

Las MPM para los Cultivos y Sistemas de Producción. Maíz en la Región Pampeana Central ⁽¹⁾

Ing. Agr. M.Agr.Sc. Manuel Ferrari

EEA-INTA Pergamino, Avda. Frondizi, km 4.5, B2700WAA Pergamino, Bs. As., Argentina
mferrari@pergamino.inta.gov.ar

1. DESCRIPCIÓN DE LA REGIÓN

A los efectos de esta presentación, se considerará como *Región Pampeana Central* a la comprendida por el centro-norte de la provincia de Buenos Aires, el centro-sur de la provincia de Santa Fe, el sudeste de la provincia de Córdoba y el sudoeste de la provincia de Entre Ríos (Figura 1).

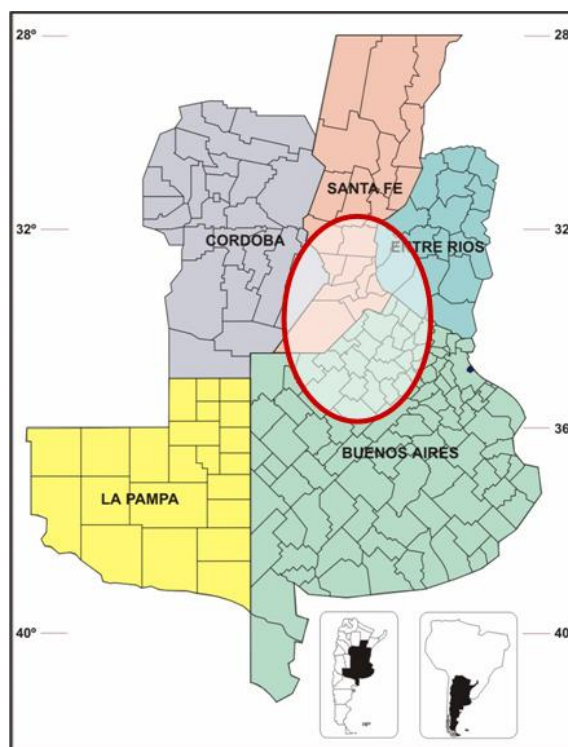


Figura 1. Límites aproximados de la Región Pampeana Central considerados en esta presentación.

Esta región coincide en gran parte con la que tradicionalmente fuera conocida como “Región Maicera Típica” o “Región Maicera Núcleo”. En la actualidad, sin embargo, es comúnmente referida simplemente como “Región Núcleo” o “Zona Núcleo”, modificación que refleja los marcados cambios en las superficies destinadas a los distintos cultivos de grano que se han verificado en ella durante las últimas décadas. La abrumadora supremacía del área destinada a soja en detrimento de otros cultivos como maíz y trigo que actualmente se observa en la región, es el resultado de un fenómeno gradual e incesante, y que se encuentra generalizado en todo el territorio de la misma. A modo de ejemplo, en la Figura 2 se presenta la evolución de la superficie sembrada con los cultivos de soja, maíz y trigo durante el período 1974/75 – 2007/08 en el partido de Pergamino, ubicado en el norte de la provincia de Buenos Aires. Para la campaña 2007/08, la superficie destinada a soja fue casi 9 veces mayor que la

⁽¹⁾ Publicado en *Simposio Fertilidad 2009*. IPNI Cono Sur–Fertilizar Asociación Civil. Rosario, 12 y 13 de Mayo de 2009.

sembrada con maíz y más de 7 veces superior a la de trigo. Dichas relaciones se han mantenido bastante estables durante los últimos 6 años (Figura 2).

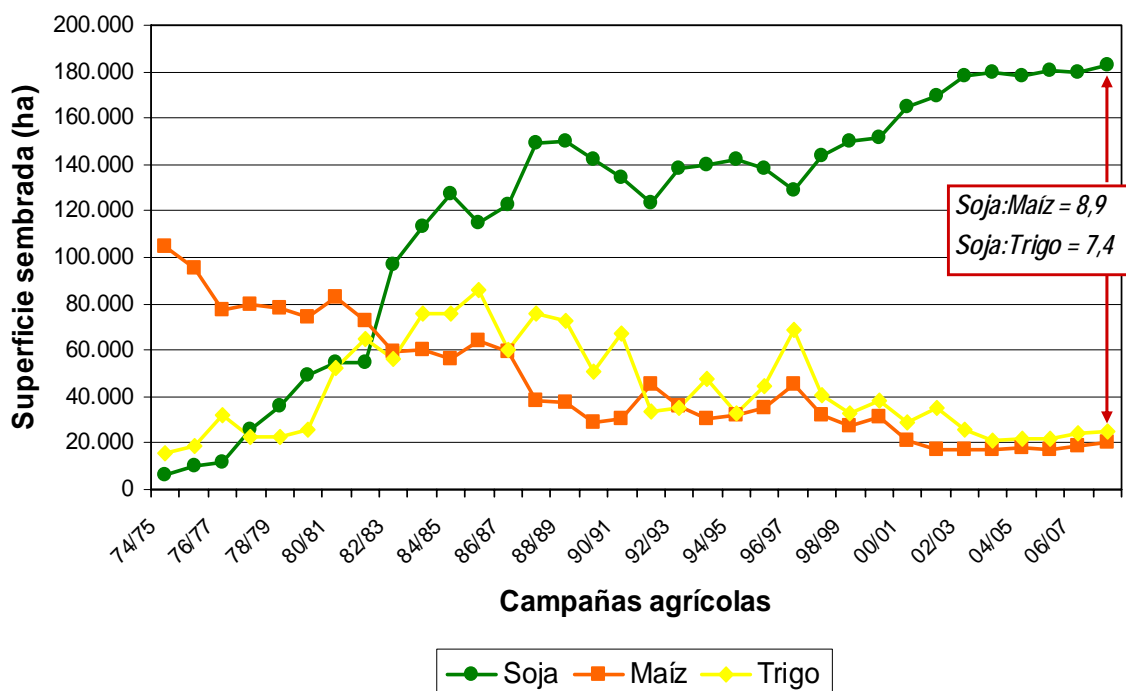


Figura 2. Evolución de la superficie de siembra de los principales cultivos agrícolas en el partido de Pergamino (Buenos Aires) durante el período 1974/75 – 2007/08 (Elaboración propia en base a datos de la SAGPyA).

El marcado desbalance entre cultivos descripto para el área de Pergamino es, como fuera mencionado, representativo de la situación general de la región. Por lo tanto, y claramente, en la *Región Pampeana Central* el maíz es en la actualidad un cultivo en franco retroceso y relativamente poco importante. No obstante, es necesario subrayar que esta escasa participación del maíz y del trigo en los esquemas de producción zonales tiene implicancias negativas para la conservación del suelo y el agua y, en consecuencia, también para la sustentabilidad de los sistemas. En este sentido, es importante tener presente que en la *Región Pampeana Central* se encuentran muchos de los mejores suelos de la República Argentina.

Los sistemas de producción actualmente predominantes en la región pueden ser caracterizados sobre la base de: 1) los aspectos técnico-agronómicos; y 2) las formas de organización de la producción.

1.1. Aspectos Técnico-Agronómicos de los Sistemas de Producción

En la gran mayoría de los suelos con aptitud agrícola de la región, los sistemas de producción típicos consisten en esquemas de agricultura continua o permanente, siendo ya muy poco usuales los tradicionales planteos agrícola-ganaderos, los cuales se encuentran relegados prácticamente con exclusividad a algunas estancias, cabañas o predios de tamaño relativamente importante.

Dentro de estos planteos de agricultura continua, las características técnicas salientes son:

- *Adopción de tecnología:* un aspecto agronómico distintivo de los sistemas de producción agrícola de la región es la rápida y generalizada incorporación de nueva tecnología tanto “de

insumo” (cultivares, fertilizantes, herbicidas, insecticidas, fungicidas, etc.) como de “proceso” (fechas de siembra, estructura del cultivo/arreglo espacial, manejo integrado de plagas, manejo por ambientes, etc.). No obstante, es preciso aclarar que en la mayoría de los casos la adopción de adelantos tecnológicos se focaliza en productos o prácticas puntuales, de impacto en el corto plazo y con beneficios directos para el cultivo en el cual se los aplica. Las innovaciones sobre el manejo o gestión integral de los sistemas, y con proyección de los mismos en el largo plazo, se difunden en la región a un ritmo proporcionalmente mucho más lento.

- *Rotaciones*: prevalece el monocultivo de soja, existiendo una proporción relativamente escasa de la superficie en la cual esta oleaginosa es alternada con otros cultivos (maíz, trigo, sorgo, cebada) y menos aún en una forma planificada o sistemática (i.e., en una rotación de cultivos).

- *Sistemas de labranza*: existe un amplio predominio de la siembra directa, estando su adopción generalizada en la región independientemente del tamaño de la empresa (superficie trabajada) y del sistema de tenencia de la tierra (propia o arrendada).

- *Manejo de la fertilidad de los suelos y de la fertilización de los cultivos*: al igual que en el resto del país, desde principios de la década del '90 se registra en la región una utilización creciente de fertilizantes (exceptuando de este análisis a la última campaña, 2008/09). Esta tendencia se ha visto sostenida en el tiempo por el incremento del área fertilizada y también por las mayores dosis de nutrientes que globalmente se fueron empleando conforme avanzaron los años. Así, durante las últimas campañas una muy alta proporción de la superficie destinada a maíz y trigo fue fertilizada regularmente, utilizando dosis de fertilizantes fosfatados y, especialmente, nitrogenados que se fueron incrementando en forma gradual. Asimismo, durante este período comenzó a difundirse hasta convertirse en una práctica usual el empleo de fertilizantes azufrados para ambos cultivos. El área de soja que es fertilizada creció en forma considerable en las últimas campañas, sobre todo si se considera que hasta hace una década la fertilización de este cultivo era una práctica muy poco frecuente. Las dosis de fertilizantes (fosfatados, azufrados y otros) aplicadas, en cambio, no habrían mostrado un crecimiento tan marcado a lo largo del período. La explicación de este comportamiento estaría asociada al régimen de tenencia de la tierra bajo el cual se produce la mayor parte de esta oleaginosa en la región (ver punto 1.2. más adelante). Además de las tendencias mencionadas, cabe señalar también que durante los últimos años se ha ampliado el abanico de productos fertilizantes disponibles en el mercado (i.e., existe una mayor diversidad de fuentes de los principales nutrientes); se ha acentuado la difusión de la fertilización azufrada; han aparecido nuevas formulaciones de nutrientes de mayor calidad física y química; se ha afianzado una creciente oferta de fertilizantes multi-nutrientes (tanto para aplicaciones al suelo como por vía foliar); y ha aumentado el interés por el empleo de “fertilizantes biológicos” (PGPR) vinculados a la nutrición fosforada y nitrogenada de los cultivos, entre otros hechos destacables. Sin embargo, y en forma paralela, persiste aún una relativamente escasa utilización de los conocimientos técnicos disponibles para fundamentar la aplicación de todos estos productos, lo cual permitiría lograr una mayor eficiencia de utilización de los mismos. Así, todavía se observa un bajo empleo de herramientas de diagnóstico “probadas” (como, por ejemplo, el análisis de suelo para P), mientras sigue siendo frecuente la aplicación de dosis uniformes de fertilizantes a todos los lotes por igual, en muchas ocasiones definidas por medio de vías empíricas (cuando no también “emocionales”). Globalmente, sin embargo, el aspecto más preocupante con relación a la fertilidad de los suelos y al uso de fertilizantes que actualmente afecta a la región es el balance negativo (extracciones con las cosechas que superan las reposiciones al suelo a través de los fertilizantes) que se viene registrando para los principales nutrientes (N, P, K y S) durante los últimos años. De acuerdo a estimaciones realizadas para la campaña 2002/03, la mayor parte de los suelos de la región habría tenido balances negativos de 50-100 kg N/ha, 10-20 kg P/ha y 10-15 kg S/ha (García, 2006). Estas cifras indican que el marcado aumento en el uso de fertilizantes que se ha producido en las dos últimas décadas no ha sido suficiente para compensar el crecimiento aún mayor que ha mostrado la producción de granos. La

consecuencia natural de este desequilibrio es el deterioro de la fertilidad química de los suelos de la región.

1.2. Formas de Organización de la Producción

Si bien existen algunas variaciones zonales, actualmente se estima que entre el 50 y el 70% de la superficie agrícola de la región es manejada por terceros (campos “arrendados”). Este fenómeno, que en sus inicios fue corporizado por la figura del “contratista”, hoy comprende también otras modalidades (“pools de siembra” y diversos tipos de sociedades). El proceso de tercerización de la producción agrícola ha seguido una tendencia creciente en las últimas décadas. En su gran mayoría, los alquileres tienen un año (una campaña) de duración y son acordados en quintales fijos de soja o en dinero (dólares estadounidenses), y con precios de arrendamiento que han mostrado una tendencia creciente (al menos hasta la campaña 2007/08). El plazo del alquiler, que no le asegura al arrendatario que podrá volver a producir en esa fracción de campo en la siguiente campaña, y el hecho de que usualmente el precio se establece con referencia al valor del grano de soja, conspira con la implementación de prácticas de manejo sustentable (planificación de una rotación de cultivos, adopción de esquemas de reposición de nutrientes) y empuja fuertemente a producir la “moneda de pago” (soja), reforzando así la tendencia hacia el monocultivo de esta oleaginosa en la región.

Como se desprende de lo mencionado, el maíz sólo adquiere importancia en los campos que no son arrendados, los cuales representan menos de la mitad de la superficie agrícola. En efecto, en su gran mayoría este cultivo se siembra en predios manejados por sus propietarios, o también bajo alguna forma de arrendamiento a mediano-largo plazo (tres o más años; figura que tibiamente ha empezado a resurgir en algunos campos de la zona). En ambas situaciones, el maíz suele formar parte de esquemas de producción más sustentables, caracterizados por la rotación de cultivos bajo siembra directa, dosis de fertilizantes superiores al promedio, y una mayor productividad como resultado del manejo optimizado y del mejor ambiente generado. Es importante entonces tener presente que las consideraciones que a continuación se realizarán con relación a las **Mejores Prácticas de Manejo (MPM)** para la nutrición del cultivo de **Maíz en la Región Pampeana Central** estarán básicamente asociadas a **Sistemas de Producción “elite”** o “de punta” que constituyen una fracción minoritaria de la superficie productiva y, por lo tanto, no son de representatividad general.

