



FERTILIZAR

ASOCIACION CIVIL

Número 10 - Septiembre 2008



Entrevista al Dr. Kim Polizoto

Mejorando las recomendaciones de fertilización de maíz

Un análisis de suelo prometedor

Efecto aditivo del agregado de diferentes nutrientes en maíz en la Provincia de Buenos Aires

Índice

REVISTA FERTILIZAR - AÑO IV - Nº10 - SEPTIEMBRE 2008

Entrevista al Dr. Kim Polizoto

04



Mejorando las recomendaciones de fertilización de maíz a la luz de los últimos avances

06



Un análisis de suelo prometedor

12



Efecto aditivo del agregado de diferentes nutrientes en maíz en el Norte, Centro y Oeste de la Provincia de Buenos Aires

16



Aumentando la eficiencia de uso de N en nuevos híbridos de maíz

28



Novedades & Eventos

33



Staff Editorial



FERTILIZAR Asociación Civil

Presidente
Francisco Llambías

Vicepresidente
Jorge Bassi

Secretaría
Camila López Colmano

Prosecretario
Juan Luis Tamini Elicegui

Tesorero
Manuel Santiago Zardain

Protesorero
Marco Eugenio Prenna

Vocales Titulares
Eduardo Caputo
Pedro Falthäuser

Vocales Suplentes
Guillermo Pinto
Florenca Schneeberger

**Comisión Revisora
de Cuentas**

Miembro Titular
Pablo Omar Pussetto

Miembro Suplente
Julián José Carneiro

Responsables Área Técnica
Ana Balut
Oscar López Matorras
Juan Aloé
Juan Petri

Gerente Ejecutiva
María Fernanda González Sanjuan

ACA
ASP
BUNGE
EMERGER
FÉLIX MENÉNDEZ
FERTICROPS
FERTIVA
NIDERA
NITRAGIN
PASA DE PETROBRAS
PROFERTIL
QUEBRACHITO
REFRACTARIOS ARGENTINOS
REPSOL YPF
RÍO TINTO BORAX
ROULLIER
STOLLER
YARA

Asesor en Contenidos Técnicos
Dr. Ricardo Melgar

ISBN en trámite

Coordinación
Javier Escudero

Producción
FUSOR PUBLICIDAD
info@fusor.com.ar

Durante el año 2007 vimos una expansión en la superficie agrícola, con una producción nacional de casi 95 millones de toneladas de granos y un consumo superior a 3,5 millones de toneladas de fertilizantes. A pesar de que 2007 fue un buen año, en términos de nutrientes de uso agrícola, fue un año cuya reposición de los principales nutrientes que son extraídos por nuestros sistemas productivos fue del 59% para fósforo (P), 48 % para nitrógeno (N) y 42% para azufre (S) según estudios realizados por el Dr. Fernando García de IPNI.

Esto significa que estamos bien?. Significa que en los últimos cinco años hubo una leve mejora en la tendencia de reposición pero que aun estamos lejos de alcanzar valores óptimos. Recordemos aunque sea obvio, que aquella proporción de nutrientes que no sea repuesta por medio de fertilizantes será abastecida por el suelo al que si no monitoreamos y colaboramos para equilibrar lo conduciremos inexorablemente hacia un lento camino de empobrecimiento nutricional.

En este número de la revista, compartiremos informes acerca del manejo de nutrientes en maíz y los resultados de la red de ese cultivo en el norte, centro y oeste de la provincia de Buenos Aires de las campañas 2006/07 y 2007/08, del Proyecto Regional Agrícola, CERBAN. También una entrevista al Dr. Kim Polizotto de la American Society of Agronomy, quien presentó a referentes de IPNI, Fertilizar, AACREA y AAPRESID el programa de certificación de asesores agrícolas denominado CCA-Certified Crop Adviser Program. Este es un programa muy reconocido por el gobierno y la industria de los Estados Unidos y Canadá, que tiene grandes posibilidades de desarrollo en nuestro país.

En línea con estos trabajos técnicos, seguiremos invirtiendo esfuerzos en la implementación de nuevas formas de transmitir estos conceptos, trascendiendo incluso las fronteras del sector. Sabemos que tenemos muchos desafíos por delante y por eso continuamos nuestro

trabajo de concientización sobre la reposición de nutrientes como pilar para la construcción de una agricultura sustentable en nuestro país.

En este sentido, este año hemos llevado a cabo numerosas acciones: producción de revistas técnicas, participación en jornadas para profesionales, junto con la UNR y la presencia en el XVI Congreso de Aapresid, co-organizando el Simposio de Nitrógeno, que contó con la presencia de referentes nacionales e internacionales en nutrición vegetal. Se ha concluido el trabajo que realizó la Fundación Producir Conservando para Fertilizar, que es una proyección de la necesidad de fertilizantes al 2015, en función de la proyección de nuestra agricultura.

Todavía queda mucho por hacer en lo que queda del 2008 y en los próximos años. Nuestra intención es trabajar como un medio de comunicación que colabore para consolidar las bases para una adecuada reposición de nutrientes en todo el país, y por consecuencia, para el cuidado y conservación de nuestro suelo y del medio ambiente productivo, en resumen, para el logro de una agricultura sustentable.

Aprovecho la columna editorial, para comunicar y dar la bienvenida nuevamente a la Ing. Agr. María Fernanda González Sanjuan, quien recientemente fue nombrada Gerente Ejecutiva de la entidad. Con su incorporación continuaremos desarrollando las acciones tendientes a fortalecer el posicionamiento de Fertilizar como entidad promotora de la nutrición de cultivos, del uso responsable de fertilizantes y de la conservación sustentable del suelo y el medio ambiente productivo.

Por último, agradezco al Comité Ejecutivo 2008 formado por Juan Tamini (BUNGE), Camila Lopez Colmano (NIDERA), Pedro Falthäuser (PETROBRAS) y Cristian Hanel (PROFERTIL), así como a nuestro Tesorero Cdr Manuel Santiago por su trabajo y esfuerzo diario.

Atentamente,
Francisco Llambías

La American Society of Agronomy presentó el programa de certificación profesional

En este número entrevistamos al Dr. Kim Polizotto de la American Society of Agronomy y directivo de Potash Corp, quien visitó las oficinas del IPNI para presentar a referentes de Fertilizar, AACREA y AAPRESID el programa de certificación de asesores agrícolas CCA-Certified Crop Adviser Program.

Además de consultarle sobre el programa, le preguntamos sobre el mercado agrícola internacional y sobre las percepciones de la producción latinoamericana y argentina.

¿Cómo surgió el programa y en qué consiste?

El programa CCA nació en 1991 para establecer un standard profesional y fortalecer el desarrollo de los profesionales agrónomos que asesoran y hacen recomendaciones a los productores agrícolas. La American Society of Agronomy certifica a los profesionales del sector agrícola y actualmente está presente en Estados Unidos y Canadá.

Hay dos programas:

- Certified Crop Adviser (CCA)
- Certified Professional Agronomist (CPAg)

Es un programa que no solamente implica pasar los dos exámenes y demostrar que son competentes, sino que además cuenta con 40 horas de educación continua cada dos años, mediante las cuales los profesionales deben mantenerse actualizados en nuevas tecnologías y conocimientos técnicos de la producción agrícola, siendo esta la parte más importante del programa.

¿Cuántos profesionales están certificados?

Desde su creación hace 17 años, el programa ha certificado a más 13000 asesores en Estados Unidos y Canadá y ha alcanzado un éxito notorio: los gobiernos reconocen la competencia de sus profesionales y los

consultan para el desarrollo de programas de conservación y gubernamentales. También es interesante que varios de los profesionales certificados pertenecen a la actividad privada así como a empresas de agroquímicos y de fertilizantes que están insertos en la industria, y esto hace que los puestos sean más calificados.

¿Cuáles es el apoyo financiero para este programa?

Los miembros abonan el derecho a los exámenes, además de una cuota anual.

¿Cuánto tiempo les llevó que el programa sea reconocido por distintos sectores de la comunidad?

Tanto el gobierno de los Estados Unidos como la industria reconocieron rápidamente el valor de que los profesionales estuvieran certificados para calificar su trabajo. Sin embargo, a los productores agrícolas les llevó un poco más de tiempo y todavía estamos trabajando en transmitir la importancia de contar con un asesor con certificación CCA. En este sentido, estamos trabajando en el desarrollo de programas locales dirigidos a productores.

¿Prevén expandir el programa en otros países?

Más allá de Estados Unidos y Canadá, estamos interesados en introducirlo en India, al menos empezar por una provincia o estado en el próximo año. También hay interés en Brasil y Argentina. Respecto de Argentina, he venido a presentarlo a representantes del sector y estamos viendo cómo proceder porque hay interés en desarrollarlo aquí.

Respecto de introducir el programa en otros países fuera de Estados Unidos y Canadá, ¿Cómo se implementaría?

Están las dos opciones: de administrarlo desde Estados Unidos, o a través de una entidad local. No es necesario hacerlo desde Estados Unidos. Tenemos mucha



El Dr. Kim Polizoto (medio) junto a Juan Aloé del Comité Técnico de Fertilizar (izquierda) y Francisco Llambías, presidente de Fertilizar (derecha).

flexibilidad y podemos hacer modificaciones al plan original. Si bien actualmente la certificación es para Estados Unidos y Canadá, apuntamos a que sea mundial. Cabe mencionar que el programa además de la industria, busca involucrar a todos los actores de la cadena: universidades, asociaciones, productores, etc.

El programa valida las credenciales de los asesores agrícolas mediante el establecimiento de normas para el conocimiento, experiencia, ética y educación continua.

Apunta a ser la certificación profesional más valorada que un asesor agrícola pueda obtener mediante el posicionamiento del programa CCA como una herramienta esencial en la producción agrícola, seguridad alimentaria y el cuidado del medio ambiente.

Más información en: www.certifiedcropadviser.org

Otras acciones del sector en Estados Unidos

El programa de la Fundación Nutrients for life fue desarrollado con el objetivo de educar a la comunidad en general (estudiantes, ciudadanos, etc.) sobre el sector agrícola, informar acerca de los fertilizantes y los nutrientes en general y de su valor en el crecimiento de los cultivos.

“En Potash Corp lo llamamos Fertile Minds, cuyos contenidos fueron desarrollados por la empresa hace siete años atrás y luego fue cedido a la Fundación. Es un programa que tuvo mucha repercusión, es muy educativo y alcanzó un nivel popular. Está dirigido a los que no son productores de fertilizantes”, comentó Kim.

Creado en 1999, Fertilizer Minds nació para disipar los mitos y las ideas equivocadas acerca de los fertilizantes. Se desarrolló inicialmente para ser implementado en Estados Unidos y luego se expandió a otros países del mundo.

Más información en: www.nutrientsforlife.org

Sobre el mercado

¿Qué opina de la adopción de la práctica de fertilizar por parte del productor?

Hubo un cambio importante en los consumidores, quieren saber cómo y qué producen los productores. Pero es importante recalcar que por ejemplo, para cubrir la creciente demanda de alimentos, necesitamos aumentar la producción de cultivos y cómo lo hacemos?, a través de un proceso educacional hacia la comunidad.

¿Qué percepción tienen los agricultores americanos de los argentinos?

No se escucha mucho, aunque se sabe que Argentina tiene muchos recursos. Sí se escucha más de Brasil. Sin embargo, los productores de Estados Unidos más bien se preocupan por el entorno local, aunque sí se mantienen muy bien informados sobre lo que está pasando en el mundo.

Nuestro mercado crece año a año y aún podemos crecer más, ¿cuál es su consejo para acercarnos a la comunidad local en este contexto?

Mi consejo es hacer lo que sea, científica y socialmente responsable. No se puede forzar el crecimiento, sino no hay punto de retorno.

