

NUTRICIÓN DE CULTIVOS DE VERANO

Elaborado por GRUPO TÉCNICO DE FERTILAB

MANEJO DE LA FERTILIZACIÓN EN MAÍZ Y GIRASOL

INTRODUCCIÓN:

Los cultivos de maíz y de girasol ocupan un rol importante en los sistemas de producción agrícola de la región pampeana con una superficie sembrada de 6.0 y 1.3 millones de has, respectivamente (MAGyP, 2014). No obstante, en los últimos 10 años la superficie sembrada con maíz se redujo mientras que la del girasol se han mantenido relativamente constante desde el 2001. Es válido mencionar que el maíz cumple un rol fundamental para la rotación, debido a la gran cantidad de rastrojo, y por ende, de carbono que devuelve al sistema (Studdert & Echeverría, 2000). Por otra parte, el girasol se inserta adecuadamente en la rotación como antecesor de los cultivos de invierno, principalmente en el sur de la Región Pampeana, ya que termina su ciclo antes que los demás cultivos de verano. Esto permite una mayor acumulación de humedad para el trigo y la cebada logrando mayor estabilidad de los rendimientos. El manejo de la nutrición de estos cultivos es un aspecto clave para maximizar los rendimientos, y por ende, realizar un uso eficiente de los recursos. El nitrógeno (N) y el fósforo (P) son los nutrientes que con mayor frecuencia limitan el rendimiento de estos cultivos, sin embargo, en la última década la deficiencia de azufre (S) comenzó a cobrar importancia principalmente en el cultivo de maíz en suelos con prolongada historia agrícola y bajo siembra directa. A modo de ejemplo, para un rendimiento de 10000 kg ha⁻¹ de maíz y en función de los contenidos más frecuentes de nutrientes en grano (Tabla 1), la exportación es de 100-120 kg N, 25-30 kg P y 10-15 kg S ha⁻¹. Para el caso del girasol y considerando un rendimiento de 3000 kg ha⁻¹, los valores más frecuentes de exportación son de 70-80 kg N, 12-15 kg P y de 4-5 kg S ha⁻¹.

Tabla 1. Requerimientos nutricionales (kg de nutriente absorbido para producir una tonelada de grano), extracción (kg de nutriente en una tonelada de grano) e índice de cosecha de nutriente (proporción del total de nutriente absorbido que está presente en el grano) para el cultivo de maíz y girasol.

Nutriente	Requerimiento (kg ton ⁻¹)		Índice de cosecha		Extracción (kg ton ⁻¹)	
	Maíz	Girasol	Maíz	Girasol	Maíz	Girasol
Nitrógeno	18	40	0.70	0.60	12	25
Fósforo	4	7	0.75	0.62	2.5	4.5
Azufre	4	5	0.35	0.45	1.4	2.0
Potasio	20	30	0.20	0.20	4	6
Calcio	3	18	0.07	0.08	0.2	1.5
Magnesio	3	11	0.50	0.30	1.5	3
	g ton ⁻¹				g ton ⁻¹	
Boro	20	65	0.25	0.22	5	14
Cobre	13	20	0.30	0.68	4	14
Hierro	125	260	0.35	0.13	44	34
Manganeso	190	55	0.17	0.25	32	14
Zinc	53	100	0.50	0.48	27	48

Adaptado: Echeverría *et al.* (2014) y Diaz-Zorita (2014).

Por otra parte, respecto al potasio (K), si bien sus requerimientos son similares a los de N, la extracción de dicho nutriente por el grano es mínima debido a que el 80% del K absorbido por el cultivo es devuelto al sistema por los rastrojos. Entre los otros macronutrientes, para el Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) sus requerimientos son bajos y la extracción por el grano es mínima para Ca y mayor para Mg (Tabla 1). En la actualidad, no se han determinado respuestas al agregado de K, Ca, Mg en cultivos de verano, siendo aún elevadas las reservas de K y Ca en suelo. Finalmente, respecto a los micronutrientes, en los últimos años se han determinado respuesta en rendimiento al agregado Zinc, Boro y Cobre particularmente en aquellos suelos que presentan texturas arenosas y/o bajo contenido de materia orgánica.

En ambos cultivos la acumulación de nutrientes en planta se anticipa al crecimiento, siendo para N mayor desde el estadio de 4-6 hojas (V_{4-6}) hasta la floración del cultivo (Figura 1). Para maíz la acumulación del N a floración representa entre el 60-70% del total de N absorbido a madurez fisiológica (Uhart y Andrade, 1995), mientras que para el girasol el porcentaje es del 70-80% (Uhart *et al.*, 1998). Según diferentes autores la removilización del N desde distintos órganos de la planta puede contribuir al N acumulado en grano desde un 20 hasta un 50% para maíz y entre un 40 y 80% para girasol (Andrade *et al.*, 1997; Uhart *et al.*, 1998). Por otra parte, la acumulación de P por ambos cultivos es demorada respecto a N, lo cual se podría explicar porque el P alcanza la superficie radical por difusión, proceso que es favorecido principalmente por la mayor exploración radicular y la temperatura, y también por el contenido de humedad del suelo (Hanway y Olson, 1980). Para el cultivo de maíz, el P acumulado en floración representa entre el 40 y 50% del total absorbido a madurez fisiológica (Andrade *et al.*, 1997), porcentaje inferior al determinado para girasol (60-70% según Berardo *et al.*, 2003, Figura 2). Por otra parte, si bien para S la información es aún escasa, en maíz la acumulación de este nutriente sería demorada respecto a N y P según lo determinado por Pagani *et al.* (2009). El conocimiento de la dinámica de acumulación de los distintos nutrientes por los cultivos es un aspecto clave al momento de definir la estrategia de fertilización, o sea el momento, la fuente y la dosis a utilizar, con el objetivo de maximizar la eficiencia de uso de dichos nutrientes.

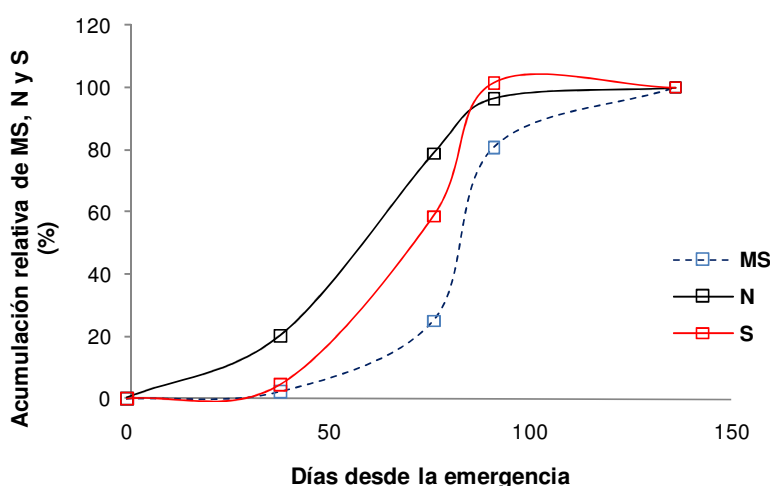


Figura 1. Acumulación relativa de materia seca (MS), nitrógeno (N) y azufre (S) en función de los días desde la emergencia del cultivo de maíz. (Adaptado: Pagani *et al.*, 2009). 100% es 23500, 270 y 26 kg ha⁻¹ de MS, N y S, respectivamente.

