

EFECTO DEL METODO DE APLICACION DEL FOSFORO EN MAIZ A DOS NIVELES DE DISPONIBILIDAD HIDRICA

H FONTANETTO¹, N DARWICH²

¹INTA-EEA Rafaela, C.C. 22, 2300- Rafaela, Argentina y ²INTA-Unidad Integrada Balcarce, C.C. 276, 7620- Balcarce, Argentina

EFFECT OF THE METHOD OF PHOSPHORUS ADDITION IN CORN UNDER TWO WATER REGIMES

Soils in the South-Eastern Buenos Aires Province have a generalized deficiency of available P. The response to P application have been variable, nevertheless it is well known that the efficiency of P fertilizers depends on the form of application (placement) as well as the level of soil P availability. A field experiment was conducted to determine the effects of different methods of P addition to the soil under two water regimes during the 1987/88 season. The absorption of P by corn plants, and its influence on dry matter production, grain yield and its components was evaluated. A single cross hybrid (SPS 240) was sown at a density of 80,000 plants ha⁻¹ on a clay loam soil (Typic Argiudoll) with 9.5 ppm of available P. Four P treatments (placement) and two water regimes were combined in a split plot design with four replications. The main plot treatment were: rainfed (no irrigation, SR) and irrigated to maintain 60 % of available water in the soil profile (with irrigation, CR). In the sub-plots, the different methods of P addition were: 1) control (no P added), 2) P added beside the seed, 3) P applied in narrow bands at 20 cm depth and 4) P applied in wide bands at 20 cm depth. Phosphorus absorption, P content in plants and grains, dry matter production and grain yield were positively affected by the methods of P application. The most efficient methods were those of deep application. The irrigation treatment also affected the variables above mentioned as well as post-flowering P absorption and remobilization efficiency. The main yield component affected by the application methods was grain number per ear and in a lesser way the number of ears ha⁻¹ and the number of ears per plant.

Key words: Corn - Phosphorus fertilization - Methods of application - Irrigation - P absorption

INTRODUCCION

La escasa movilidad del fósforo en el suelo unida a las reacciones que ocurren cuando este nutriente es agregado como fertilizante, conducen a que en gran parte se torne indisponible para las plantas (Murphy, Dibb 1985). Por tal motivo, el hecho de como y donde se incorpora el fertilizante tiene una gran influencia sobre su eficiencia de utilización por parte de los cultivos (Barber 1977). Muchos estudios demostraron que aún con adecuados niveles de P en el suelo producidos por las aplicaciones al voleo, existe una ventaja adicional de agregar P en líneas a la siembra. Este tipo de respuesta es más frecuente en localidades donde las condiciones iniciales para el crecimiento se caracterizan por las bajas temperaturas ambientales (Young *et al.* 1985).

En el Sudeste Bonaerense, donde los suelos poseen una deficiencia generalizada de fósforo (Darwich 1980), este nutriente es el principal factor limitante para el normal desarrollo de los cultivos (Culot, Bolaño 1967).

Hasta el presente prácticamente se carece de información en la Región Pampeana sobre evaluación de distintos métodos de aplicación de fósforo al suelo, contándose solamente con información parcial sobre los cultivos de girasol y trigo (Valetti, Migasso 1985, Barberis *et al.* 1988). Peterson *et al.* (1981) determinaron que en suelos con niveles bajos de fósforo, generalmente se necesitan 1,5 a 3 veces más fertilizante en aplicaciones al voleo que en bandas para lograr el mismo rendimiento. Barber y Kovar (1985) comparando tres métodos de aplicación del fertilizante fosforado: el incorporado en franjas con el arado, el aplicado al voleo y mezclado y el colocado en bandas junto a la semilla; mencionaron que otro factor a tener en cuenta es el volumen de suelo fertilizado. Los autores determinaron que el contenido de P disponible en el suelo, la concentración de fósforo en planta y el rendimiento en granos fueron mayores con el primero de los mencionados. Los volúmenes de suelo fertilizados por cada tratamiento fueron 5-10 %, 100 % y 1-2 % respectivamente. Otro factor que ejerce una marcada influencia sobre la absorción de fósforo

por las plantas, es el potencial agua del suelo (Olsen *et al.* 1961, Mederski, Wilson 1960). Estudios realizados por Kilmer *et al.* (1960), mostraron disminuciones del 50 % en la absorción de fósforo por las plantas de maíz sometidas a tratamientos de estrés de agua respecto a plantas sin estrés. Es por ello que el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de distintos métodos de aplicación de fósforo al suelo, bajo dos regímenes de disponibilidad hídrica, sobre la absorción de P por las plantas de maíz y su influencia sobre el crecimiento, desarrollo, producción de materia seca y rendimiento en grano.

