



Proyecto Regional Agrícola

FERTILIZACIÓN FOSFORADA LIQUIDA EN MAÍZ

Ings. Agrs. Gustavo N. Ferraris¹, Lucrecia A. Couretot¹, Fernando Mousegne²,
Marcelo López de Sabando², Luis Ventimiglia³

(1) Desarrollo Rural EEA Pergamino

(2) Agencia INTA San Antonio de Areco

(3) Agencia 9 de Julio

Introducción:

El Maíz es un cultivo con elevados requerimientos y capacidad de respuesta a la fertilización. Han sido ampliamente reportados incrementos de rendimiento por el agregado de Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Azufre (S) en la región pampeana argentina. El P es un elemento esencial, al cual se le atribuyen efectos como el incremento del crecimiento aéreo y radicular, aumento de la relación tallo/raíz, mayor tolerancia a estrés y menor incidencia y severidad de enfermedades. Ha sido ampliamente mencionada su participación en procesos fisiológicos importantes como la síntesis de ATP y transporte de energía por la planta, la formación de ácidos nucleicos (ADN, ARN) y el metabolismo de los hidratos de carbono. Además de favorecer el crecimiento, produce efectos agronómicos deseables como el estímulo del macollaje en gramíneas, la fijación de N en leguminosas, y la uniformidad y precocidad en la maduración de los granos. Su carencia se identifica por la aparición de hojas inferiores verde oscuras, que tornan a violáceas desde los márgenes, pudiendo aparecer tonos rojizos de la punta a la base en el caso de deficiencia extrema, con plantas de tamaño pequeño y desuniforme.

En la región pampeana argentina, los cultivos de gramíneas son habitualmente fertilizados con fosfatos amoniacales sólidos, aplicados en el surco o en bandas localizadas al costado de la línea de siembra. En los últimos años sin embargo, han aparecido nuevas formas y fuentes de aplicación, que requieren ser evaluadas. El objetivo de este trabajo es comparar el efecto de una fuente líquida fosforada aplicada en forma chorreada en superficie, con las tradicionales fuentes sólidas, puestas en banda o al voleo en cobertura total.

Materiales y métodos:

Se condujeron tres experimentos, en las localidades de Pergamino, San Antonio de Areco y Nueve de Julio (BsAs), sobre suelos Argiudoles típicos en los dos primeros casos, y Hapludol éntico en el tercero.

Se utilizó un diseño en bloques completos al azar con tres-cuatro repeticiones y nueve tratamientos, los cuales se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1: *Tratamientos evaluados. Comparación de fuentes fosforadas líquidas en Maíz. Pergamino, Buenos Aires. Campaña 2009/10.*

Nº	Tratamiento	kg P ha ⁻¹ Aportados	kg P ha ⁻¹ Aportados	Estadío de Aplicación
T1	P0 N150	P 0	N150	Siembra
T2	F2l 100 l/ha	P 4	N150	Siembra
T3	Roca fosfórica 100 kg/ha	P 9	N150	Siembra
T4	Roca fosfórica 100 kg/ha + F2l 50 l/ha	P 11	N150	Siembra
T5	Roca fosfórica 100 kg/ha + F2l 100 l/ha	P 13	N150	Siembra
T6	Roca fosfórica 100 kg/ha + F2l 150 l/ha	P 15	N150	Siembra
T7	Roca fosfórica 100 kg/ha + F2l 200 l/ha	P 17	N150	Siembra
T8	SPT 100 kg/ha + F2l 100 l/ha	P 24	N150	Siembra
T9	100 kg/ha de SPT en la línea	P 20	N150	Siembra

Las fuentes de fósforo evaluadas fueron Superfosfato Triple de Calcio (SPT, 0-20-0) en Pergamino y Nueve de Julio y MAP en San Antonio de Areco (11-23-0) como sólidos solubles, Roca fosfórica (0-9-0), y un fertilizante fosforado líquido provisto por Sudamfos SA, cuya concentración es 3.9 % P (9% P₂O₅) p/v. Como fuente de N se aplicó Urea granulada (0-46-0), llevando todos los tratamientos a la dosis final de 150 kg ha⁻¹.