2. LAS MEJORES PRÁCTICAS DE MANEJO (MPM) EN MAÍZ

El concepto de las mejores prácticas de manejo (MPM) agronómicas fue introducido hace unos 20 años. Las mismas fueron definidas como aquellas prácticas probadas por la investigación y evaluadas en su implementación por parte de los productores que conducen a alcanzar un óptimo potencial productivo, un eficiente uso de los insumos y la protección del medio ambiente (PPI, 1989; Griffith y Murphy, 1991). Más recientemente, Roberts (2007) delineó las bases de las MPM para la fertilización de cultivos mediante un enfoque simple y al mismo tiempo contundente: aplicar el nutriente correcto en la cantidad necesaria, y en el momento y localización apropiados para satisfacer la demanda del cultivo. La adopción de estos principios en el manejo de los fertilizantes (también conocidos como *Four Rights of Fertilizer BMPs: Right product, Right rate, Right time, and Right place*) contribuye, a su vez, a lograr cuatro objetivos fundamentales del manejo de los sistemas de producción: productividad, rentabilidad, sustentabilidad y salud ambiental (Bruulsema *et al.*, 2008).

Los cuatro principios de las MPM para el uso de fertilizantes pueden ser reagrupados para asociarlos a las dos etapas o pasos reconocibles dentro del proceso de toma de decisiones con relación a la fertilización de cultivos orientada a un manejo eficiente de esta práctica. Así, en el primer paso (el diagnóstico de las deficiencias o requerimientos del nutriente y la consecuente recomendación de fertilización) se definiría la *dosis correcta* de nutriente a aplicar, y en el

segundo paso (la tecnología con la cual se realizará la aplicación del fertilizante a la dosis recomendada en el paso anterior) se seleccionaría el *momento, localización y fuente* de nutriente *apropiados* para efectuar la fertilización.

En general, el paso más importante para determinar la eficiencia con la cual se utilizará un nutriente o fertilizante es la etapa del diagnóstico de necesidades y recomendación de fertilización. Una evaluación objetiva de la condición de fertilidad, mediante alguna/s de las varias herramientas actualmente disponibles, sumada a una adecuada caracterización del sitio y su potencial productivo, posibilitará formular recomendaciones ajustadas a cada situación. Definir la *dosis correcta* de fertilizante (dosis mayores en aquellas situaciones que presentan deficiencias marcadas del nutriente, y dosis menores en las que su disponibilidad no es tan limitante) sobre la base de métodos probados es el primer gran paso para alcanzar altos índices de eficiencia de uso de los nutrientes. Esta estrategia, lógica y sencilla, impacta en forma positiva y considerable sobre la productividad y rentabilidad del cultivo. No obstante, su aplicación en la región no está tan difundida como sería esperable.

La elección del *momento, localización y fuente apropiados* también contribuye a lograr una mayor eficiencia de uso de los nutrientes. Como se verá más adelante, bajo determinadas condiciones (por ejemplo, en planteos de siembra directa y/o en cierto tipo de suelos de la región) una incorrecta elección de la fuente de N y de su localización, o del momento en el cual se decide hacer la aplicación del fertilizante nitrogenado, puede favorecer la ocurrencia de procesos que resultan en considerables pérdidas de eficiencia de uso de este nutriente. No obstante, es necesario subrayar, como regla general, que los efectos de obviar el primer paso del esquema de toma de decisión descripto (i.e., el de diagnóstico-recomendación), o cumplirlo pero con herramientas no validadas, originará ineficiencias de base en el manejo global del nutriente que difícilmente puedan ser luego subsanadas mediante la utilización de prácticas adecuadas en la etapa de tecnología de aplicación del fertilizante, por más eficientemente que ésta sea llevada a cabo.

En la *Región Pampeana Central*, durante los últimos años se ha generado abundante información y tecnología para implementar esquemas de MPM en la fertilización del cultivo de maíz. La mayor parte de las investigaciones han sido realizadas por las distintas unidades del INTA de la región, universidades, y otras instituciones y organizaciones como IPNI, AAPRESID y Grupos CREA, en algunos casos en forma conjunta. Como ya fuera mencionado, no toda esta oferta de conocimientos está siendo adoptada a nivel de la producción, aunque no necesariamente por una insuficiente difusión de los mismos, sino también por otros motivos de naturaleza socio-económica y cultural, cuyo análisis en mayor detalle excede el propósito de esta presentación.

A continuación se presenta un resumen del estado del conocimiento actual de las MPM de los tres principales nutrientes (nitrógeno, fósforo y azufre) para el cultivo de maíz en la *Región Pampeana Central*.

2.1. Diagnóstico de Deficiencias y Recomendación de Fertilización: la *Dosis Correcta*

2.1.1. Nitrógeno

Las deficiencias de N pueden ser diagnosticadas en pre-siembra, en diferentes estados a lo largo del ciclo del cultivo, y también al final del mismo (madurez fisiológica):

- *Concentración de nitratos en el suelo (0-20 cm) en pre-siembra:*

Este método fue el tradicionalmente usado en la región para identificar sitios con deficiente disponibilidad de N. Los niveles críticos originalmente propuestos oscilaron entre las 70 ppm de NO_3^- , para el área de la EERA-INTA Marcos Juárez (Bonel *et al.*, 1978), hasta las 100 ppm de NO_3^- , para el área de la EERA-INTA Pergamino (Senigagliesi, 1984). En general, esta

herramienta proporciona resultados erráticos, los cuales, al menos en parte, están asociados a la profundidad relativamente superficial a la que se toma la muestra de suelo para valorar la provisión de un nutriente tan móvil en el perfil. Por este motivo, su uso ha perdido importancia y ha sido reemplazado por métodos más novedosos que posibilitan la elaboración de diagnósticos más confiables.

- *Balace de nitrógeno:*

Este enfoque, introducido por Meisinger (1984), consiste en cuantificar en una ecuación los procesos de ganancias, pérdidas y transformaciones de N que tienen lugar en un sistema suelo-planta. Introduciendo algunas simplificaciones y supuestos, esta herramienta puede ser utilizada para estimar las necesidades de fertilización nitrogenada sobre la base de la oferta de N desde el suelo, la demanda de nutriente del cultivo, y la eficiencia con la cual son utilizadas las distintas vías de suministro de N. De esta manera, su expresión matemática adopta la siguiente forma:

$$N_{\text{fert}} = \frac{N_{\text{cult}} - (N_{\text{min}} \times E_1) - (N_{\text{inic}} \times E_2)}{E_3}$$

donde:

- N_{fert} = requerimiento de N de fertilizante
- N_{cult} = requerimiento de N del cultivo
- N_{min} = N mineralizado (neto) durante el ciclo del cultivo
- N_{inic} = N-NO₃⁻ disponible a la siembra (0-60 cm)
- E_1 = eficiencia de uso del N mineralizado
- E_2 = eficiencia de uso del N inorgánico disponible a la siembra
- E_3 = eficiencia de uso del N de fertilizante

A fines de poder utilizar este método para orientar las decisiones de fertilización nitrogenada del cultivo bajo condiciones reales de producción, en la región se han realizado algunos intentos para valorar las distintas variables de la ecuación (por ejemplo, Melchiori y Papparotti, 1996, en el sudoeste de Entre Ríos; Alvarez, 1999, para la Región Pampeana; Salvagiotti *et al.*, 1999, en el sur de Santa Fe). Sin embargo, sería necesario disponer de un mayor número de cuantificaciones para poder adaptar el uso de este método a diferentes situaciones de suelo, clima y cultivo. Dado que de todas las variables intervinientes en el balance solamente puede ser efectivamente medida la disponibilidad de nitratos en el suelo a la siembra, ante la ausencia de determinaciones o validaciones locales los valores del resto deben ser estimados. El grado de subjetividad y error implícitos al realizar estas estimaciones puede dar lugar a necesidades de fertilización del cultivo (dosis de N) muy diferentes. En consecuencia, si bien provee un excelente marco conceptual, en términos prácticos esta herramienta aún resultaría de dudosa utilidad para muchas situaciones de la región.

- *Disponibilidad inicial de N (N-NO₃⁻ del suelo a 0-60 cm + N del fertilizante):*

El desarrollo de este método de diagnóstico para el cultivo de maíz fue realizado en el norte de Buenos Aires y sur de Santa Fe (Ruiz *et al.*, 1997). El mismo consiste en alcanzar una determinada disponibilidad de N (expresada en kg/ha) al inicio del ciclo del cultivo, considerando que por encima de la misma es poco probable obtener respuesta a la fertilización nitrogenada. La dotación de N a alcanzar resulta de sumar la cantidad de N-NO₃⁻ determinada en el perfil de suelo (0-60 cm) y la dosis de N de fertilizante a agregar. Para el norte de Buenos Aires y sur de Santa Fe, el umbral originalmente propuesto fue de 140 kg N/ha (Ruiz *et al.*, 1997). En trabajos posteriores, el criterio fue ajustado y enriquecido mediante la incorporación de variables de sitio (pH del suelo y años de agricultura del lote), lo que permitió definir rangos para identificar situaciones de respuestas confiables, de respuestas bajas, y de no respuesta al agregado de N (Ruiz *et al.*, 2001; Figura 3).

En experimentos conducidos con este enfoque desde la EEA-INTA Oliveros en el centro-sur de Santa Fe, se estableció un umbral de N disponible a la siembra de 135 kg N/ha (Salvagiotti *et al.*, 2002b). Estudios adicionales realizados en la misma zona, en los que se analizó una mayor población de ensayos y se la separó en base al nivel de productividad máximo alcanzado en cada sitio, posibilitaron obtener calibraciones más específicas. Así, mediante este procedimiento fueron propuestos dos niveles críticos: 133 kg N/ha, para situaciones en las cuales los rendimientos potenciales son inferiores a los 9500 kg grano/ha; y 162 kg N/ha para lotes en los que los rendimientos superan los 9500 kg grano/ha (Salvagiotti *et al.*, 2004b). Como se desprende de esta información, la correcta valoración del potencial productivo del lote permite realizar una mejor aproximación a la *dosis correcta* de N a aplicar, optimizando de este modo también la eficiencia de uso del nutriente.

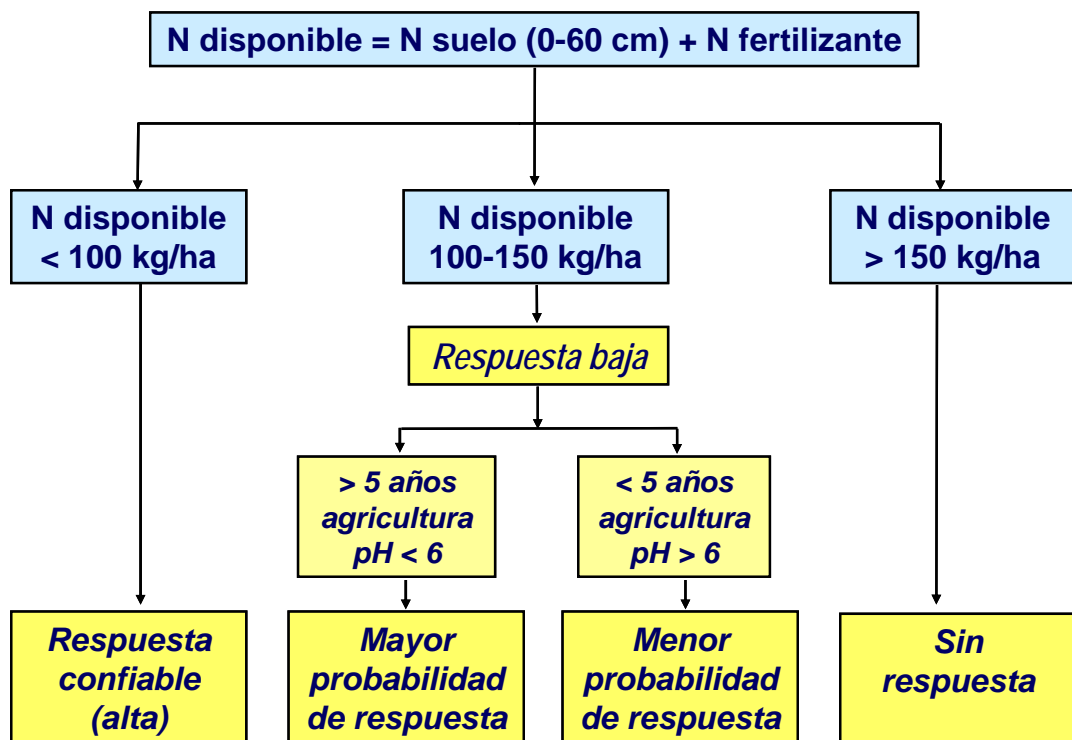


Figura 3. Criterios de decisión para la fertilización nitrogenada de maíz en base al N disponible a la siembra y variables de calidad de sitio (adaptado de Ruiz *et al.*, 2001).

Al igual que la ecuación de balance, este método de la disponibilidad inicial de N tiene la virtud de permitir realizar en forma simultánea el diagnóstico de la deficiencia y la recomendación de fertilizante nitrogenado a agregar. Este motivo hace que su utilización sea muy práctica, y quizás haya sido ésta una de las principales razones que han promovido el relativamente buen nivel de adopción que presenta en la región.

En una etapa más reciente de su desarrollo, el enfoque de la disponibilidad inicial de N ha sido incorporado a modelos de simulación agronómica para evaluar en forma conjunta los efectos del nivel de oferta del nutriente, el suelo y el clima sobre la respuesta bajo distintos planteos de producción de maíz. De esta manera, es posible estimar el impacto de la variabilidad climática sobre las respuestas a N y su estabilidad para diferentes series de suelo y registros climáticos históricos de la región (Satorre *et al.*, 2000). Las posibilidades de la simulación incluyen también una evaluación económica de la decisión de fertilización adoptada y del riesgo asociado a la misma. La integración de variables climáticas, edáficas y de manejo (fechas de siembra, híbridos, densidad, etc.) al diagnóstico de fertilidad y recomendación de

fertilización constituye una ventaja sobre otros métodos disponibles (García, 2002), y le confiere al enfoque original de la disponibilidad inicial de N una mayor potencia para la evaluación de distintos escenarios en el proceso de toma de decisiones.

- *Estimación de la capacidad de mineralización de N del suelo:*

Durante los últimos años, se han evaluado varios métodos de laboratorio para estimar la capacidad de mineralización de N de los suelos mediante procedimientos de corta duración, requisito indispensable para poder utilizarlos con fines de diagnóstico. Una de estas pruebas es la *Incubación Anaeróbica (IA)* de muestras de suelo por un período de 7 ó 14 días (Gianello y Bremner, 1986). En nuestro país, Calviño y Echeverría (2003) emplearon esta técnica en muestras de suelo (0-20 cm) tomadas a la siembra en una red de 43 ensayos de fertilización nitrogenada en maíz conducidos en el sudeste de Buenos Aires, encontrando que un contenido de N mineralizado durante el período de incubación (7 días a 40°C) de 48 ppm permitió separar sitios de alta (IA < 48 ppm) y baja (IA > 48 ppm) probabilidad de respuesta a la fertilización nitrogenada. En un estudio posterior realizado en la misma zona (Calviño *et al.*, 2005), los resultados de las incubaciones anaeróbicas permitieron mejorar la precisión de la recomendación de fertilización provista por el método de la disponibilidad inicial de N. Así, para suelos con IA < 48 ppm, el umbral de N en el suelo (0-60 cm) + N del fertilizante a alcanzar sería de 162 kg N/ha, mientras que en sitios con IA > 48 ppm la disponibilidad inicial de N debería sumar 131 kg N/ha. Las incubaciones anaeróbicas fueron también evaluadas en una red de 9 ensayos de maíz realizados en la *Región Pampeana Central*, no encontrándose asociación entre estas determinaciones y las respuestas a N (Echeverría *et al.*, 2006). En dicho trabajo, las IA tampoco contribuyeron a mejorar significativamente la capacidad de diagnóstico de la disponibilidad inicial de N. Estos resultados podrían explicarse por el escaso aporte de N por mineralización (bajos valores de IA) que fue medido en los suelos de la región, caracterizados por una prolongada historia agrícola.