MATERIALES Y METODOS

El ensayo fue realizado en el campo experimental de la EEA Balcarce del INTA durante 1987/88, sobre un suelo Argiudol típico serie Mar del Plata (INTA, 1991) con 6,8 % de M.O, pH 6,2 y 9,5 ppm de P disponible (Bray, Kurtz 1) en la capa arable. Se utilizó el híbrido de maíz SPS - 240, simple, flint, de grano colorado, semiprecoz; sembrado el 15/10/87 a una densidad de 80.000 plantas ha⁻¹, a 3 cm de profundidad y 70 cm entre surcos. Se empleó un diseño experimental de parcelas divididas dispuestas en bloques aleatorizados con cuatro repeticiones. La parcela principal correspondió al tratamiento de riego y las subparcelas a los métodos de aplicación de fósforo al suelo: a) parcela principal= con y sin aplicación de riego y b) subparcela= 1- testigo (sin fósforo); 2- aplicación de fósforo con la semilla; 3- aplicación profunda de fósforo en bandas angostas (de 5 cm de ancho y a profundidad de 20 cm) y 4- aplicación profunda de fósforo en bandas anchas (35 cm de ancho y a 20 cm de profundidad). Las dimensiones de cada subparcela fue de 4,20 m de ancho por 14 m de longitud y recibieron una dosis de 21 kg de P ha⁻¹, aplicados bajo la forma de superfosfato triple de calcio. Para evitar interacciones N-P, se agregaron 75 kg ha⁻¹ de N bajo la forma de urea.

La aplicación de fósforo con la semilla se realizó con el cuerpo fertilizador de una máquina sembradora a 2,5 cm al lado y 2,5 cm debajo de la semilla. El tratamiento de aplicación profunda del fósforo en bandas angostas consistió en abrir un surco de 20 cm de profundidad con un apocador, ubicar el fertilizante en el fondo y taparlo realizando una pasada de vibrocultivador en el sentido de los surcos. La aplicación profunda de fósforo en bandas anchas se efectuó fijando al bastidor de una sembradora de granos finos tres conos de chapa que se acoplaron a la máquina y quedaron distanciados 70 cm entre sí. Una vez fijados, se conectaron a los tubos de goma que descargan el fertilizante desde las tolvas mediante tubos de PVC y se aseguraron con abrazaderas. La base de los conos se ubicó a 18 cm del suelo. El producto se depositó sobre la superficie del suelo en bandas de 35 cm de ancho. Posteriormente se lo incorporó con una labor de arado de rejas en el sentido de la siembra. El contenido de humedad en las parcelas con riego se mantuvo siempre por encima del 60 % de agua útil en los primeros 70 cm del perfil del suelo (determinada por el método gravimétrico). El riego se realizó con un equipo por aspersión, regulado para aplicar 12 mm hora⁻¹, efectuándose seis aplicaciones de: 50, 50, 10, 30, 40 y 30 mm respectivamente.

Se realizaron tres determinaciones de fósforo disponible en el suelo por parcela: a la siembra, en R1 (50 % de los estigmas visibles) y en R6 (madurez fisiológica), a tres profundidades (0-

10, 10-20 y 20-30 cm). Cada muestra estuvo compuesta por 30 submuestras, extraídas con barreno de los dos surcos centrales, a 5 cm de la línea de siembra y entre plantas. Las determinaciones del contenido de fósforo en plantas se realizaron en los estadios V8, R1 y R6. A la cosecha, se determinó el contenido de fósforo en granos. En V8 se muestreó la planta entera (10 plantas parcela⁻¹). En R1 y R6, se recolectó la lmina de las hojas de la espiga (sobre 25 plantas) y plantas enteras (6 plantas). Sobre 14,3 m lineales de surco de cada subparcela se determinó el número de espigas total, número de plantas a cosecha y número de granos espiga⁻¹, peso de 1000 granos. La determinación de materia seca total se realizó en R6 sobre seis plantas parcela⁻¹.