Nunca te equivoques, presta atención, has lo correcto y de la manera correcta.

Mejorando las recomendaciones de fertilización de maíz a la luz de los últimos avances

Dr. Ricardo Melgar¹

A pesar del arraigo y experiencia que se posee en la aplicación de los criterios de suficiencia y del balance para la recomendación de P y N respectivamente, constantemente se cuestiona si éstas son aun aplicables y compatibles con las técnicas de agricultura de precisión, y sobre todo con los niveles de rendimiento potencial que hoy existen, dado que los ensayos de calibración fueron realizadas en otros épocas. En este artículo revisamos los fundamentos y los cuestionamientos mas frecuentes relativos al estado de arte de realizar recomendaciones de fertilización de maíz.

Fósforo

Las recomendaciones se realizan en general usando el concepto de suficiencia, si bien muchos asesores utilizan recomendaciones basadas en la reconstrucción y mantenimiento o bien toman en cuenta objetivos de rinde para realizar la recomendación. Por el momento las recomendaciones se basan en no aplicar P cuando el valor de P Bray 1 es superior a 15 ppm. Estos valores críticos se mantienen desde hace años.

Muchos productores se resisten al uso del concepto de reposición dado que el retorno es incierto. En particular bajo las condiciones económicas que se desenvuelve la

agricultura en Argentina. Los cálculos de balance de nutrientes sugieren, sin embargo, que, en general los productores han mantenido un balance negativo de P y de otros nutrientes durante los últimos años, aumentando el riesgo potencial de ocurrencia de deficiencias marginales en niveles de productividad cada vez mayores.

Sin embargo, la estrategia de suficiencia es perfectamente adecuada, ya que si el balance es negativo por un cierto periodo de tiempo, el nivel de P decrece hasta sobrepasar el nivel crítico, o menos aun si continúa la extracción por encima de lo repuesto por la fertilización. Cuando eso ocurre, la respuesta al agregado de P es rentable.

En un estudio de larga duración (12 años) conducido en Nebraska adonde se compararon recomendaciones basadas en la suficiencia con las basadas en el mantenimiento y reposición, indicó a que el concepto de suficiencia fue una estrategia mas rentable que las recomendaciones basadas en la reposición y mantenimiento, dado que los rindes fueron similares y se aplicó mucho menos P. Estos y otros estudios adicionales concluyeron que en Molisoles de áreas templadas, las reservas minerales nativas tienen la capacidad de suministrar P por un período suficientemente largo de tiempo, de modo que los esfuerzos de investigación deberían concentrarse en el refinamiento del muestreo,

¹ Adaptado de conceptos del The Nebraska Soil Fertility Project. de la Universidad de Nebraska. Se agradece al Dr. Achim Dobermann las sugerencias y comentarios recibidos a las cuestiones planteadas en este artículo. La mayor parte de los suelos de Nebraska son Molisoles y el maíz es central en sus sistemas agrícolas.

métodos de análisis e interpretación de análisis de suelos, y en métodos de colocación del fertilizante fosfatado. Otras incertidumbres incluyen:

a) Escasez de datos de calibración para sistemas bajo siembra directa. Se desconoce si son válidas las categorías de interpretación de análisis de suelos en siembra directa bajo altos niveles de producción. Las investigaciones de correlación y a calibración no se llevan a cabo al mismo ritmo que los avances en sistemas de cultivo y tecnologías de uso corriente. Las actuales recomendaciones de P se basan principalmente en ensayos de fertilización conducidos en secano hace al menos más de 10 o 15 años, con rendimientos inferiores a los actuales.

Sin embargo investigaciones recientes en Iowa conducidas por el Dr. Mallarino y sus colaboradores, dan soporte a los niveles de suficiencia usados en las recomendaciones actuales bajo siembra directa (12 ppm). En estos ensayos la respuesta fue similar usando 14 kg de P/ha que usando dosis más altas. Los rindes de maíz fueron entre 5.4 y 12.9 t/ha.

b) Necesidad de incluir características físicas y químicas de suelo adicionales para las recomendaciones. No se aplican consideraciones relativas a los distintos tipos de suelo o niveles de P disponible en el subsuelo P para generar recomendaciones. En general, las variaciones en contenido de arcilla en la superficie deberían generar distintas recomendaciones ante un mismo nivel de P, dada la influencia de la textura en la dinámica de provisión de P a las plantas. De la misma manera, hace tiempo se conoce de la influencia de la provisión de nutrientes desde el subsuelo bajo algunas condiciones. Sin embargo, esta información no se usa para calibrar o modificar las recomendaciones de fertilización fosfatada.

Luego de más de 20 años de fertilizar regularmente los cultivos en Argentina seguramente ha habido cambios en la capa arable y en relación con los niveles del subsuelo, además de introducir mayor variabilidad espacial de los niveles de P. Si en un suelo virgen los niveles

de P en superficie y en profundidad estaban relacionados, esa correlación original hoy ya no existe, y lo más probable es que los valores de superficie sean más dependientes del manejo que de otro factor.

c) Incertidumbre sobre la maximización del margen bruto a partir del uso de concepto de suficiencia. Los niveles críticos normalmente se derivan de curvas de respuesta de rendimiento relativo, y no siempre son independientes de los niveles de rendimiento absoluto y por lo tanto de los objetivo de rinde. Los resultados económicos de la fertilización no están incorporados de una manera explícita, y por eso no es posible optimizar el margen económico al realizar una recomendación o determinar estrategias de manejo a largo plazo. Si bien la estrategia del criterio de suficiencia sería más adecuada que los de reposición incluye cierto riesgo al basar todo en un análisis de suelo solamente. Además, no hay muchos estudios adonde el criterio de suficiencia se haya evaluado a largo plazo. Por otra parte los criterios de reposición pueden sobrestimar las necesidades reales de nutrientes del cultivo para el rinde alcanzado, lo que obviamente haría que la fertilización sea menos rentable.

d) Requerimientos de nutrientes por el cultivo. Los conceptos de manejo que incluyen un objetivo de rinde, requieren asumir una cantidad de absorción total de nutriente por unidad de rinde. Normalmente éstos son coeficientes que se derivaron de antiguos experimentos de campo y asumen linealidad entre el rinde y la acumulación de nutrientes. Sin embargo, tales constantes tienden a sobrestimar los requerimientos de nutrientes. También existe la tendencia de que los datos experimentales conducidos en suelos con altos niveles de P pueden sobrestimar la demanda de nutrientes para una situación de óptima nutrición balanceada.

Análisis recientes de datos publicados, sugieren que anteriores estimaciones pudieron haber sido demasiado altas, ya que esas constantes también dependen del nivel de rinde en relación al rendimiento potencial. Por ejemplo, publicaciones de INPOFOS citan extracciones de P en el grano de 3.4 kg de P por t de

grano, un número derivado de ensayos de campo para obtener el máximo rinde económico. Sin embargo, la revisión de una gran cantidad de datos experimentales publicados, resultó en un promedio de 2.4 kg de P considerando el total de ensayos, y de 2.9 kg de P considerando solo aquellos rindes superiores a 12.5 t/ha (Scott Murrell, PPI, datos inéditos). Para un objetivo de rinde de esta magnitud (> 12 t/ha) esas tres estimaciones resultarán en recomendaciones de fósforo que varían en un rango entre 70 y 100 kg de P₂O₅/ha para reponer la exportación por el grano. Obviamente, el número a elegir no es un tema trivial, ya que ésta elección afectará significativamente la dosis a recomendar para los que siguen los criterios de reposición, y por lo tanto el resultado económico a mediano plazo.

e) Predicción de los cambios del análisis de suelo debido a la exportación por el cultivo.

Las estrategias de reposición y mantenimiento para el manejo del P requieren la definición de funciones empíricas que describen el aumento o la disminución del valor de P disponible en función de las cantidades de fertilizante fosfatado aplicados al suelo y de las exportadas por el cultivo, así como la definición de un valor objetivo de P Bray. No hay método generalmente aceptado y reproducible para establecer tales funciones y no es claro si la mayor parte de las opciones empíricas actualmente en uso explican correctamente los resultados económicos de la fertilización.

Azufre

El interés en la fertilización con azufre es reciente, y particularmente se ubica en la región pampeana norte con más antigüedad en la colonización agrícola, con eje en la ciudad de Casilda, Santa Fe.

Inicialmente se consideraron los análisis de suelos por diversos extractantes conocidos, como los de fosfato mono cálcico, monopotásico o acetato. Pero la utilidad de estos análisis ha sido cuestionada reiteradas veces debido a la falta de relación entre los resultados de los análisis y las respuestas observadas, o entre éstas y las dosis de S necesarias para una óptima producción.

La textura del suelo y los valores de materia orgánica aparentan ser suficientemente confiables para predecir una probable respuesta al S, con pequeñas ganancias en precisión debida al análisis de S extractable. Los conceptos de ambientes susceptibles son muy vagos o muy obvios como para ser útiles para difundir y no se han reflejado adecuadamente en investigaciones recientes.

Algunas controversias sobre las recomendaciones actuales de S justifican mayores investigaciones, sobre todo en sistemas de siembra directa en suelos de textura fina. Por otra parte se observa que muchas veces se aplica por las dudas y en exceso.

Nitrógeno

Si bien hay muchas ecuaciones usadas hoy día para estimar las necesidades de fertilización nitrogenada para maíz, éstas en general predicen la cantidad de N necesaria para alcanzar cierto objetivo de rinde como función de la materia orgánica, nitratos en el suelo a la siembra, y créditos o débitos del cultivo anterior. Un modelo típico es el siguiente:

$$\text{Dosis N (kg/ha)} = 24 * RE - (NO_3-N) - (15 * MO) - (10 * RSj)$$

**RE = Rinde Esperado en t/ha de grano
Promedio últimos 5 años.**

**NO₃-N = Nitratos en la capa arable,
usualmente hasta los 60 cm
(ó 2.25 veces el valor de la capa arable de 0 a
20 cm (en kg/ha)**

**MO = Materia orgánica en la capa arable (%).
El factor supone una mineralización del 3%
del N orgánico.**

**RSj = Rinde de soja, expresado en t/ha. Se
asume una relación grano/biomasa de 0.5
y 1 % de N en el residuo de soja (tallo, hoja y
vainas). El rinde de soja es proporcional a
kg/ha de N dejados en el campo.**

Esta ecuación se usa con ajustes locales según sea el factor de uso del N para maíz (21 a 25 kg de N/t de grano) o de eficiencias para el uso del Nitrato presente (0.8 a 1) o del provisto por la mineralización de la M.O. Pero no son pocos los casos de sub-dosis o de sobre dosis de N, particularmente provocadas por una sobre-estimación o subestimación del rendimiento esperado, dada su gran dependencia a las precipitaciones. Otras incertidumbres incluyen:

a) Los promedios actuales de rinde en condiciones de alto nivel tecnológico exceden a los alcanzados en ensayos.