Otros métodos para cuantificar en forma rápida el N potencialmente mineralizable de los suelos son el *Test de Illinois* o *ISNT* (Illinois Soil Nitrogen Test; Khan *et al.*, 2001) y la *Prueba del Hipoclorito de Calcio* (Picone *et al.*, 2002), también denominada *GPT* (Gas Pressure Test). El ISNT ha sido evaluado en forma preliminar en la región (Daverede, 2005; García *et al.*, 2006; Faccendini *et al.*, 2008) y el GPT también ha sido objeto de algunos estudios en la EEA-INTA Paraná (Melchiori y Faccendini, 2004; Faccendini *et al.*, 2008). Sin embargo, en ninguno de los dos casos se dispone aún de un juicio definitivo sobre su utilidad como herramienta de diagnóstico.

- *Concentración de N-NO₃⁻ en el suelo (0-30 cm) con el cultivo en V5-6:*

La determinación de la concentración de N-NO₃⁻ en muestras de suelo tomadas en el centro de los entresurcos cuando el cultivo presenta 5-6 hojas desplegadas (V5-6), o *PSNT* (Presidedress Soil Nitrate Test), ha permitido identificar aceptablemente sitios con respuesta y sin respuesta a la fertilización nitrogenada. Así, sobre la base de una red de 30 ensayos conducidos en el centro-norte de Buenos Aires y sur de Santa Fe, Ferrari *et al.* (2001a) establecieron un nivel crítico de 20 ppm N-NO₃⁻ (0-30 cm) mediante el cual fue posible predecir la respuesta a N con un 83% de confiabilidad (Figura 4). Salvagiotti *et al.* (2002a), trabajando en el centro-sur de Santa Fe, obtuvieron un valor mayor (26 ppm N-NO₃⁻; a 0-30 cm) para el conjunto de experimentos analizados, y propusieron también umbrales específicos para distintos niveles de productividad del cultivo: 21 ppm y 26 ppm N-NO₃⁻, para rendimientos medios de grano inferiores o superiores a 8000 kg/ha, respectivamente.

En otros estudios realizados en la región, las muestras de suelo en V6 fueron extraídas a profundidades distintas, encontrándose concentraciones críticas que, si bien no son comparables con las obtenidas a 0-30 cm, permitieron igualmente predecir la respuesta a la fertilización con N. Así, con información proveniente de ensayos localizados en Córdoba, Entre Ríos y Santa Fe, Bianchini *et al.* (2005) definieron un umbral de 19 ppm N-NO₃⁻ para un

espesor de suelo de 0-20 cm, mientras que en investigaciones llevadas a cabo en Entre Ríos, Melchiori *et al.* (1996) obtuvieron niveles críticos de 21 ppm (0-20 cm) y 17,4 ppm (0-40 cm) de N-NO_3^- .

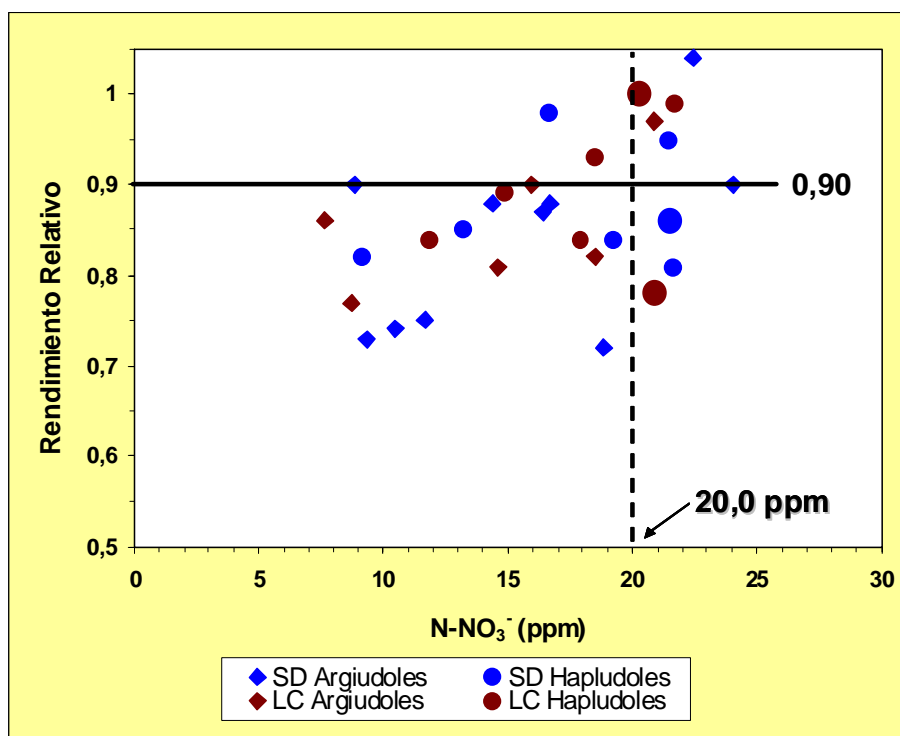


Figura 4. Relación entre el rendimiento relativo de maíz y la concentración de N-NO_3^- en el suelo (0-30 cm) con el cultivo en V5-6. Ensayos conducidos en el centro-norte de Buenos Aires y sur de Santa Fe en distintos tipos de suelo (Argiudoles y Hapludoles) y con diferentes sistemas de labranza (SD: siembra directa y LC: con remoción de suelo), campañas 1996/97 a 2000/01 ($n=30$). La línea vertical indica el nivel crítico obtenido de 20,0 ppm N-NO_3^- (adaptado de Ferrari *et al.*, 2001a).

El PSNT es una herramienta útil para separar sitios con alta y baja probabilidad de respuesta a la fertilización nitrogenada. Sin embargo, en general el método no provee en forma directa una recomendación de la dosis de N a aplicar. Con este objetivo, para el estado de Iowa (EE. UU.), Blackmer *et al.* (1997) propusieron multiplicar la diferencia hallada entre el nivel crítico de N-NO_3^- establecido (25 ppm) y la concentración de éstos obtenida en el lote a diagnosticar por un factor de 9, dado que bajo aquellas condiciones existe evidencia que sostiene que el agregado de ~ 9 kg N/ha permite incrementar en 1 ppm la dotación de N-NO_3^- en los 30 cm superficiales de suelo. Para el sudeste de Buenos Aires, Echeverría *et al.* (2005) sugirieron emplear un enfoque análogo al de Iowa utilizando un factor de 8-10 kg N/ha por ppm N-NO_3^- en suelo para obtener la dosis de N recomendada. En la *Región Pampeana Central* aún no se dispone de suficiente información para poder usar un esquema como el mencionado y así subsanar esta debilidad del test de N-NO_3^- en V6. A partir de trabajos realizados en la región, Bianchini *et al.* (2005) informaron que fueron necesarios 12,8 kg N/ha para incrementar en 1 ppm la concentración de N-NO_3^- en el suelo, pero esta relación fue obtenida para 0-20 cm de profundidad.

- Lectura de clorofila en hoja con el cultivo en V6:

La determinación de clorofila o índice de verdor en las hojas mediante un medidor Minolta SPAD 502 puede ser utilizada para evaluar la condición de nutrición nitrogenada del cultivo de

una manera expeditiva y no destructiva. Sin embargo, investigaciones realizadas en la región revelaron que esta herramienta no resultó ser un buen indicador cuando fue empleada en un estado tan temprano como V6, aún cuando las mediciones fueron expresadas en términos relativos (índice de suficiencia de N) para eliminar las interferencias introducidas por el material genético y las condiciones ambientales en la interpretación de los datos (Ferrari *et al.*, 2000c; García *et al.*, 2006). El método incrementaría su sensibilidad cuando las lecturas son tomadas en estadios más avanzados del cultivo (Sainz Rozas y Echeverría, 1998). Estudios aún en marcha realizados por el INTA en la región, en los cuales se realizan estas mediciones en V8 y V10, parecerían confirmar esta tendencia.

- *Concentración de nitratos en el jugo de la base del tallo con el cultivo en V6:*

El análisis de la concentración de nitratos en la savia de la base de plantas muestreadas bajo condiciones estandarizadas de horario (antes de las 9 de la mañana) y ausencia de nubosidad ha mostrado tener una alta sensibilidad para separar tratamientos con diferente estado de nutrición nitrogenada (Ferrari *et al.*, 1999). El empleo de esta herramienta permitió alcanzar resultados promisorios en una red de 7 ensayos conducidos en el centro-norte de Buenos Aires y sur de Santa Fe, obteniéndose un nivel crítico de 1439 ppm de NO_3^- (Ferrari *et al.*, 2001b). En investigaciones previas realizadas en el sur de Santa Fe se había encontrado un umbral sensiblemente superior (4500 ppm de NO_3^- ; González Montaner y Di Nápoli, 1997a), mientras que en un estudio posterior llevado a cabo en la región se propuso un nivel crítico intermedio a los dos mencionados anteriormente (2000 ppm de NO_3^- ; García *et al.*, 2006). Si bien permite obtener información en forma rápida, el método requeriría disponer de calibraciones locales, las que parecen ser muy dependientes de las condiciones de sitio y año bajo las cuales son obtenidas. En trabajos efectuados en el sudeste bonaerense, Sainz Rozas *et al.* (2001) determinaron niveles críticos que oscilaron entre 1200 y 2400 ppm de NO_3^- , diferencias que fueron atribuidas fundamentalmente a las distintas condiciones hídricas del suelo experimentadas por los cultivos en cada caso. La variabilidad mencionada puede generar dudas respecto al valor de referencia a considerar al momento de hacer la interpretación de las mediciones, en cuyo caso el empleo de esta herramienta con fines de diagnóstico carecería de suficiente confiabilidad.

Los métodos basados en la lectura de clorofila en hoja y en la concentración de nitratos en savia comparten la desventaja expresada para el PSNT de no permitir, al menos con el conocimiento disponible hasta el momento, elaborar una recomendación de la *dosis correcta* para la fertilización nitrogenada del cultivo.

- *Uso de sensores remotos:*

La evidencia experimental reciente obtenida tanto en los Estados Unidos como en nuestro país que demuestra que el maíz puede responder significativamente al agregado de N aún en estados tan avanzados como V11-V16 (Scharf *et al.*, 2002; Melchiori *et al.*, 2005a), ha expandido la ventana de tiempo durante la cual cobra sentido práctico detectar las deficiencias de este nutriente en el cultivo. Paralelamente, en la región se está registrando una creciente difusión de equipos pulverizadores autopropulsados, los cuales son operativamente adecuados para realizar las fertilizaciones correctivas correspondientes que surjan de estos diagnósticos mediante la aplicación chorreada de formulaciones líquidas de N. Este novedoso escenario ha dado lugar a modernas y más sofisticadas herramientas de diagnóstico y recomendación basadas en el uso de sensores remotos.

Si bien en la región se han evaluado distintos sensores, el que más atención ha recibido en los últimos años es el GreenSeeker, habiéndose concentrado las actividades de investigación en la EEA-INTA Paraná (Melchiori *et al.*, 2005c; Melchiori, 2007). El equipo basa su funcionamiento en sensores ópticos activos que miden la reflectancia del canopy en las bandas del rojo (R) e infrarrojo cercano (IR), expresando los resultados como un Índice de Vegetación Normalizado ($\text{NDVI} = \frac{\text{IR} - \text{R}}{\text{IR} + \text{R}}$). La utilización de este método requiere la

preparación de franjas de suficiencia de N (sectores del lote en los cuales se aplica una dosis inicial de N elevada para asegurar condiciones no limitantes del nutriente). Una vez que el maíz alcanza una suficiente acumulación de biomasa (por ejemplo, en V8 a V12), se determina el NDVI en las franjas de suficiencia y en el resto del lote a fertilizar pasando el sensor a una altura de 0,6-1 m por encima del canopeo. Finalmente, con los valores de NDVI así obtenidos, un algoritmo validado para las condiciones locales calcula la dosis de N a aplicar.

Una de las ventajas más interesantes que ofrece este método de diagnóstico-recomendación es su utilización para el manejo sitio-específico de la fertilización nitrogenada. En este sentido, actualmente se están realizando experiencias a campo en nuestro país con el sistema GreenSeeker RT 200, con el cual las mediciones son realizadas por un conjunto de sensores dispuestos en el botalón de equipos de aplicación de fertilizantes autopropulsados (Melchiori, 2007; Melchiori y Albarenque, 2007). La integración y procesamiento de los datos de NDVI medidos por los sensores, y el empleo de una computadora para aplicación de dosis variable, permiten modular en tiempo real las dosis de N en función de los cambios en los niveles de deficiencia que se van detectando mientras el aplicador va avanzando por el lote

En experimentos realizados en la EEA-INTA Paraná, se han obtenido aumentos significativos en la eficiencia de uso del N (EUN) cuando se emplearon dosis variables prescriptas por el GreenSeeker en comparación con una estrategia de fertilización de dosis uniforme, siendo estas diferencias mayores cuando las aplicaciones se hicieron en estadios más avanzados del cultivo (Melchiori *et al.*, 2005c). Por otro lado, los aumentos en la EUN que posibilitó el manejo variable del nutriente asistido mediante el sensor en general han significado también una reducción de la dosis de N aplicada (Melchiori, 2007).

En diferentes estaciones experimentales del INTA de la *Región Pampeana Central*, este sensor está siendo actualmente evaluado también como herramienta de diagnóstico del estado de nutrición nitrogenada del cultivo y como opción para incrementar la EUN en comparación con esquemas de recomendación más tradicionales.

Si bien el empleo de este enfoque en la región es aún incipiente, las ventajas del mismo habilitan a pensar que su futuro podría ser promisorio. Por un lado, la evaluación de las necesidades de N en estadios más tardíos del cultivo permitiría incrementar la precisión en el diagnóstico y, por el otro, son claras las posibilidades que ofrece el sistema para formular recomendaciones sitio-específicas de la *dosis correcta*.