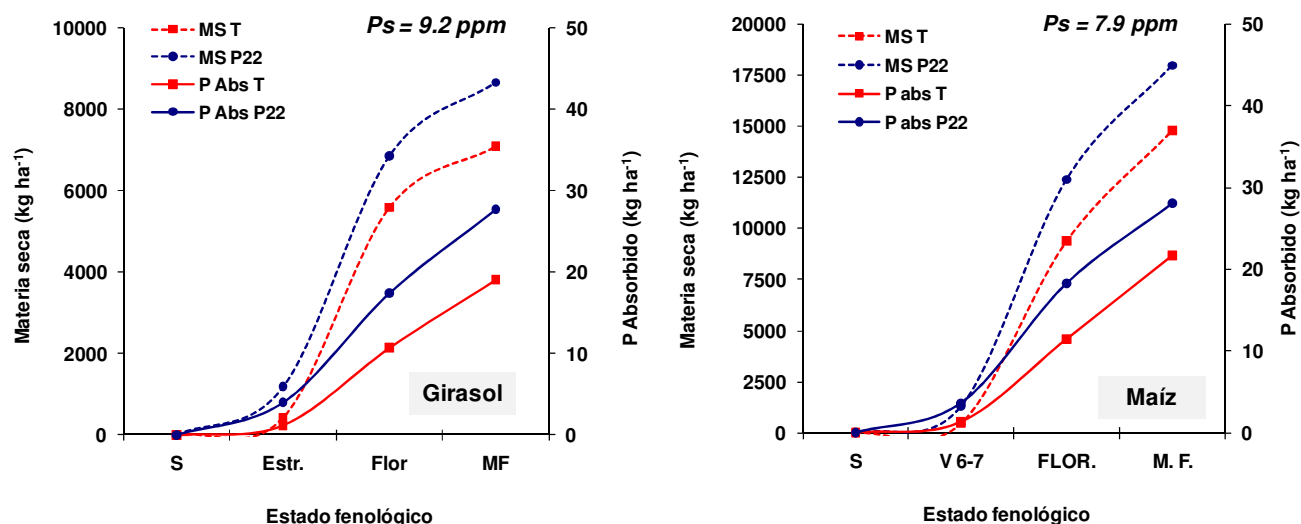


Figura 2. Acumulación de materia seca (MS) y de fósforo (Abs P) en el cultivo de girasol y de maíz para tratamientos testigo (T) y con 22 kg P ha⁻¹, en suelos con 9.2 y 7.9 ppm de P Bray 1, respectivamente (Adaptado: Berardo *et al.*, 2003).

MANEJO DE NITRÓGENO:

Para evaluar la disponibilidad de N se recomienda el muestreo de suelo a la siembra del cultivo en los estratos superficiales (0-20 cm) y subsuperficiales (20-50 ó 20-40 y 40-60 cm). No obstante, en años ó regiones con excesos hídricos durante la pre-siembra del cultivo y/o con bajas temperaturas, es conveniente realizar el muestreo de suelo con posterioridad en el estadio de V₄₋₆. El mismo puede realizarse solo en el estrato de 0-30 cm, no obstante, si se registraron intensas precipitaciones durante el período comprendido entre la siembra y V₄₋₆ se recomienda también el muestreo del estrato subsuperficial.

Existen diferentes metodologías para el diagnóstico de N en maíz y girasol, entre las cuales se puede mencionar el método de balance de N, la determinación de la concentración de N en diferentes órganos de la planta, la curva de dilución, el empleo de índices espectrales, la determinación del contenido de nitrato en pre-siembra y en el estadio V₆ del cultivo (Echeverría *et al.*, 2014). Para el cultivo de maíz, en la zona centro y norte de la región pampeana, se recomienda la determinación del contenido de N-nitrato (N-NO₃⁻) en pre-siembra como método de diagnóstico de N, debido a las escasas lluvias invernales y las mayores temperaturas en relación a la zona sur, lo cual permite la implementación de dicho método con bastante precisión y confiabilidad. Según la potencialidad del ambiente, varios autores han reportado que disponibilidades de N (N suelo + fertilizante) desde 130 hasta 170 kg ha⁻¹ son necesarias para alcanzar rendimientos que permiten maximizar el beneficio económico de la fertilización nitrogenada (Martínez y Cordone, 2005; Alvarez *et al.*, 2003, García *et al.*, 2006; 2010) (Figura 3). No obstante, en regiones húmedas ó en años con mayores precipitaciones durante los estadios iniciales del cultivo este método de diagnóstico es poco sensible debido a las pérdidas de N que ocurren antes del período de mayor consumo de dicho nutriente por el cultivo (Herget, 1987). Además, en general, estas zonas se caracterizan por presentar mayor contenido de materia orgánica como ocurre principalmente en el sudeste, y por ende, mayor aporte de N por mineralización durante el cultivo, aspecto que no siempre puede ser evaluado con el

muestreo en pre-siembra. Frente a esta situación, varios trabajos han propuesto la determinación del contenido de N-NO_3^- en suelo en V_6 a una profundidad de 30 cm como método de diagnóstico de deficiencia de N en maíz. Magdoff *et al.* (1984) proponen que el contenido de nitrato en dicho estadio tiende en cierta medida a contemplar la mineralización de N del suelo hasta dicho estadio. En el sudeste bonaerense, Sainz Rosas *et al.* (2000) determinaron niveles críticos de N-NO_3^- en el estrato de 0-30 cm de 17 y 27 ppm para rendimientos de 8.5 y 13.5 tn ha^{-1} , respectivamente, valores que coinciden con los determinados por otros autores en el hemisferio norte (Fox *et al.*, 1989; Binford *et al.*, 1992). Sin embargo, esta metodología presenta la desventaja del escaso tiempo disponible entre la toma de la muestra de suelo y la fertilización, particularmente cuando las empresas siembran grandes superficies y tienden a adelantar la aplicación de N. **Por lo tanto, surge la necesidad de contar con algún indicador del aporte de N por mineralización con el objetivo de mejorar la evaluación temprana de la disponibilidad de N para el cultivo.**

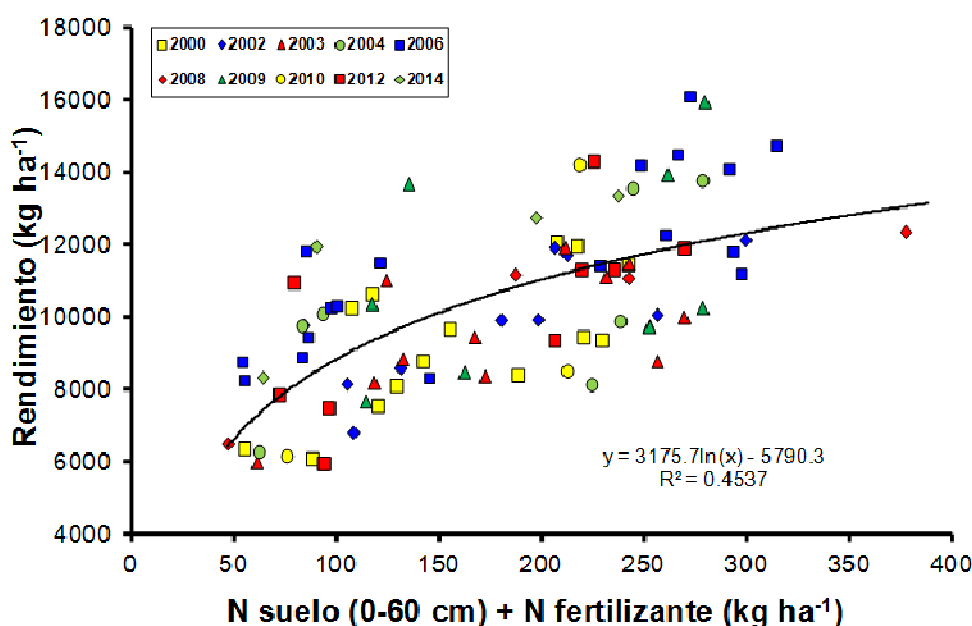


Figura 3. Rendimiento de maíz en función de la disponibilidad de N-nitrato en pre-siembra (0-60 cm) + N aplicado como fertilizante. Fuente: Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe (n = 88).