Al conducir un ensayo o una parcela de observación, el profesional no puede prever a priori el conjunto de factores de rinde que afectará la performance de su ensayo. Este puede ser, y de hecho lo es con frecuencia, poco representativo del resto del lote. Son muchos los investigadores que con sorpresa ven que su testigo es superior en rinde a las parcelas tratadas. A su vez, en algunos años, algunas parcelas dan rendimientos récords superiores a 12 t/ha, mucho más que los rindes máximos promedios alcanzados en estudios de respuesta y para los que no hay una calibración adecuada.

b) Variación espacial y temporal del suministro del N nativo. Dada la dinámica del agua y la variabilidad de los suelos en un mismo lote, no es difícil encontrar situaciones o sitios adonde no haya respuesta al N o al contrario, la respuesta exceda mucho a la respuesta promedio del lote, indicando la variación en el aporte de N por el suelo. Mucho más aun cuando se trabaja en suelos con napa cercana, agregando una variación adicional no solo por el suministro de agua al cultivo sino el de N, ya que el agua de esas napas flotantes son ricas en nitratos lixiviados de aplicaciones en superficie.

c) La predicción del rendimiento máximo potencial se basa en el requerimiento interno. La fórmula asume un requerimiento

interno constante de N (t de grano por kg de N absorbido por el cultivo) y es muy sensible a la especificación del rinde esperado u objetivo. Este requerimiento interno es dinámico y aumenta a medida que el rinde se acerca al rinde potencial. No obstante es el nivel de rinde al cual el retorno financiero es máximo bajo las actuales condiciones de mercado.

d) Comprensión y predicción de los créditos de soja. No hay todavía buenas estimaciones. Se usan algunas presunciones pero otros lo ubican más alto o más bajo.

e) La dosis calculada no toma en cuenta la variación temporal de la demanda de N por el cultivo. La ecuación apunta a la predicción de una dosis óptima de N para las condiciones climáticas promedio. El método no prevé indicación para ajustes o criterios de manejo relativos a los momentos de aplicación: Los métodos de pronóstico durante el ciclo del cultivo son métodos correctivos o de ajuste, que emplean herramientas como el clorofilómetro, sensores remotos o “al paso” para la determinación de la necesidad de N complementario. Si bien el desarrollo tecnológico de estas herramientas avanza rápidamente, éstas no son ampliamente usadas en Argentina. Apenas se utiliza como comparación visual o asistida, una franja sub y otra sobre-fertilizada para diagnosticar que una respuesta adicional a N sea probable que ocurra. Más aun, una estrategia correctiva requiere un cuidadoso manejo del N en estadios críticos para evitar que ocurran deficiencias. Si eso ocurriera durante los estadios vegetativos iniciales, es probable que las aplicaciones correctivas que se hagan más adelante no alcancen a paliar el daño o compensar las pérdidas de rinde asociadas con componentes de rendimiento formados en estadios juveniles.

f) Las relaciones de precios no están comprendidas en el balance. No sabemos cual es el mejor modelo de respuesta para determinar la dosis óptima. Asumimos que la ecuación del

balance de N fue usada sobre una amplia base técnica de años de experiencias de campo y debería representar una respuesta económica promedio bajo situaciones de típicas relaciones de precios grano: fertilizante. Aunque las dosis óptimas de fertilizantes tienden a ser poco sensibles a las fluctuaciones normales de precios, el rinde tiene por lejos mucho más influencia en la rentabilidad que los precios de los fertilizantes o que las dosis aplicadas. En años con relaciones inusuales o precios distorsionados y sistemas de alto rendimiento, la posibilidad de tomar en cuenta las relaciones de precios de grano y N, mejoraría las recomendaciones.

Propuestas para Mejorar las Recomendaciones de Manejo de Nutrientes

Partiendo del supuesto que los criterios actuales para hacer las recomendaciones son válidos para obtener rindes altos y por lo tanto suficientes para las demandas de información de los productores de maíz, otras alternativas superadoras debieran probarse y compararse con los actuales. Idealmente las mejoras deberían incluir los criterios siguientes.

- a) La maximización del margen económico y minimización del impacto ambiental son los principales objetivos del manejo de nutrientes.
- b) Tomar en cuenta las diferencias de clima y rinde potencial
- c) Considerar las principales diferencias entre suelos.
- d) Considerar las principales diferencias entre rotaciones.
- e) Considerar las principales diferencias en sistemas de labranzas, incluyendo convencional y vertical.
- f) Flexibilidad para proveer distintas opciones para usuarios diferentes, basadas en el análisis económico e intereses del productor.
- g) Permitir el análisis comparativo de diferentes escenarios de manejo para P en periodos de hasta 10 años, incluyendo análisis costo/beneficio.
- h) Deben basarse en datos experimentales confiables con un mínimo ajuste subjetivo.

- i) Deben poder expresarse matemáticamente y que sean aplicables tanto ante aplicaciones constantes por lote como ante aplicaciones de dosis variables de nutrientes, que consideren la variabilidad espacial y temporal en el suministro por el suelo y la demanda del cultivo.
- j) Compatibles entre usuarios del sector privado como comercial, y tomando en cuenta áreas semiáridas, subhúmedas y húmedas.

Las futuras investigaciones deberían concentrarse en la sintonía fina de las recomendaciones para maíz con un particular énfasis dado a los altos niveles de rinde, con las siguientes prioridades:

1. Las recomendaciones generadas por los balances necesitan validarse para niveles de rinde superiores a 12 t/ha. Podrían evaluarse zonificaciones para simplificar la transferencia, incluyendo ajustes que contemplen la variación de la entrega del N nativo, rinde potencial y requerimiento interno de N. Debemos desarrollar mejores recomendaciones para un ajuste dinámico de las dosis de N sugeridas por un balance promedio, y proveer al menos inicialmente dos opciones de recomendación a los productores:
 - (a) Manejo estándar de N para sistemas de cultivo principales, Esta sería la base de recomendaciones específicas con una partición óptima de la dosis total de N, momentos más apropiada para las aplicaciones de N, y métodos recomendados de aplicación de las fuentes disponibles. El objetivo es resumir los datos experimentales y conocimiento colectivo para el desarrollo de reglas simples para el manejo del N en los sistemas de cultivo más importantes de la región maicera, diferenciadas por rotaciones, tipos de suelos y climas. Los más importantes sistemas a diferenciar son: (1) Maíz en rotación con soja, en creciente inclusión de éste en la rotación. 2) Maíz bajo riego. 3) Maíz de segunda, después de trigo 4) Maíz de segunda, después de soja de primavera. 4) Maíz en rotación con soja en ambientes subtropicales.

(b) Manejo del N durante el cultivo, basado tanto en métodos correctivos (medición del estado del N en la planta o análisis de suelos para determinar la necesidad de N en V6) o modelos predictivos. En el último caso, se usa un modelo de simulación de rinde usando los datos meteorológicos reales que actualiza el rinde potencial a lograr en tiempo real y corrige las necesidades de N del cultivo previamente obtenidas.

2. Para actualizar el concepto de “suficiencia” para el manejo del P, el tema clave es validar las categorías existentes de análisis de suelo para maíz de alto rendimiento. Otro tema es evaluar la sensibilidad de esas recomendaciones al muestreo y su error, definir estrategias de muestreo apropiado para sistemas de siembra directa que incluya la estratificación, y explorar bajo que situaciones los nutrientes del subsuelo deben incluirse en el análisis de rutina.

3. Resultados de estas calibraciones deberían permitir la mejora de las recomendaciones de reconstrucción y mantenimiento al identificar adecuadamente valores críticos de P –Bray para diferentes situaciones. Más aun, implementar un método más cuantitativo para estimar los requerimientos de nutrientes que evite las dosis excesivas de P al basar el concepto de remoción por el cultivo.

Estas propuestas deberían generar los objetivos específicos de los proyectos de investigación más ajustados a la situación general del área maicera de Argentina, y además de estos objetivos generales, deberían responderse las siguientes preguntas específicas:

Como basar las recomendaciones de fertilización según el objetivo de rinde, y cual es el mejor estimación? (a) Basado en el potencial de rinde climático o económico (P.ej., 70 a 80% del rinde máximo climático), o (b) basado en el histórico de rendimientos (P.ej., 105 % del promedio de rinde de los últimos 5 años), o (c) una combinación de (a) y (b)?

Cuales son los números correctos de estimaciones de remoción de nutrientes y niveles de análisis de suelo para usarse en las recomendaciones bajo el concepto de reconstrucción y mantenimiento y como son afectados por el nivel de rendimiento en relación al rinde potencial?

Los créditos de N por la soja antecesora son muy bajos? Debería ser de 10 kg por t de rinde de soja o menos?

Manejo del N durante el cultivo: Como puede una recomendación a la siembra de N para maíz modificarse para decidir momentos y dosis óptimas de N en respuesta a la demanda de N actual?

Cuales son los niveles óptimos de P para altos rendimientos? Pueden esperarse rindes mayores en suelos con niveles altos de P que en los suelos con bajos niveles pero con una suficiente fertilización para compensar las diferencias de niveles de nutrientes? Cuales es la estrategia de manejo a largo plazo que también proporciones un alto retorno a la inversión?

Son las recomendaciones de P lo suficientemente liberales para aplicar una cantidad adecuada de P sin sacrificar rinde significativamente en las áreas de bajo P sin identificar en un lote? Hasta donde las recomendaciones de fertilización se acomodan a los errores de muestreo y métodos de aplicación?

Un análisis de suelo prometedor

El método del Illinois Soil N Test (ISNT)

Richard Mulvaney , Saaed Khan, y Thomas. Ellsworth

En enero de 2006, El Dr. Richard Mulvaney publicó el paper que hacer referencia en este artículo y logro sacudir la modorra científica de un tema que, como el apunta, servía de base al andamiaje de los últimos 20 o 30 años de recomendación de fertilizaciones nitrogenadas para maíz y otros cereales. A partir de allí, se multiplicaron las publicaciones relatando la validación de la técnica en distintas regiones, tanto del cinturón maicero, como de otras de EEUU y del mundo. Por supuesto los críticos no faltaron, en particular las que dicen que lo que evalúa el ISNT no es más preciso que evaluar cualquier otra fracción del N orgánico lábil, o aún del N total, además de la poca adaptabilidad a las sistemas de rutina de los grandes laboratorios, preparados para responder de un día para el otro miles de muestras. Aun en los estados vecinos como Iowa o Nebraska, el método no se usa. Sin embargo, nos pareció interesante ponerlo a consideración de los lectores de Fertilizar el artículo preparado por el mismo autor publicado en la revista de divulgación de la Sociedad de Agronomía.

Desde los años 70, las recomendaciones de fertilización nitrogenada para maíz se basan en un balance entre el objetivo de rinde, que se multiplica por un factor constante, con ajustes o modificaciones según el crédito de N remanente del cultivo anterior. Este sistema usa un concepto de equilibrio que asume la misma

eficiencia de absorción para el N del fertilizante y para el N del suelo. Los balances basados en el rendimiento fueron pensados originalmente como una primera aproximación en la formulación de recomendaciones a largo plazo a escala regional, pero se ha venido aplicado indiscriminadamente para fertilizar lotes individuales en una campaña en particular.

En el uso de estos balances para realizar recomendaciones de N basadas en el rinde, se asume que la mineralización es una fuente relativamente menor o secundaria de absorción de N por el cultivo, lo que implica necesariamente que en ausencia de N aplicado, el suelo provee una proporción fija del N absorbido y que es substancialmente menor que el aportado por la fertilización. Sin embargo, muchas veces en experimentos de respuesta, las parcelas testigo, sin fertilizante, superan en rinde a las parcelas fertilizadas, habiéndose en muchos de estos estudios detectados sitios totalmente insensibles a la aplicación de fertilizante nitrogenado. Tales sitios se excluyen al promediar los datos de respuesta para evaluar recomendaciones basadas en el rinde resultando así excesivas las dosis recomendadas.

Tal fue el caso, por ejemplo, con 96 % de 193 sitios/año con respuesta analizados por Lory y Scharf (2003), para los cuales la dosis recomendada de N superó la dosis óptima económica de N (DOE) en 90 kg/ha en promedio, llegando hasta un extremo de 227 kg de N/ha más que la DOE de ese sitio. Más aún, las dosis recomendadas no tuvieron correlación significativa alguna con las dosis óptimas, sugiriendo que las recomendaciones basadas en el rinde no tienen capacidad de predicción.

