

Evaluación de diferentes dosis y momentos de aplicación de un fertilizante foliar compuesto por macro y micronutrientes en el cultivo de Maíz

Ings. Agrs. Gustavo N. Ferraris⁽¹⁾, Lucrecia A. Couretot⁽¹⁾ y Juan C. Ponsa⁽²⁾
Proyecto Regional Agrícola, Area de Desarrollo Rural INTA EEA Pergamino

La fertilización del cultivo de maíz es una práctica común entre los productores. El deterioro en la fertilidad de los suelos de la región pampeana y el potencial de respuesta al agregado de nutrientes de la especie han determinado que habitualmente se recurra a la suplementación con Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Azufre (S). Sin embargo, existen otros elementos que, aunque son esenciales para el crecimiento y el rendimiento del cultivo, generalmente no son tenidos en cuenta en los esquemas de fertilización. Por ser requerido en menores dosis que los nutrientes principales, estos elementos han sido denominados meso y micronutrientes. En la Tabla 1 se mencionan las necesidades nutricionales de macro, meso y micronutrientes del cultivo de Maíz, así como la fracción del total absorbido que es exportada con los granos (índice de cosecha).

Tabla 1: Necesidades nutricionales y fracción exportada con los granos (Índice de cosecha del nutriente) por tonelada de grano en el cultivo de Maíz (García, 2000).

Nutriente	Necesidad kg/ha	Índice de cosecha
Fósforo	4	0,75
Azufre	4	0,45
Potasio	19	0,21
Calcio	3	0,07
Magnesio	3	0,28
	g/ha	
Cloro	440	0,06
Boro	20	0,25
Hierro	125	0,36
Zinc	53	0,50
Cobre	13	0,29
Manganeso	11	0,17
Molibdeno	0,9	0,63

Aunque los nutrientes varían en cuanto a su dinámica de absorción, es aceptado que la fertilización con macro y mesonutrientes debe realizarse agregando estos elementos al suelo, debido a que las elevadas cantidades en que son requeridos imposibilitan otras formas de aplicación. En cambio, los micronutrientes son absorbidos en forma más rápida y eficiente cuando son aplicados por vía foliar (Barber, 1984), ya que varios de ellos como el Hierro (Fe), Zinc (Zn), Cobre (Cu) y aún el Molibdeno (Mo) y Cobalto (Co) son frecuentemente retenidos y se tornan insolubles si se los aplica al suelo (Mortvedt and Cox., 1985; Kochian et al., 1991; Zhang et al., 1991; Tisdalle et al., 1993)

Diversos trabajos han informado incrementos de rendimiento por la aplicación fertilizantes por vía foliar (Ventimiglia et al, 2000; Ferraris y Couretot, 2004; 2005). El objetivo de este trabajo fue evaluar la respuesta a la aplicación de un fertilizante foliar compuesto por macro y micronutrientes en los cultivos de maíz y maíz pisingallo, y comparar diferentes dosis y momentos de aplicación.

1 Desarrollo Rural INTA EEA Pergamino

2 Protección Vegetal INTA EEA Pergamino

Materiales y métodos:

Los ensayos fueron realizados en Pergamino, sobre un suelo serie Urquiza en el caso de maíz, y Pergamino en maíz pisingallo, ambos Argiudoles típicos. La implantación del cultivo se realizó en siembra directa, siendo soja de primera el antecesor. Se sembraron los híbridos Nidera Ax 882 en maíz y Vogel VyP 331 en pisingallo, los días 12 de setiembre y 15 de Octubre, respectivamente. Al momento de la siembra se realizaron análisis químicos de suelo, cuyos resultados se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2: Análisis de suelo al momento de la siembra

Sitio	prof	pH	Conductividad (Ds/m)	Materia Orgánica	Ntotal	Fósforo disponible	N-Nitratos	S-Sulfatos
		agua 1:2,5		%		ppm	ppm	ppm
Maíz	0-20	5,8	0,295	2,24	0,110	9	10	5
Maíz pisingallo	0-20	6,0	0,168	2,28	0,105	19	8	5,8

La fertilización de base consistió en la aplicación de 150 kg ha^{-1} de fosfato monoamónico (12-23-0) a la siembra y $82 \text{ kg de N ha}^{-1}$ en el estado V6 en maíz; y de 80 kg ha^{-1} de fosfato monoamónico (12-23-0) a la siembra y $75 \text{ kg de N} + 9 \text{ kg S ha}^{-1}$ en V6 en maíz pisingallo.

El diseño correspondió en ambos experimentos al de bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. Se aplicó el fertilizante foliar "Fertideg", el cual presenta la siguiente composición: N 10,7 %, P 2,3 %, K 6,5 %, Mg 0,17 %, Fe 0,014 %, B 0,14 %, Mn 0,0012 %, Cu 0,0024 %, Zn 0,0008 %, Co 0,0002 %, Mo 0,0001%. En el caso del maíz pisingallo, en uno de los tratamientos se utilizó el fungicida Sphere (Trifloxystrobín 18,75 % + Cyproconazole 8 %) en mezcla de tanque con el fertilizante foliar.