Las fechas de siembra de los ensayos fueron: el día 24 de Setiembre en Pergamino, con antecesor trigo/soja, utilizando el híbrido Nidera Ax 878 MG SD. En San Antonio de Areco se sembró el día 30 de Setiembre el híbrido Advanta 8319MG. En 9 de Julio, se sembró AW 190 MGRR2, el día 3 de Noviembre en labranza mínima. Por su parte, los análisis de suelo del sitio experimental se presentan en la Tabla 2. Se destaca un nivel de Materia orgánica y N normal, bajo de P y muy bajo de S.

Tabla 2: Análisis de suelo a la siembra.

Pergamino

Profundidad	pH agua 1:2,5	Materia Orgánica	N total	Fósforo disponible	N-Nitratos		S-Sulfatos
					ppm	kg/ha	
	0-20 cm	%		ppm 0-20 cm			ppm 0-20 cm
0-20 cm	5,6	2,98	0,149	18,3	11,0	27,5	3,0
20-40 cm					5,0	12,5	2,0
40-60 cm					2,5	6,3	

46,3 kg N ha⁻¹ total

San Antonio de Areco

Profundidad	pH agua 1:2,5	Materia Orgánica	N total	Fósforo disponible	N-Nitratos		S-Sulfatos
					ppm	kg/ha	
	0-20 cm	%		ppm 0-20 cm			ppm 0-20 cm
0-20 cm	5,8	3,2	0,164	11,5	10	26	
20-40 cm					7	18,2	
40-60 cm					3,5	9,1	

53,3 kg N ha⁻¹ total

Nueve de Julio

Profundidad	pH agua 1:2,5	Materia Orgánica	N total	Fósforo disponible	N-Nitratos		S-Sulfatos
					ppm	kg/ha	
	0-20 cm	%		ppm 0-20 cm			ppm 0-20 cm
0-20 cm	6,1	3,1	0,155	4,2	21,5	55,9	5,4
20-40 cm					10	26,0	
40-60 cm					5	13,0	

94,9 kg N ha⁻¹ total

La cosecha se realizó en forma manual, con trilla estacionaria de las muestras. Para el estudio de los resultados se realizaron análisis de la varianza y comparaciones de medias. En algunas localidades, además del rendimiento, se midió el índice verde en floración (Spad) y los componentes del rendimiento, número (NG) y peso (P1000) de los granos.

Resultados y discusión:

a) Condiciones ambientales

En las Figuras 1, 2 y 3 se presentan las precipitaciones del cada sitio durante el ciclo de cultivo. Las precipitaciones fueron abundantes, sin ocurrencia de déficit hídrico en ninguna localidad (Figuras 1,2 y 3).