Una posibilidad para mejorar las recomendaciones de fertilización para maíz en regiones húmedas es tomar en cuenta la capacidad del suelo de proveer N disponible por la mineralización. En general esta estrategia ha sido medir los nitratos (NO₃) del suelo, antes o después de la siembra. Una mejor estrategia se centraría en evaluar la capacidad del suelo de proveer N, estimando la fracción orgánica mineralizable, que está sujeta a menos procesos del ciclo de N que los nitratos y por lo tanto, una fracción menos dinámica.

Las investigaciones conducidas desde hace muchos años han apoyado el concepto que la materia orgánica de suelo no es uniformemente mineralizable, sino que consiste principalmente en una fracción pasiva acompañada por una fracción menor de N orgánico biológicamente activo, asociado a la biomasa microbiana. Entre estos últimos componentes se identifican en gran parte como aminas, amidas y amino-azúcares, fracciones que se han correlacionado con la producción neta de N mineralizado y con el N absorbido por las plantas en experimentos de invernáculo.

El objetivo de este estudio fue evaluar la capacidad del análisis ISNT (Illinois Soil N Test) para distinguir sitios con respuesta de aquellos insensibles al agregado de N en un amplio rango de suelos y condiciones de cultivo.

La base de datos generada fue utilizada para determinar 1) Que condiciones de cultivo y/o de suelo influyeron cuantitativamente en los valores de análisis de suelo determinados por el ISNT y la respuesta del cultivo al agregado de N; y 2) la exactitud y consecuencias económicas de las recomendaciones de N por el método del balance con un objetivo de rendimiento, sobre todo en los análisis caso por caso.

Como se llevo a cabo el estudio

El trabajo reportado incluye 102 experimentos de respuesta al N conducidos, en su mayor parte en campos de productores a lo largo del estado de Illinois. De éstos, 51 experimentos fueron divulgados por Brown (1996),

que comprendieron 11 sitios conducidos en 1990, 18 en 1991, y 22 de 1992. De los restantes ensayos, 14 fueron llevados a cabo en 2001, 16 en 2002, y 21 en 2003. En cada caso, las dosis de N fueron aplicadas en un diseño de bloques completo al azar con cuatro repeticiones, aplicando UAN (32%N) cuando el maíz tenía entre 15 y 30 cm de altura.

Las muestras del suelo (0-18 cm) fueron recogidas del área experimental en cada sitio a los comienzos de primavera (Eq. Fines de septiembre y principios de octubre) para determinación de análisis de rutina de fertilidad (pH, P, y K) y de NO₃ en el perfil; así como el ISNT (1990-1992) o (2001-2003).

La información descriptiva de los 102 sitios-años estudiados incluyen la serie de suelo a que pertenecen; el año, el cultivo anterior, el sistema de la labranza, la fuente y cantidad de estiércol aplicado ese año así como de los últimos 2 a 5 años, la densidad de plantas y por ultimo, el valor de ISNT del sitio y su desvío estándar de 4 o 12 repeticiones de este valor, rendimientos del testigo y magnitud del error en la recomendación de balance así como el costo de la fertilización resultante.

El ajuste probó ser inadecuado, excepto para identificar tres sitios-año de no respuesta ya que el crédito del estiércol excedió la demanda estimada de N estimado para el objetivo de rinde. De los 19 sitios restantes previamente abonados con estiércol, 15 no respondieron a la fertilización, pero habrían recibido entre 38 y 159 kg de N/ha por el método del balance. La fertilización también habría sido recomendada en cuatro sitios-años más donde se observó una respuesta importante de rendimiento.

Evaluación del Manejo del Nitrógeno

La importancia del manejo de la fertilización nitrogenada en la producción de maíz es evidente porque su impacto en el costo de producción supera con frecuencia los \$100/ha. La base de la decisión para esta inversión reside en el método de balance, a través del cual la estimación de la cantidad de N absorbida por el cultivo descansa en gran parte en la fertilización. Las

¹ Dep. of Natural Resources and Environ. Sci., Univ. of Illinois, 1102 S. Goodwin Ave., Urbana, IL 61801 ² Need for a Soil-Based Approach in Managing Nitrogen Fertilizers for Profitable Corn Production R. L. Mulvaney*, S. A. Khan and T. R. Ellsworth. Soil Sci Soc Am J 70:172-182 (2006)

recomendaciones que resultan de este método se adoptan bajo la premisa que la producción de maíz no debería limitarse por una inadecuada provisión de N. Así y todo, pocas veces se han evaluado los rendimientos comparándolos con una dosis más baja (o más alta) de N, o evaluado la exactitud de estas recomendaciones en sitios individuales donde se conducen estudios de respuesta al N para determinar una dosis económica.

En 22 de los experimentos de respuesta al N, se había aplicado estiércol con anterioridad de modo que la recomendación se ajustó incorporando créditos estándares para el N del estiércol. Tres de estos 22 casos eran de una rotación maíz-soja, y los créditos combinados de N habrían conducido a una sub fertilización. En contraste, el método del balance habría sobre-fertilizado un sitio-año en maíz sobre maíz, para el cual el crédito del estiércol fue inadecuado. Concluimos que considerar los créditos de esta manera no puede proporcionar una base confiable para cuantificar la disponibilidad de N del estiércol, como se ha usado habitualmente.

El problema adicional que se presenta es que el método de balance no explica la disponibilidad residual de N del estiércol, que puede persistir por varios años. El N residual es más común cuando se condujo el lote bajo maíz continuo que cuando se rotaba con soja. Esta última diferencia es particularmente evidente en los sitios-años sin respuesta a los que no se les aplicó estiércol recientemente. Las recomendaciones del balance eran siempre excesivas para maíz continuo (unos 49 a 235 kg de N de más), con o sin respuesta al N, mientras que se daba una sub o sobre-fertilización cuando hubo aplicaciones previas de estiércol en el maíz rotado con soja.

Al igual que en los sitios con aplicación previa de estiércol, se usan créditos fijos de N cuando el maíz sigue a una leguminosa. El actual proyecto consideró 54 de esos sitios-años que no habían sido estercolados por lo menos 1 año antes del cultivo, incluyendo 49 en una rotación del maíz-soja y cinco donde era el primer año de maíz después de alfalfa. Del último grupo, cuatro sitios-año fueron insensibles a la fertilización

nitrogenada, pero que recibieron una recomendación de fertilización entre 105 y 123 kg de N/ha por el método de balance. El error fue mayor en magnitud (162-193 kg de N/ha) en cuatro sitios-años sin respuesta de maíz después de soja, bajo SD o estiércol residual. En contraste, la sub-fertilización ocurrió con frecuencia cuando se obtuvo respuesta al N donde la soja era antecesor, mientras que no se observó respuesta en maíz después de maíz, sugiriendo una mayor necesidad de fertilización nitrogenada cuando el maíz sigue a soja. Esta última diferencia fue verificada luego por el análisis estadístico, después de excluir los sitios estercolados o bajo SD, que mostraron aumentos significativos de la dosis óptima económica y aumentos de rinde cuando el cultivo antecesor fue soja y no maíz.

La dosis óptima económica estimada para maíz siguiendo a soja fue significativamente mayor en 2001-2003 (153 kg de N/ha) que en 1990-1992 (96 kg de N/ha), sugiriendo que las prácticas de manejo habían aumentado los requerimientos de fertilización para el maíz bajo esta rotación. Tal aumento es probablemente atribuible a mayor demanda de nutrientes por los mejores híbridos elegidos para obtener una máxima productividad bajo alta densidad de siembra.

Estos resultados plantean seriamente dudas sobre el uso de créditos estandarizados que estiman el valor de N derivado del aporte de leguminosas, que varía significativamente entre especies y condiciones ambientales. En este estudio, los créditos para soja fueron inadecuados para sitios-años sin aplicación de estiércol en rotación con soja, y un tercio de este grupo podría haber sido sub fertilizado por el método del balance.

Dado que no se consideran créditos de N para otros eventos de manejo previo, las recomendaciones de balance fueron excesivas para 22 de 23 sitios/años bajo maíz continuo que no habían recibido estiércol previamente, (aunque en casi la mitad de estos casos, el estiércol había sido aplicado entre 2 a 5 años atrás). Casi un tercio de este grupo (7 casos) no tuvo respuesta al N aplicado, en comparación con 5 casos en rotación maíz-soja sin créditos por estiércol previo.

³Se sugiere al lector hacer su propia estimación del costo del N, basado en un precio actual: US\$ 1,1 – 1,2 /kg de N

Evaluación del Manejo de N del Suelo

Las repetidas evidencias que hablan sobre las serias inexactitudes en la formulación de recomendaciones de fertilización nitrogenada por el método de balance tienen obvios impactos económicos en la rentabilidad de los productores, así como generan preocupación por el aumento del impacto ambiental negativo. Extrapolando el error promedio de estas recomendaciones en estos casos estudiados, para el estado de Illinois el costo anual es de US\$ 220 millones, y sin incluir costos colaterales asociados a la fertilización excesiva de nitrógeno, tales como pérdidas de Ca, Mg, y K, iones acompañantes en el proceso de lixiviación de los NO_3 .

Tales estimaciones enfatizan la necesidad de explicar mejor la capacidad del suelo de suministrar N disponible a las plantas por la mineralización, y es la clave para mejorar el manejo del fertilizante nitrogenado en regiones húmedas.

Para que la predictibilidad del ISNT sea exitosa, las condiciones deben ser conducentes para un proceso de mineralización del N de la M.O. sincronizado con la absorción y utilización de N por el cultivo. Este requisito se satisfizo en cuatro de los 19 sitios-años identificados incorrectamente como de no respuesta por el ISNT, debido al importante estrés hídrico que ocurrió durante esa campaña. El efecto de este estrés en la interpretación del ISNT se demuestra claramente de una comparación de los datos de rendimientos de dos sitios-años, que dieron el mismo valor crítico de ISNT para una misma localidad pero bajo distintas condiciones de cultivo.

Los datos dejan pocas dudas sobre la necesidad del manejo del suelo, ya que la demanda de fertilizante decrece ante valores crecientes del ISNT, mientras que ésta demanda aumenta al aumentar la densidad de población, reflejando una demanda más alta de N por el cultivo. La última tendencia agrega una nueva dimensión al manejo del fertilizante nitrogenado con el ISNT, ya que la densidad de siembra puede ajustarse a la disponibilidad del N del suelo, a condición que la productividad no sea limitada por otras características del suelo (P. Ej., humedad).

Conclusiones

Los fertilizantes nitrogenados contribuyen sustancialmente al costo de producción del maíz. Se cuestiona el empleo del balance en la generación de recomendaciones ofreciéndose una alternativa de un análisis de suelo que privilegia obtener altos rindes, compatibles con el cuidado ambiental y con la rentabilidad de los productores.

Se evaluó sitio por sitio la recomendación generada por el método del balance en 102 ensayos de respuesta al N conducidos en lotes de productores de Illinois durante seis campañas entre 1990 y 2003. Fue inquietante ver cómo el método daba resultados tan pobres, considerando que éste ha sido sostenido extensivamente en los últimos treinta años. En promedio, el error en las cantidades recomendadas era de mayor magnitud que la dosis óptima económica de N.

El método del balance fue desarrollado en una época cuando los fertilizantes nitrogenados eran relativamente baratos y la preocupación por los daños ambientales eran menores, y se lo ha defendido con mucha frecuencia como un seguro contra limitantes a la productividad debida a un suministro deficiente de N. Con todo, incluso con una relación de precios maíz: N tan poco realista de 10:1, esta póliza de seguro no puede evitar la sub fertilización en una de seis veces, en 46 kg/ha en promedio, cuando el maíz sigue a la soja en la rotación.