Los tratamientos consistieron en la evaluación de diferentes dosis y momentos de aplicación del fertilizante antes descripto (Tablas 3 y 4).

Tabla 3: Tratamientos evaluados. Fertilización foliar en maíz, campaña 2004/05

Tratamiento	Dosis	Estadío de aplicación (*)
T0	Testigo	
T1	6 l/ha	V6
T2	8 l/ha	V6
T3	10 l/ha	V6
T4	6 l/ha	V8
T5	8 l/ha	V8
T6	10 l/ha	V8
T7	6 l/ha	R1
T8	8 l/ha	R1
T9	10 l/ha	R1
T10	4 + 4 l/ha	V6 + V8
T11	4 + 4 l/ha	V6 + R1
T12	4 + 4 l/ha	V8 + R1

Tabla 4: *Tratamientos evaluados. Fertilización foliar en maíz pisingallo, campaña 2004/05*

Tratamiento	Dosis	Estadío de Aplicación (*)
T0	Testigo	
T1	6 + 4 l/ha + fungicida	V6 + R1
T2	8 l/ha	V6
T3	10 l/ha	V6
T4	6 l/ha	R1
T5	8 l/ha	R1
T6	10 l/ha	R1
T7	4 + 4 l/ha	V6 + R1

Los estadíos corresponden a la escala de Ritchie and Hanway (1993)

Las aplicaciones fueron realizadas con mochila manual de bombeo continuo. La misma contaba con un botallón aplicador de 150 cm provisto de 3 picos a 50 cm y pastillas SS8003 que permiten asperjar 160 l ha⁻¹. El estado del cultivo y las condiciones ambientales al momento de la aplicación se describen en las Tablas 5 y 6, respectivamente.

Tabla 5: *Estado del cultivo al momento de la aplicación.*

	Momento de aplicación	Fecha de aplicación	Estado del cultivo	Altura (cm)	Cobertura (%)
Maíz	Aplicación V6	19-noviembre	V6-V7	70	40
	Aplicación V9	30-noviembre	V9	115	70
	Aplicación R1	17-diciembre	R1	250	95
Maíz pisingallo	Aplicación V6	28-noviembre	V6	35	35
	Aplicación R1	21-diciembre	R1	190	85

Tabla 6: *Condiciones ambientales al momento de la aplicación.*

	Momento de aplicación	Humedad de suelo (0-2 cm)	Humedad de suelo (3-18 cm)	T° aire (°C)	Humedad relativa (%)	Velocidad. viento (km h ⁻¹)	Nubosidad	Ppciones 24 hs da
Maíz	V6	seco	húmedo	25	54	EESE 5 km	3	0
	V9	seco	húmedo	24,4	63	NE 5 km	1	0
	R1	seco	húmedo	22	60	NNENE 12 km	4	0
Maíz pisingallo	V6	seco	húmedo	16,8	68	EESE 9 km	9	0
	R1	seco	húmedo	26,5	59	NE 10,7 km	2	0

Escala de nubosidad: 0 completamente despejado, 9 completamente cubierto da: después de aplicación.

Entre las determinaciones efectuadas, se evaluó el rendimiento y sus componentes, número y peso de los granos. 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.

Resultados y discusión:

Maíz

En la Figura 1 se presentan las precipitaciones y la evapotranspiración real del cultivo expresada en mm. En la Figura 2 por su parte, se muestra el balance hídrico en base al agua útil almacenada. Se considera la ocurrencia de déficit hídrico cuando la disponibilidad de agua útil desciende por debajo del 50 %. Se observa que el cultivo transcurrió la mayor parte del período crítico para la definición del rendimiento con buenas condiciones de humedad en el perfil, teniendo en cuenta que la floración femenina ocurrió el 15 de diciembre, y que recién hacia el 5 de enero la ocurrencia de déficit se profundizó y se mantuvo sostenida en el tiempo. Esto contribuye a explicar la obtención de muy buenos rendimientos (Tabla 7).