- *Concentración de $N-NO_3^-$ en la base del tallo al final del ciclo (madurez fisiológica):*

Este test, desarrollado en la Universidad de Iowa, EE. UU. (Binford *et al.*, 1990, 1992), se realiza en segmentos de 20 cm de longitud de la parte basal de los tallos de maíz, los que deben ser muestreados una vez que el cultivo alcanza la madurez fisiológica. Su utilización permite evaluar el resultado del manejo del N adoptado durante la campaña. Las concentraciones de $N-NO_3^-$ que se encuentran en el rango de 700 a 2000 ppm son consideradas óptimas (Blackmer y Mallarino, 1996). Valores inferiores a 700 ppm indican que una mayor disponibilidad de N para el cultivo muy probablemente habría resultado en rendimientos de grano más elevados, mientras que concentraciones superiores a las 2000 ppm revelan un suministro excesivo e innecesario de N para el cultivo.

En la *Región Pampeana Central* la utilización de este método es muy escasa. No obstante, su empleo en forma rutinaria permitiría reorientar los programas de fertilización del cultivo, introduciendo los ajustes necesarios en las dosis de N aplicadas a fines de compatibilizar el logro de elevados niveles de rendimiento de grano y una alta EUN. Bianchini *et al.* (2005) evaluaron esta herramienta en una red de ensayos ubicada en las provincias de Córdoba, Entre Ríos y Santa Fe, y encontraron una concentración crítica de 400 ppm $N-NO_3^-$, levemente menor al límite inferior del rango óptimo propuesto para Iowa. Una mayor utilización de esta

técnica requeriría disponer de resultados de investigación adicionales obtenidos en distintas zonas de la región.

2.1.2. Fósforo

Debido a la característica de inmovilidad de este nutriente, y al poder residual de los fertilizantes fosfatados, los resultados de los análisis de suelo pueden ser interpretados con diferentes filosofías u objetivos al momento de efectuar el diagnóstico y formular la recomendación de fertilización con P. Por este motivo, existe más de una manera de definir la *dosis correcta* de P. Dos de los criterios de interpretación posibles son: 1) *Nivel de suficiencia*, y 2) *Construcción y mantenimiento*.

El criterio de nivel de suficiencia puede ser sintetizado en el concepto de “fertilizar el cultivo”. Bajo este enfoque de corto plazo, se utilizan dosis de fertilizante basadas en los análisis de suelo que permiten maximizar la respuesta económica del cultivo al agregado del nutriente.

Mediante el criterio de construcción y mantenimiento, en cambio, se busca construir en un determinado plazo una dotación del nutriente en el suelo superior al nivel crítico para luego mantenerla a través del tiempo. Bajo este concepto de “fertilizar el suelo”, una vez que se alcanza la dotación objetivo la dosis de fertilizante empleada es aquella que retorna al suelo la cantidad del nutriente que será exportada en el grano del cultivo de esa campaña (dosis también conocida como “de reposición”).

La adopción de la filosofía de suficiencia requiere disponer de niveles críticos (o de suficiencia) determinados a través de calibraciones zonales para poder interpretar correctamente los resultados de los análisis de suelo. En la región se han realizado varios estudios de este tipo. En todos los casos, las determinaciones analíticas para cuantificar la disponibilidad de P fueron realizadas por el método de Bray 1 (Bray y Kurtz, 1945) y las concentraciones críticas fueron definidas para muestras de suelo tomadas a una profundidad de 0-20 cm en pre-siembra del cultivo. En la Tabla 1 se presentan los niveles críticos de P Bray 1 para maíz reportados en diferentes trabajos realizados en la región.

Tabla 1. Niveles críticos de P Bray 1 para maíz en muestras de suelo (0-20 cm) tomadas en pre-siembra reportados en distintos trabajos realizados en la Región Pampeana Central.

Zona	Nivel crítico (ppm)	Sistema de labranza ⁽¹⁾	Referencia
Sur de Santa Fe, sudeste de Córdoba y norte de Buenos Aires	15-16	SD	García <i>et al.</i> (2006)
Oeste de Entre Ríos	18	SD	Mistrorigo <i>et al.</i> (2000)
Centro-sur de Córdoba	12-14	SD	Castillo <i>et al.</i> (1998)
Sudeste de Córdoba ⁽²⁾	15	SD	Bianchini <i>et al.</i> (2004)
Centro-norte de Buenos Aires y sur de Santa Fe	13,5	SD y LC	Ferrari <i>et al.</i> (2000b)

(1) SD: siembra directa; LC: con remoción de suelo

(2) un ensayo fue realizado en el sudeste de Buenos Aires

Bajo este criterio, cuando el resultado del análisis de suelo es inferior al nivel crítico zonal se recomienda fertilizar el cultivo con P. La dosis de fertilizante fosfatado a aplicar puede definirse a partir de curvas de respuesta (incremento de los rendimientos de maíz ante dosis crecientes de fertilizante fosfatado) obtenidas en ensayos realizados en la zona y de la relación de precios kg P/kg maíz. Para diferentes áreas de la región existe información disponible de curvas de respuesta a P (por ejemplo, Barbagelata y Paparotti, 2000, para el oeste de Entre Ríos; Ferrari *et al.*, 2000a, para el norte de Buenos Aires; Bianchini *et al.*, 2004, para el sudeste de Córdoba), aunque sería necesario contar con un mayor número de estos estudios para poder realizar aproximaciones más precisas a la *dosis correcta* bajo distintas condiciones de suelo, clima y manejo. Trabajos experimentales actualmente en marcha conducidos desde distintas estaciones experimentales de INTA en la región permitirán en breve suplir parcialmente esta carencia.

Un método alternativo para determinar la dosis de suficiencia de P se basa en el concepto de *Dosis Equivalente* (De), la cual expresa los kilos de fertilizante que se requieren para lograr un incremento en el fósforo disponible del suelo de una unidad (Quintero, 2003). Mediante este enfoque, la dosis de P a aplicar resultará de multiplicar la diferencia entre el nivel crítico zonal (Pf) y el nivel de P medido a la siembra del cultivo (Pi) por el valor de De correspondiente al suelo en cuestión (Quintero, 2003; Rubio *et al.*, 2007):

$$\text{Dosis a aplicar (kg/ha)} = (P_f - P_i) \times D_e$$

Dado que la De está estrechamente relacionada con características del suelo que definen el poder de fijación de P (arcillas, óxidos libres), su valor puede ser obtenido mediante una sencilla prueba de laboratorio denominada *Índice de Retención de Fósforo*. (Quintero, 2003). Recientemente, Rubio *et al.* (2007) han propuesto una opción metodológica para la estimación de la De basada en la aplicación uniforme de dosis crecientes de P al suelo y la determinación de la evolución del P disponible a los 45 días desde el momento de la fertilización.

Si bien el empleo de este esquema con valores apropiados de De permite hacer un cálculo de la dosis de P a aplicar, debe tenerse presente que el mismo parte de algunos supuestos que no siempre pueden reproducirse bajo las condiciones reales de producción: Así, se asume que el fertilizante será aplicado al voleo y posteriormente incorporado al suelo (Quintero, 2003) o que el fertilizante comercial a utilizar presentará un comportamiento similar al utilizado en la determinación de los valores de De ($K(H_2PO_4)$; Rubio *et al.*, 2007). En consecuencia, a fines de valorar correctamente la eficacia de este método para lograr los objetivos de incrementar la disponibilidad de P en el suelo hasta un determinado nivel y de generar la respuesta esperada en el cultivo fertilizado sería necesaria una más amplia etapa de validación, especialmente bajo sistemas de producción en siembra directa.

Cuando se utiliza el criterio de construcción y mantenimiento, la *dosis correcta* de P a aplicar en la etapa de mantenimiento es la dosis de reposición del nutriente, la cual puede calcularse sobre la base del rendimiento de grano esperado para el cultivo (en ton/ha y expresado en base seca), el requerimiento de P del maíz (kg de P absorbidos / ton de grano producido), y el índice de cosecha del nutriente. Existen tablas con valores orientativos de requerimientos e índices de cosecha para diferentes nutrientes y cultivos (por ejemplo, García, 2000, recientemente actualizadas por Ciampitti y García, 2007) mediante los cuales pueden estimarse las dosis de mantenimiento a aplicar. Obviamente, durante la etapa de construcción la dosis de P a utilizar debe ser superior a la de mantenimiento a efectos de poder elevar el nivel de P disponible en el suelo.

Como puede deducirse, las dosis de P determinadas con el criterio de mantenimiento suelen ser considerablemente mayores a las que surgen de adoptar el criterio de suficiencia. Por lo tanto, es importante que quienes vayan a elaborar la recomendación de fertilización (laboratorios, asesores) acuerden previamente con el productor el criterio que será utilizado. Esto contribuirá a evitar confusiones respecto a la definición de la dosis más conveniente para

una misma situación y permitirá revalorizar el rol de los análisis de suelo en el diagnóstico de fertilidad.

2.1.3. Azufre

Para las condiciones de la región, aún no ha sido posible desarrollar una herramienta de aplicación generalizada para el diagnóstico de la nutrición azufrada del cultivo. La mayor parte de las investigaciones ha centrado su búsqueda en establecer relaciones entre la respuesta del maíz al agregado de S y la concentración de $S-SO_4^-$ en el suelo en pre-siembra. Sin embargo, sólo en uno de estos estudios se encontró una clara asociación entre ambas variables, identificándose un nivel crítico de 10 ppm $S-SO_4^-$ en los 20 cm superficiales de suelo que permitió separar satisfactoriamente los sitios con y sin respuesta a S (Figura 5; García *et al.*, 2006).

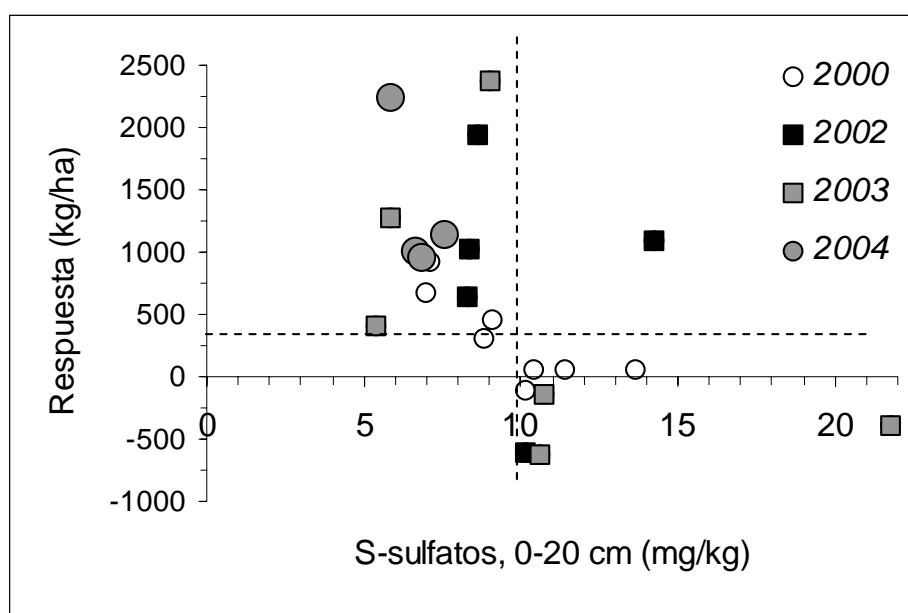


Figura 5. Respuesta del maíz en función de la disponibilidad de S-sulfatos en suelo (0-20 cm) en pre-siembra. Ensayos de la Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe, campañas 2000/01, 2002/03, 2003/04 y 2004/05 (n=23). La línea vertical indica el nivel crítico de S-sulfatos de 10 mg/kg y la horizontal una respuesta de 300 kg/ha (García *et al.*, 2006).

En el resto de los trabajos conducidos en la región, el nivel de $S-SO_4^-$ en el suelo no permitió predecir la respuesta al agregado de S (por ejemplo, González Montaner y Di Nápoli, 1997b, en el sur de Santa Fe; Melchiori *et al.*, 2005b, en Entre Ríos; Ferraris *et al.*, 2005, en el centro-sur de Santa Fe y centro-norte de Buenos Aires). En este último estudio también se evaluaron otras variables de suelo (materia orgánica, textura) y planta (contenido de S y relación N/S en grano), además de distintas profundidades (0-20, 20-40 y 40-60 cm) y extractantes (acetato de amonio, cloruro de potasio y fosfato diácido de potasio) para la determinación de $S-SO_4^-$ en suelo, no encontrándose en ningún caso asociación con la respuesta del cultivo a la fertilización azufrada.

Debido a la falta de ajuste mostrada por los análisis de suelo, en el área del centro-sur de Santa Fe y el sudeste de Córdoba se ha intentado hacer una aproximación al diagnóstico de fertilidad azufrada mediante la caracterización de "ambientes deficientes". Con este propósito, Cordone y Martínez (2000) clasificaron los ambientes destinados a cultivos extensivos según su rendimiento relativo, encontrando dos situaciones en las que se registraban respuestas a la

fertilización azufrada: 1) ambientes de bajo rendimiento o de “deficiencia crónica”, y 2) ambientes de rendimiento medio-alto o de “deficiencia inducida”. Los ambientes de deficiencia crónica están asociados a bajos contenidos de materia orgánica del suelo, extensos períodos de agricultura continua con el sistema convencional de labranza, bajos aportes de nutrientes y rastros, erosión hídrica, compactación de suelos y siembra directa. Los ambientes de deficiencia inducida, en cambio, en general son lotes en los que se han ajustado las prácticas de manejo pero en los que se registra una historia reciente de altos rendimientos acumulados con altas tasas de extracción de nutrientes, fertilización desbalanceada y alto aporte de residuos vegetales, entre otras características. En un desarrollo posterior de estos conceptos, Vilche *et al.* (2002) identificaron algunas de las propiedades edáficas relacionadas con las prácticas de manejo que condicionan la respuesta a S, entre las que se destacaron el contenido de materia orgánica, la estabilidad estructural y el grado de erosión.

Si bien la caracterización de ambientes mencionada ha permitido orientar la decisión de fertilización con S en el área en la que fue propuesta, la aplicación de este enfoque en otras zonas podría no tener el mismo valor indicador (Ferraris *et al.*, 2005).

Con relación a la recomendación de fertilización, para un manejo del nutriente basado en el criterio de suficiencia varios trabajos conducidos en la región coinciden en señalar que en los sitios con respuesta los máximos beneficios se alcanzan con dosis relativamente bajas, cercanas a los 10 kg S/ha (Carta *et al.*, 2001; Ferraris *et al.*, 2005).

2.2. Tecnología de Aplicación de Fertilizantes: el momento, la localización y la fuente apropiados

2.2.1. Nitrógeno

2.2.1.1. Momento de aplicación del fertilizante nitrogenado

Durante los últimos años, la aplicación del fertilizante nitrogenado a la siembra del cultivo ha cobrado una creciente difusión en la región, especialmente en sistemas bajo siembra directa. En respuesta a esta tendencia, en varias investigaciones se ha comparado la eficiencia de estas aplicaciones tempranas respecto a las tradicionales realizadas cuando el cultivo se encuentra alrededor de V6. Los resultados de una red de 8 ensayos conducidos en siembra directa en el centro-norte de Buenos Aires y el sur de Santa Fe, revelaron que en ninguno de los sitios sobre suelos Argiudoles (con B textural) el momento de aplicación de N (a la siembra o en V6) afectó los rendimientos, mientras que en dos de los tres ensayos realizados sobre suelos Hapludoles (sin B textural) la producción de granos mostró diferencias significativas a favor de las fertilizaciones demoradas (V6). En la Figura 6 se presentan los resultados obtenidos en dos de estos experimentos que ilustran las diferentes respuestas encontradas en ambos tipos de suelos con relación al momento de aplicación de N (Ferrari, 2006).