Se realizó el análisis de la variancia y las diferencias entre medias se analizaron por contrastes ortogonales. Se efectuaron los siguientes contrastes para evaluar las diferencias mencionadas: 1- testigo vs tratamientos fertilizados; 2- fertilización junto a la semilla vs fertilización profunda y 3- fertilización profunda en bandas angostas vs fertilización profunda en bandas anchas. Las diferencias mencionadas en el texto del presente trabajo son estadísticamente significativas ($P < 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSION

Los tratamientos que no recibieron riego sufrieron deficiencias durante los periodos considerados críticos para el cultivo del maíz (Shaw, Felch 1972, Shaw 1974). A partir de R1 el % de agua útil estuvo por debajo del 60 %, aunque el déficit no fue muy severo. La disminución más marcada de la humedad disponible del suelo en las parcelas sin riego se verificó entre 50 - 70 cm del perfil durante los estadios R4 y R5, alcanzando a valores de 30-40 % del agua útil.

El tratamiento testigo presentó siempre los más bajos valores de fósforo disponible durante el ciclo del cultivo, con los menores registros en madurez fisiológica (R6). En los primeros 10 cm del suelo, la aplicación junto a la semilla produjo los mayores niveles de fósforo disponible, por debajo de esta profundidad y hasta los 30 cm, los mayores contenidos fueron logrados con las aplicaciones profundas (Figura 1). Comparando los valores de fósforo disponible en el suelo en R1 y R6 (Figura 1) se observa que el cultivo extrajo una gran cantidad de P en ese periodo, lo que es coincidente con los resultados hallados por Hanway (1962). Se mantuvieron las mismas tendencias entre los diferentes tratamientos, salvo entre 20-30 cm de profundidad, donde las diferencias entre las parcelas con aplicación de P junto a la semilla y la aplicación profunda fueron menores. Esto corrobora que el cultivo de maíz realizó la mayor extracción de P en los 30 cm superficiales del suelo, zona de gran concentración de masa radical (Barber 1971, Mengel, Barber 1974).

Los contenidos de fósforo en planta (kg ha⁻¹) difirieron significativamente entre las parcelas con y sin riego y entre el testigo y los diferentes métodos de incorpora-

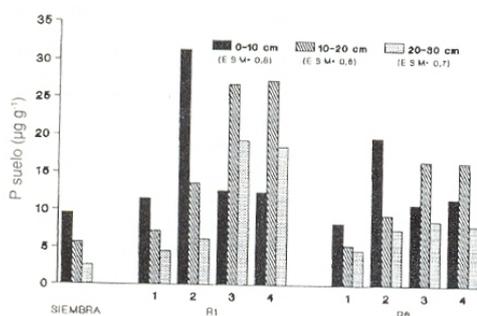


Figura 1: Niveles de R disponible del suelo con los tratamientos evaluados en tres estadios del maíz (siembra, R1=aparición 50 % de estigmas y R6= madurez fisiológica) 1= Testigo; 2=P con la semilla; 3=P en bandas angostas y 4=P en bandas anchas.

ción (Tabla 1). Los mayores valores se registraron en las plantas de las parcelas que recibieron la aplicación profunda. Las diferencias por efecto del riego comenzaron en R1, con niveles un 10 % mayores que en las no regadas y se ampliaron en R6, cuando las diferencias se elevaron a un 24 %. El contenido de fósforo en granos a cosecha expresado en kg ha^{-1} para los distintos tratamientos presentó un comportamiento similar a los comentados anteriormente para la concentración de fósforo en planta (Tabla 1). La interacción riego por método de aplicación para el contenido de fósforo en granos (en kg ha^{-1}) no resultó significativa.

Tabla 1. Contenido de fósforo en plantas (kg ha^{-1}) en distintos estadios fenológicos del maíz y en granos con los tratamientos ensayados.