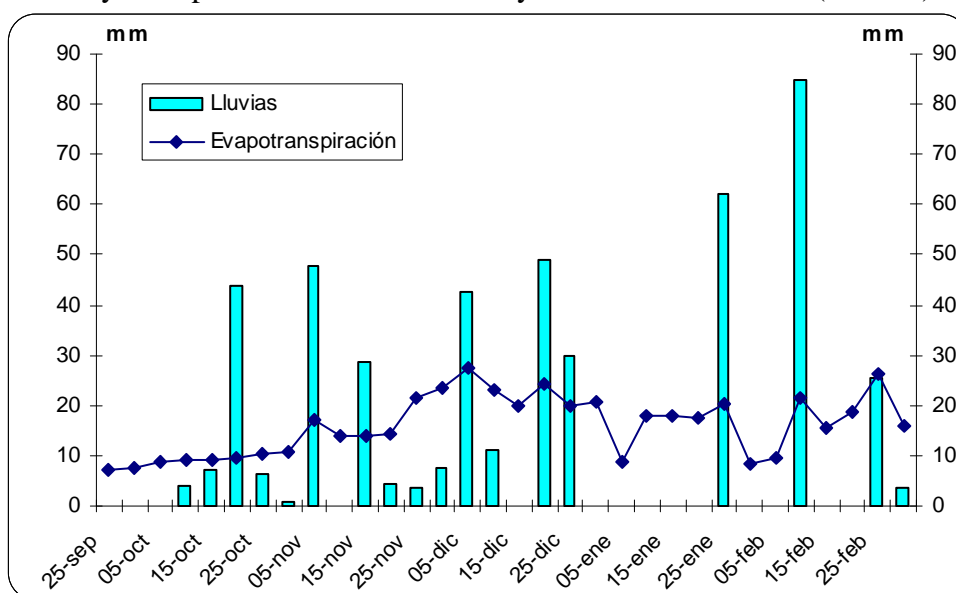


Figura 1: Lluvias y evapotranspiración real del cultivo desde siembra a cosecha. Ambas variables son expresadas en mm acumulados en períodos de 5 días.

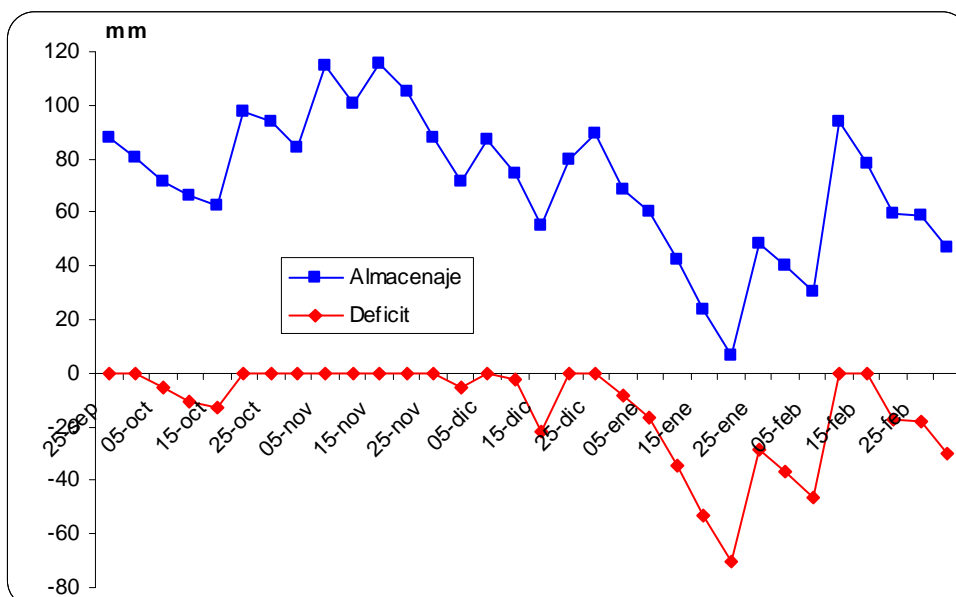


Figura 2: Almacenaje de agua y déficit hídrico desde siembra a cosecha. Se considera la ocurrencia de déficit hídrico cuando la disponibilidad de agua útil desciende por debajo del 50 %. Ambas variables son expresadas en mm acumulados en períodos de 5 días.

En la Tabla 7 se presentan los rendimientos de grano de los distintos tratamientos y su diferencia respecto al testigo.

Tabla 7: Índice de verdor, Rendimientos de grano (kg ha^{-1}) y diferencia de los tratamientos fertilizados respecto al testigo. Evaluación de fertilización foliar en Maíz.

Tratamiento	Dosis	Estadio de aplicación (*)	Índice de Verdor (unidades Spad)	Rendimientos kg ha^{-1}	Diferencia respecto al testigo kg ha^{-1}
T0			46,0	8688,7	
T1	6 l/ha	V6	50,4	9017,0	326
T2	8 l/ha	V6	46,7	9894,6	1312
T3	10 l/ha	V6	45,6	9706,6	1050
T4	6 l/ha	V8	42,2	9380,2	675
T5	8 l/ha	V8	44,8	9203,0	555
T6	10 l/ha	V8	44,7	9322,5	634
T7	6 l/ha	R1	42,7	9371,1	709
T8	8 l/ha	R1	43,9	9832,4	1222
T9	10 l/ha	R1	46,5	10295,5	1709
T10	4 + 4 l/ha	V6 + V8	43,8	9670,3	1042
T11	4 + 4 l/ha	V6 + R1	46,0	10287,4	1693
T12	4 + 4 l/ha	V8 + R1	45,2	9606,5	995
				P=0,57 n.s.	
				CV=9,4%	