En la EEA-INTA Marcos Juárez, Gudelj *et al.* (2004) también evaluaron la aplicación de N en dos estados del cultivo (a la siembra y en V6) en 18 ensayos realizados durante tres campañas, encontrando efectos significativos del momento de aplicación sobre los rendimientos sólo en 6 sitios, en todos los casos con diferencias a favor de la fertilización en V6. En este estudio, la totalidad de los experimentos estuvo localizada en suelos de la serie Marcos Juárez, un Argiudol típico con B textural relativamente poco expresado.

En experiencias realizadas por Salvagiotti *et al.* (2004a) sobre suelos Argiudoles típicos en tres localidades del centro-sur de Santa Fe, la aplicación de 120 kg N/ha a la siembra o dividiendo la dosis en dos momentos (60 kg N/ha a la siembra y 60 kg N/ha en postemergencia) produjo rendimientos de grano similares cuando la refertilización se realizó en estadios tempranos del cultivo (V5).

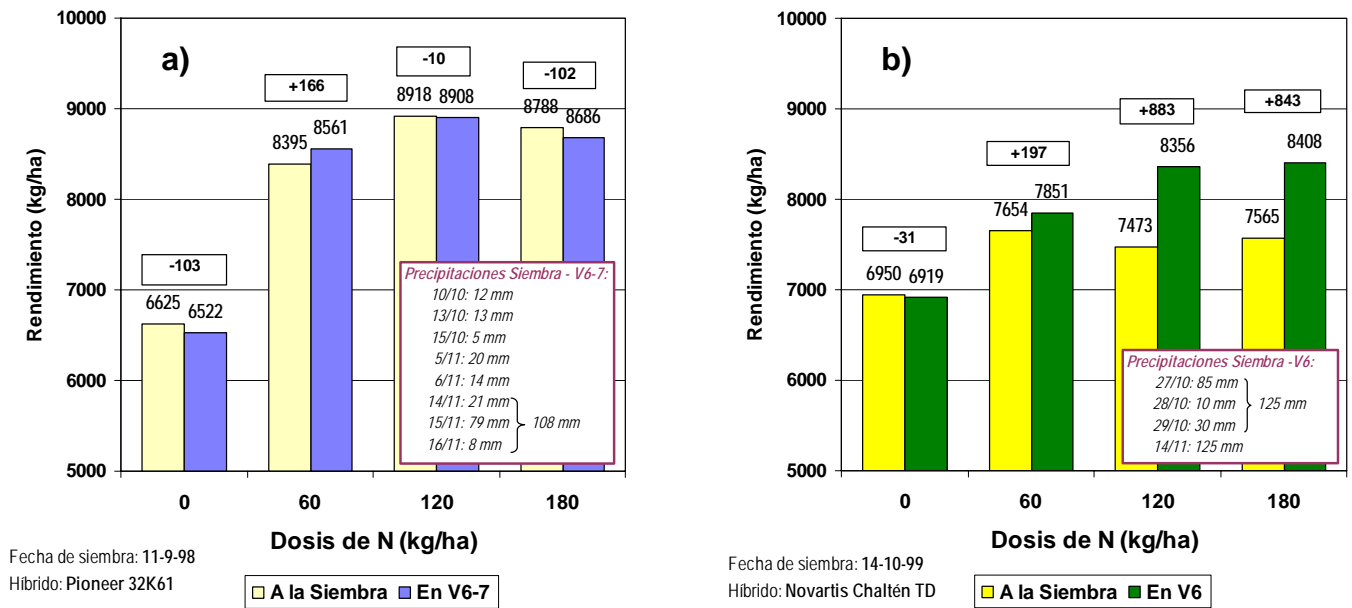


Figura 6. Rendimientos de maíz y momento de aplicación de nitrógeno en siembra directa: a). Alcorta (Santa Fe), campaña 1998/99. Suelo: Argiudol típico, serie Juncal (Dosis: $p < 0,05$; Momento: NS; D x M: NS), y b) Bragado (Buenos Aires), campaña 1999/00. Suelo: Hapludol éntico, serie Norumbega (Dosis: NS; Momento: $p < 0,10$; D x M: NS) (Ferrari, 2006).

En las investigaciones mencionadas, los mayores rendimientos obtenidos con las fertilizaciones en V6 que se observaron en algunos ensayos fueron atribuidos a la lixiviación de los nitratos provenientes del fertilizante aplicado a la siembra que habría ocurrido entre ese momento y V6. Esta hipótesis estaría sustentada por el hecho de que la mayor frecuencia de respuestas a la fertilización demorada estuvo asociada a la abundancia de precipitaciones durante el período Siembra-V6 y a suelos Hapludoles (de textura gruesa y buen a excesivo drenaje interno) o Argiudoles con B textural poco marcado, propiedad que le confiere a los mismos un mayor potencial de lixiviación.

Estos resultados indican que en algunos suelos de la región la decisión de aplicar la totalidad del fertilizante nitrogenado a la siembra implica un riesgo de pérdida de eficiencia en el uso del N, por lo que las aplicaciones demoradas ofrecerían una mayor seguridad, especialmente si se utilizan dosis elevadas. Los suelos con mayor potencial de lavado de nitratos se presentan preferentemente hacia el sur y el oeste de la *Región Pampeana Central* (Figura 1). Por el contrario, en los Argiudoles del resto de la región la elección del momento de fertilización tendría una relevancia menor, y podría basarse en razones operativas sin que esto afecte en forma importante el nivel de rendimiento del cultivo.

Las experiencias desarrolladas en la EEA-INTA Paraná en las que se obtuvieron respuestas significativas a la fertilización nitrogenada en aplicaciones tardías (V8 a V14; Melchiori *et al.*, 2005a), y que ya fueron mencionadas en el punto 2.1.1. (Uso de sensores remotos), abren nuevas posibilidades para corregir las deficiencias de N en el cultivo durante un período más amplio.

2.2.1.2. Localización del fertilizante nitrogenado y fuentes de nitrógeno

En sistemas de siembra directa, la localización subsuperficial del fertilizante nitrogenado por debajo de la cobertura de rastrojos y a unos pocos centímetros de profundidad del suelo puede considerarse la forma de aplicación más eficiente para todas las fuentes de N. Sin embargo, en

determinadas circunstancias la incorporación de los fertilizantes no es factible y los mismos deben ser aplicados superficialmente, ya sea en cobertura total (voleo) o en bandas. Bajo estas condiciones, los fertilizantes quedan sujetos a sufrir pérdidas de distinto tipo: 1) *Temporarias*, a través de procesos de inmovilización microbiana del N o de un simple efecto mecánico de intercepción por el rastrojo; y 2) *Permanentes*, determinadas por la volatilización de amoníaco, fenómeno al cual son susceptibles algunas fuentes (urea y UAN).

Las pérdidas por volatilización son reguladas por varios factores de suelo, de manejo y del ambiente. Entre ellos, la presencia de rastrojos, la alta temperatura y el elevado contenido de humedad de la superficie del suelo cuando se aplican los fertilizantes se encuentran entre los más importantes.

En la EEA-INTA Oliveros, Salvagiotti y Vernizzi (2006) midieron las pérdidas por volatilización producidas a partir de distintas fuentes de N aplicadas superficialmente en el estado V5 de un cultivo de maíz implantado en siembra directa. Aunque las evaluaciones fueron realizadas durante un período de sólo 5 días (dado que posteriormente se registró una lluvia superior a 10 mm que incorporó los fertilizantes, obligando a suspender las mediciones), se detectaron diferencias significativas entre fuentes, con las mayores pérdidas para la urea, intermedias para el UAN y mínimas para el CAN (Tabla 2). En consecuencia, en aquellos casos en que las aplicaciones superficiales no puedan ser evitadas deberá elegirse cuidadosamente la fuente de N a emplear a fines de reducir el riesgo de sufrir pérdidas importantes del nutriente a través de esta vía.

Tabla 2. Pérdidas por volatilización medidas durante un período de 5 días a partir de distintas fuentes y localizaciones de N en aplicaciones realizadas en el estado V5 de un maíz en siembra directa. EEA-INTA Oliveros, campaña 2003/04 (adaptado de Salvagiotti y Vernizzi, 2006).

Fuente de N	Localización	Dosis de N (kg/ha)	Cantidad total de N perdido por volatilización (kg/ha) ⁽¹⁾
Urea	Voleo	120	30,4 a
		60	17,6 b
UAN	Chorroado	120	13,9 c
		60	11,9 c
CAN	Voleo	120	0,5 d
		60	1,1 d

(1) Valores seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente entre sí

Fontanetto y Keller (2003), en un ensayo realizado en San Carlos (Santa Fe), evaluaron la influencia de la cantidad de rastrojo presente (alta: 90% de cobertura de suelo y aproximadamente 6000 kg/ha de materia seca, y baja: 50% de cobertura de suelo y aproximadamente 2000 kg/ha de materia seca) y del mes en que se realiza la fertilización (octubre y noviembre) sobre las pérdidas por volatilización de dos fuentes nitrogenadas (urea y UAN) aplicadas al voleo en dosis de 80 kg N/ha en un maíz sembrado en forma directa. En las aplicaciones realizadas en octubre, para la condición de rastrojo baja las pérdidas totales de N-NH₃ (respecto a la dosis de N utilizada) fueron del 14,1% y 2,8% para la urea y el UAN, respectivamente. En esa misma fecha pero en la condición de rastrojo alta, el total de N

volatilizado ascendió al 21,0% (urea) y 4,40% (UAN). En las mediciones del mes de noviembre, con baja cantidad de rastrojo se registraron pérdidas totales del 25,7% para la urea y del 5,50% para el UAN, mientras que con la cantidad de rastrojo alta el N perdido alcanzó valores del 36,2% y 7,70%, para la urea y el UAN, respectivamente. Estos resultados muestran claramente como los altos volúmenes de rastrojo y las temperaturas crecientes que se registran a medida que avanza la primavera promueven la ocurrencia de mayores escapes de amoníaco, especialmente cuando el fertilizante aplicado en superficie es urea.

Experimentos realizados en el centro-norte de Buenos Aires, con altas cantidades de rastrojo (93% de cobertura) y en suelos de textura gruesa (franco arenosos) que presentaban un elevado contenido de humedad en superficie (35,5% de humedad gravimétrica en los primeros 2 cm), revelaron que las pérdidas de N atribuibles a la volatilización pueden provocar impactos considerables en la productividad del maíz si no se producen lluvias inmediatamente después de la aplicación superficial de la urea. Bajo dichas condiciones, la fuente de N a base de nitrato de amonio permitió alcanzar mayores rendimientos de grano (Figura 7; Ferrari *et al.*, 1997).

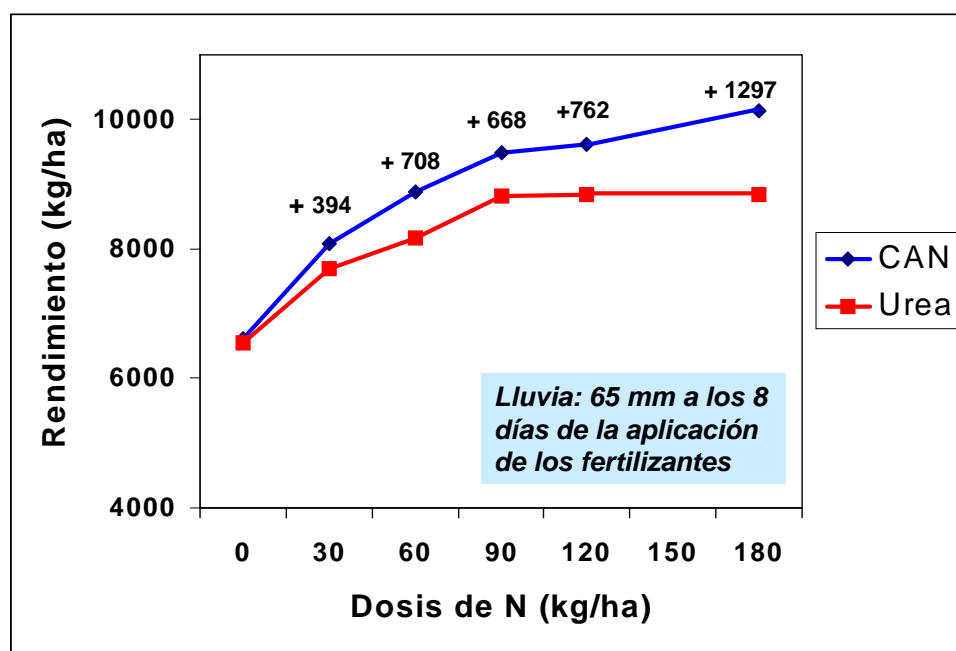


Figura 7. Rendimientos de maíz obtenidos con distintas dosis de urea y nitrato de amonio calcáreo (CAN) aplicadas en forma superficial. Bragado (Buenos Aires), campaña 1996/97 (Dosis: $p < 0,01$; Fuente: $p < 0,01$; D x F: NS). Los números sobre la curva de CAN indican las diferencias de rendimiento obtenidas con esta fuente en comparación con la urea para las distintas dosis de N utilizadas (Ferrari *et al.*, 1997).

Sobre la base de la información presentada, resulta evidente que la elección de la localización y de la fuente de N apropiadas son maneras efectivas de minimizar las pérdidas de N por volatilización. Además de éstas, otras posibilidades para reducir la incidencia de este proceso en aplicaciones superficiales de fuentes volátiles son: 1) la localización de los fertilizantes en forma concentrada (en bandas, para las fuentes sólidas, y chorreado en el caso de las líquidas) sobre la superficie (Fox y Piekielek, 1993), y 2) el tratamiento del fertilizante con un inhibidor de la actividad de la ureasa, como por ejemplo el NBPT (Fox y Piekielek, 1993; Sainz Rozas *et al.*, 1997) o el tiosulfato de amonio (Goos y Fairlie, 1988), producto éste último que mezclado con otra fuente líquida (UAN) ha alcanzado una amplia difusión en la región.

Con relación a las pérdidas temporarias de N producidas por la inmovilización microbiana y/o por la intercepción física del fertilizante por el rastrojo, evaluaciones indirectas realizadas en ensayos de maíz conducidos en el centro-norte de Buenos Aires y en el sur de Santa Fe sugieren que bajo ciertas condiciones la intercepción/inmovilización puede constituir una vía de pérdida de N más importante que la volatilización. Así, las estimaciones realizadas indicaron que el 80% y el 69% de las pérdidas totales de N habrían sido atribuibles a la retención del fertilizante en el rastrojo en los experimentos realizados en las localidades de Bragado (Buenos Aires) y Alcorta (Santa Fe), respectivamente (Ferrari, 2006). Estos resultados reforzarían la recomendación general de incorporar los fertilizantes nitrogenados por debajo de la cobertura de rastrojos, aún cuando se empleen fuentes muy poco volátiles como el nitrato de amonio.