Estos resultados no serían tan sorprendentes si se considera la filosofía del "tamaño único para todos" que subyace en el método del balance. Además de invocar créditos estándares para considerar el N aportado por las leguminosas o por el estiércol aplicado previamente, se asume una eficiencia constante y única del N fertilizante, sin importar la sincronización, la formulación, y el método de aplicación del N, condiciones meteorológicas, posición del paisaje, tipo de suelo, población de plantas, y quizás lo más importante, las diferencias inherentes que existen en el poder de suministro de N del suelo.

Esas diferencias tienen un efecto crucial sobre la necesidad de la fertilización con nitrógeno suplementario, según el Nuevo método de análisis de suelo de N ISNT, una técnica simple desarrollada para identificar sitios en donde el maíz no responde a la fertilización nitrogenada

De los 33 sitios en el estudio publicado en la SSSAJ, excepto en dos casos, la necesidad de N fue correctamente predicha, si se asume el nivel crítico de 230 ppm de N originalmente establecido del valor analítico. Este nivel fue menos efectivo para identificar 50 de 69 sitios con respuesta, pero los 19 restantes dieron importantes indicadores para el manejo del fertilizante nitrogenado con el ISNT. En la situación más común, el nivel crítico probó ser inapropiada en sitios con las altas densidades de población de maíz después de soja. No sólo el cultivo demandó más N por la presencia de mayor densidad de plantas, sino que el aporte de C por los residuos resultantes de la soja, habrían promovido competencia microbiana por el N disponible en el suelo. Los rendimientos fueron mayores cuando hubo mayores densidades de siembra y respondieron a una mayor fertilización nitrogenada, en sitios que dieron altos niveles de ISNT sugiriendo que este análisis tiene un uso potencial para el asignar poblaciones variables según el N del suelo, y así poder realizar un manejo más específico de la fertilización nitrogenada.

Efecto aditivo del agregado de diferentes nutrientes en maíz en el Norte, Centro y Oeste de la Provincia de Buenos Aires

Resultados de dos años de ensayos. Campaña 2006/07 y 2007/08.
Proyecto Regional Agrícola, CERBAN.

Autores: (Orden alfabético): Ings Agrs H. Barosela (AER Mercedes), M. Barraco (EEA General Villegas), J.J. Cavo (AER Junín), E. Cassina (AER Bragado), L. Couretot (Desarrollo Rural Pergamino), G. Ferraris (Desarrollo Rural Pergamino), E Lemos (AER Junín) M. López de Sabando (AER San Antonio de Areco), A. Martín (Agencia de Proyecto Chivilcoy), F. Mousegne (AER San Antonio de Areco, coordinador del Proyecto Agrícola), A. Paganini (AER Zárate), R. Pontoni (AER Arrecifes), R. Solá (AER Arrecifes), G. Tellería (AER Junín), L. Ventimiglia (AER 9 de Julio). Preparación del informe: Ings. Agrs. Gustavo N. Ferraris, Fernando Mousegne y L. Couretot.

Introducción

El consumo de fertilizantes en Argentina se ha incrementado notablemente en los últimos años, debido a la mejora continua en las prácticas de manejo que conducen a la obtención de cultivos de alto rendimientos y, con ello, mayor demanda de nutrientes. Sin embargo, el balance nutricional sigue siendo negativo para los suelos de la Región Pampeana, principal zona de producción de cereales y oleaginosas. Estimaciones recientes indican niveles de reposición del orden del 29% para nitrógeno (N), 42% para fósforo (P), 15 % para azufre (S) y menos del 1% para potasio (K) (García, 2004).

El nitrógeno (N) es el principal elemento en la nutrición del cultivo de maíz. La obtención de rendimientos elevados siempre esta asociada a una elevada eficiencia de uso de N (EUN), ya que su disponibilidad es limitante en la mayor parte de los suelos pampeanos y, aunque los cultivos son suplementados mediante fertilización, es habitual que se lo haga en dosis subóptimas. Con el objetivo de lograr elevadas EUN, se han desarrollado criterios de diagnóstico, herramientas de simulación y predicción de la respuesta esperable, aunque el grado de adopción de las mismas es muy variable.

Estudios sobre el diagnóstico de la fertilización fosfatada han permitido establecer y/o actualizar los niveles críticos de P en suelo (Bray 1) para la mayor parte de los cultivos de grano (Prystupa et al., 2004). La mayor parte de los suelos

agrícolas se encuentran en niveles de P por debajo de los umbrales ajustados, y hoy la fertilización fosforada es una práctica habitual. Sin embargo, la necesidad de aplicar dosis mayores de fertilizante para contrarrestar la extracción generada por niveles de rendimiento creciente, genera la necesidad de evaluar nuevas formas de aplicación, más ágiles y operativas. La fertilización en cobertura total durante el período previo a la siembra es una vía muy conveniente para realizar aplicaciones complementarias de P destinadas a equilibrar el balance del nutriente en el suelo, pero en el caso del maíz, se cuenta con escasa información acerca de la eficiencia de esta vía en comparación con la tradicional localización en bandas al costado de la siembra.

Por otra parte, el incremento de los rendimientos y el uso habitual de N y P ha provocado la aparición de deficiencias de otro nutriente como es el azufre (S). La deficiencia de S observada en suelos degradados o de bajo nivel de materia orgánica ha resultado en respuestas significativas en varios cultivos agrícolas y forrajeras, siendo el maíz uno de los que mayor magnitud y frecuencia de resultados favorables presenta.

Por otra parte, es de utilidad monitorear frecuentemente la aparición de deficiencias de nuevos nutrientes que limiten la productividad. El potasio (K) por la magnitud en que es requerido, y el zinc (Zn) por la reiteración de experimentos con respuesta positiva, aparecen como dos nutrientes con elevada probabilidad de obtener resultados favorables.

El objetivo de este trabajo en red es 1. Estudiar el efecto aditivo del agregado de P, N, y S, siendo estos los nutrientes que más frecuentemente limitan el rendimiento en el Norte, Centro y Oeste de la Provincia de Buenos Aires, área de influencia del CERBAN. 2. Evaluar la eficiencia de la aplicación de P en cobertura total en comparación con las aplicaciones en bandas localizadas al costado de la línea de siembra. 3. Explorar deficiencias de nutrientes en los que hasta el momento no se han observado deficiencias generalizadas, pero que podrían limitar los rendimientos en un futuro cercano, como K y Zn 4. Relacionar la respuesta positiva a la fertilización con variables de suelo y cultivo y, de ser posible, establecer criterios de decisión y 5. Constituir lotes demostrativos para realizar jornadas de campo en diferentes zonas.

Materiales y métodos

Se realizaron trece ensayos de campo en dos campañas agrícolas, 2006/07 y 2007/08, en diferentes localidades del Norte, Centro y Oeste de Buenos Aires. Algunas características salientes de sitio y manejo de los experimentos se presentan en la Tabla 1.

Para conducir los experimentos se utilizó un diseño en bloques completos al azar con tres repeticiones. En la presente red, se evaluó la respuesta a N, P, S, K y Zn. Los tratamientos evaluados se presentan en la Tabla 2.

Tratamiento	Dosis P kg/ha	Dosis N kg/ha	Dosis S kg/ha	Dosis K kg/ha	Dosis Zn l/ha
T0	-----	-----	-----	-----	-----
T1	20 Banda	-----	-----	-----	-----
T2	-----	150	-----	-----	-----
T3	20 banda	150	-----	-----	-----
T4	20 voleo	150	-----	-----	-----
T5	20 banda	150	15	-----	-----
T6	20 banda	150	15	100	-----
T7	20 banda	150	15	100	0,1

*Durante el primer año de ensayos, los tratamientos T6 y T7 no incluyeron S, a excepción del ensayo de General Villegas.

Tabla 2: Tratamientos evaluados. Red de fertilización en Maíz, EEA Pergamino y General Villegas, campaña 2006/07.

Sitio	Serie de Suelo	Tipo de Suelo	Antecesor	Hibrido sembrado	Fecha de siembra	Esp. e/ hileras (m)	Densidad lograda (pl/ha)
Arrecifes	Arroyo Dulce	Argiudol típico	Soja 1ra.	Pioneer 31Y04	09-Oct	0,70	82000
SA de Areco	Capitán Sarmiento	Argiudol típico	Soja 1ra.	LT 622 MG	29-Sep	0,70	75000
Mercedes	Suipacha	Argialbol típico	Soja 1ra.	Dow Mass 494MG	17-Oct	0,70	75000
Chivilcoy	Chacabuco	Argiudol típico	Soja 1ra.	Pioneer 31F25	28-Set	0,52	68000
La Trinidad	Rojas	Argiudol típico	Trigo/Soja	Dow Mass 494 MG	17-Nov	0,52	80000
9 de Julio	Estación Naon	Hapludol típico	Soja 1ra.	ACA 417 RR2	19 y 20 set	0,70	71500
General Villegas	Lincoln	Hapludol Típico	Soja de 1ra.	DK 682 RR	9-Oct	0,52	80200
Arrecifes 2	Arroyo Dulce	Argiudol típico	Soja 1ra.	La Tijereta 625	28-Set	0,525	75000
S.A. de Areco 2	Capitán Sarmiento	Argiudol típico	Soja 1ra.	LT 622 MG	29-Sep	0,70	75000
Pergamino	Pergamino	Argiudol típico	Trigo/soja	Syngenta NK 900	8-Oct	0,52	75000
Chivilcoy 2	Chacabuco	Argiudol típico	Soja 1era.	P31F25	9 Oct	0,70	62000
Junín	Saforcada	Hapludol éntico	Trigo/Soja	Ax 892 MG	17-Oct	0,70	63000
9 de Julio 2	Norumbega	Hapludol éntico	Trigo/Soja	DK 747 MG	17-Oct	0,70	84000

Tabla 1: Características salientes de los sitios experimentales. En azul sitios 2006/07. En verde sitios 2007/08.

Las fuentes fertilizantes utilizadas fueron superfosfato triple de calcio (0-20-0), Urea (46-0-0), sulfato de calcio (0-0-0-18S), cloruro de potasio (0-0-0-50K) y zinc organoquelatado (0-0-0-10Zn). A excepción de las aplicaciones de P en banda y Zn sobre semilla, el resto de los fertilizantes fueron aplicados al voleo al momento de la siembra. Previamente se realizaron análisis químicos de suelo, cuyos resultados se presentan en Tabla 3.

Localidad	pH	M/O (0-20 cm) (%)	P Bray I (0-20 cm) (mg kg ⁻¹)	N -Nitratos (0-60 cm) (kg ha ⁻¹)	S-Sulfatos (0-20 cm) (mg kg ⁻¹)
Arrecifes	5,7	2,3	11,2	60	12,7
SA de Areco	6,0	3,2	10,0	53	12
Mercedes	5,9	4,1	5,0	56	10
La Trinidad	5,5	2,2	9,2	69	9
9 de Julio	5,8	2,4	10,9	106	6
Gral. Villegas		2,2	11,7	58	
Arrecifes 2	5,5	2,7	2,7	65	7,2
SA de Areco 2	6,1	3,28	4,0	98	12
Pergamino	5,6	2,68	4,4	84	10,4
Junín	6,2	1,98	7,0	46	
9 de Julio 2	5,6	3,29	5,6	76	9,4

Tabla 3: Análisis de suelo al momento de la siembra para las localidades de ensayo. Datos promedio de tres repeticiones.

La cosecha se realizó en forma manual sobre una superficie de al menos 5m², con trilla estacionaria de las muestras, o con cosechadora mecánica sobre macroparcels. Los datos obtenidos fueron analizados por análisis de varianza, estudiando los efectos de sitio, tratamiento y su interacción. La respuesta a P y N se evaluó tomando los tratamientos en un arreglo factorial PxN. La comparación P banda vs P voleo, y la respuesta a S, K y Zn se analizaron mediante contrastes ortogonales de los tratamientos PNS vs PN, PNK vs PN y PNZn vs PN, respectivamente.

