh, F.E., E.C. Sample and E.J. Kamprath. ASA-CSSA-SSSA. Madison, Wisconsin, USA.
- Hillel, D. 1990. Role of irrigation in agricultural systems. pg 5-29. In: *Irrigation of agricultural crops*. Ed. B.A. Stewart and R.D. Nielsen. ASA-CSSA-SSSA.
- Melgar, R., E. Frutos, M. Galetto y H. Vivas. 1995. El análisis de suelos como predictor de la respuesta de la soja a la fertilización fosfatada. 1° Congreso Nacional de Soja y 2da Reunión Nacional de Oleaginosas. AINBA. Pergamino, Buenos Aires. Tomo 1, 167-174.
- Munson, R.D. y W.L. Nelson. 1990. Principles and practices in plant analysis. Pg. 359-388. In: *Soil testing and plant analysis*. 3th Edition. SSSA, Madison, Wisconsin, USA. Ed. Westerman, R.L.
- Rhoads, F.M. and J.M. Bennet. 1990. Corn irrigation. Pg. 569-596. In: *Irrigation of agricultural crops*. Ed. B.A. Stewart and R.D. Nielsen. ASA-CSSA-SSSA.
- Sfredo, G.J., J.R. Sarruge y R.J. Campos. 1985. Acumulation of macronutrients by two sunflower cultivars under field conditions. En *Actas "XI Conferencia Internacional de girasol"*. Mar del Plata, Argentina.
- Valetti, O., L. Iriarte, M. Borda y N. Migasso. 1995. Fertilización en girasol, aspectos generales a tener en cuenta. Material de divulgación 1. Chacra Experimental Barrow. 38 p.