En los últimos años, trabajos realizados en forma conjunta entre el área técnica de FERTILAB y el grupo de Fertilidad de Suelos de la Unidad Integrada Balcarce (FCA-INTA), indican que la determinación del contenido de N anaeróbico (incubación en anaerobiosis de la muestra superficial durante una semana a 40°C) es un buen estimador del N que se mineraliza durante el ciclo del cultivo. Durante 6 años se evaluó la contribución del Nan al diagnóstico de N en maíz en la Región Pampeana Argentina (n: 40 sitios). Para los ambientes del Norte de la Región Pampeana (NRP, en siembras tempranas y tardías) y Sudeste Bonaerense (SEB) la incorporación del Nan al N-NO_3^- en pre-siembra contribuyó significativamente a explicar la variación del rendimiento del testigo (Figura 4 a y b). **En el SEB** el uso combinado del Nan y el N-NO_3^- incrementó la capacidad predictiva del diagnóstico de N, **siendo el aporte parcial del Nan del 13 al 19**

% según año. Para el NRP, en años sin limitaciones hídricas, el modelo combinado entre el N-NO_3^- y el Nan explicó el 72 y 68 % de la variación del rendimiento, con un **aporte parcial del Nan del 49 y 32 % para maíces de siembras tempranas y tardías**, respectivamente. Es válido mencionar que para años con presencia de estrés hídrico el aporte parcial del Nan fue inferior (13 %) (Figura 4 a y b). A pesar de no existir diferencia significativa ($p > 0.05$) en mineralización entre el SEB y maíces tempranos del NRP, se determinó menor aporte parcial del Nan en el SEB. Esto se explicaría en parte por la menor disponibilidad hídrica en algunos sitios del SEB, que posiblemente haya limitado el rendimiento del testigo y el aporte de N por mineralización. Este es un aspecto que debe ser estudiado dado que es esperable una mayor contribución del Nan en ambientes con inviernos y primaveras más frías como el SEB. Dentro del NRP al comparar entre fechas de siembra, se determinó menor contribución parcial del Nan al N-NO_3^- en siembras tardías lo cual se explicaría por una mayor mineralización en el período de barbecho que suele ser más largo y con mayor temperatura. En síntesis y a modo de ejemplo, para obtener una mineralización aparente (N_{min}) de 100 kg ha^{-1} es necesario un valor de Nan en el estrato superficial (0-20 cm) de aproximadamente 80 ppm, 40 ppm y 20 ppm en el SEB, maíces tempranos y tardíos del NRP, respectivamente (Figura 5). *Estos resultados demuestran por un lado que el Nan es un buen estimador de la mineralización a campo, siendo necesario el empleo de diferentes modelos según zonas y fecha de siembra, y por el otro contribuyen a explicar porque la incorporación del Nan a los métodos actuales de diagnóstico de N mejora la estimación de la oferta de N.*

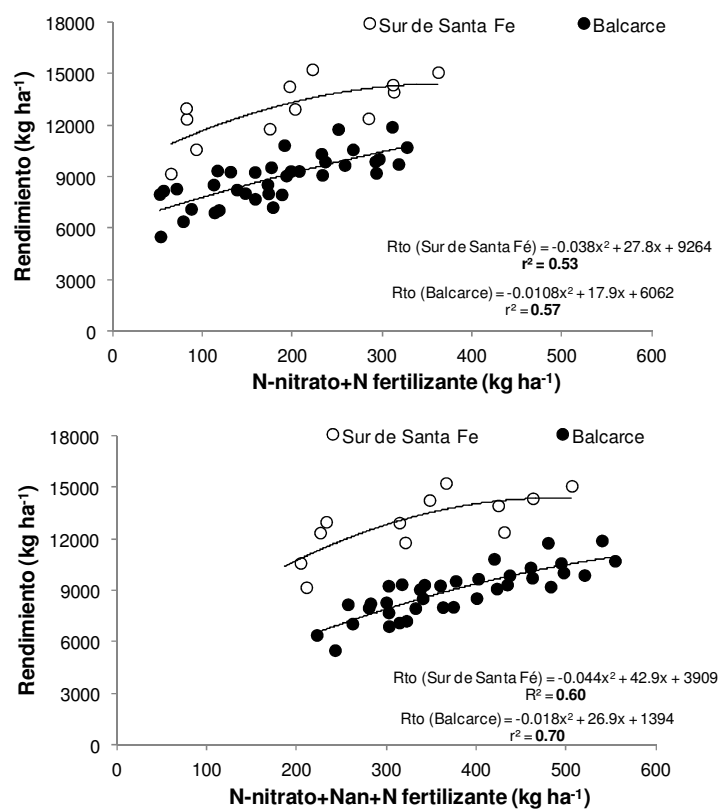


Figura 4. Relación entre el rendimiento de maíz y la disponibilidad de N-nitrato+fertilizante (a), y la disponibilidad total de N del suelo (N-nitrato+Nan+fertilizante) a la siembra (b). Fuente: Reussi Calvo *et al.* (2013).

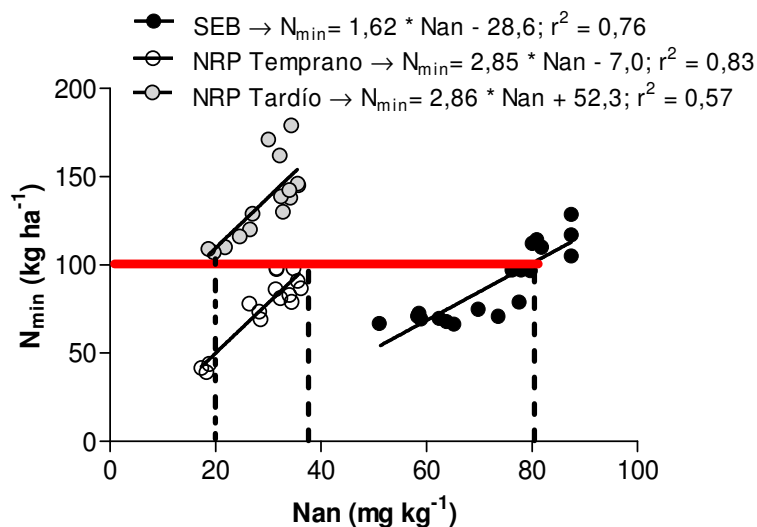


Figura 5. Mineralización aparente de nitrógeno (N_{min}) en función del nitrógeno incubado en anaerobiosis (N_{an}) para el sudeste bonaerense (SEB), maíz temprano (NRP Temprano) y maíz tardío del Norte de la Región Pampeana (NRP Tardío). Fuente: Orcellet *et al.* (2015).

Para el cultivo de girasol, si bien la información sobre respuesta a N es escasa, trabajos realizados en el sudeste bonaerense determinaron respuesta al agregado de N cuando la disponibilidad de dicho nutriente a la siembra (0-60 cm) fue inferior a 60 kg ha^{-1} (Gonzalez Montaner y Di Napoli, 2002). No obstante, trabajos más recientes indican que es necesario una disponibilidad (suelo + fertilizante) de **120 y 150 kg N ha^{-1}** para rendimientos de **3000 y 4000 kg ha^{-1}** , respectivamente (Zamora, 2009; Diovisalvi, comunicación pers.). Esto representa un requerimiento promedio de 40 kg N por tonelada de grano y una eficiencia de uso de N promedio de $15 \text{ kg grano por kg N aplicado}$ (Figura 6). En general, para dicha red de ensayo, la respuesta al agregado de N varió desde 200 hasta los 1000 kg ha^{-1} según el ambiente, lo cual evidencia la necesidad de disponer de métodos de diagnóstico de N confiables para evitar pérdidas en rendimiento. Al igual que para maíz, para el cultivo de girasol es necesario contar con estimadores del aporte de N por mineralización con el objetivo de poder ajustar con mayor exactitud la dosis de N aplicar, y por lo tanto, maximizar la rentabilidad del mismo. *En la actualidad, FERTILAB está realizando ensayos de fertilización nitrogenada con el fin de evaluar no solo la contribución del N_{an} al diagnóstico de N en girasol sino también a la calidad del grano.*

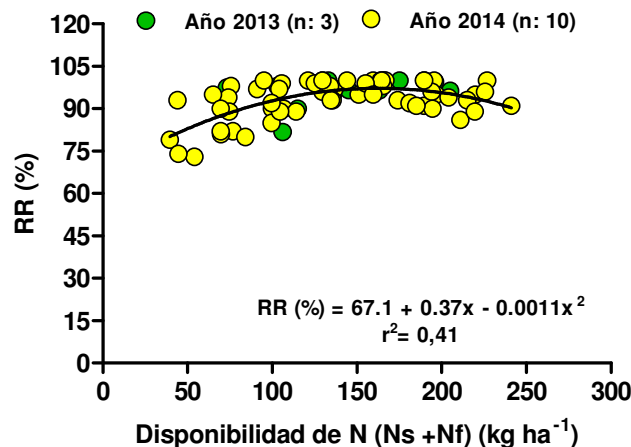


Figura 6. Rendimiento relativo de girasol (RR) en función del nitrógeno disponible en presiembra (N suelo + N fertilizante). Rendimiento máximo de 4200 kg ha⁻¹. Fuente: Diovisalvi, comunicación personal.