TRATAMIENTO	Momentos Fenológicos			Granos
	V8	R1	R6	
Sin Riego	4,5 a	22,4 a	39,7 a	29,5 a
Con Riego	4,5 a	24,3 b	49,3 b	37,0 b
ESM	0,16	0,72	1,61	1,20
SUBTRATAMIENTOS				
1	3,3 a	18,4 a	35,7 a	26,80 a
2	4,6 ab	23,3 b	44,8 b	33,60 b
3	5,1 b	25,7 c	48,8 c	36,60 c
4	5,2 b	26,1 c	48,9 c	36,70 c
ESM	0,26	0,44	0,33	0,25

Promedio de tratamientos seguidos por la misma letra en sentido vertical, no difieren estadísticamente entre sí (Tukey $P < 0,05$). 1: testigo (sin P); 2: P junto a la semilla; 3: P en profundidad en bandas angostas y 4: P en profundidad en bandas anchas. ESM: error estándar de la media.

El riego provocó una mayor absorción de fósforo (Tabla 2), principalmente en el período de postfloración, momento en el cual en las parcelas no regadas se produjo estrés hídrico, el cual afectó la absorción de fósforo. El fósforo total absorbido hasta R1 y en postfloración por las plantas de las parcelas fertilizadas fue superior a las del testigo y también fue mayor la absorción de las plantas que recibieron las incorporaciones en profundidad respecto de aquellas en las que el fertilizante se aplicó junto a la semilla. Ninguna de las variables presentadas en la Tabla 2 presentó interacción riego por métodos de aplicación del fósforo. La mayor absorción de fósforo por las plantas de los tratamientos con incorporación profunda respecto al aplicado junto a la semilla, estaría provocada por una mejor distribución del fertilizante en la parte superficial del suelo (0 - 30 cm).

La eficiencia de removilización del fósforo presentó una tendencia a ser mayor en las plantas no regadas debido a la menor absorción de fósforo en pre y postfloración, por lo cual se requirió una mayor actividad de removilización para satisfacer las demandas de los destinos reproductivos. La cantidad total de P removilizada entre los tratamientos con y sin riego, no presentó diferencias significativas.

En este experimento se esperaban diferencias entre los tratamientos en bandas angostas y anchas, debido a la diferencia en el volumen de suelo fertilizado por cada uno; sin embargo el que así no ocurriera podría deberse

Tabla 2. Acumulación de P vegetativo (kg ha^{-1}) y su removilización en diferentes momentos fenológicos del maíz con los tratamientos ensayados.

TRAT.	P total en R1	P veg en R6	P remov. R1 - R6	Efic. de remov. de P	P total R6	P abs en postfl
Sin riego	18,4 a	9,9 a	8,5 a	0,45 a	39,7 a	21,3 a
Con riego	21,2 b	12,3 b	8,9 a	0,41 a	49,3 b	28,2 b
ESM	0,41	0,40	0,69	0,026	1,61	1,83
SUB-TRAT.						
1	14,7 a	8,9 a	5,7 a	0,38 a	35,7 a	21,0 a
2	19,9 b	11,2 b	8,7 b	0,43 b	44,8 b	24,8 b
3	22,1 c	12,2 b	9,9 b	0,45 b	48,8 c	26,6 b
4	22,4 c	12,2 b	10,3 b	0,46 b	48,9 c	26,5 b
ESM	0,36	0,084	0,38	0,016	0,33	0,51

Promedio de tratamientos seguidos por la misma letra en sentido vertical, no difieren estadísticamente entre sí (Tukey $P < 0,05$). P total en R1; P vegetativo total en R1 (kg ha^{-1}); P veg. en R6; P vegetativo total en R6 (kg ha^{-1}); P remov. P vegetativo removilizado (kg ha^{-1}); Efic de remov. de P: Eficiencia de removilización de P(R1-R6)/R1; P total R6: P absorbido total hasta R6 (kg ha^{-1}); P abs en postfl: P absorbido en postfloración (kg/ha^{-1}); ESM: error estándar de la media.

a dos factores. En primer lugar, al nivel inicial de P disponible del suelo (9,5 ppm), que si bien se encuentra en el rango de respuesta a la fertilización (Darwich 1987), no fue lo suficientemente bajo como para manifestar diferencias significativas. El otro factor sería la baja capacidad de sorción de estos suelos (Berardo 1991), la que no permitió encontrar diferencias entre los tratamientos de bandas.