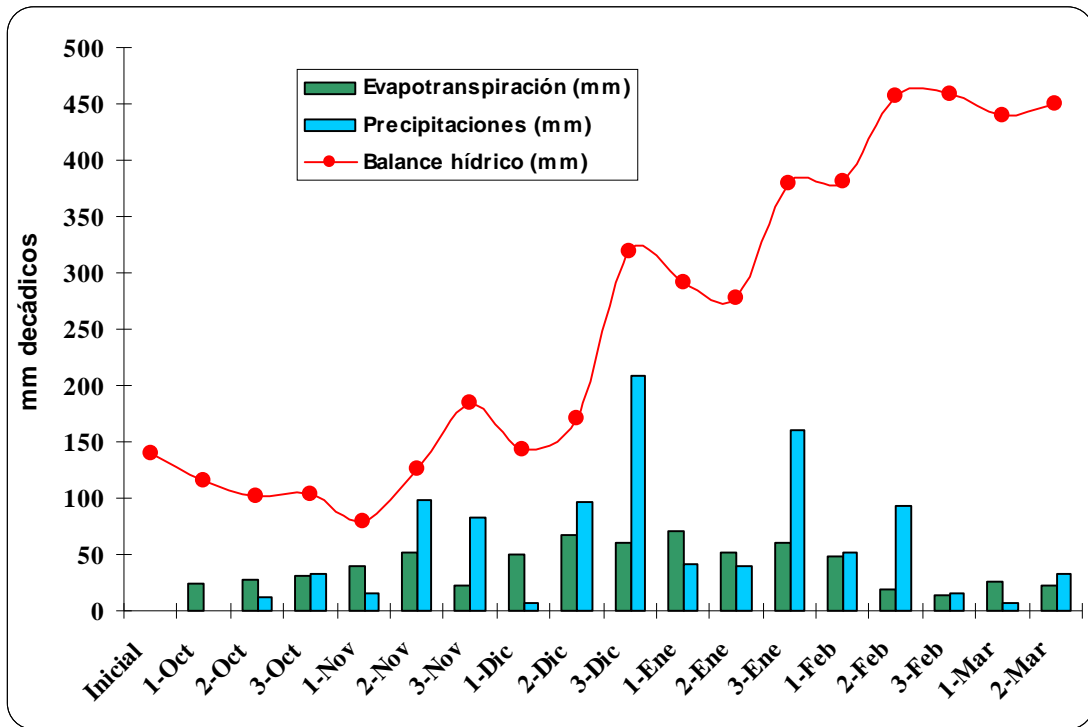


Figura 1: Precipitaciones, evapotranspiración y balance hídrico decádico (mm) en Pergamino (Bs As), durante la campaña 2009/10. Precipitaciones totales 970 mm.

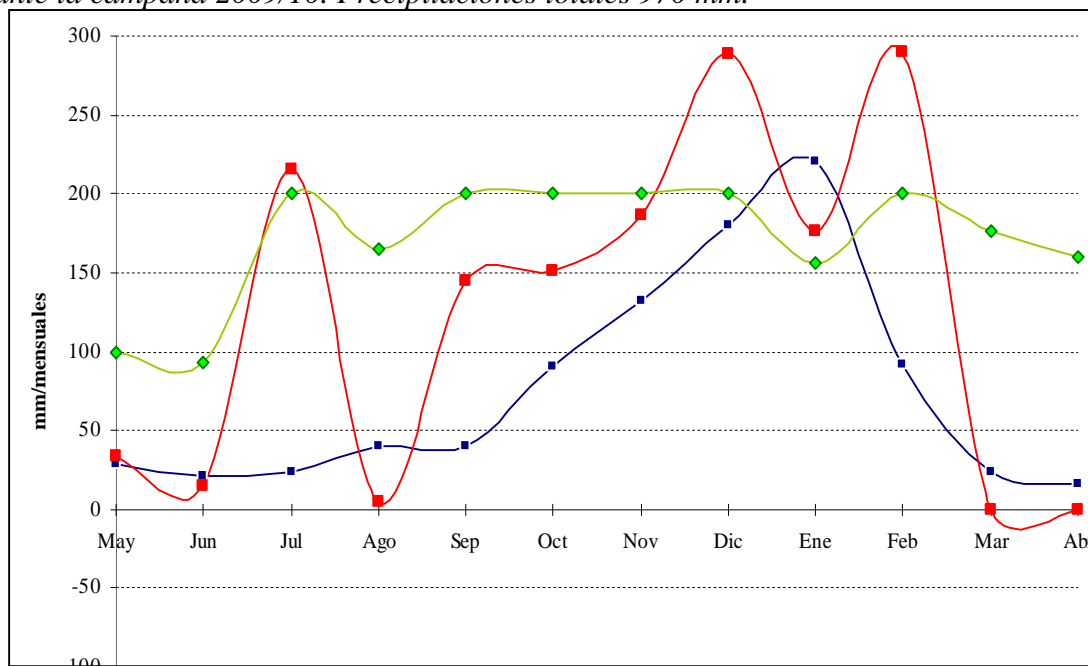


Figura 2: Precipitaciones (rojo), evapotranspiración (azul) y balance hídrico mensual (verde) (mm) en San Antonio de Areco (Bs As), durante la campaña 2009/10.