La localización del fertilizante y la fuente de N son también aspectos relevantes a considerar cuando se decide agregar este nutriente a la siembra. Dependiendo de las características de la sembradora, el fertilizante puede aplicarse al costado y por debajo de la línea de siembra (en banda) o en la misma línea de siembra junto con las semillas (en línea). En este último tipo de aplicaciones, algunas fuentes de N pueden ocasionar efectos fitotóxicos de diferente magnitud, desde un retraso en la germinación y emergencia del cultivo hasta la muerte de plántulas. Experiencias realizadas por H. Fontanetto (citado por Ciampitti *et al.*, 2006) en suelos Argiudoles típicos, con cultivos de maíz implantados a 70 cm entre surcos y buena humedad de suelo al momento de la siembra (23,5%), demuestran que la fuente que causa mayores pérdidas de plantas es la urea, seguida por el nitrato de amonio, el CAN y el sulfato de amonio. Dosis de 50 kg urea/ha (23 kg N/ha) produjeron una reducción del stand de plantas cercana al 50%, y las mismas se fueron incrementando a medida que las dosis de urea empleadas fueron mayores. Las otras fuentes comparadas mostraron efectos fitotóxicos sensiblemente menores al de la urea, ocasionando pérdidas de plantas de significación sólo a dosis muy altas, superiores a los 100 kg/ha de producto comercial. Es importante tener en cuenta que distanciamientos entre hileras inferiores a 70 cm (por ejemplo, a 52,5 cm) aumentan la dosis máxima tolerable por el cultivo, mientras que en suelos de textura gruesa y/o en situaciones de baja humedad de suelo los problemas de fitotoxicidad tienden a acentuarse. De todos modos, considerando que el maíz tiene poca capacidad para compensar una eventual pérdida de plantas, puede concluirse que la aplicación de urea junto a la semilla no sería una práctica apropiada en la mayor parte de las condiciones en que se siembra este cultivo.

2.2.2. Fósforo

Hasta hace unos años, las evidencias experimentales disponibles respecto a la localización más conveniente para los fertilizantes fosfatados indicaban que, en general, las aplicaciones en banda presentaban un comportamiento similar o mejor que las aplicaciones al voleo (Fixen, 1997). Esta visión era considerada particularmente válida para manejos bajo siembra directa, dado que la no incorporación del fertilizante al suelo podría determinar que las aplicaciones al voleo resultaran ineficientes en dicho sistema. Sin embargo, a partir de resultados de ensayos conducidos por Mallarino (1997) en el estado de Iowa (EE. UU.), que indicaban que en siembra directa se podían obtener iguales rendimientos de grano cuando el maíz era fertilizado con P al voleo antes de la siembra, en bandas profundas antes de la siembra o en bandas con la sembradora, los criterios adoptados hasta ese momento en la región comenzaron a ser revisados.

En un experimento conducido en siembra directa en un suelo de la EEA-INTA Paraná con 13,2 ppm de P Bray 1, Barbagelata y Paparotti (2000) compararon 3 dosis de P (12, 24 y 36 kg P/ha), aplicadas como superfosfato triple de calcio, en 2 localizaciones (al voleo 40 días antes de la siembra, y en banda con la sembradora) frente a un testigo sin fertilización fosfatada. Con las aplicaciones al voleo, los rendimientos de maíz fueron superiores al del testigo en 11, 20 y 30%, para las dosis de 12, 24 y 36 kg P/ha, respectivamente, mientras que con la localización en banda los incrementos de rendimiento respecto al testigo fueron de 11, 23 y 33% para las

mismas dosis. Estos resultados revelan un muy buen desempeño de las aplicaciones al voleo, aún cuando las lluvias entre la aplicación superficial del fertilizante y el momento de la siembra totalizaron sólo 30 mm.

Bianchini *et al.* (2004), en sitios manejados bajo sistemas de siembra directa estabilizados en el sudeste de Córdoba (3 ensayos) y el sudeste de Buenos Aires (1 ensayo), también evaluaron el comportamiento de las aplicaciones al voleo en pre-siembra o en banda a la siembra para diferentes dosis de P (25, 50 y 150 kg P/ha, en este último caso sólo aplicada al voleo), encontrando que el maíz respondió al agregado de P pero no a la forma de localización del fertilizante. Los mayores rendimientos de grano fueron alcanzados con la aplicación superficial de 150 kg P/ha, tratamiento con el cual se obtuvo una respuesta promedio de 972 kg/ha con relación al testigo sin fertilización fosfatada.

Los buenos resultados que pueden lograrse en planteos de siembra directa con las aplicaciones de fertilizantes fosfatados al voleo también pueden observarse en la Figura 8 (Ferrari, datos no publicados). En este ensayo, realizado en Rojas (Buenos Aires) en un lote con 11 años de siembra directa, las aplicaciones superficiales del fertilizante fueron realizadas 9 días antes de la siembra del maíz.

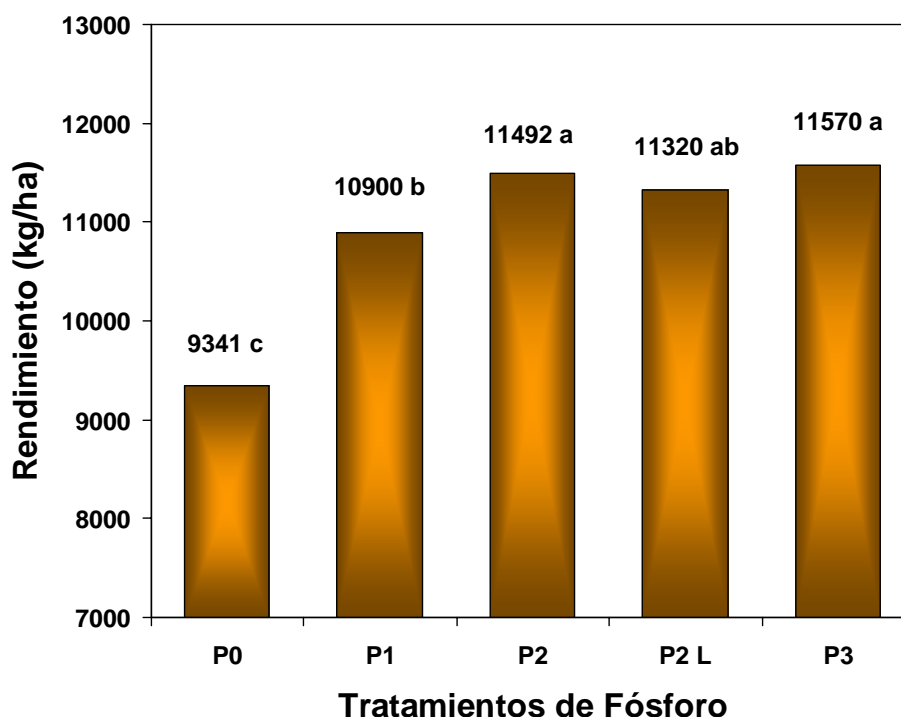


Figura 8. Rendimientos de maíz en siembra directa con distintas dosis y localizaciones del fertilizante fosfatado (superfosfato triple de calcio, SPT). Rojas (Buenos Aires), campaña 2006/07. Tratamientos: P0 = 0 kg SPT/ha; P1 = 60 kg SPT/ha al voleo en pre-siembra; P2 = 120 kg SPT/ha al voleo en pre-siembra; P2 L = 120 kg SPT/ha en banda a la siembra; y P3 = 180 kg SPT/ha al voleo en pre-siembra. P Bray 1 en el suelo a la siembra (0-20 cm): 5,3 ppm. Valores de rendimiento seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente entre sí ($p < 0,05$) (Ferrari, datos no publicados).

Sobre la base de las experiencias anteriores, puede concluirse que en siembra directa la aplicación al voleo antes de la implantación del cultivo constituye una *localización apropiada* para los fertilizantes fosfatados bajo diversas condiciones. El empleo de esta práctica sería particularmente conveniente con dosis elevadas de P, como por ejemplo las que se utilizan

cuando se fertiliza con el criterio de construcción y mantenimiento, dado que por un lado facilitaría la logística y reduciría los tiempos operativos involucrados en la fertilización y, por el otro, evitaría crear en el suelo los problemas de variabilidad espacial en la disponibilidad de P que están asociados a la fertilización con altas dosis de este nutriente en bandas (Kitchen *et al.*, 1990).

Las aplicaciones de fertilizantes fosfatados junto con la semilla (en la línea de siembra) también pueden causar efectos fitotóxicos. En las evaluaciones de H. Fontanetto (citado por Ciampitti *et al.*, 2006) ya mencionadas (suelos Argiudoles típicos, distancia entre surcos de 70 cm y 23,5% de humedad de suelo a la siembra), se observó que dosis superiores a 25 kg/ha de fosfato diamónico (PDA) ya producían pérdidas de plantas por fitotoxicidad, alcanzándose valores del 35% de reducción en la emergencia del maíz cuando se emplearon dosis de 120 kg PDA/ha (24 kg P/ha). Por lo tanto, las aplicaciones de fuentes de P como el PDA junto con la semilla deben ser realizadas con mucha cautela y siempre evitando usar dosis elevadas.

La utilización de fertilizantes fosfatados que también contienen N bajo la forma de amonio (fosfatos mono y diamónico) podría ofrecer ventajas respecto a otras fuentes de P debido al efecto estimulante que ejerce el N sobre la absorción del P por la planta (Tisdale *et al.*, 1993). El empleo de fertilizantes con $N-NH_4^+$ resultaría así más indicado para aplicaciones en banda a la siembra que buscan lograr un efecto arrancador en el cultivo. Sin embargo, bajo condiciones reales de producción estos beneficios no siempre se manifiestan en una distinta productividad. En un ensayo realizado sobre un suelo franco-arenoso en el centro-norte de Buenos Aires, Ventimiglia *et al.* (2001) no encontraron diferencias en los rendimientos de grano de maíz cuando se compararon a iguales dosis de P fuentes sin N (SPT, 0-46-0) o con N (PDA, 18-46-0; y fósforo líquido, 7-21-0) en su composición.

2.2.3. Azufre

En relación a los conocimientos disponibles sobre distintos aspectos de la tecnología de aplicación de fertilizantes nitrogenados y fosfatados (puntos 2.2.1. y 2.2.2.), la información para los productos azufrados es relativamente escasa. En parte, ésto puede deberse a que en la región el S es un nutriente que comenzó a estudiarse con mayor profundidad recién en la última década, aunque probablemente este hecho también obedezca a que los fertilizantes azufrados en general presentan una mayor elasticidad para ser manejados eficientemente, con lo cual la optimización de prácticas en este sentido podría resultar un tema de menor interés.

Con respecto a las fuentes de S, en una red de ensayos realizada en el norte de Buenos Aires y el sur de Santa Fe, en la cual se compararon dos de los fertilizantes azufrados más utilizados en la región (sulfato de amonio y sulfato de calcio dihidratado o yeso) en dosis de 15 kg S/ha aplicados a la siembra, Gutiérrez Boem *et al.* (2004) observaron incrementos significativos en los rendimientos de soja por el agregado de S pero sin diferencias entre ambos productos. Estos resultados indicarían que la mayor solubilidad en agua que posee el sulfato de amonio con relación al yeso no sería una propiedad relevante en la determinación de la respuesta al S bajo condiciones de campo.

Aún cuando varios de los fertilizantes azufrados actualmente disponibles en el mercado no mostrarían diferencias marcadas de comportamiento atribuibles a su solubilidad, existen al menos dos excepciones a esta consideración. Una de ellas es el S elemental (80-99% S), y la otra está representada por algunos productos a base de yeso que no reúnen un suficiente grado de pureza y calidad físico-química. El azufre elemental es un sólido insoluble en agua que requiere ser oxidado biológicamente en el suelo para pasar a $SO_4^{=}$, la forma química en la cual este nutriente es absorbido por las plantas. Como todo proceso biológico, el mismo es dependiente de las condiciones de temperatura y humedad que prevalezcan después de la aplicación, y también del tamaño de partícula del producto, entre otros factores. La tasa de oxidación se incrementa a medida que el tamaño de partícula se reduce. Así, el apropiado manejo de una formulación de S elemental pretratado y micronizado (SEP, con partículas

molidas a un tamaño de 43 μ y peleteadas) ha permitido obtener resultados satisfactorios al ser aplicada en el cultivo de trigo en la región (Tysko y Rodríguez, 2006). Sin embargo, cuando la condición física del S elemental no es tan favorable como la mencionada, el producto debe aplicarse con suficiente anticipación a la siembra y mezclarse convenientemente con el suelo para estimular su oxidación y favorecer así una más rápida disponibilidad de SO_4^- .

En general, las fuentes de S solubles más difundidas en la región (sulfato de calcio, tiosulfato de amonio y sulfato de amonio, entre otras) permitirían obtener resultados semejantes al ser aplicadas antes, durante o después de la siembra del maíz, y también cuando son localizadas en forma superficial o incorporadas al suelo. En un ensayo de maíz conducido en el sur de Santa Fe, Martínez y Cordone (2005) evaluaron una mezcla nitró-azufrada sólida (urea + sulfato de amonio) y otra líquida (UAN + tiosulfato de amonio) en dos localizaciones (incorporada o inyectada y en bandas superficiales o chorreada), aplicando una única dosis (120 kg N/ha + 10,4 kg S/ha) con el cultivo en V6. Todos los tratamientos superaron el rendimiento de grano del testigo en más del 50%. Las dos localizaciones de la mezcla líquida (inyectada y chorreada) y la urea + sulfato de amonio incorporados presentaron el mejor comportamiento, con rendimientos similares entre sí, mientras que la mezcla sólida aplicada en bandas superficiales mostró resultados levemente inferiores a los logrados con las dos localizaciones de la mezcla líquida, probablemente como consecuencia de pérdidas de N por volatilización de la urea aplicada superficialmente. Esta información aportaría cierta evidencia acerca de la plasticidad que presentan las fuentes de S para producir respuestas comparables con distintas localizaciones en el suelo, aunque para realizar una valoración más precisa en este sentido sería necesario poder separar los efectos conjuntos del N y el S.

Como fuera ya señalado en el punto 2.2.1., cuando el sulfato de amonio es aplicado en dosis relativamente elevadas en la línea de siembra puede ocasionar problemas de fitotoxicidad (H. Fontanetto, citado por Ciampitti *et al.*, 2006). Evaluaciones análogas a la descripta, también realizadas por H. Fontanetto (comunicación personal), mostraron un comportamiento distinto para el yeso, fuente con la cual no se registraron pérdidas de plántulas de maíz ni aún con dosis de 120 kg yeso/ha localizado junto a la semilla.