Respecto al momento de aplicación de N en cultivos estivales, para la zona de Villegas, Barraco y Diaz Zorita (2005) no obtuvieron diferencias significativas en rendimiento de maíz por efecto del momento de fertilización con N, lo cual se podría explicar por las escasas precipitaciones entre el período de siembra y V₆. Sin embargo, para el sudeste bonaerense varios trabajos han determinado que las aplicaciones en el estadio de V₆ son más eficientes que las realizadas a la siembra, debido a las menores pérdidas de N por lavado (Sainz Rozas *et al.*, 1999). A modo de ejemplo, para dicha zona Sainz Rozas *et al.* (2004) determinaron menores pérdidas de N por lavado para fertilizaciones en V₆ respecto a la siembra (5 y 17% para dosis de 140 kg N ha⁻¹, respectivamente). No obstante, las aplicaciones a la siembra pueden justificarse por las ventajas operativas, ya que en algunos casos las diferencias en eficiencias entre momento de fertilización no son importantes. Es válido mencionar, que la eficiencia de las aplicaciones tempranas va a depender de la intensidad y frecuencia de precipitaciones entre la aplicación del fertilizante y la absorción de N por el cultivo, además de la inmovilización microbiana la cual también es afectada por la cantidad y calidad de los residuos, además de la temperatura y humedad.

En general, cuando la aplicación del fertilizante nitrogenado se realiza en forma incorporada, la eficiencia de uso del N de las distintas fuentes es similar (Figura 7). No obstante, para fertilizaciones al voleo, varios trabajos han determinado pérdidas de N por volatilización cuando se utiliza urea o fuentes que contengan a la misma como el UAN (García *et al.*, 1999; Sainz Rozas *et al.*, 1999). Además, estas pérdidas son mayores en suelos bajo siembra directa respecto a labranza convencional debido a la mayor actividad ureásica de los residuos. Es válido remarcar, que el proceso de volatilización es afectado por el contenido de humedad y la temperatura del suelo (Echeverría *et al.*, 2014), siendo máximo a capacidad de campo y con temperaturas de 25°C o superiores (Havlin *et al.*, 2005). Por consiguiente en la medida que se demoran las aplicaciones al voleo de las fuentes de N que están sujetas a pérdidas por volatilización, estas se incrementan sino se producen lluvias que favorezcan la incorporación del N aplicado. Para el centro de la región pampeana, algunos autores determinaron aumentos en el rendimiento del maíz y mejoras en la eficiencia de uso del

fertilizante nitrogenado por el uso de inhibidores de la actividad ureásica (Figura 8). Otras características del suelo que favorecen la volatilización son texturas gruesas, el pH alcalino y los bajos contenidos de materia orgánica.

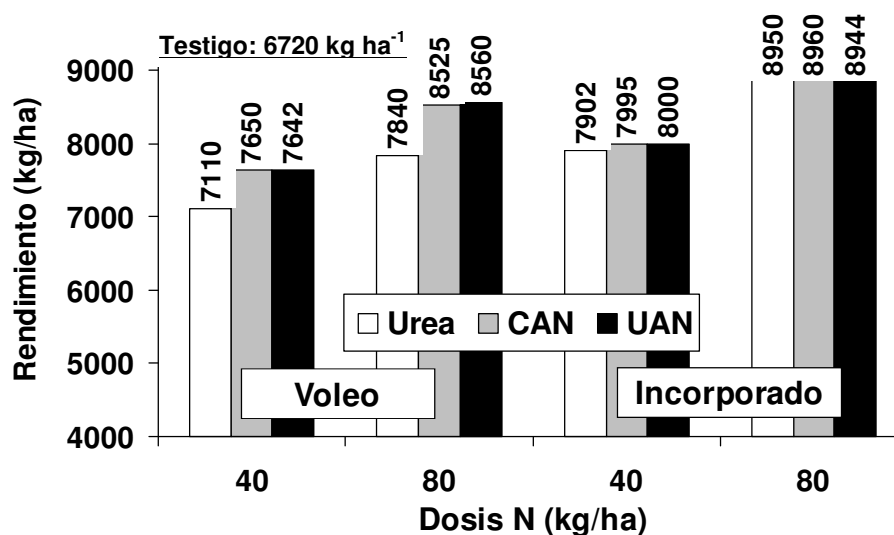


Figura 7. Rendimiento del cultivo de maíz en función de la dosis, fuente y forma de aplicación de nitrógeno. Fuente: Fontanetto (comun. pers.).

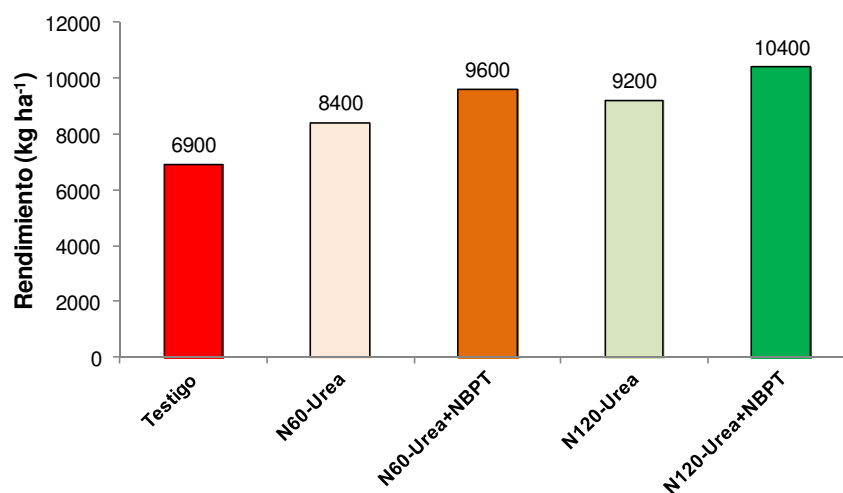


Figura 8. Rendimiento del cultivo de maíz por efecto de la aplicación de Urea con y sin inhibidor de la actividad ureásica. Fuente: Ferraris *et al.* (2009).

MANEJO DE FÓSFORO:

Para evaluar la disponibilidad de P previo a la siembra del cultivo se recomienda el muestreo de suelo en superficie (0-20cm). En general, es importante tomar un número elevado de submuestras (20-30), particularmente en planteos bajo siembra directa, debido a la estratificación del P y la heterogeneidad en su distribución por la baja movilidad. La dosis recomendada de fertilización fosfatada tanto para maíz como para girasol depende del nivel de P Bray, del rendimiento esperado, de la relación de precios grano/fertilizante, del sistema de tenencia de la tierra (propietario o arrendatario) y del criterio de recomendación del laboratorio y/o asesor (Tabla 2 y 3). No obstante, otras características del sitio deben ser consideradas para mejorar la precisión de la recomendación como son el contenido de materia orgánica, la presencia de capas compactadas, la textura, la historia de fertilización con P, el perfil de P, etc. Respecto al criterio de recomendación, debe tenerse en cuenta que existen dos tipos: el de suficiencia y el de reconstrucción y mantenimiento. El criterio de suficiencia pretende satisfacer los requerimientos del cultivo a implantar, mientras que el de reconstrucción y mantenimiento también incluye aportes complementarios para incrementar el nivel de P disponible por la residualidad del nutriente en el suelo. A modo de ejemplo, la Figura 9 muestra a partir de 7 años de experimentación que para aumentar en 1 ppm el nivel de P Bray en el suelo es necesario en promedio un balance positivo de fertilización fosfatada en relación a la exportación del grano de 11 kg P ha⁻¹ (= 55 kg ha⁻¹ de fosfato monoamónico o diamónico). Esta información puede variar según zona, tipo y textura de suelo, tiempo desde la aplicación, etc.

Tabla 2. Recomendaciones de fertilización fosfatada para maíz según nivel de P Bray y rendimiento esperado (Fuente: FERTILAB, 2009).

Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Nivel de P Bray 1 (mg kg ⁻¹)					
	5	10	15	20	25	30
-----Dosis de DAP o MAP (kg ha ⁻¹)-----						
6000	75 (35)	65 (30)	50 (25)	--	--	--
8000	100 (50)	90 (45)	75 (35)	50 (25)	--	--
10000	125 (60)	115 (55)	100 (50)	75 (35)	50 (25)	--
12000	150 (75)	140 (70)	125 (60)	100 (50)	75 (35)	50 (25)

(): dosis de P en P₂O₅.

Tabla 3. Recomendaciones de fertilización fosfatada para girasol según nivel de P Bray y rendimiento esperado (Fuente: FERTILAB, 2009).

Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Nivel de P Bray 1 (mg kg ⁻¹)					
	5	10	15	20	25	30
-----Dosis de DAP o MAP (kg ha ⁻¹)-----						
2000	75 (35)	60 (30)	50 (25)	--	--	--
3000	100 (50)	85 (40)	75 (35)	50 (25)	--	--
4000	125 (60)	115 (55)	100 (50)	75 (35)	50 (25)	--

(): dosis de P en P₂O₅.

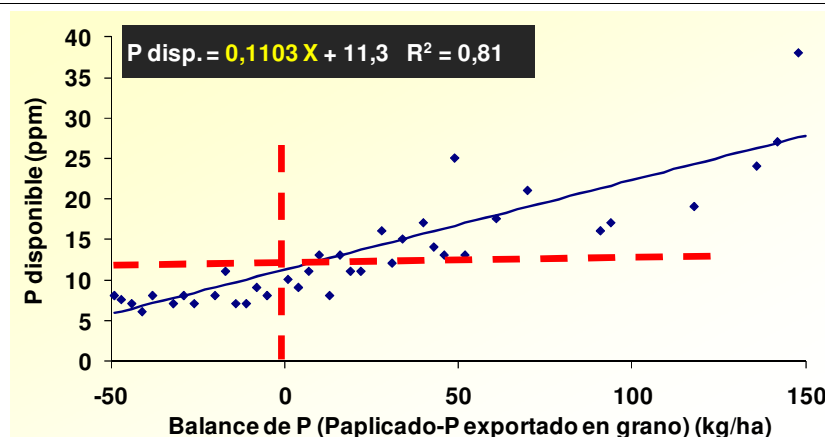


Figura 9. Cambios en el P disponible en el suelo según balance entre P aplicado y P extraído en grano. Fuente: Berardo (comun. pers.) y Ventimiglia (comun.pers.).

Para diferentes áreas de la región pampeana distintos autores han determinado niveles críticos de P Bray por debajo de los cuales se considera rentable la fertilización fosfatada. En el sudeste bonaerense, Echeverría y García (1998) establecieron para maíz y girasol niveles críticos de P disponible de 16 y 10 ppm, respectivamente. No obstante, bajo condiciones de riego Berardo *et al.* (2001) obtuvieron respuestas a P hasta 20 ppm para maíz y 15 ppm para girasol, con respuestas variables según contenido de P Bray, tanto en riego como secano (Figura 10 y 11). Por otra parte, para el Norte de la Región Pampeana Ferrari *et al.* (2000) determinaron valores críticos de 13-14 ppm para el cultivo de maíz en secano. Por lo tanto, el nivel de producción esperado y el criterio de manejo de la fertilización son aspectos fundamentales a tener en cuenta. En la actualidad, debido a la elevada residualidad de este nutriente en los suelos de la Región Pampeana, se tiende a planificar su aplicación dentro de la rotación, con dosis y niveles críticos superiores a los establecidos para cada cultivo. Este nuevo enfoque presenta un alto grado de adopción por las ventajas operativas que genera, particularmente para empresas que siembran grandes superficies.

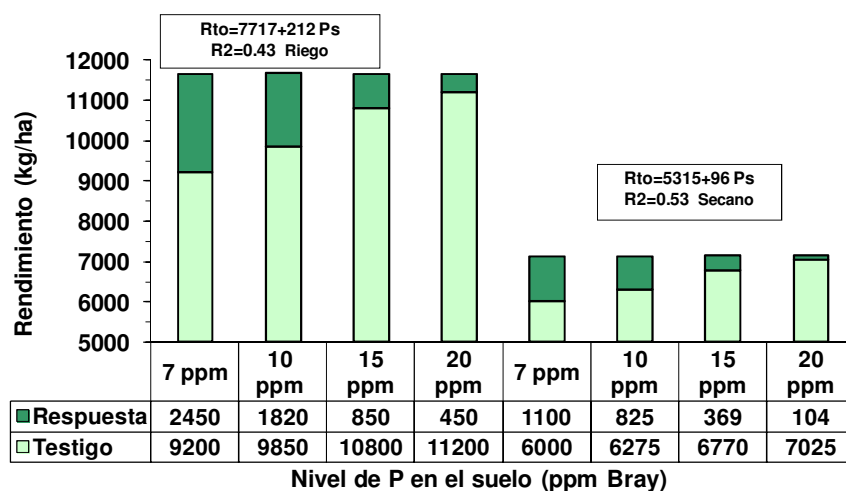


Figura 10. Rendimiento y respuesta a la aplicación de P en maíz para un suelo con diferentes disponibilidad de P Bray, en condiciones de secano y con riego. Fuente: Berardo et al. (2003).

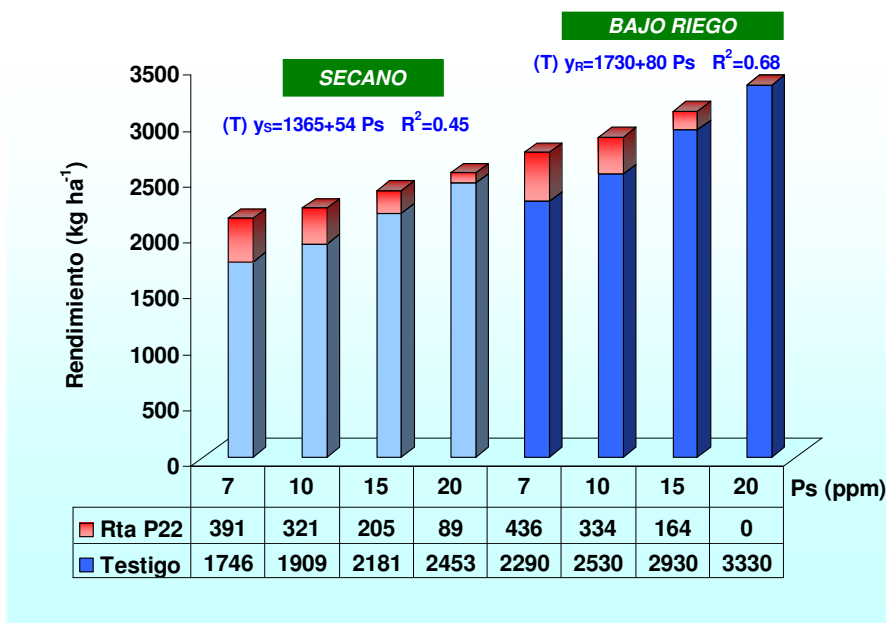


Figura 11. Rendimiento y respuesta a la aplicación de P en girasol para un suelo con diferentes disponibilidad de P Bray, en condiciones de secano y con riego. Fuente: Berardo et al. (2003).

Respecto a la forma de aplicación de P, dada la baja movilidad de este nutriente en el suelo, las aplicaciones localizadas serían más eficientes que las aplicaciones en superficie al voleo. Para maíz, en el cinturón maicero de USA, Mallarino (1997) sugirió que la respuesta a la fertilización en bandas probablemente es superior a la aplicación al voleo en suelos con baja disponibilidad de P y/o con texturas finas. Sin embargo, cuando la fertilización al voleo se anticipó varios meses al momento de la siembra resultó tan eficiente como la fertilización localizada (Mallarino, 1998). En ensayos realizados dentro de la Región Pampeana se han determinado que las diferencias entre las aplicaciones de P al voleo y en la línea disminuyen o son nulas a medida que aumentaba la disponibilidad de P del suelo y la dosis de P aplicada (Barraco *et al.*, 2006). En ambientes con niveles de P entre 7 y 17 ppm, dichos autores observaron que es necesaria una dosis de 44 kg P ha⁻¹ para lograr igual eficiencia entre formas de aplicación (voleo vs línea), mientras que para dosis menores (22 kg P ha⁻¹) la aplicación en la línea de siembra fue más eficiente, siendo la diferencia en rendimiento de 700 kg ha⁻¹ respecto al voleo (Figura 12). En general las dosis de P empleadas en la actualidad en los sistemas reales de producción son bajas, por lo tanto, particularmente en siembras tempranas y suelos con bajas disponibilidad de P es recomendable siempre aplicar una fracción de P en la línea de siembra.