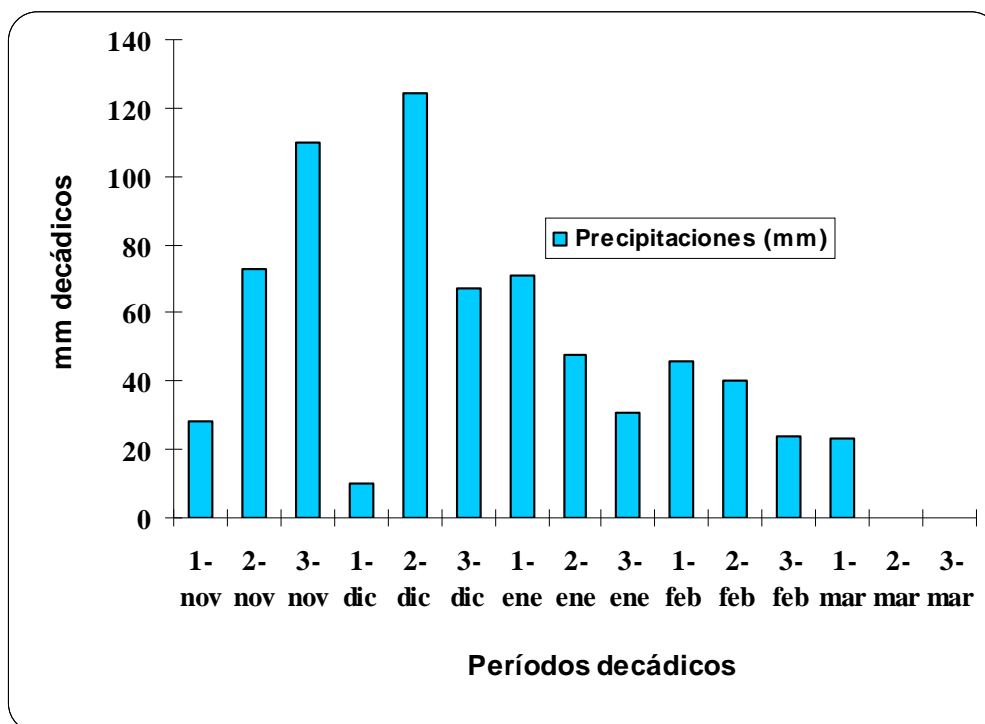


Figura 3: Precipitaciones decádicas (mm) en el sitio experimental. Nueve de Julio (Bs As), durante la campaña 2009/10. Precipitaciones totales durante el ciclo 698 mm.

b) Resultados del ensayo

En las Tabla 3, 4 y 5 se presentan los rendimientos, la diferencia con el testigo y otras variables evaluadas en las localidades de Pergamino, San Antonio de Areco y Nueve de Julio, respectivamente. El comportamiento fue contrastante según el sitio. En la localidad de Pergamino, la fertilización fosforada mejoró la cobertura, biomasa, vigor de planta e intensidad de verde sin diferencias marcadas entre tratamientos (Tabla 3). Las diferencias de rendimiento entre tratamiento fueron significativas ($P=0,006$; $cv=7.6\%$). El máximo se obtuvo con estrategias combinadas que integraron el uso de sólidos más líquidos o roca fosfórica más líquidos (Tabla 3). La roca o el fertilizante líquido sólo tuvieron escasa respuesta y, por el contrario, el rendimiento máximo se obtuvo con la combinación de sólidos solubles (SPT) más fertilizante líquido (T8).

En San Antonio de Areco, las diferencias de rendimiento no fueron significativas ($P=0,639$). Aún con esta salvedad, los tratamientos ensayados permitieron elevar los rendimientos en alrededor de un 10 % (Tabla 4) a excepción de la roca fosfórica que, puesta de manera aislada, no mejoró el rendimiento ni otros parámetros de cultivo a causa de su baja solubilidad. Las mejores estrategias combinaron la aplicación de roca fosfórica más el fertilizante líquido a la dosis de al menos 100 lha^{-1} . En general, este buen comportamiento guardó relación con una elevada acumulación de biomasa en estadíos tempranos y con alto NG.