3. CONSIDERACIONES FINALES

En la *Región Pampeana Central*, actualmente existe un abundante caudal de conocimientos para optimizar el manejo de los tres principales nutrientes (N, P y S) del cultivo de maíz, tanto en la etapa de diagnóstico-recomendación (la *dosis correcta*) como en la de tecnología de aplicación de los fertilizantes (el *momento*, la *localización* y la *fuentes de nutriente apropiados*). Si bien aún existen algunos vacíos de información, o aspectos que requieren ser profundizados en su desarrollo, una mayor adopción de las MPM disponibles posibilitaría incrementar sustancialmente la eficiencia de uso de los fertilizantes, con los consecuentes beneficios para la productividad y rentabilidad del cultivo, la conservación de los recursos productivos y la disminución del impacto ambiental. A su vez, la continuidad de las tareas de investigación en la región permitirá seguir generando información adicional que servirá de base para mejorar y ajustar aún más las MPM para la fertilización del cultivo en el futuro.

No obstante, es necesario tener presente que en el contexto de la región la implementación de las mejoras mencionadas en el manejo de la fertilización del maíz ejercería un efecto positivo sólo parcial en los sistemas de producción, dada la pérdida de importancia relativa en términos de superficie y de participación en las rotaciones que ha mostrado este cultivo durante los últimos años. Con una visión más integradora, podría afirmarse que los problemas más serios relacionados con la fertilidad de los suelos y la fertilización de los cultivos que se enfrentan actualmente en la región exceden a los vinculados directamente con la optimización de determinadas prácticas de un cultivo en particular, en este caso el maíz. En efecto, las principales dificultades en esta temática son de carácter global e intrínsecas a los sistemas de

producción predominantes. Las mismas están estrechamente asociadas al ya comentado balance negativo de los principales nutrientes (N, P, K y S) que se verifica en la región (García, 2006). En particular, merecen especial atención las problemáticas vinculadas al P y al N, debido a las dificultades que pueden presentarse en la búsqueda de soluciones:

1) *Balance negativo de P*: el exceso de extracción de este nutriente con las cosechas en relación a las cantidades que son repuestas al suelo a través de la fertilización se viene registrando desde hace varias décadas, y ha causado el empobrecimiento paulatino de los niveles de P en los suelos de vastos sectores de la región (García, 2001). Tal como fueran ya mencionadas, las estimaciones efectuadas para la campaña 2002/03 señalan que la mayor parte de los suelos de la *Región Pampeana Central* habría presentado déficits en el balance de P del orden de los 10-20 kg P/ha (García, 2006). El P es un nutriente que no tiene posibilidades de ser fijado biológicamente del aire, como el N, o de enriquecer su dotación en el suelo a través de aportes atmosféricos, como ocurre en algunas regiones del mundo en el caso del S. El fósforo que se agota en el suelo sólo puede ser repuesto mediante la aplicación de fertilizantes (o enmiendas que contengan P). Las formas de organización de la producción que predominan en la región (arrendamientos de un año de duración, sin seguridad de seguir produciendo en la misma fracción de tierra en la próxima campaña), y el reciente incremento que han experimentado los precios de los fertilizantes fosfatados, auguran un futuro muy poco favorable para el crecimiento de la difusión de esquemas de reposición de P (adopción del criterio de construcción y mantenimiento) que conduzcan a restablecer la disponibilidad de este nutriente en los suelos. De persistir esta situación, es de prever una continua e ineludible disminución adicional de los niveles de P en la región.

2) *Balance negativo de N*: un resultado deficitario en el balance de N se encuentra implícitamente asociado al cultivo de soja. El mismo es consecuencia de la incapacidad que presenta el cultivo para fijar biológicamente la totalidad del N que exportará con los granos, lo cual lleva a que la parte restante de este nutriente sea tomada de las reservas del suelo. A este hecho debe sumarse la falta de respuesta a la fertilización nitrogenada que ha mostrado la soja en la mayoría de las investigaciones realizadas, quedando así eliminada la factibilidad práctica de equilibrar el balance del nutriente mediante aportes de fertilizantes. Como puede deducirse, el déficit de N así generado cada vez que se realiza un cultivo de soja alcanza cifras considerables cuando los valores son proyectados a nivel regional, dada la elevada proporción de la superficie agrícola de la *Región Pampeana Central* que está manejada bajo un monocultivo de soja (Cordone y Martínez, 2004). Si bien existen estudios en marcha en los que se están evaluando algunas prácticas para intentar equilibrar el balance de N en sistemas de soja continua (por ejemplo, mediante cultivos de cobertura de gramíneas invernales fertilizados con N, los cuales atraparían al nutriente en el sistema bajo formas orgánicas que luego serían liberadas gradualmente al suelo), actualmente este problema no tiene aún una solución concreta, de implementación inmediata y de probada efectividad.

A la luz de las reflexiones anteriores, puede considerarse que en la medida que no se implementen políticas pertinentes que contribuyan a resolver algunas de las restricciones de base que presenta la matriz productiva de la región, el desarrollo de más y mejores MPM para la fertilización de los cultivos no necesariamente redundará en una mayor adopción de las mismas. Más importante aún, la continuidad de la modalidad productiva actual podría conducir a que se torne cada vez más inalcanzable el logro de los cuatro objetivos del manejo de los sistemas de producción identificados por Bruulsema *et al.* (2008): productividad, rentabilidad, salud ambiental y, especialmente, **sustentabilidad**. La búsqueda consensuada de las modificaciones necesarias en el escenario productivo regional para que la tendencia descrita no se vuelva inexorable es uno de los desafíos de los años venideros.

4. REFERENCIAS

- Alvarez, R., 1999. Uso de modelos de balance para determinar los requerimientos de fertilizante nitrogenado de trigo y maíz. Eudeba, Buenos Aires, 58 p.
- Barbagelata, P.A. y O.F. Papparotti, 2000. Estrategias de fertilización fosforada del maíz en siembra directa. *En: Maíz en Siembra Directa, Jornadas de Intercambio Técnico 2000*, pp. 15-18. Publicaciones Técnicas por Cultivo, AAPRESID, Rosario.
- Bianchini, A.; M.E. Magnelli; D. Canova; S. Lorenzatti; D. Peruzzi; J. Rabasa; A. Sylvestre Begnis y F. García, 2005. Diagnóstico de fertilización nitrogenada para maíz en siembra directa. *En: Actas VIII Congreso Nacional de Maíz*, pp. 230-233. Rosario, Santa Fe, Noviembre 2005. AIANBA, Pergamino.
- Bianchini, A.; J. Rabasa; A. Sylvestre Begnis; S. Lorenzatti; D. Peruzzi y L. Pierella, 2004. Localización de fósforo en SD. Campaña 2003/04. *En: Maíz en Siembra Directa*, pp. 81-89. Revista Técnica de la Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa, AAPRESID, Rosario.
- Binford, G.D.; A.M. Blackmer y N.M. El-Hout, 1990. Tissue test for excess nitrogen during corn production. *Agronomy Journal*, 82(1):124-129.
- Binford, G.D.; A.M. Blackmer y B.G. Meese, 1992. Optimal concentrations of nitrate in cornstalks at maturity. *Agronomy Journal*, 84(5):881-887.
- Blackmer, A.M. y A.P. Mallarino, 1996. Cornstalk testing to evaluate nitrogen management. Pm-1584, University Extension. Iowa State University, Ames, Iowa, USA, 4 p.
- Blackmer, A.M.; R.D. Voss y A.P. Mallarino, 1997. Nitrogen fertilizer recommendations for corn in Iowa. Pm-1714, University Extension. Iowa State University, Ames, Iowa, USA, 4 p.
- Bonel, J.A.; P. Novello; A.I. Legasa; B.L. Masiero y G. Ayub, 1978. Método de diagnóstico para el asesoramiento técnico de fertilización nitrogenada del trigo y del maíz. Publicación Técnica N° 5. EERA Marcos Juárez, INTA, 23 p.
- Bray, R.H. y L.T. Kurtz, 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soil. *Soil Science*, 59:39-45.
- Bruulsema, T.W.; C. Witt; F. García; S. Li; T. N. Rao; F. Chen y S. Ivanova, 2008. A global framework for fertilizer BMPs. *Better Crops with Plant Food*, 92(2):13-15.
- Calviño, P.A. y H.E. Echeverría, 2003. Incubación anaeróbica del suelo como diagnóstico de la respuesta a nitrógeno del maíz bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo*, 21(1): 24-29.
- Calviño, P.; H. Echeverría; H. Sainz Rozas; M. Redolatti y P. Barbieri, 2005. Contribución de la capacidad de mineralización del suelo al diagnóstico de requerimiento de nitrógeno en maíz. *En: Actas VIII Congreso Nacional de Maíz*, pp. 182-185. Rosario, Santa Fe, Noviembre 2005. AIANBA, Pergamino.
- Carta, H.G.; L.A. Ventimiglia y S.N. Rillo, 2001. Respuesta del maíz al azufre. Resultados de 3 años de experiencias a campo. *En: Experimentación en Campo de Productores. Resultados de Experiencias Campaña 2000/01*, pp. 128-132. UEEA 9 de Julio, INTA.
- Castillo, C.A.; G.P. Espósito; J. Gesumaría; G. Tellería y Balboa, 1998. Fertilización del maíz: Centro sur de Córdoba. *Agromercado, Cuadernillo de Maíz*, N° 23, pp. 14-17.
- Ciampitti, I.A. y F.O. García, 2007. Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. I. Cereales, oleaginosos e industriales. Archivo Agronómico N° 11. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*, 33:13-16.
- Ciampitti, I.A.; F.G. Micucci; H. Fontanetto y F.O. García, 2006. Manejo y ubicación del fertilizante junto a la semilla: efectos fitotóxicos. Archivo Agronómico N° 10. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*, 31, 8 p.
- Cordone, G. y F. Martínez, 2000. El azufre en el sistema productivo agrícola del centro-sur de Santa Fe. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*, 5:12-14.
- Cordone, G. y F. Martínez, 2004. El monocultivo de soja y el déficit de nitrógeno. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*, 24:1-4.
- Daverede, I., 2005. Illinois Soil Nitrogen Test (ISNT): Nuevo método para diagnosticar necesidades de nitrógeno en maíz. *En: Simposio Fertilidad 2005: Nutrición, Producción y Ambiente* (F.O. García y F.G. Micucci, eds.), pp. 30-34. Rosario, Santa Fe, Abril 2005. INPOFOS Cono Sur, Acassuso-Fertilizar Asociación Civil, Buenos Aires.
- Echeverría, H.; D. Dignani; G. Ferraris; C. Galarza; V. Gudelj; F. Gutierrez Boem; P. Prystupa; H. Sainz Rozas; F. Salvagiotti; P. Vallone y G. Prieto, 2006. Red de ensayos de fertilización nitrogenada en maíz, Convenio de Vinculación Tecnológica INTA-Asociación Civil Fertilizar 2005-2006. *En: Foro Técnico: Presentación de Resultados Convenio Fertilizar Asociación Civil-INTA*, 8 p. Buenos Aires, Diciembre 2006. INTA-Fertilizar Asociación Civil, Buenos Aires (en CD).

- Echeverría, H.; H. Sainz Rozas y P. Barbieri, 2005. Métodos de diagnóstico de requerimiento de nitrógeno en maíz. *En: Actas VIII Congreso Nacional de Maíz*, pp. 441-444. Rosario, Santa Fe, Noviembre 2005. AIANBA, Pergamino.
- Faccendini, N.R.; R.J.M. Melchiori; O.P. Caviglia y O.F. Paparotti, 2008. Evaluación de métodos para estimar la mineralización de nitrógeno a campo. *En: Actas XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*, 6 p. Potrero de los Funes, San Luis, Mayo 2008. AACS, Buenos Aires (en CD).
- Ferrari, M., 2006. El nitrógeno en los sistemas agrícolas. II. Tecnología de fertilización nitrogenada en maíz de siembra directa. *En: Ciclo de Conferencias INTA EXPONE 2004, Volumen II, Conferencias Presentadas en el Auditorio Ing. Agr. Ubaldo García (D.L. Larrea, compilador-editor)*, pp. 13-17 y 24. Ediciones INTA, Buenos Aires.
- Ferrari, M.; H. Carta; L. Ventimiglia y J. Ostojic, 1997. Respuesta del maíz en siembra directa a distintas fuentes y dosis de fertilizante nitrogenado. Campaña 1996/97. *Revista de Tecnología Agropecuaria*, II(6):15-18.
- Ferrari, M.; J. Ostojic; G. Ferraris; F. Rimatori y M.L. R. de Galetto, 1999. Evaluación de tres métodos de diagnóstico de deficiencias de nitrógeno en maíz. *Revista de Tecnología Agropecuaria*, IV(12):8-12.
- Ferrari, M.; J. Ostojic; G. Ferraris; M.V. Bernasconi; F. Rimatori y M.L. R. de Galetto, 2000a. Maíz en siembra directa: efecto del fertilizante arrancador fosfatado sobre el crecimiento inicial y el rendimiento de grano. *Revista de Tecnología Agropecuaria*, V(14):14-18.
- Ferrari, M.; J. Ostojic; L. Ventimiglia; H. Carta; G. Ferraris; S. Rillo; M.L. R. de Galetto y F. Rimatori, 2000b. Fertilización de maíz: buscando una mayor eficiencia en el manejo del nitrógeno y el fósforo. *En: Jornada de Actualización Técnica para Profesionales Fertilidad 2000*, pp. 23-27. Rosario, Santa Fe, Abril 2000. INPOFOS Cono Sur, Acassuso.
- Ferrari, M.; J. Ostojic; L. Ventimiglia; H. Carta; G. Ferraris; S. Rillo; M.L. R. de Galetto; F. Rimatori y M.V. Bernasconi, 2000c. Predicción de la respuesta del maíz a la fertilización nitrogenada mediante indicadores de suelo y planta en el estado de seis hojas. *En: Actas XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*, 4 p. Mar del Plata, Buenos Aires, Abril 2000. AACS, Buenos Aires (en CD).
- Ferrari, M.C.; J.J. Ostojic; L.A. Ventimiglia; H.G. Carta; G.N. Ferraris; S.N. Rillo; M.L. R. de Galetto y F.M. Rimatori, 2001a. Assessing soil and plant nitrogen tests for corn in the Humid Pampas (Argentina). *In: Annual Meetings Abstracts, Charlotte, North Carolina, USA, October 2001. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI.* (en CD).
- Ferrari, M.C.; F.M. Rimatori; G.N. Ferraris; J.J. Ostojic; M.L. R. de Galetto y R.C. Gómez, 2001b. Diagnóstico de deficiencias de N en maíz basado en la concentración de nitratos en savia. *En: Actas VII Congreso Nacional de Maíz*, 2 p. Pergamino, Buenos Aires, Noviembre 2001. AIANBA, Pergamino (en CD).
- Ferraris, G.; F. Gutiérrez Boem; P. Prystupa; F. Salvagiotti; L. Couretot y D. Dignani, 2005. Fertilización azufrada en maíz en la pampa ondulada. *En: Actas VIII Congreso Nacional de Maíz*, pp. 162-165. Rosario, Santa Fe, Noviembre 2005. AIANBA, Pergamino.
- Fixen, P., 1997. Cuál es la mejor forma de aplicar fósforo al suelo. *Informaciones Agronómicas*, 27:1-4.
- Fontanetto, H. y O. Keller, 2003. Pérdidas de nitrógeno por volatilización de diferentes fuentes nitrogenadas aplicadas al voleo. Campaña 2002/03. *En: Maíz en Siembra Directa*, pp. 88-91. Revista Técnica de la Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa, AAPRESID, Rosario.
- Fox, R.H. y W.P. Piekielek, 1993. Management and urease unhibitor effects on nitrogen use efficiency in no-till corn. *Journal of Production Agriculture*, 6(2):195-200.
- García, F.O., 2000. Requerimientos nutricionales de los cultivos. *En: Jornada de Actualización Técnica para Profesionales Fertilidad 2000*, pp. 40-43. Rosario, Santa Fe, Abril 2000. INPOFOS Cono Sur, Acassuso.
- García, F.O., 2001. Balance de fósforo en los suelos de la región pampeana. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*, 9:1-3.
- García, F.O., 2002. Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo de maíz. Aproximaciones zonales. *En: Guía Dekalb del Cultivo de Maíz (E. Satorre, ed.)*, pp. 57-75. Servicios y Marketing Agropecuario-Monsanto Argentina S.A., Buenos Aires.
- García, F.O., 2006. La nutrición de los cultivos y la nutrición de los suelos. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*, 29:13-16.
- García, F.; 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 Fe. Resultados y conclusiones de los primeros seis años (2000-2005). AACREA, Buenos Aires, 32 p.
- Gianello, C. y J.M. Bremner, 1986. A simple chemical method of assessing potentially available organic nitrogen in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 17:195-214.