Resultados y discusión

a) Condiciones climáticas de la campaña

Las precipitaciones durante el período octubre-febrero para los sitios experimentales se presentan en la Figura 1. Por su parte, los datos de radiación y temperatura de la localidad de Pergamino, ubicada geográficamente en una posición intermedia entre los ensayos, se muestran en la Figura 2. Durante el primer año de ensayos, el ambiente fue muy favorable, siendo el registro pluviométrico para los cinco meses señalados cercano a la media anual de la localidad. A pesar de la abundancia de lluvias, el número de días nublados y de baja insolación fue muy limitado, lo que posibilitó una adecuada oferta lumínica durante el período crítico para la definición de los rendimientos. En cambio, durante la segunda campaña, las precipitaciones fueron sensiblemente menores. Sólo en Chivilcoy las lluvias durante el período analizado superaron los 500 mm. En promedio, la diferencia interanual alcanzó los 150 mm, lo cual ocasionó una disminución en los rendimientos medios del segundo año (Tabla 4).

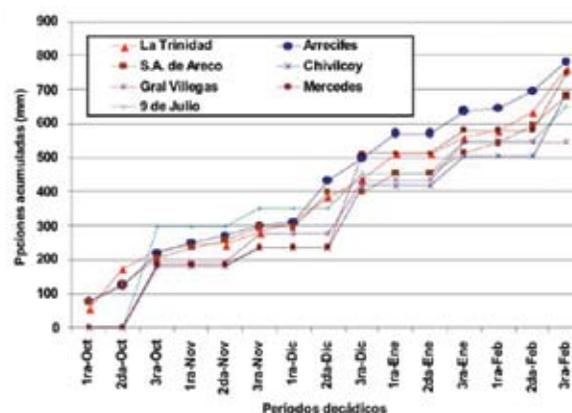


Figura 1.a. Campaña 2006/07

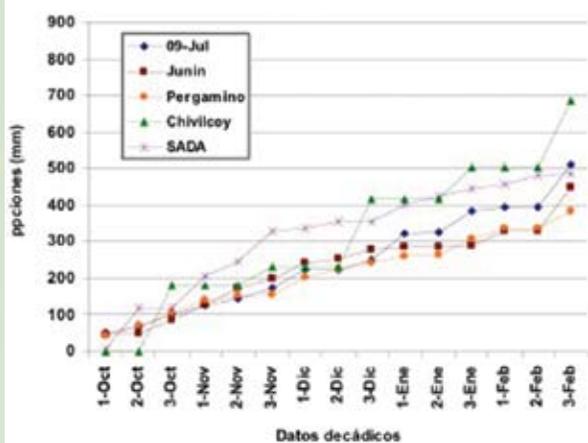


Figura 1.b. Campaña 2007/08

Figura 1: Precipitaciones acumuladas (mm) en períodos decádicos para las localidades de ensayo durante los ciclos 2006/07 (1.a) y 2007/08 (1.b).

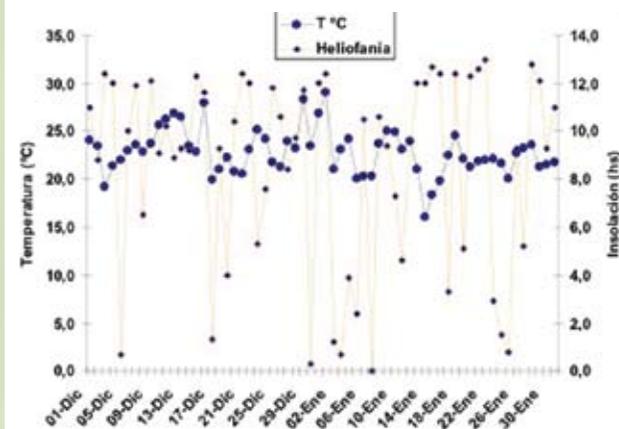


Figura 2.a. Campaña 2006/07

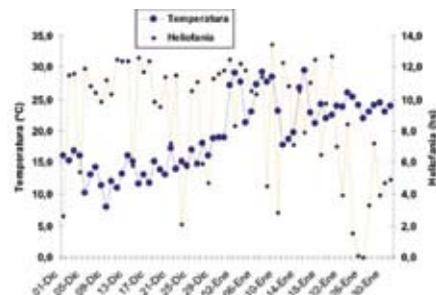


Figura 2: Insolación (en hs y décimas de hora) y temperatura media (°C) diarias durante los meses de diciembre y enero, en los cuales se ubicó el período crítico para la definición de los rendimientos en todos los materiales. Localidad de Pergamino, (Bs As), campaña 2006/07 (2.a) y 2007/08 (2.b).

b) Resultados de los ensayos

B.1. Rendimientos generales de la red.

Se determinó efecto de sitio ($P=0,000$) sobre los rendimientos, y efecto de tratamiento para todas las localidades de ensayo (Tabla 4), así como interacción sitio*tratamiento ($P=0,001$). Esto significa que las localidades difirieron en sus rendimientos medios, que en todas ellas se determinaron diferencias significativas de rendimientos entre los tratamientos, pero que las respuestas observadas fueron estadísticamente diferentes entre localidades. El mayor coeficiente de variación observado en el segundo año respecto del primero, obedece a una condición ambiental más restrictiva, que causara una mayor variabilidad en los rendimientos intra-tratamiento.

El rendimiento relativo (RR) del testigo respecto del máximo puede indicar la fertilidad natural del sitio. En todos los casos fue sensiblemente inferior al máximo (Tabla 5). De acuerdo con este análisis, el sitio donde el testigo alcanzó su menor RR y, como consecuencia, demostró menor fertilidad natural fue 9 de Julio 2 ($RR=0,55$). En el otro extremo, la localidad de mayor RR fue Arrecifes 2 ($RR=0,84$). En 8 (13) localidades, los máximos rendimientos se alcanzaron cuando se aplicó NPS (Tabla 5).

Tabla 4: Rendimiento de los tratamientos evaluados para las diferentes localidades de ensayo. Red de fertilización en Maíz, EEAs Pergamino y General Villegas, campaña 2006/07.

Tratamientos	Arrecifes	SA de Areco	Mercedes	Chivilcoy	La Trinidad	9 de Julio	Gral. Villegas	Promedio
Testigo	6921	7979	7400	8726	7083	9598	9913	8231
P	6466	9030	8700	11672	8444	9881	12231	9489
N	9757	10087	7050	11898	10122	9891	12840	10235
PN	10702	11494	6800	11334	11512	11040	11850	10676
Pvoleo N	10734	10979	7650	No evaluado	11125	No evaluado	11934	10484
PNS	11650	11838	8850	12438	11821	12204	11353	11451
PN(S)K	No evaluado	11747	7600	No evaluado	11838	12748	13185	11423
PNSKZn	No evaluado	11237	8310	12316	11458	12326	11953	11267
Anova (P=)	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
CV (%)	12,9	5,6	5,6	7,4	8,2	9,4	6,6	5,6

Tratamientos	Arrecifes 2	SA de Areco 2	Pergamino	Chivilcoy 2	Junín	9 de Julio 2	Promedio 2do año	Promedio general
Testigo	7125	5736	9350	7912	8920	7649	7782	7925
P	8075	5915	10642	9719	8930	9457	8790	9035
N	7666	6508	10408	9929	10320	10374	9201	9659
PN	7907	7150	11500	9887	10400	13568	10069	10350
Pvoleo N	7964	6378	12400	No evaluado	11110	12317	10034	10162
PNS	7530	7142	12388	10589	10570	13980	10366	10943
PN(S)K	7467	6695	11483	No evaluado	11737	13445	10165	10762
PNSKZn	7745	6622	11838	10488	10857	13436	10164	10784
Anova (P=)	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
CV (%)	12,8	5,6	6,1	7,6	4,4	8,7	12,2	9,4

Tabla 5: Rendimiento de los tratamientos testigo y rendimientos máximos en cada localidad como resultado de la fertilización con diferentes nutrientes en Maíz. Red de fertilización en Maíz, EEAs Pergamino y General Villegas, campaña 2006/07.

	Arrecifes	SA de Areco	Mercedes	Chivilcoy	La Trinidad	9 de Julio	Gral Villegas	Promedio
Rendimiento T0	6921	7979	7400	8726	7083	9598	9913	8231
Rendimiento máximo	11650	11838	8850	12438	11838	12748	13185	11451
Tratamiento de máximo rendimiento	PNS	PNS	PNS	PNS	PNK	PNK	PNSK*	PNS
Rendimiento Relativo T0/ máximo	0,59	0,67	0,84	0,70	0,60	0,75	0,75	0,72

	Arrecifes 2	SA de Areco 2	Pergamino	Chivilcoy 2	Junín	9 de Julio 2	Promedio 2do año	Promedio general
Rendimiento T0	7125	5736	9350	7912	8920	7649	7782	7925
Rendimiento máximo	8075	7150	12400	10589	11737	13980	10366	10943
Tratamiento de máximo rendimiento	P	PN	PvN	PNS	PNK	PNS	PNS	PNS
Rendimiento Relativo T0/ máximo	0,88	0,80	0,75	0,75	0,76	0,55	0,75	0,72

B.2. Respuesta al agregado de PN

Para estudiar la respuesta a estos nutrientes se tomaron los factores en dos niveles (P0 y P20) y (N0 y N150) analizando su interacción. Considerando toda la red, se determinó efecto significativo de Sitio, P y N. No se determinó interacción P*N ni P*Sitio. En cambio, la respuesta a N sí varió entre sitios (Tabla 6). Este comportamiento se manifestó de igual manera analizando cada una de las campañas por separado. Así, la respuesta a N estaría afectada por el ambiente productivo, mientras que la respuesta a P sería menos dependiente del efecto sitio.

Cuando se analizaron las localidades en forma individual, sobre nueve sitios, se determinó efecto significativo de P en cuatro, efecto de N en siete e interacción P*N en otras dos localidades (Tabla 7). Los rendimientos observados se presentan en la Figura 4.

Factor	Efecto de tratamiento (valores de P)
Sitio	0,000 ***
P	0,000 ***
N	0,000 ***
P*N	0,359 n.s.
P*Sitio	0,269 n.s.
N*Sitio	0,000 ***
CV=	10,3 %

Tabla 6: Análisis de varianza (ANOVA) para rendimiento del factorial P*N considerando los datos de toda la red. Valores seguidos de *, ** y *** representan efecto significativo del factor evaluado o interacción ($p < 0,1$; 0,05 y 0,01, respectivamente) n.s. indica diferencias no significativas por efecto de tratamiento.

Tabla 7: Análisis de varianza (ANOVA) para rendimiento del factorial P*N por localidad. Valores seguidos de *, ** y *** representan efecto significativo del factor evaluado o interacción ($p < 0,1$; 0,05 y 0,01, respectivamente) n.s. indica diferencias no significativas por efecto de tratamiento.

Red de fertilización en Maíz, EEA Pergamino y General Villegas, campañas 2006/07 y 2007/08.