Desde el punto de vista estadístico, no se determinaron diferencias entre tratamientos, ($P=0,57$), aunque agrónomicamente varias de estas diferencias fueron de una magnitud considerable. Los incrementos de rendimiento oscilaron entre 326 y 1709 kg ha^{-1} según el tratamiento, representando un aumento de entre el 4 y el 18 % sobre el testigo. Los tratamientos fertilizados superaron al testigo en número de granos, sin modificaciones sustanciales en su peso (Figura 3). No se observaron diferencias visuales entre tratamientos que permitiera vaticinar diferencias, así como tampoco a través de mediciones de índice de verdor con el medidor de clorofila. El medidor de clorofila Minolta Spad 502 permite, a través de una rápida lectura "in situ", evaluar la intensidad de verdor en la hoja, y con ello indirectamente y en forma no destructiva el estado nutricional del cultivo (Echeverría, 2000).

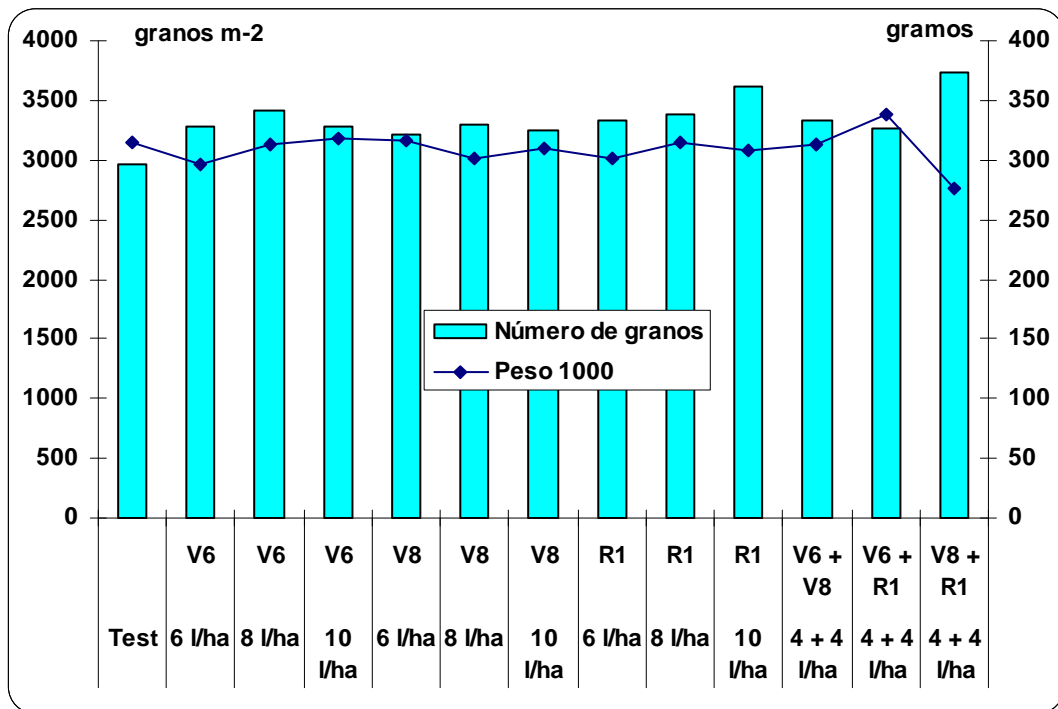


Figura 3: Componentes de rendimiento: número (granos m⁻²) y peso de granos (g x 1000) producto de la aplicación de diferentes tratamientos de fertilización foliar.

En cuanto a dosis de aplicación, la utilización de 6 l ha⁻¹ ya permitió alcanzar niveles de rendimiento cercanos al máximo, y considerablemente superiores al testigo (Figura 4). La aplicación dividida también arrojó buenos resultados, a punto tal de ser la combinación de máximo rendimiento, seguida muy de cerca por la dosis de 10 l ha⁻¹. De la misma manera, la aplicación tardía (en R1) o dividida fueron las estrategias con mejores resultados en este ensayo (Figura 5).