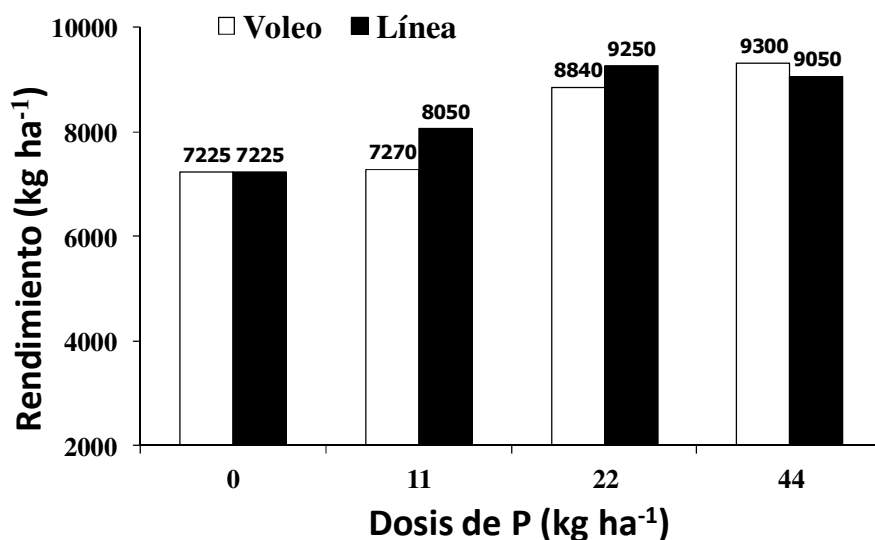


Figura 12. Rendimiento del cultivo de maíz en función de la dosis y forma de aplicación de P. Fuente: Barraco *et al.* (2006).

Por otra parte, cuando se realiza la aplicación del fertilizante en la línea de siembra es recomendable su colocación a unos 4-5 cm de la misma para evitar efectos fitotóxicos sobre la semilla (Ciampitti *et al.*, 2006). Estos efectos van a depender de la textura, el contenido de materia orgánica y de la humedad del suelo, como así también del tipo de fertilizante y de la dosis, **siendo mayores los daños en suelos arenosos y con bajo contenido de humedad**. A modo de ejemplo, una pérdida del 20 % del stand de plántulas en maíz y girasol se puede producir con dosis de 60-80 kg ha⁻¹ y de 50-60 kg ha⁻¹ de fosfato diamónico, respectivamente, según el tipo de suelo y el contenido de humedad. La utilización de fosfato monoamónico evita o reduce los efectos fitotóxicos mencionados.

MANEJO DE AZUFRE:

Si bien los requerimientos de S son sensiblemente menores a los de otros nutrientes como el N y K, varios trabajos han determinado para el cultivo de maíz respuestas en rendimiento a la aplicación de S en diferentes zonas de la región pampeana (Ferraris et al., 2006; Garcia et al., 2010; Steinbach y Álvarez 2012). En general, las mismas oscilan desde 500 hasta los 1800 kg ha⁻¹ tal como lo demuestran los resultados de una red de ensayos realizados en el centro-sur de Santa Fé y noroeste de Buenos Aires. En estos ensayos la eficiencia de uso de S del fertilizante varió desde 45 hasta 90 kg de grano por kg S aplicado (Figura 13). En girasol, las respuestas al agregado de S son menor frecuentes y en general no superan los 300-400 kg ha⁻¹ (Zamora, comun. pers.). En general, la relación histórica de precio de grano por kg S es de 10:1, lo cual evidencia la rentabilidad de la práctica de fertilización sin considerar su efecto residual. El mismo suele ser elevado tanto por las características del suelo como por el menor índice de cosecha del S respecto a N y P, tal como se muestra en la Figura 14 para diferentes dosis de S.

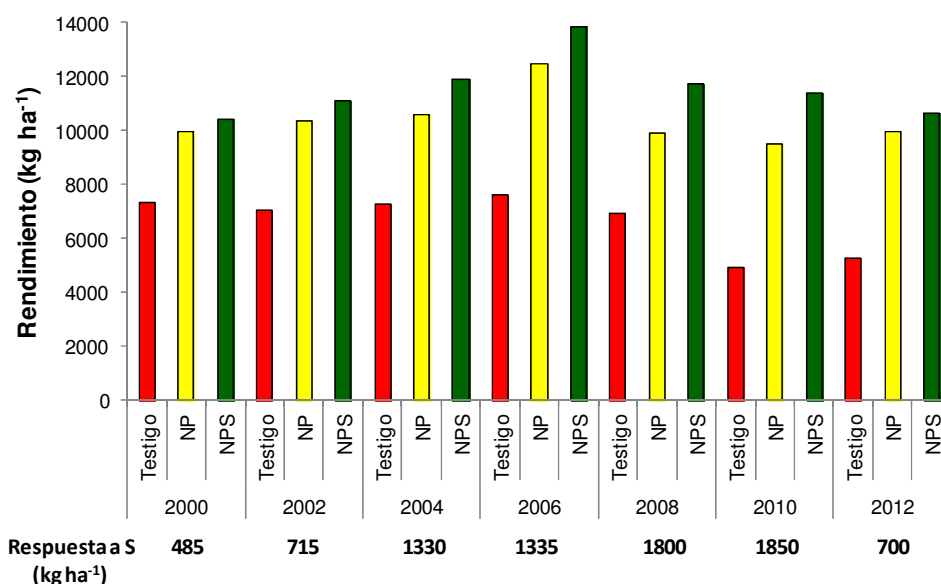


Figura 13. Rendimiento promedio del cultivo de maíz para el tratamiento testigo, con nitrógeno y fósforo (NP) y con nitrógeno, fósforo y azufre (NPS) en el sur de Santa Fé. Adaptado: Garcia *et al.* (2010).

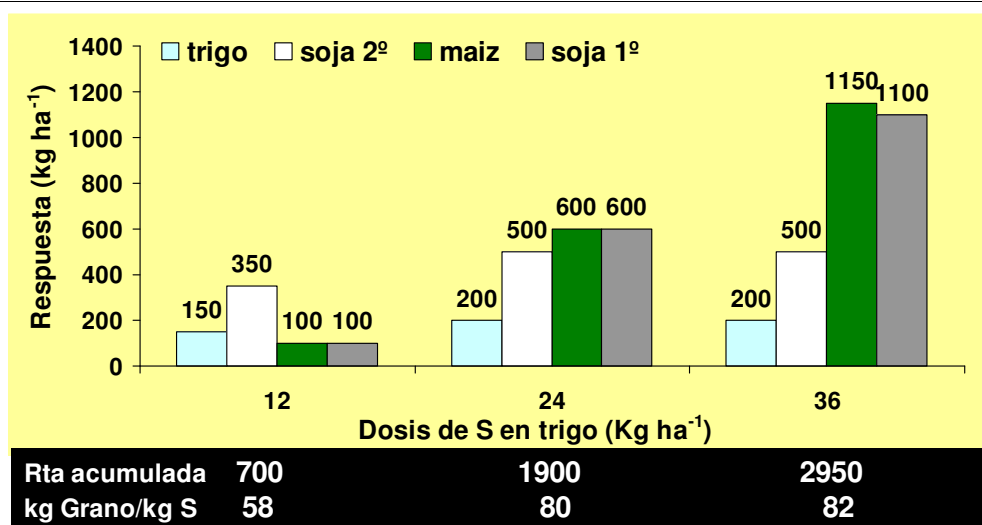


Figura 14. Respuesta en rendimiento y efecto residual de S a una sola aplicación inicial en trigo en una rotación de tres años. Fuente: Vivas (comun. pers.).