- González Montaner, J.H. y M.R. Di Nápoli, 1997a. Respuestas a nitrógeno del cultivo de maíz en el sur de la provincia de Santa Fe. *En: Actas VI Congreso Nacional de Maíz*, Tomo II, pp. 159-165. Pergamino, Buenos Aires, Noviembre 1997. AIANBA, Pergamino.
- González Montaner, J.H. y M.R. Di Nápoli, 1997b. Respuesta a P; Cal; S; K y Zn del cultivo de maíz en el sur de la provincia de Santa Fe. *En: Actas VI Congreso Nacional de Maíz*, Tomo II, pp. 249-253. Pergamino, Buenos Aires, Noviembre 1997. AIANBA, Pergamino.
- Goos, R.J. y T.E. Fairlie, 1988. Effect of ammonium thiosulfate and liquid fertilizer droplet size on urea hydrolysis. *Soil Science Society of America Journal*, 52:522-524.
- Griffith, W.K. y L.S. Murphy, 1991. The development of crop production systems using best management practices. Potash & Phosphate Institute, Norcross, Georgia, USA.
- Gudelj, V.J.; P.S. Vallone; C.M. Galarza; B.L. Masiero; O.E. Gudelj y C. Lorenzón, 2004. Momentos de aplicación de nitrógeno en siembra directa de maíz. *En: Actas XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*, 6 p. Paraná, Entre Ríos, Junio 2004. AACS, Buenos Aires (en CD).
- Gutiérrez Boem, F.H.; P. Prystupa y G. Ferraris, 2004. Fuentes de azufre en el cultivo de soja. *En: Actas XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*, 10 p. Paraná, Entre Ríos, Junio 2004. AACS, Buenos Aires (en CD).
- Khan, S.A.; R.L. Mulvaney y R.G. Hoelt, 2001. A simple soil test for detecting sites that are nonresponsive to nitrogen fertilization. *Soil Science Society of America Journal*, 65(6):1751-1760.
- Kitchen, N.R.; J.L. Havlin y D.G. Westfall, 1990. Soil sampling under no-till banded phosphorus. *Soil Science Society of America Journal*, 54(6):1661-1665.
- Mallarino, A.P., 1997. Manejo de fósforo, potasio y starters para maíz y soja en siembra directa. *En: 5° Congreso Nacional de AAPRESID*, Tomo I, Conferencias (V. Trucco, ed.), pp. 11-19. Mar del Plata, Buenos Aires, Agosto 1997. AAPRESID-CAAPAS-INTA, Rosario.
- Martínez, F. y G. Cordone, 2005. Utilización de mezclas fertilizantes NS granuladas y líquidas en maíz. Campaña 2004-2005. *En: Maíz 2005*, pp. 59-60. Para Mejorar la Producción 29, EEA Oliveros, INTA.
- Meisinger, J.J., 1984. Evaluating plant-available nitrogen in soil-crop systems. *In: Nitrogen in Crop Production* (R.D. Hauck, ed.), pp. 391-416. ASA-CSSA-SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
- Melchiori, R.J.M., 2007. Estado actual del manejo sitio específico de nitrógeno en Argentina. *En: Simposio Fertilidad 2007: Bases para el Manejo de la Nutrición de los Cultivos y los Suelos* (F.O. García e I.A. Ciampitti, eds.), pp. 74-78. Rosario, Santa Fe, Mayo 2007. IPNI Cono Sur, Acassuso-Fertilizar Asociación Civil, Buenos Aires.
- Melchiori, R. y S. Albarenque, 2007. Evaluación del número de unidades de sensado GreenSeeker para un equipo de aplicación autopropulsado. *En: Actas 7° Curso Internacional de Agricultura de Precisión y 2^{da} Expo de Máquinas Precisas*, pp. 76-81. Manfredi, Córdoba, Julio 2007. Ediciones INTA, Oncativo, Córdoba.
- Melchiori, R.J.M.; O.P. Caviglia y A. Bianchini, 2005a. Momentos de fertilización nitrogenada en maíz en el centro-oeste de Entre Ríos. *En: Actas VIII Congreso Nacional de Maíz*, pp. 214-217. Rosario, Santa Fe, Noviembre 2005. AIANBA, Pergamino.
- Melchiori, R.J.M.; O.P. Caviglia y N. Faccendini, 2005b. Exploración de deficiencias de azufre en Entre Ríos. *En: Actas VIII Congreso Nacional de Maíz*, pp. 201-204. Rosario, Santa Fe, Noviembre 2005. AIANBA, Pergamino.
- Melchiori, R.J.M.; O.P. Caviglia; N. Faccendini; A. Bianchini y W. Raun, 2005c. Evaluación de refertilización nitrogenada basada en la utilización de un sensor óptico. *En: Actas VIII Congreso Nacional de Maíz*, pp. 218-220. Rosario, Santa Fe, Noviembre 2005. AIANBA, Pergamino.
- Melchiori, R.J.M. y N. Faccendini, 2004. Optimización de la prueba del hipoclorito de calcio para suelos Molisoles de Entre Ríos. *En: Actas XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*, 5 p. Paraná, Entre Ríos, Junio 2004. AACS, Buenos Aires (en CD).
- Melchiori, R.J.M. y O.F. Papparotti, 1996. Fertilización nitrogenada en maíz: uso del método de balance. *En: Producción Intensiva de Maíz*, pp. 29-32. Serie Extensión N° 11. EEA Paraná, INTA.
- Melchiori, R.J.M.; O.F. Papparotti y W.J. Paul, 1996. Diagnóstico de fertilización nitrogenada en maíz: nitratos en preescardillada. *En: Producción Intensiva de Maíz*, pp. 21-27. Serie Extensión N° 11. EEA Paraná, INTA.
- Mistrorigo, D.; R. De Carli; F. Aranguren; P. Beret y A. Lisasso, 2000. Fertilización de maíz en siembra directa en Entre Ríos. *En: Maíz en Siembra Directa, Jornadas de Intercambio Técnico 2000*, pp. 9-14. Publicaciones Técnicas por Cultivo, AAPRESID, Rosario.
- Picone, L.I.; M.L. Cabrera y A.J. Franzluebbbers, 2002. A rapid method to estimate potentially mineralizable nitrogen in soil. *Soil Science Society of America Journal*, 66(6):1843-1847.
- PPI, 1989. Conventional and low-input agriculture. Economic and environmental evaluation, comparisons and considerations. A white paper report. Potash & Phosphate Institute, Norcross, Georgia, USA.

- Quintero, C.E., 2003. Capacidad de fijación de P del suelo y su efecto sobre la dosis a aplicar. *En: Simposio El Fósforo en la Agricultura Argentina* (F.O. García y F. Micucci, eds.), pp. 73-75. Rosario, Santa Fe, Mayo 2003. INPOFOS Cono Sur, Acassuso.
- Roberts, T.L., 2007. Right product, right rate, right time, and right place...the foundation of BMPs for fertilizer. *Better Crops with Plant Food*, 91(4):14-15.
- Rubio, G.; M.J. Cabello y F.H. Gutiérrez Boem, 2007. ¿Cuánto fósforo hay que aplicar para alcanzar el umbral crítico de fósforo disponible en el suelo? II. Cálculos para las zonas sur y norte de la Región Pampeana. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*, 35:6-10.
- Ruiz, R.A.; E.H. Satorre; G.A. Maddoni; D.F. Calderini; D.J. Miralles; J. Cárcova y M.R. Di Nápoli, 1997. Bases funcionales de la respuesta a la fertilización nitrogenada de cultivos de maíz en el norte de la Provincia de Buenos Aires. *En: Actas VI Congreso Nacional de Maíz*, Tomo II, pp. 121-128. Pergamino, Buenos Aires, Noviembre 1997. AIANBA, Pergamino.
- Ruiz, R.A.; E.H. Satorre; G.A. Maddoni; J. Cárcova y M.E. Otegui, 2001. Umbrales de decisión para la fertilización nitrogenada en maíz. *En: Actas VII Congreso Nacional de Maíz*, 2 p. Pergamino, Buenos Aires, Noviembre 2001. AIANBA, Pergamino (en CD).
- Sainz Rozas, H. y H.E. Echeverría, 1998. Relación entre las lecturas del medidor de clorofila (Minolta SPAD 502) en distintos estadios del ciclo del cultivo de maíz y el rendimiento en grano. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*, 103(1):37-44.
- Sainz Rozas, H.R.; H.E. Echeverría; E. Herfurth y G.A. Studdert, 2001. Nitrato en la base del tallo de maíz. II. Diagnóstico de la nutrición nitrogenada. *Ciencia del Suelo*, 19(2):125-135.
- Sainz Rozas, H.; H.E. Echeverría, G.A. Studdert y F.H. Andrade, 1997. Volatilización de amoníaco desde urea aplicada al cultivo de maíz bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo*, 15(1):12-16.
- Salvagiotti, F.; J. Capurro; G. Gerster; O. Novello; H. Pedrol; J. Castellarín; M. Altube y A. Vernizzi, 2004a. Estrategias en el manejo del nitrógeno en maíz. Momento y forma de aplicación. *En: Maíz Campaña 2003/2004*, pp. 89-92. Para Mejorar la Producción 26, EEA Oliveros, INTA.
- Salvagiotti, F.; H.M. Pedrol y J.M. Castellarín, 1999. Utilización del método del balance de nitrógeno para la recomendación de la fertilización nitrogenada en maíz. *En: Maíz Campaña 1998/1999*, pp. 39-41. Para Mejorar la Producción 10, EEA Oliveros, INTA.
- Salvagiotti, F.; H. Pedrol y J. Castellarín, 2002a. Diagnóstico de la fertilización nitrogenada en maíz. II. Relación entre la respuesta en rendimiento y la concentración de $N-NO_3^-$ en el suelo en el estadio V4-V6. *En: Maíz Campaña 2001/2002*, pp. 71-74. Para Mejorar la Producción 20, EEA Oliveros, INTA.
- Salvagiotti, F.; H. Pedrol; J. Castellarín; J. Capurro; J.C. Felizia; A. Gargicevich; O. Gentili; J. Méndez y N. Trentino, 2002b. Diagnóstico de la fertilización nitrogenada en maíz. I. Relación entre la respuesta en rendimiento y la disponibilidad de nitrógeno a la siembra. *En: Maíz Campaña 2001/2002*, pp. 67-70. Para Mejorar la Producción 20, EEA Oliveros, INTA.
- Salvagiotti, F.; H. Pedrol; J. Castellarín; G. Cordone; J. Capurro; J.C. Felizia; A. Gargicevich; O. Gentili; F. Martínez; J. Méndez; G. Prieto y N. Trentino, 2004b. Umbrales de nitrógeno a la siembra para el diagnóstico de la fertilización nitrogenada en maíz según el potencial de rendimiento. *En: Maíz Campaña 2003/2004*, pp. 84-88. Para Mejorar la Producción 26, EEA Oliveros, INTA.
- Salvagiotti, F. y A. Vernizzi, 2006. Pérdidas de nitrógeno por volatilización y su efecto en el rendimiento del cultivo de maíz. *En: Maíz 2006*, pp. 96-102. Para Mejorar la Producción 32, EEA Oliveros, INTA.
- Satorre, E.H.; M.E. Otegui; G. Maddoni; R. Ruiz; J. Cárcova y M. Uribelarrea, 2000. Modelos de producción de maíz para las zonas norte de Buenos Aires y sur de Santa Fe de AACREA. *En: Jornada Técnica de Maíz Grupos CREA de la Zona Norte de Buenos Aires*, 10 p. Pergamino, Buenos Aires, Julio 2000.
- Scharf, P.C.; W.J. Wiebold y J.A. Lory, 2002. Corn yield response to nitrogen fertilizer timing and deficiency level. *Agronomy Journal*, 94(3):435-441.
- Senigaglia, C., 1984. Pautas para la fertilización química. Carpeta de Producción Vegetal, Tomo VI, Serie Maíz, Información N° 57. EERA Pergamino, INTA, 3 p.
- Tisdale, S.L.; W.L. Nelson; J.D. Beaton y J.L. Havlin, 1993. Soil fertility and fertilizers, 5th edition. Macmillan, New York, USA, 634 p.
- Tysko, M.B. y M.B. Rodríguez, 2006. Respuesta de trigo-soja en doble cultivo a la fertilización con azufre elemental pretratado. *Ciencia del Suelo*, 24(2):139-146.
- Ventimiglia, L.A.; H.G. Carta y S.N. Rillo, 2001. Utilización de diferentes fuentes fosforadas en maíz. *En: Experimentación en Campo de Productores. Resultados de Experiencias Campaña 2000/01*, pp. 116-119. UEEA 9 de Julio, INTA.
- Vilche, M.S.; G. Cordone; F. Martínez; C. Galarza; V. Gudelj y V. Bisaro, 2002. Parámetros que condicionan la respuesta de soja (*Glycine max* (L.) Merr.) a la fertilización azufrada. *En: Actas*

XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, 6 p. Puerto Madryn, Chubut, Abril 2002.
AACs, Buenos Aires (en CD).