El rendimiento en granos fue afectado en forma significativa por los diferentes métodos de aplicación de fósforo y por los tratamientos de riego (Tabla 3), no detectándose interacción significativa entre éstos. El tratamiento de riego produjo mayores rendimientos (12.190 versus 10.700 kg ha⁻¹) que el no regado. El testigo sin fertilización difirió de los tratamientos fertilizados y la fertilización profunda de la incorporación junto a la semilla. Los rendimientos en grano de las parcelas con incorporación profunda de fósforo se correlacionaron con los valores de absorción de fósforo y con los contenidos de fósforo en planta (Tabla 2), principalmente los correspondientes al estadio R1 (r: 0,745 y 0,732, respectivamente; n=32). Las diferencias en rendimiento debidas a los métodos de incorporación estuvieron asociadas con los contenidos de fósforo en planta, que afectaron principalmente al componente número de granos espiga⁻¹ y por lo tanto al rendimiento en granos ha⁻¹.

El tratamiento de riego afectó la fase de formación y llenado de granos. En las parcelas regadas hubo mayor número de granos espiga⁻¹ que en las sin riego (446 versus 421 granos espiga⁻¹). La fertilización produjo en el cultivo mayor número de granos espiga⁻¹ que el

testigo sin fertilizar e igual efecto provocó la aplicación profunda comparada con la realizada junto a la semilla. En ambos casos, fue debido a la mayor absorción de P, que se asoció a una mayor fijación de destinos reproductivos. Ritchie y Hanway (1982), determinaron que la fase de formación de granos se mantiene hasta 15 días después de R1 y fue en este periodo donde se verificaron los máximos efectos de los diferentes tratamientos sobre el fósforo absorbido. Las deficiencias hídricas ocurridas en posfloración no provocaron tampoco interacción riego por métodos de incorporación del P.

La incorporación del fósforo en profundidad provocó una mayor eficiencia en el uso del fertilizante aplicado. Esto se debió a una mejor distribución del fósforo incorporado en los primeros 30 cm del perfil de suelo, posibilitando una mayor absorción de fósforo, mayores contenidos de fósforo en planta, mayor crecimiento del cultivo y mayores rendimientos en biomasa aérea total y de granos. La aplicación de riego complementario produjo mayor absorción de fósforo por las plantas, principalmente en postfloración (período de mayor estrés hídrico), provocando mayores rendimientos de materia seca total y de granos en relación a las parcelas no regadas. Los diferentes métodos de aplicación de fósforo afectaron los siguientes componentes del rendimiento: número de granos espiga⁻¹, número de espigas m⁻² y número de espigas planta⁻¹. La falta de interacción entre tratamientos de riego y formas de aplicación del fósforo se debieron a que las deficiencias hídricas no fueron lo suficientemente severas como para originar patrones de absorción diferentes.

En las condiciones del Sudeste Bonaerense, en suelos con contenidos moderados de fósforo disponible y en años con deficiencias hídricas en los meses de enero y febrero como las ocurridas, es posible obtener respuestas diferenciales en la producción del maíz con la aplicación profunda de fósforo.

Tabla 3. Rendimiento en granos y sus componentes del maíz con los tratamientos ensayados.

TRAT.	Nº de esp m ⁻²	Nº de esp pl ⁻¹	Nº de esp gr ⁻¹	Peso 1.000	Rendimiento granos	MS Total
				--g--	----- kg ha ⁻¹ -----	
SR	8,21 a	1,03 a	421 a	352,0 a	10.700 a	19.130 a
CR	8,26 a	1,04 a	446 b	373,4 b	12.190 b	21.800 b
ESM	0,07	0,01	2,0	3,4	71,8	235,0

SUBTRATAMIENTOS

1	7,78 a	0,98 a	398 a	373,7 a	9.890 a	17.070 a
2	8,26 b	1,04 b	430 b	361,3 b	11.360 b	20.540 b
3	8,41 b	1,06 b	450 c	358,5 b	12.270 c	22.090 c
4	8,49 b	1,06 b	455 c	357,3 b	12.260 c	22.170 c
E.S.M	0,04	0,005	5,0	1,0	68,6	199,0

Promedio de tratamientos seguidos por la misma letra en sentido vertical, no difieren estadísticamente entre sí (Tukey P < 0,05). CR= Con Riego; S.R.= Sin Riego; 1= Testigo sin P; 2= P junto a la semilla; 3= P; ESM: Error Estandar de la Media.