Para el diagnóstico de la deficiencia de S se recomienda el muestreo de suelo en los estratos superficiales (0-20 cm) y subsuperficiales (20-40 y 40-60 cm) antes de la siembra del cultivo. Los muestreos en los estratos inferiores son más importantes en suelos de texturas arenosas y/o regiones con abundantes precipitaciones, debido a la movilidad de este nutriente. Además, en zonas con napas freáticas y/o tosca no muy profunda se recomienda el muestreo en profundidad debido a la probable presencia de sulfato en las napas y por encima de la tosca (Figura 15). A su vez, en años con excesos hídricos a la siembra del cultivo es conveniente realizar los muestreos de suelo en V₄₋₆.

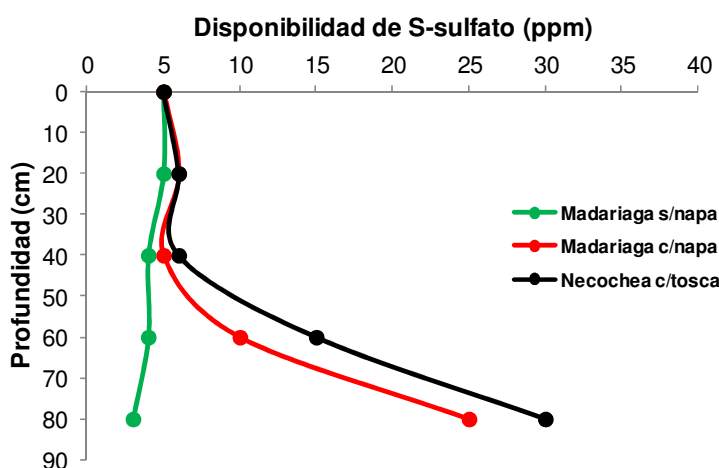


Figura 15. Perfil de S-sulfato para suelos con presencia de tosca y con y sin napa. Fuente: FERTILAB.

En la Figura 16 se observa, para una red de ensayos realizada por el CREA Sur de Santa Fé, la relación entre el rendimiento relativo de maíz y la disponibilidad de sulfato en suelo a la siembra del cultivo. La determinación del contenido de sulfato en los primeros 20 cm del perfil permitió predecir con un 70% de éxito la respuesta a la fertilización

azufrada, cuando se empleo el umbral de 10 ppm citado en la bibliografía. No obstante, otros trabajos realizados en diferentes zonas de la región pampeana observaron baja capacidad predictiva del análisis de suelo para el diagnóstico de S en maíz (Carciochi *et al.*, 2015). Por lo tanto, surge la necesidad de realizar mayor investigación para probar la bondad de este método de diagnóstico de S en maíz y girasol. No obstante, al igual que para N, los resultados del análisis de suelo deben ser interpretados considerando el periodo de barbecho, lluvias previas al muestreo, época del año, textura del suelo, contenido de materia orgánica, años de agricultura, rendimiento esperado entre otros factores.

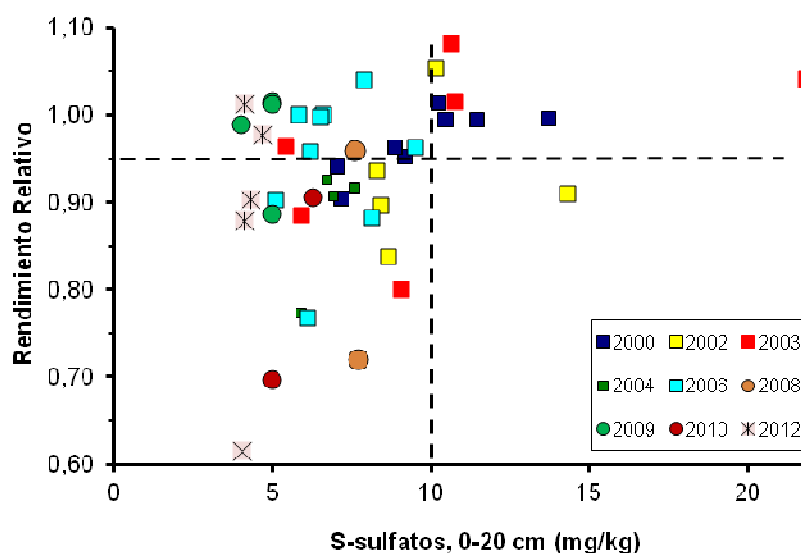


Figura 16. Rendimiento relativo de maíz (rendimiento NP/Rendimiento NPS) en función del nivel de S-sulfato a 0-20 cm de profundidad a la siembra. Fuente: Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe (n=45).

El análisis de S en grano si bien no permite corregir la deficiencia de S que tuvo el cultivo es una herramienta promisorio para identificar sitios con deficiencias y, por ende, plantear correcciones en los siguientes cultivos de la rotación (Carciochi *et al.*, 2015). Por último, el empleo del medidor de clorofila SPAD podría ser una alternativa promisorio para el diagnóstico de las necesidades de S, no obstante, es necesario mayor investigación para ajustar los umbrales en maíz y girasol.

Para finalizar, la aplicación de S es una práctica de bajo costo, debido a su bajo requerimiento y relativamente alta eficiencia y residualidad (Figura 14). Para los cultivos de girasol y de maíz la aplicación se efectúa generalmente en forma combinada con P y/o N, bajo forma sólida o líquida. Las fuentes sólidas de S se aplican a la siembra de los cultivos en forma incorporadas o al voleo, para lo cual se emplea generalmente mezclas de yeso ó sulfato de calcio (18-20 % S) con los diferentes productos fosfatados disponibles en el mercado. En las formulaciones líquidas, el S se aplica bajo la forma de tiosulfato de amonio (12 % N y 26 % S) mezclado con UAN (30 % N), dando lugar a productos de fácil manejo y aplicación durante el cultivo. Además, estas fuentes permiten la aplicación demorada de N y S, o sea próximos al periodo de máximo consumo por los cultivos, y por lo tanto, pueden incrementar la eficiencia de uso de dichos nutrientes.

DEFICIENCIA DE N EN GIRASOL:



Deficiencia de N: hojas de color verde pálido que evoluciona a amarillo y por último a necrosis tisular. Las hojas superiores pueden presentar coloración verde pálido.

Fuente: Natalia Diovisalvi (FERTILAB).

DEFICIENCIA DE N, P Y S EN MAÍZ:



Deficiencia de N: Clorosis en hojas inferiores, con posterior amarillamiento desde la punta de la hoja. Reducción de la expansión foliar y del crecimiento.



Deficiencia de P: Hojas de color verde oscuro con punta y bordes de tonalidad violácea. Menor crecimiento inicial y retraso en la maduración.



Deficiencia de S: Clorosis en las hojas superiores por la baja movilidad del nutriente en la planta.

Fuente: Fernando García (IPNI Cono Sur).

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez R., H.S. Steinbach, C. Alvarez y S. Grigera. 2003. Recomendaciones para la fertilización nitrogenada de trigo y maíz en la pampa ondulada. Informaciones Agronómicas IPNI Cono Sur, 18:14-19.
- Andrade F.H., A.G. Cirilo, S.A. Uhart y M.E. Otegui. 1997. Ecofisiología del cultivo de maíz. La Barrosa (Ed.) Dekalbpress. INTA, FCA-UNMP. Balcarce, Argentina.
- Barraco M. y M. Díaz-Zorita. 2005. Momento de fertilización nitrogenada de cultivos de maíz en hapludoles típicos. Ciencia el Suelo 23 197-203.