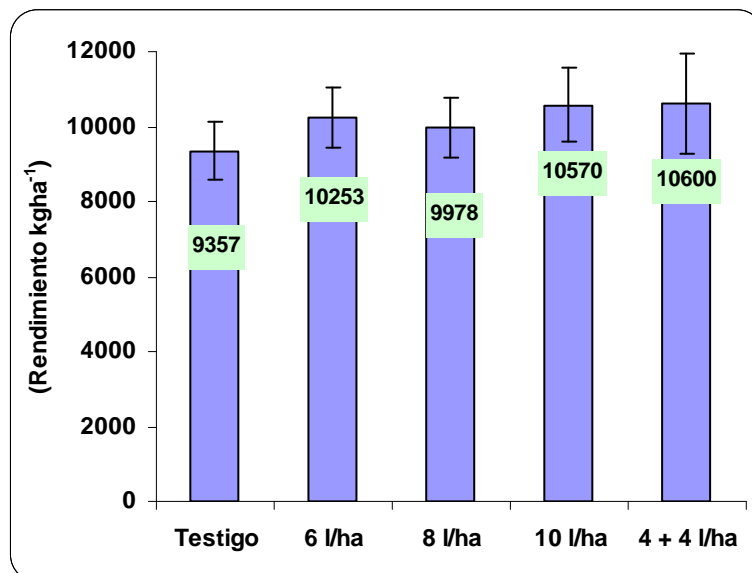


Figura 4: Rendimientos de grano para diferentes dosis de fertilizante foliar, promedio de tres momentos de aplicación. Las barras de error representan la desviación estándar respecto de la media.

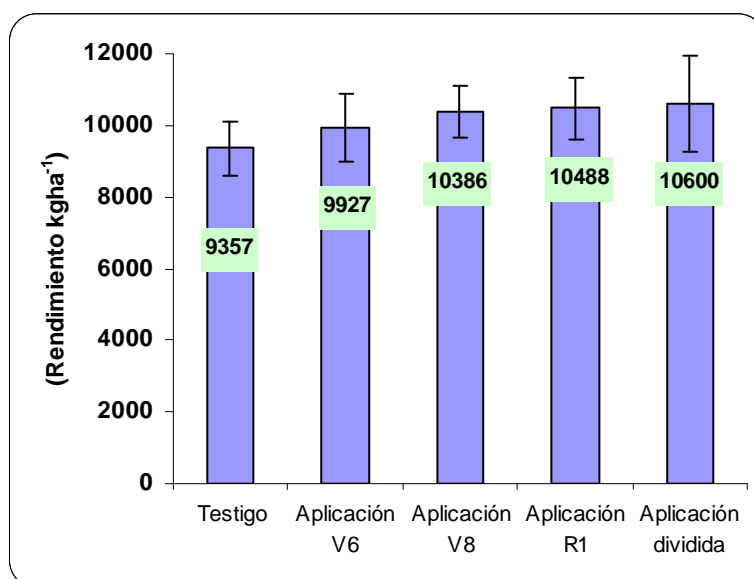


Figura 5: Rendimientos de grano para diferentes momentos de aplicación de fertilizante foliar, promedio de tres dosis. Las barras de error representan la desviación estándar respecto de la media.

Maíz pisingallo

En la Tabla 8 se presentan los rendimientos de maíz pisingallo, y las diferencias de los tratamientos fertilizados con respecto al testigo.

Tabla 8: Índice de verdor, rendimientos de grano (kg ha⁻¹) y diferencia de los tratamientos fertilizados respecto al testigo. Evaluación de fertilización foliar en maíz.

Tratamiento	Dosis	Estadio de aplicación (*)	Índice de Verdor (unidades Spad)	Rendimientos kg ha ⁻¹	Diferencia respecto al testigo kg ha ⁻¹
T0	Testigo		48,5	4449,6	
T1	6 + 4 l/ha + fungicida	V6 + R1	52,4	4943,3	494
T2	8 l/ha	V6	52,9	4806,0	356
T3	10 l/ha	V6	51,5	5339,8	890
T4	6 l/ha	R1	50,6	4772,3	323
T5	8 l/ha	R1	51,0	4575,3	126
T6	10 l/ha	R1	49,9	4791,7	342
T7	4 + 4 l/ha	V6 + R1	53,3	4848,7	399
			P=0,67	P=0,18	
			CV=6,6 %	CV=7 %	

Como sucediera con el maíz convencional, se observaron incrementos de rendimientos que, sin llegar a ser estadísticamente significativos, permitieron obtener entre 126 y 890 kg ha⁻¹ adicionales de grano, lo cual representa entre 3 y 20 % por sobre el testigo. Estas diferencias estuvieron determinadas, según los tratamientos, por leves incrementos en el número y peso de los granos (Figura 6).