Factor	Arrecifes	Chivilcoy	La Trinidad	9 de Julio	Gral Villegas
P	0,71 n.s.	0,01 **	0,01 **	0,16 n.s.	0,17 n.s.
N	0,00 ***	0,00 ***	0,00 ***	0,15 n.s.	0,02 **
P*N	0,31 n.s.	0,00 ***	0,25 n.s.	0,37 n.s.	0,00 ***
CV=	13,0	5,2	9,5	7,6	6,4

Factor	Pergamino	Chivilcoy2	Junín	9 de Julio2	Promedio
P	0,00 ***	0,26 n.s.	0,83 n.s.	0,01 **	0,00 ***
N	0,00 ***	0,48 n.s.	0,00 ***	0,00 ***	0,00 ***
P*N	0,69 n.s.	0,66 n.s.	0,87 n.s.	0,63 n.s.	0,19 n.s.
CV=	4,1	12,2	3,8	11,7	2,3

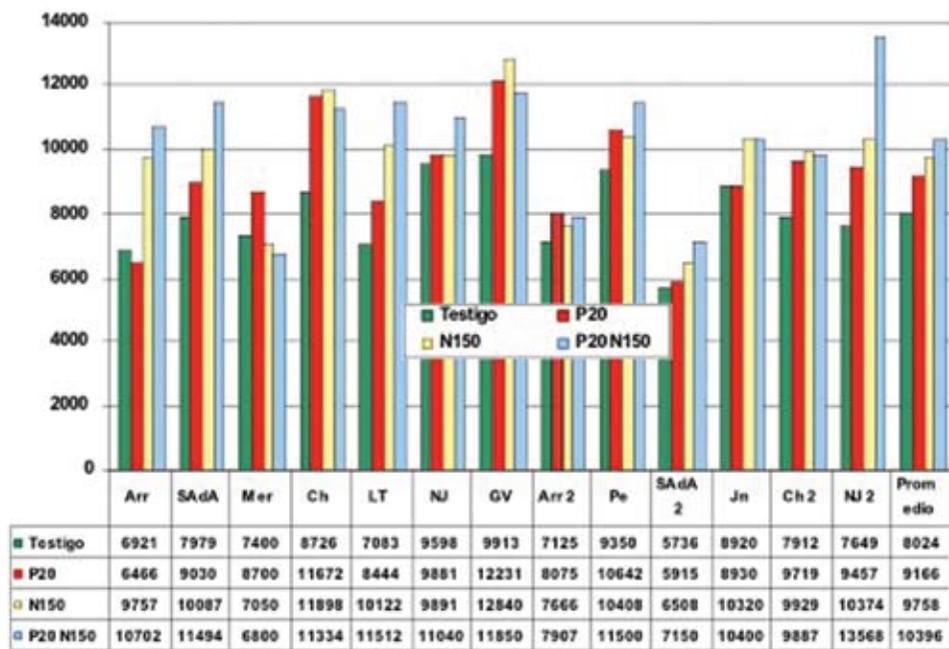


Figura 3: Rendimientos de la interacción P * N a través de los diferentes sitios y como media de toda la red. La significancia de los factores y su interacción se presentan en la Tabla 7. Red de fertilización en Maíz, EEs Pergamino y General Villegas, campañas 2006/07 y 2007/08.

Se logró obtener una relación entre los rendimientos relativos (RR) de los testigos (NO) y los tratamientos fertilizados (N150) con la disponibilidad inicial de N (suelo + fertilizante). A estos datos se le sumaron los resultados obtenidos en otras redes de ensayo conducidas por nuestro grupo de trabajo para ampliar el universo de análisis (Ferraris et al, 2007 a; c.). De acuerdo a la función ajustada, se podría obtener un RR de 0,90 y 0,95 con una disponibilidad de entre 128 y 165 kgN ha⁻¹, respectivamente (Figura 4).

Utilizando los valores de respuesta absoluta se puede graficar la eficiencia en función de la dosis o la disponibilidad inicial de N. A los valores de Junio 2008, sería necesario obtener al menos 9 kg maíz : kg N aplicado para que la fertilización nitrogenada fuese rentable. Esta eficiencia se alcanzaría con una dosis aplicada como fertilizante de 180 kg Nha⁻¹ (Figura 5). La fertilización nitrogenada sería así rentable en todo el rango de dosis incluido en este análisis.

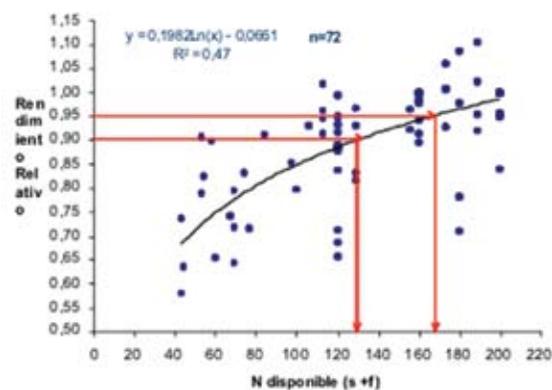


Figura 4: Relación entre los rendimientos relativos (NO / N150) y la disponibilidad inicial de nitrógeno (suelo + fertilizante) para los datos de la red, a los cuales se le sumaron los de redes zonales anteriores. Red de fertilización en Maíz, EEs Pergamino y General Villegas, campañas 2006/07 y 2007/08.

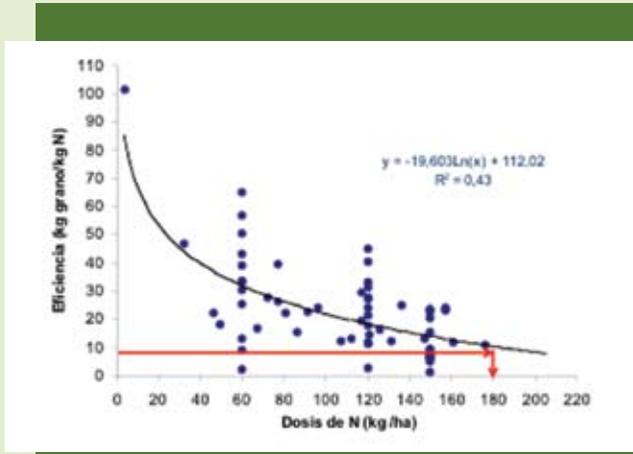
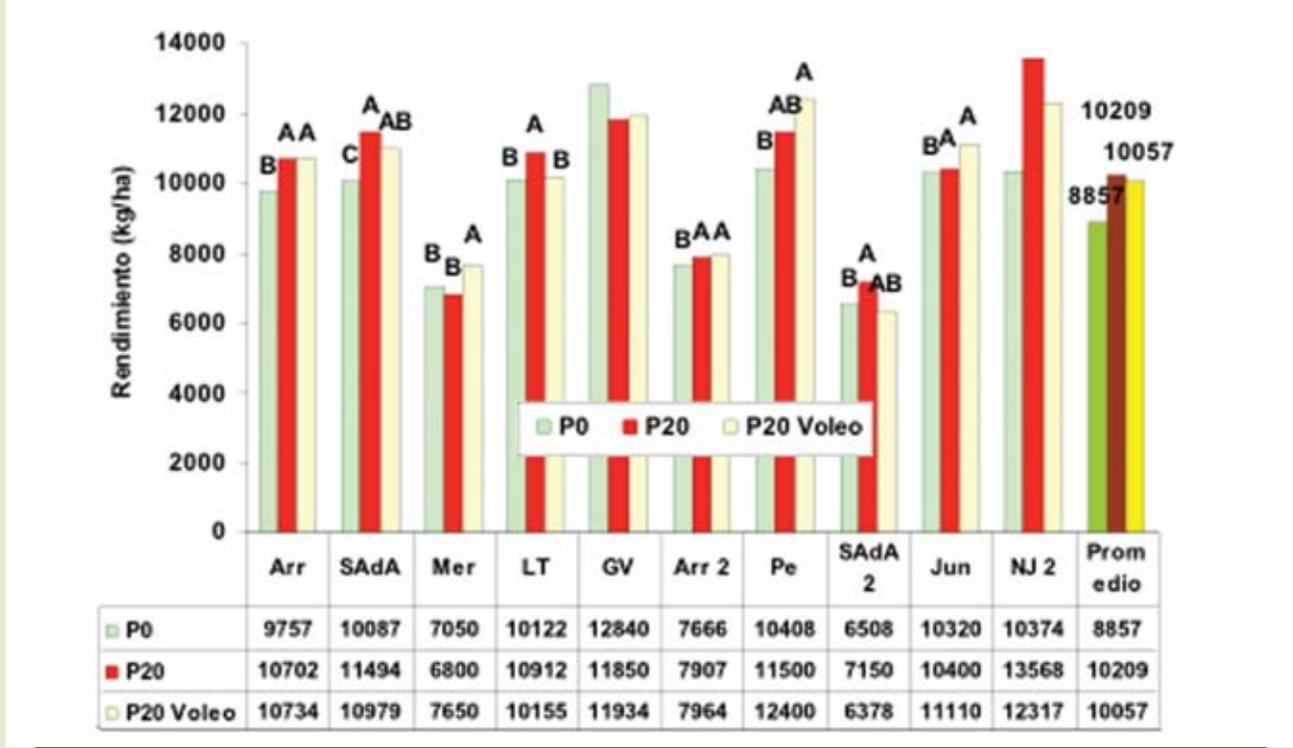


Figura 5: Eficiencia de la fertilización nitrogenada en función de la dosis de N aplicada como fertilizante a la siembra. La flecha indica la eficiencia marginal para amortizar los costos de fertilización. Nitrógeno = 1300 US\$/ha, Maíz \$530 /ha, gastos de comercialización 15 %. Red de fertilización en Maíz, EEAs Pergamino y General Villegas, campañas 2006/07 y 2007/08, a los cuales se le sumaron los de redes zonales anteriores.

En diez localidades se comparó la aplicación de P bandedo y al voleo con un testigo. En solo dos sitios se detectaron diferencias significativas entre formas de localización, siendo en Mercedes a favor de voleo y en La Trinidad a favor de P en banda. Como promedio de todos los sitios, la localización no condicionó mayormente la expresión de respuesta a P (Figura 6), a pesar de que se trabajó sobre suelos con niveles bajos a muy bajos de P disponible (Tabla 3). Por otra parte, no se observó relación entre respuesta a P y nivel de P disponible (Figura 7). Esta falta de asociación, observada en redes anteriores (Prustupa et al., 2006), explicaría en parte la ausencia de interacción Pxsitio presentada en la Tabla 6.

Figura 6: Efecto sobre los rendimientos de la forma de aplicación de P, comparando banda vs voleo. Todos los tratamientos contaron con una base de 150 kg Nha-1. Red de fertilización en Maíz, EEAs Pergamino y General Villegas, campaña 2006/07 y 2007/08. Letras distintas en las columnas de un mismo sitio representan diferencias significativas entre tratamientos.