En Nueve de Julio, aún cuando el nivel de P inicial fue adecuado se determinaron aumentos significativos en los rendimientos, que fueron de mayor magnitud que en SA de Areco (un 26,4 % en promedio). Todos los tratamientos fertilizados superaron los rendimientos del testigo pero no se hallaron diferencias entre sí. Los mayores incrementos correspondieron a la combinación de sólidos y líquidos en dosis elevadas (Tabla 5). Como sucediera en Pergamino, el tratamiento de máxima correspondió a T9, que reunió el uso conjunto de SPT + F21 100 lha^{-1} . Esta combinación podría resultar adecuada para compatibilizar una elevada eficiencia de uso de P con un balance adecuado del nutriente en el suelo.

Tabla 3: Índice de verdor (Spad), rendimiento de grano (kg ha^{-1}), número (NG), peso de los granos y diferencia de rendimiento con el testigo no fertilizado con fósforo (kg ha^{-1}). Comparación de fuentes fosforadas líquidas en Maíz. Pergamino, BsAs. Campaña 2009/10.

Nº	Tratamiento	Cobertura R2	Biomasa V10 (kg ha^{-1})	Rendimientos (kg ha^{-1})	Diferencia con Testigo P0	Spad (g m^{-2})	Vigor de planta Vt (1-5)
T1	P0 N0	83,8	1740	13708 cd		45,4	3,6
T2	F21 100 l/ha	87,4	2055	13788 cd	+ 80	54,5	3,6
T3	Roca fosfórica 100 kg/ha	87,5	1965	13825 bcd	+ 117	53,5	4,1
T4	Roca fosfórica 100 kg/ha + F21 50 l/ha	87,1	2055	13900 bc	+ 192	54,3	4,0
T5	Roca fosfórica 100 kg/ha + F21 100 l/ha	87,2	2160	15300 abc	+ 1592	55,4	4,1
T6	Roca fosfórica 100 kg/ha + F21 150 l/ha	85,8	1875	14042 abc	+ 334	56,2	3,9
T7	Roca fosfórica 100 kg/ha + F21 200 l/ha	87,9	2055	15392 ab	+ 1684	54,5	4,1
T8	SPT 100 kg/ha + F21 100 l/ha	87,3	2055	15613 a	+ 1905	54,6	3,7
T9	100 kg/ha de SPT en la línea	89,0	2325	14213 abc	+ 505	53,7	4,0
	Sign est. (P)			0,006			
	CV (%)			7,6%			

Tabla 4: Número de espigas, rendimiento de grano (kg ha^{-1}) y diferencia con el testigo no fertilizado con fósforo. Comparación de fuentes fosforadas líquidas en Maíz. San Antonio de Areco, BsAs. Campaña 2009/10.

Nº	Tratamiento	Cobertura R2	Biomasa V6 (kg ha^{-1})	Rendimientos (kg ha^{-1})	Diferencia con Testigo P0	NG (g m^{-2})	P1000g (gramos)
T1	P0 N0	95,3	607	9452		3969	250
T2	F21 100 l/ha	96,4	570	10152	+700	4145	245
T3	Roca fosfórica 100 kg/ha	97,6	570	9505	+53	3976	243
T4	Roca fosfórica 100 kg/ha + F21 50 l/ha	96,5	633	10276	+824	4111	238
T5	Roca fosfórica 100 kg/ha + F21 100 l/ha	94,7	653	10490	+1038	3896	269
T6	Roca fosfórica 100 kg/ha + F21 150 l/ha	95,9	588	10362	+910	4287	242
T7	Roca fosfórica 100 kg/ha + F21 200 l/ha	95,1	638	10448	+996	4186	250
T8	SPT 100 kg/ha + F21 100 l/ha	94,9	631	10110	+658	4516	224
T9	100 kg/ha de SPT en la línea	95,7	605	9762	+310	4357	224
	Sign est. (P)			0,639			
	CV (%)			7,8 %			

Tabla 5: Rendimiento de grano (kg ha^{-1}) y diferencia por el testigo no fertilizado con fósforo (kg ha^{-1}). Comparación de fuentes fosforadas líquidas en Maíz. Nueve de Julio, BsAs. Campaña 2009/10.