- Barraco M., M. Díaz-Zorita y C. Álvarez. 2006. Aplicaciones incorporadas y en superficie de fósforo en cultivos de maíz. Actas XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo y I Reunión de Suelos de la Región Andina. Salta, Argentina, septiembre de 2006.
- Berardo A., S. Ehrt, F. Grattone y F. García. 2001. Corn yield response to phosphorus fertilization in the southeastern Pampas. *Better Crops International* 15 (1):3-5.
- Berardo, A., Ehrt, S., Grattone, F. y M. Amigorena. 2003. Evaluación de la respuesta a fosforo de los cultivos estivales: maíz, girasol y soja. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* N°18.
- Binford, G.D., A.M. Blackmer, and M.E. Cerrato. 1992. Relationships between maize yields and soil nitrate in late spring. *Agron. J.* 84:53-59.
- Carciocchi, W.D., G.A. Divito, N.I. Reussi Calvo y H.E. Echeverría. 2015. ¿Qué sabemos del diagnóstico de azufre en los cultivos de la Región Pampeana Argentina?. Simposio de Fertilidad. 19 y 20 de Mayo, Rosario, Santa Fé, Argentina.
- Ciampitti I.A., F.E. Micucci, H. Fontanero y F.O. García. 2006. Manejo y ubicación del fertilizante junto a la semilla: efectos fitotóxicos. *Informaciones agronómicas del Cono Sur* N° 31. *Archivo agronómico* 10: 1-8.
- Díaz-Zorita, M. 2014. Girasol. Pp: 509-526. En: Echeverría H.E. y F.O. García (eds). *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina.
- Echeverría H. y F. García. 1998. Guía para la fertilización fosfatada de trigo, maíz, girasol y soja. *Boletín Técnico* No. 149. EEA INTA Balcarce.
- Echeverría H.E.; H. Sainz Rozas y P.A. Barbieri. 2014. Maíz y Sorgo. Pp: 435-478. En: Echeverría H.E. y F.O. García (eds). *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina.
- Ferrari M., J. Ostojic, L. Ventimiglia, H. Carta, G. Ferraris, S. Rillo, M. Galetto y F. Rimatori. 2000. Fertilización de maíz: Buscando una mayor eficiencia en el manejo de nitrógeno y fósforo. Actas Jornadas de Actualización Técnica para Profesionales "Fertilidad 2000". Rosario, 28 de Abril de 2000. INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires.
- Ferraris, G., F. Gutiérrez Boem, P. Prystupa, F. Salvagiotti, L. Couretot, y D. Dignani. 2006. Fertilización azufrada en maíz, evaluación de la respuesta del cultivo y análisis de metodologías de diagnóstico de la fertilización azufrada: reporte final. Proyecto Regional Agrícola. Desarrollo Rural INTA Pergamino. [en línea] <www.profertilnutrientes.com.ar> [consulta: 9 febrero 2015].
- Ferraris, G. N.; Couretot, L. A.; Toribio, M. 2009. Pérdidas de nitrógeno por volatilización y su implicancia en el rendimiento del cultivo de maíz: Efectos de fuente, dosis y uso de inhibidores. *Informaciones Agronómicas*, 43. pp. 19-22.
- Fox, R.H., G.W. Roth, K.V. Iversen, and W.P. Piekielek. 1989. Soil and tissue nitrate tests compared for predicting soil nitrogen avail- ability to maize. *Agron. J.* 81:971-974.
- García F., K. Fabrizzi, L. Picone y F. Justel. 1999. Volatilización de amoníaco a partir de fertilizantes nitrogenados aplicados superficialmente bajo siembra directa y labranza convencional. 14º. Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Pucón, Chile. 8-12 Noviembre 1999.
- García F.O., M. Boxler, J. Minteguiaga, R. Pozzi, L. Firpo, G. Deza Marin y A. Berardo. 2006. La red de nutrición de la región CREA sur de Santa Fé: resultados y conclusiones de los primeros seis años 2000-2005. AACREA. 32 pp.
- García, F.; M. Boxler; J. Minteguiaga; R. Pozzi; L. Firpo; I. Ciampitti; A. Correndo; F. Bauschen; A. Berardo y N. Reussi Calvo. 2010. La Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe: Resultados y conclusiones de los primeros diez años 2000-2009. 62 p.
- Gonzalez Montaner, J. y M. Di Napoli. 2002. Sistemas de producción de girasol en la región húmeda argentina. En: M. Díaz-Zorita y G. A. Duarte, *Manual práctico para el cultivo de girasol*, Editorial Hemisferio Sur, Buenos Aires (Argentina), 267-280.
- Hanway, J.J. and R.A. Olson. 1980. Phosphate nutrition of corn, sorghum, soybeans, and small grains. In. *The Role of Phosphorus in Agriculture*, ASA-CSSA-SSSA, Madison WI, USA, 681-692.
- Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale and W.L. Nelson. 2005. *Soil Fertility and Fertilizers. An Introduction to Nutrient Management*. Pearson, New Jersey. 514 p.
- Herget, G.W. 1987. Status of residual nitrate-nitrogen soil tests in the United State of America. p. 73-79. In: Brown, J.R. (eds). *Soil Testing: sampling, correlation, calibration, and interpretation*. Spec. Publ. 21. SSSA, Madison, WI.
- Magdoff, F.R., D. Ross, and J. Amadon. 1984. A soil test for nitrogen availability to maize. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48:1301-1304.
- MAGPyA, 2014. Ministerio de agricultura, ganadería, pesca. Producción de maíz- (En línea). Sistema integrado de información agropecuaria (SIIA). (<http://www.sii.gov.ar/>). [Consulta: Marzo 2014].
- Mallarino A. 1997. Manejo de fósforo, potasio y starters para maíz y soja en siembra directa. 5º Congreso Nacional de AAPRESID. Mar del Plata. p. 11-19.
- Mallarino A. 1998. Métodos de fertilización con fósforo y potasio para maíz y soja en siembra directa: Recientes avances en el cinturón del maíz. 6º Congreso Nacional de AAPRESID. Mar del Plata. p. 27-41.
- Martínez F. y G. Cordone. 2005. Avances en el manejo de la fertilización de cultivos y fertilidad de suelos en el Sur de Santa Fe. Simposio Fertilidad 2005, IPNI Cono Sur. p. 3-11.

- Orcellet, J.M.; N.I. Reussi Calvo; H.E. Echeverría; H. Saiz Rozas A. Berardo. 2015. Mineralización de nitrógeno en maíz: efecto de zona y fecha de siembra. Simposio de Fertilidad. 19 y 20 de Mayo, Rosario, Santa Fé, Argentina. 165-169.
- Pagani A., H.E. Echeverría, F.H. Andrade and H.R. Sainz Rozas. 2009. Characterization of corn nitrogen status with a greenness index under different availability of sulfur. *Agronomy Journal* 101: 315-322.
- Reussi Calvo, N.; H. Saiz Rozas; A. Berardo; H.E. Echeverría & N. Diovisalvi. 2013. ¿El nan contribuye a mejorar el diagnóstico de nitrógeno en maíz?. Simposio de Fertilidad. 22 y 23 de Mayo, Rosario, Santa Fé, Argentina. 269-272.
- Sainz Rozas H., H. Echeverría, G. Studdert y F. Andrade. 1999. No-till maize nitrogen uptake and yield: Effect of urease inhibitor and application time. *Agronomy Journal* 91:950-955.
- Sainz Rozas H., H. Echeverría, G. Studdert and G. Dominguez. 2000. Evaluation of the presidedress soil nitrogen test for no-tillage maize fertilized at planting. *Agronomy Journal* 92:1176-1183.
- Sainz Rozas H., Echeverría, H.E. y P. Barbieri. 2004. Nitrogen balance as affected by application time and nitrogen fertilizer rate in irrigated no-tillage maize. *Agronomy Journal* 96 :1622-1631.
- Steinbach, H.S., y R. Alvarez. 2012. Revisión del efecto de la fertilización con azufre sobre el rendimiento de trigo, maíz y soja en la región pampeana. Actas XIX Congr. Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congr. Arg. de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina 16 - 20 de abril.
- Studdert, G.A. and H.E. Echeverría. 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 1496-1503.
- Uhart, S.A., and F.H. Andrade. 1995. Nitrogen deficiency in maize: I. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning, and kernel set. *Crop Sci.* 35:1376–1383.
- Uhart, S.A., H.E. Echeverría y M.L. Frugone. 1998. Requerimientos nutricionales: Diagnóstico de la fertilización en los cultivos de girasol. Morgan Semillas, Buenos Aires (Argentina), 29 pp.
- Zamora, M. 2009. ¿Cómo afecta el nitrógeno al girasol en siembra directa?. *Sudeste Rinde* 51: 4-6.