REFERENCIAS

- Barber S.A. 1962. A diffusion and mass-flow concept of soil nutrient availability. *Soil Sci.* 93: 39 - 49
- Barber S.A. 1971. Effect of tillage practice or corn root distribution and morphology. *Agron. J.* 63: 724 - 726
- Barber S.A. 1977. Placement of phosphate and potassium for increased efficiency. *Fert. Solutions* 20: 20-21
- Barber S.A., Kovar J.L. 1985. Review. Principles of Applying phosphorus fertilizer for greatest efficiency. *J. of Fertilizer Issues* 2: 91 - 94
- Barberis L.A., Ruiz A.R., Parente M. 1988. Influencia de la forma de aplicación del fertilizante fosforado en el cultivo de trigo. XII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo
- Berardo A. 1991. Aspectos generales de fertilización y manejo de

- trigo en el área de influencia de la Estación Experimental de INTA Balcarce. En: Fundación Producir Conservando. Fertilización en los cultivos de Trigo- Maiz- Girasol.
- Culot J P, Bolaño A. 1967. Estudio del estado del fósforo en los suelos del sudeste bonaerense. INTA EEA Balcarce. Boletín Técnico N° 61 12 pp
- Darwich N. 1980. Niveles de fósforo disponible en los suelos pampeanos. IX Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo. Actas: 707 - 710
- Darwich N. 1987. Fertilización y posibilidades de riego en maíz. Actas XII Congreso CREA Zona Mar y Sierras: 241 - 252
- Hanway J. 1962. Corn growth and composition in relation to soil fertility. II. Uptake of N, P and K and their distribution in different plant parts during the growing season. *Agron.J.* 54: 217 - 22
- INTA Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 1991. Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja 3757-31
- Kilmer V J, Bennett O L, Stahly V F, Timmons D R. 1960. Yield and mineral composition of 8 forage species grown at four levels of soil moisture. *Agron.J.* 52: 282-285
- Mederski M J, Wilson M. 1960. Relation of soil moisture absorption by corn plants. *Soil Sci.Soc.Am.Proc.* 24: 149-152
- Mengel D B, Barber S A. 1974. Development and distribution of the corn root system under field conditions. *Agron.J.* 66: 341-344
- Murphy L, Dobb D. 1985. Phosphorus and placement. In phosphorus for Agriculture. A Situation Analysis. Buford, Atlanta. 6: 35-46
- Olsen S R, Watanabe F S, Danielson R E. 1961. Phosphorus absorption by corn roots as affected by moisture and phosphorus concentration. *Soil Sci.Soc.Am.J.* 25: 289-294
- Peterson G A, Sander D H, Grabouski P H, Hooker M L. 1981. A new look at row and broadcast phosphate recommendations for winter wheat. *Agron.J.* 73: 13-17
- Ritchie S W, Hanway J J. 1982. How a corn plant develops. Coop. Ext. Serv. Iowa Sta. Univ. Ames. Special Report N° 48
- Shaw R, FELCHR. 1972. Climatology of a moisture-stress index for Iowa and its relationship to corn yields. *Iowa State Journal of Science* 46: 357-368
- Shaw R. 1974. A weighted moisture-stress index for corn in Iowa. *Iowa State Journal of Research*, 49: 101-114
- Valetti O, Migasso N. 1985. Fertilización profunda en el cultivo de girasol. EN: XI Conferencia Internacional de Girasol. Mar del Plata, Argentina. Actas: 203-208
- Young R, Westfall D, Colliver G. 1985. Production, Marketin and Use of Phosphorus Fertilizers. In: *Fertilize Tecnology and Use*. D.P.Engelstad (Ed.) Madison, Wisconsin 9: 323-376