Nº	Tratamiento	Rendimientos (kg ha^{-1})	Diferencia con Testigo P0 (kg ha^{-1}) (Tn-T1)
T1	P0 N0	11140 C	
T2	F21 100 l/ha	13878 AB	+2738
T3	Roca fosfórica 100 kg/ha	13538 B	+2398
T4	Roca fosfórica 100 kg/ha + F21 50 l/ha	13928 AB	+2788
T5	Roca fosfórica 100 kg/ha + F21 100 l/ha	13880 AB	+2740
T6	Roca fosfórica 100 kg/ha + F21 150 l/ha	14370 AB	+3230
T7	Roca fosfórica 100 kg/ha + F21 200 l/ha	14441 AB	+3301
T8	SPT 100 kg/ha + F21 100 l/ha	14775 A	+3635
T9	100 kg/ha de SPT en la línea	13862 AB	+2722
	Sign est. (P)	0,001	
	CV (%)	5,6 %	

En la Tabla 6 se presenta el rendimiento relativo (RR) de cada tratamiento, calculado como **RR Tn= Rendimiento Tn / Rendimiento T1 x 100**. De esta manera, se pueden promediar los rendimientos de las tres localidades, asignando igual peso a cada sitio independientemente de su rendimiento absoluto. La respuesta a la fertilización fosforada como práctica fue del 11,7 %. Todos los tratamientos mostraron ventajas con relación al testigo, aún la roca aunque en menor magnitud con relación al resto. Con pequeñas diferencias sobre el resto, los tratamientos T8 (SPT 100 + F2L 100) y T7 (Rf 100 + F2L 200) fueron los de mejor comportamiento. Estos tuvieron en común aportar una dosis alta de P.

Tabla 6: *Rendimiento relativo al testigo en las localidades de Pergamino, San Antonio de Areco y Nueve de Julio. A partir de estas localidades, se calculó el índice promedio. Comparación de fuentes fosforadas líquidas en Maíz. Campaña 2009/10.*

Nº	Tratamiento	Pergamino	SA de Areco	Nueve de Julio	Índice Promedio
T1	P0 N0	100,0	100,0	100,0	100,0
T2	F2l 100 l/ha	100,6	107,4	124,6	110,9
T3	Roca fosfórica 100 kg/ha	100,9	100,6	121,5	107,6
T4	Roca fosfórica 100 kg/ha + F2l 50 l/ha	101,4	108,7	125,0	111,7
T5	Roca fosfórica 100 kg/ha + F2l 100 l/ha	111,6	111,0	124,6	115,7
T6	Roca fosfórica 100 kg/ha + F2l 150 l/ha	102,4	109,6	129,0	113,7
T7	Roca fosfórica 100 kg/ha + F2l 200 l/ha	112,3	110,5	129,6	117,5
T8	SPT 100 kg/ha + F2l 100 l/ha	113,9	107,0	132,6	117,8
T9	100 kg/ha de SPT en la línea	103,7	103,3	124,4	110,5

Conclusiones:

*El ciclo climático fue muy favorable y permitió la expresión de una importante respuesta a la fertilización fosforada.

*La diferencia de rendimiento con el testigo alcanzó un 11,7 %, promedio de todos los tratamientos fertilizados en los tres ensayos.

* La mejor performance se obtuvo con estrategias integrales de uso de sólidos y líquidos, que sumadas realizaron un adecuado aporte de P.

* La fuente líquida evaluada permitió incrementar los rendimientos y mejorar parámetros morfológicos y fisiológicos del cultivo, mostrando buena aptitud para su uso como fertilizante fosforado en maíz. Respecto de la dosis, por su grado debería optarse por aquellas que permiten obtener rendimientos elevados pero a la vez no tornar excesivamente deficitario el balance del nutriente en el suelo.