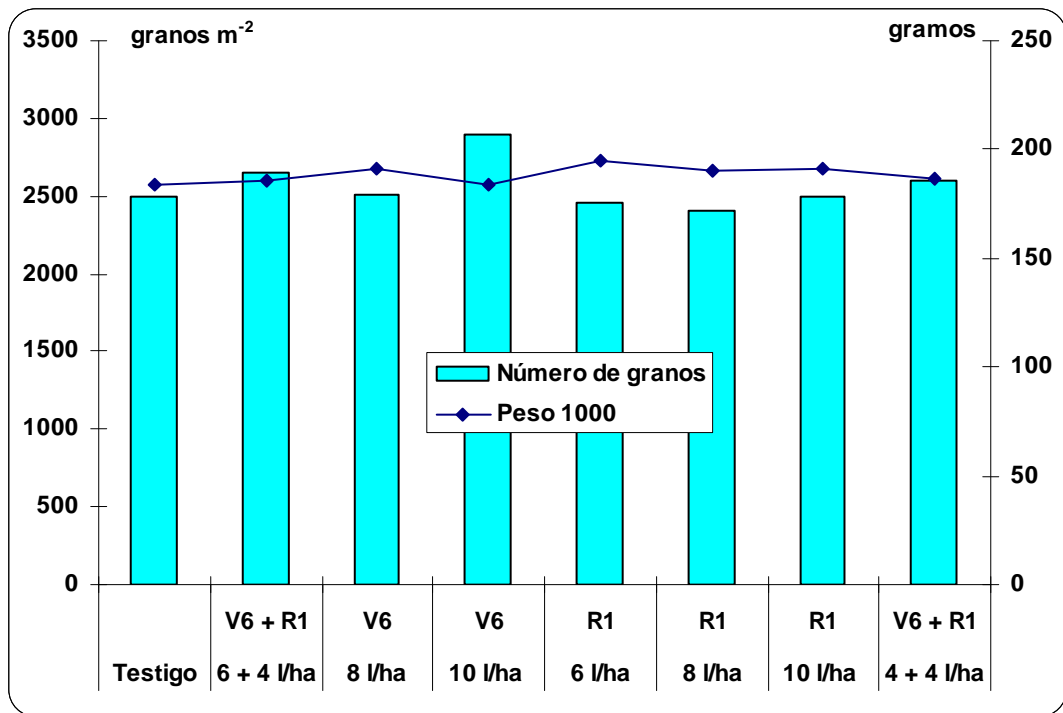


Figura 6: Componentes de rendimiento: número (granos m⁻²) y peso de granos (g x 1000) producto de la aplicación de diferentes tratamientos de fertilización foliar en maíz pisingallo.

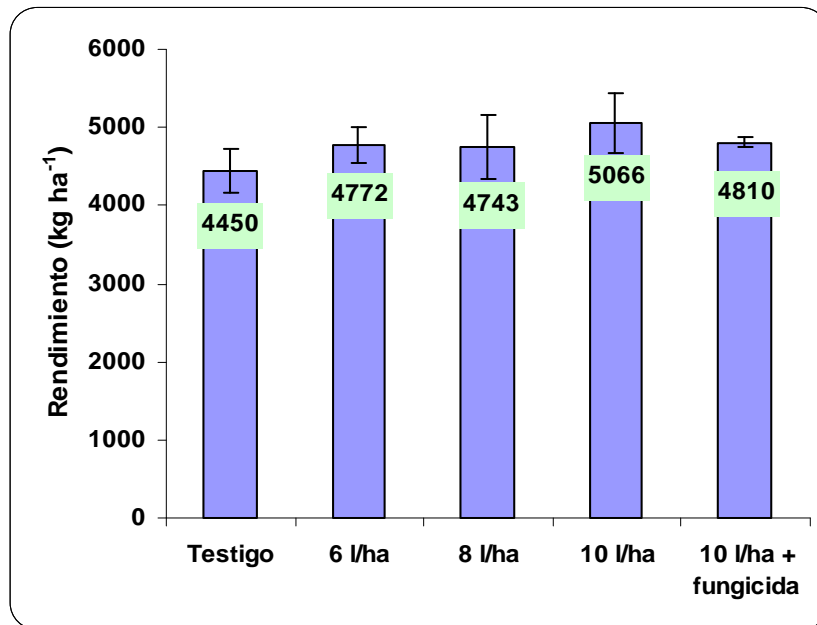


Figura 7: Rendimientos de grano para diferentes dosis de fertilizante foliar, promedio de dos momentos de aplicación. Las barras de error representan la desviación estándar respecto de la media.

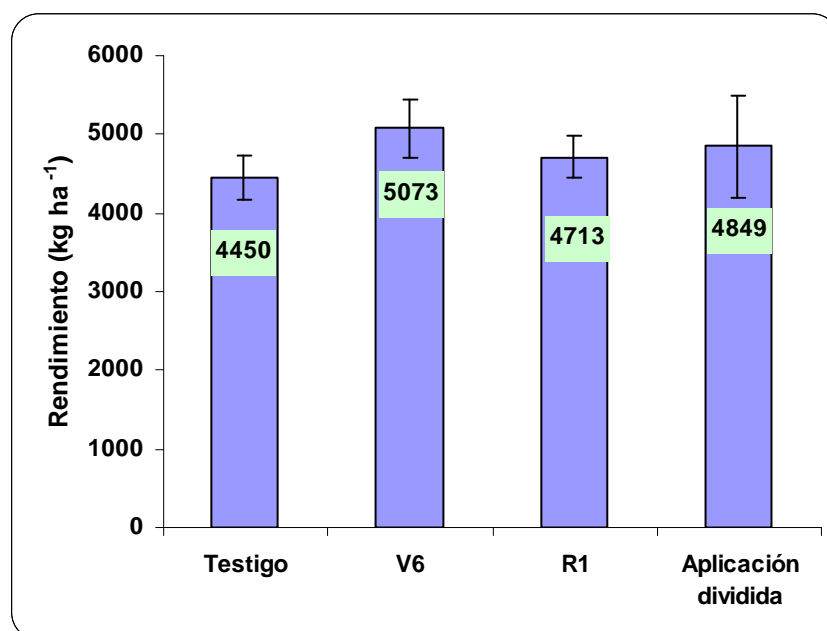


Figura 8: Rendimientos de grano para diferentes momentos de aplicación de fertilizante foliar, promedio de diferentes dosis. Las barras de error representan la desviación estándar respecto de la media.

En coincidencia con lo observado en maíz, la dosis máxima de 10 l ha⁻¹ constituyó la alternativa de mejor rendimiento (Figura 7). La aplicación de un fungicida para el control de roya (*Puccinia sorghi*) en mezcla de tanque con el fertilizante fue compatible desde el punto de vista de la formulación, pero no representó mejoras en el rendimiento.

En cuanto al momento de aplicación resulta de interés observar que, mientras en maíz convencional la aplicación en R1 fue la alternativa de mayor rendimiento, en pisingallo el mejor desempeño correspondió a la aplicación temprana, en V6 (Figura 8). Esto podría estar dado por la capacidad de crecimiento de ambas especies. Mientras en maíz el rendimiento está limitado por los destinos, es decir el número de granos que logran ser cuajados y se desarrollan, el maíz pisingallo, con una estructura de planta más pequeña, tiene limitaciones de fuente, esto es, de área foliar suficiente para alimentar los granos. La suplementación con fertilizante foliar en forma temprana en maíz pisingallo y tardía en maíz convencional, habría sido de utilidad para superar esas limitaciones.

Análisis económico

El análisis económico (Tabla 10) fue realizado con un precio de grano de 62 dólares la tonelada. Se considero el costo del fertilizante foliar Fertideg a un precio de 2.5 (U\$\$/lt), de la aplicaron terrestre a 2.7 (U\$\$/ha) y de la aplicación aérea de 6.5 (U\$\$/ha).

Tabla 10: Análisis Económico Fertilización foliar en maíz, campaña 2004/05

Tratamiento	Dosis	Estadío de aplicación	Ingreso adicional (U\$/ha.)	Costo de la técnica (U\$/ha.)	Beneficio (U\$/ha.)	U\$Sgan./U\$S inv
T0						
T1	6 l/ha	V6	20,32	17,7	2,62	0,15
T2	8 l/ha	V6	81,73	22,7	59,03	2,60
T3	10 l/ha	V6	65,41	27,7	37,71	1,36
T4	6 l/ha	V8	42,05	17,7	24,35	1,38
T5	8 l/ha	V8	34,57	22,7	11,87	0,52
T6	10 l/ha	V8	39,49	27,7	11,79	0,43
T7	6 l/ha	R1	44,17	21,5	22,67	1,05
T8	8 l/ha	R1	76,13	26,5	49,63	1,87
T9	10 l/ha	R1	106,47	31,5	74,97	2,38
T10	4 + 4 l/ha	V6 + V8	64,91	20,4	44,51	2,18
T11	4 + 4 l/ha	V6 + R1	105	24,2	80,8	3,34
T12	4 + 4 l/ha	V8 + R1	61,98	24,2	37,78	1,56

Todos los tratamientos con fertilización foliar independientemente de la dosis y momento de aplicación superan al testigo desde 2.62 a 80.8 (U\$/ha). El mayor beneficio económico se obtuvo con el tratamiento 11 en el cual la aplicación en V6 y R1, arrojaría los mejores resultados.

En maíz pisingallo, el análisis económico (Tabla 11) fue realizado con un precio de grano de 150 dólares la tonelada. Se considero el costo del fertilizantes foliar a un precio de 2.5 (U\$/lt), de la aplicación terrestre a 2.7 (U\$/ha) y de la aplicación aérea de 6.5 (U\$/ha).

Tabla 11 Análisis económico. Fertilización foliar en maíz pisingallo, campaña 2004/05

Tratamiento	Dosis	Estadío de aplicación	Ingreso adicional (U\$/ha.)	Costo de la técnica (U\$/ha.)	Beneficio (U\$/ha.)	U\$Sgan./U\$S inv
T0	testigo					
T1	6 + 4 l/ha	V6 + R1	71,16	34,2	36,96	1,081
T2	8l/ha	V6	50,73	22,7	28,03	1,235
T3	10 l/ha	V6	126	27,7	98,3	3,549
T4	6 l/ha	R1	46,02	21,5	24,52	1,140
T5	8 l/ha	R1	17,95	26,5	-8,55	-0,323
T6	10 l/ha	R1	48,73	31,5	17,23	0,547
T7	4 + 4 l/ha	V6+ R1	56,85	29,2	27,65	0,947

Todos los tratamientos con fertilización foliar independientemente de la dosis y momento de aplicación superan al testigo desde 17.23 a 98.3 (U\$/ha), a excepción del tratamiento 5 que arrojo resultados negativos. El mayor beneficio económico se obtuvo con el tratamiento 3 con una sola aplicación en el estadio V6.

Por lo expresado en las Tabla 10 y 11, podemos considerar a la fertilización foliar como una practica promisoría que contribuiría a aumentar los beneficios económicos del cultivo de maíz.

Por las características del trabajo y los resultados obtenidos es necesario continuar con los mismos a fin de obtener mayor cantidad de datos que permitan generar recomendaciones económicas altamente confiables.

Conclusiones:

Las diferencias de rendimiento observadas como resultado de la aplicación del fertilizante foliar, aunque no fueron estadísticamente significativas, representaron incrementos de entre 326 y 1709 kg ha⁻¹ en maíz, y entre 126 y 890 kg ha⁻¹ en pisingallo según la dosis y el momento de aplicación, lo que representó

un rango de 4 a 18 % en el primer cultivo y de 3 a 20 % en el segundo, respectivamente. Sin grandes variaciones, los mayores rendimientos correspondieron a la dosis más alta (10 l ha^{-1}). En el caso de maíz, los rendimientos más elevados se obtuvieron con la aplicación en el estadio reproductivo o en forma dividida, probablemente asociado a la posibilidad de una mayor fijación de granos durante el período crítico. Precisamente, los tratamientos fertilizados mostraron incrementos en el número de granos, si se los compara con el testigo. En maíz pisingallo se obtuvieron los rendimientos máximos por la aplicación de fertilizante en un estadio temprano como V6, lo que podría atribuirse a un incremento del área foliar y en la capacidad para producir fotoasimilados por parte del cultivo.

Desde el punto de vista económico la fertilización foliar arrojó resultados que oscilan desde – 8.55 a 98.3 (U\$S/ha) en maíz pisingallo y desde 2.62 a 80.8 (U\$S/ha) en maíz.

Bibliografía:

- Barber, S. 1984. Soil nutrient bioavailability: A mechanistic approach. John Willey & Sons, New York.
- Echeverría, H. E. 2000. Monitoreo de la fertilidad en el sistema suelo-planta. pp 29-30. En: Jornada de actualización técnica para profesionales "Fertilidad 2000", INPOFOS, Rosario.
- Ferraris, G. y Lucrecia Couretot. 2005. Efecto de la fertilización foliar complementaria sobre el rendimiento de trigo en siembra directa. Ensayos del Proyecto Regional Agrícola. Campaña 2004/05. En Revista de Tecnología Agropecuaria, INTA EEA Pergamino. 9p. (en prensa).
- Ferraris, G. y Lucrecia Couretot. 2004. Evaluación de dos fertilizantes foliares con agregados orgánicos en Soja de Primera. En: Soja. Resultados de Unidades Demostrativas. Proyecto Regional Agrícola, CERBAN. pp 46-52.
- Kochian, L. 1991. Mechanisms of Micronutrient Uptake and Translocation in Plants. Chapter 8, pp 229-296. In: Mortvedt, J. et al., (eds.). Micronutrients in Agriculture, 2nd edition. SSSA Book Series, N°4, Madison, Wisc.
- Mortvedt, J. and F. Cox. 1985. Production, Marketing and Use of Calcium, Magnesium and Micronutrient Fertilizers, pp 455-482. In: O. Engelstad (ed.). Fertilizers Technology and Use. SSSA, Madison, Wisc.
- Ritchie, S. and J. Hanway. 1993. How a Corn Plant Develops. Special Report No. 48. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service Ames, Iowa. www.iastate.edu
- Tisdale, S., W. Nelson, J. Beaton y J. Havlin. 1993. Soil Fertility and Fertilizers, fifth edition. Macmillan, New York, 634 p.
- Ventimiglia, L., H. Carta, y S. Rillo. 2000. Soja: Mejorando el rendimiento con la estimulación. pp 114-121. En: Experimentación en campos de productores. Cosecha gruesa, campaña 1999/00. UEEA 9 de Julio, INTA.
- Zhang, F., V. Römheld and H. Marschner. 1991. Diurnal Rhythm of Release of Phytosiderophores and Uptake Rate of Zinc in Iron-Deficient Wheat.