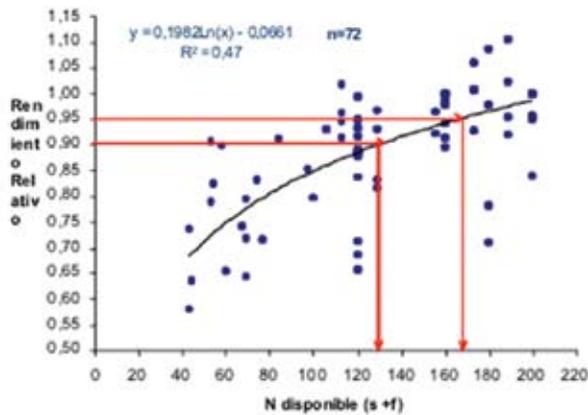
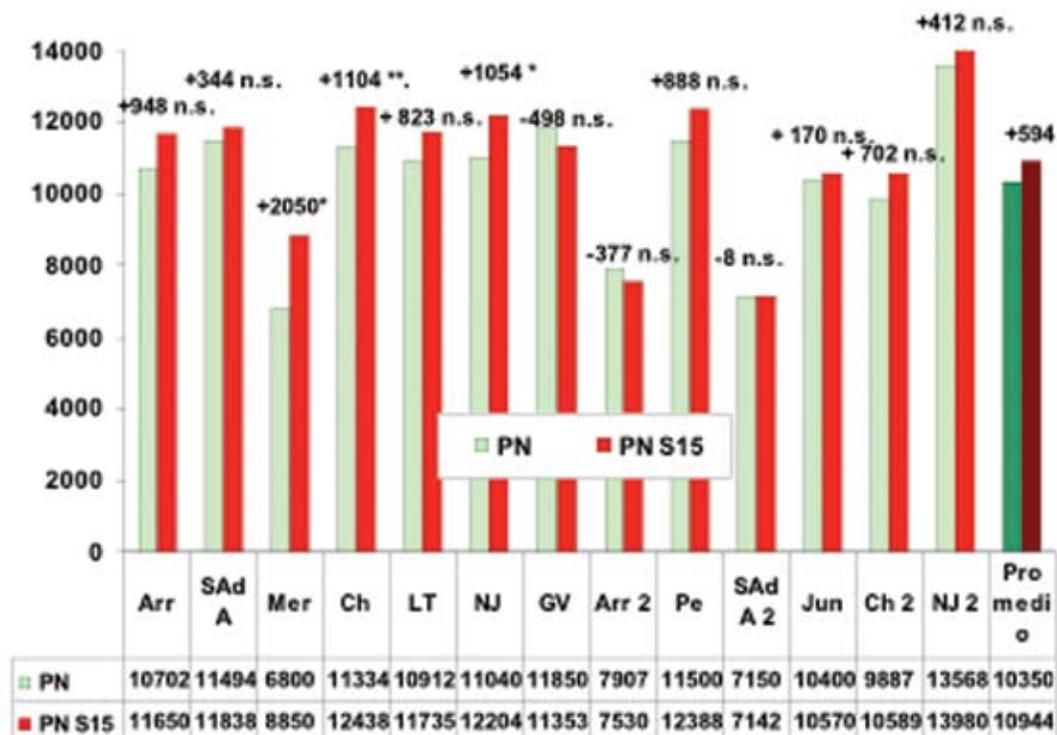


Figura 7: Ausencia de relación entre respuesta a Fósforo (P) aplicado en banda (símbolos vacíos) o al voleo (símbolos llenos) y el nivel de P disponible a la siembra. Red de fertilización en Maíz, EEAs Pergamino y General Villegas, campañas 2006/07 y 2007/08.

B.4. Respuesta al agregado de S, K y Zn

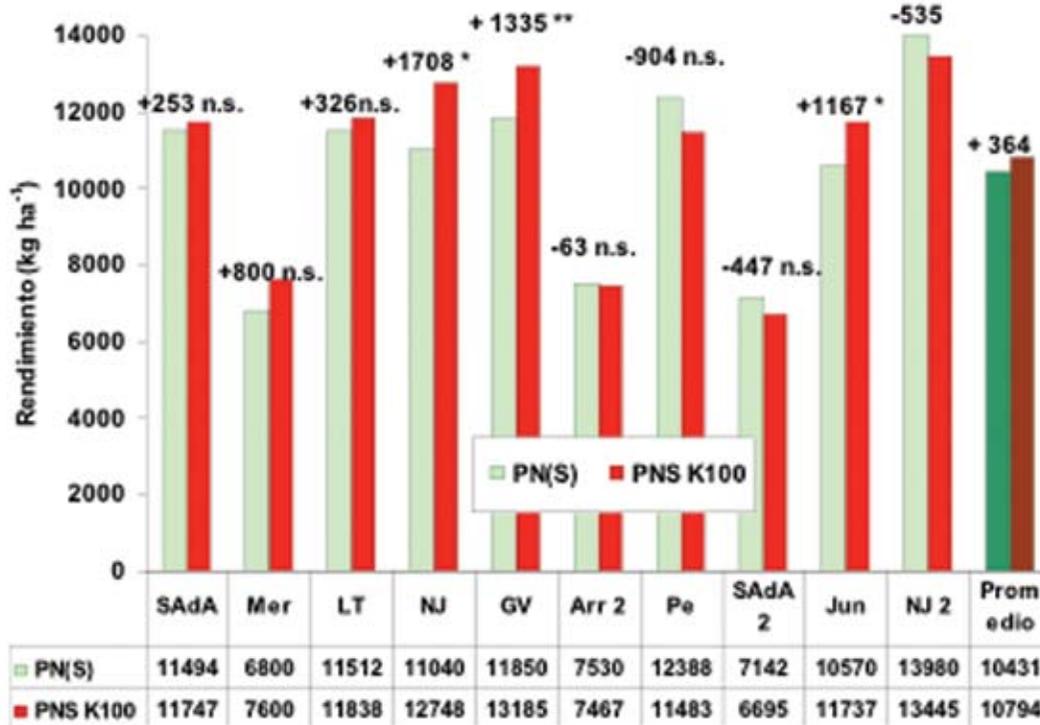
El S fue el nutriente que, fuera de PN, permitió alcanzar los mayores incrementos de rendimiento, siendo la respuesta media de 594 kg ha⁻¹. Las diferencias entre PSN y PN fueron significativas en 3 (13) sitios. En las localidades de Arrecifes, La Trinidad, Pergamino y Chivilcoy 2 la respuesta a S no fue significativa pero sí importante en términos cuantitativos, superando a la diferencia media observada en la red (Figura 8).

Figura 8: Respuesta a Azufre (S) en las localidades de ensayo, evaluado como contraste entre PN y PNS. La cifra sobre las columnas representa la diferencia de rendimiento entre ambos tratamientos. Valores seguidos de *, ** y *** representan efecto significativo del factor evaluado ($p < 0,1$; $0,05$ y $0,01$, respectivamente) n.s. indica diferencias no significativas por efecto de tratamiento. Red de fertilización en Maíz, EEAs Pergamino y General Villegas, campañas 2006/07 y 2007/08.



La respuesta a K fue significativa en 3(10) localidades, siendo estas 9 de Julio, General Villegas y Junín. Además, fue cuantitativamente importante en la localidad de Mercedes (Figura 9). Los sitios con respuesta significativa se caracterizaron por su textura franco-arenosa.

Figura 9: Respuesta a Potasio (K) en las localidades de ensayo, evaluado como contraste entre PN y PNK (SAdA, Mer, LT, NJ) o PNS y PNSK (GV, Arr2, Pe, SAdA2, Jun y NJ2). La cifra sobre las columnas representa la diferencia de rendimiento entre ambos tratamientos. Valores seguidos de *, ** y *** representan efecto significativo del factor evaluado ($p < 0,1$; 0,05 y 0,01, respectivamente) n.s. indica diferencias no significativas por efecto de tratamiento. Red de fertilización en Maíz, EEAs Pergamino y General Villegas, campaña 2006/07.



Por otra parte, si se retiran del análisis dos sitios con respuesta negativa importante y, a la vez, poco explicable, se observa una promisoriosa asociación entre la respuesta a K y el rendimiento del tratamiento (Figura 10). Es posible que bajo una situación de alta demanda por parte del cultivo, el suelo no lograra abastecerlo en ausencia de fertilización, aún conteniendo una dotación suficiente de K. Una tendencia en igual sentido observaron Salvagiotti et al., (2006), en una red con diferencias significativas en sólo 1 (19) sitios.

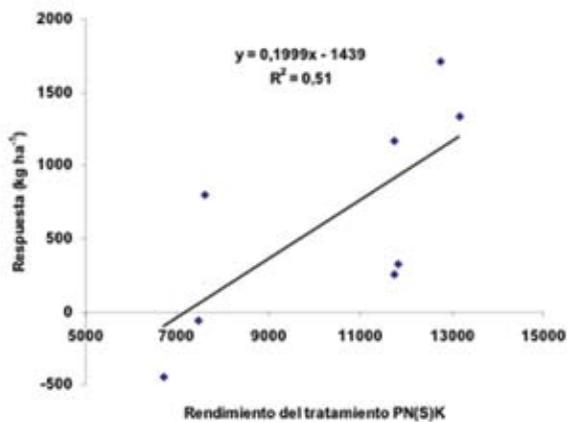
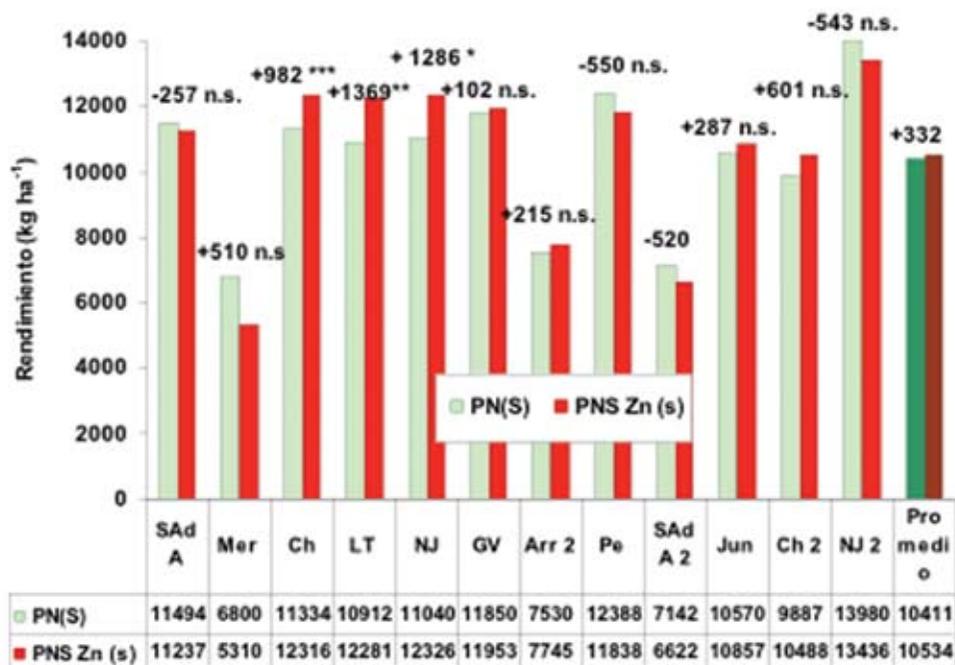


Figura 10: Relación entre respuesta a Potasio (K) y rendimiento del tratamiento fertilizado con NP(S)K aplicado al voleo a la siembra del cultivo. Se retiraron del análisis los sitios Pergamino y 9 de Julio 2, con respuesta negativa sin explicación aparente. Red de fertilización en Maíz, EEA Pergamino y General Villegas, campañas 2006/07 y 2007/08.

Por último, la respuesta a Zn fue significativa en 3 (12) sitios, Chivilcoy, La Trinidad y 9 de Julio. Además, se observó una diferencia de rendimiento por sobre el promedio en Mercedes y Chivilcoy 2. Esto confirma resultados anteriores obtenidos por nuestro grupo de trabajo (Ferraris et al., 2007.b), posicionando al Zn como uno de los nutrientes no tradicionales con mayor expectativa de respuesta.

Figura 6: Respuesta a Zinc (Zn) como tratamiento de semilla en las localidades de ensayo, evaluado como contraste entre PN y PNZn (SAdA, Mer, Ch, LT, NJ) o PNS y PNSZn (GV, Arr2, Pe, SAdA2, Jun, Ch2 y NJ2). La cifra sobre las columnas representa la diferencia de rendimiento entre ambos tratamientos. Valores seguidos de *, ** y *** representan efecto significativo del factor evaluado ($p < 0,1$; 0,05 y 0,01, respectivamente) n.s. indica diferencias no significativas entre tratamientos. Red de fertilización en Maíz, EEA Pergamino y General Villegas, campañas 2006/07 y 2007/08.



Conclusiones

*Los resultados obtenidos muestran efectos positivos de la fertilización en todas las localidades. Con diferencia entre sitios, se determinaron respuestas a todos los nutrientes evaluados, inclusive aquellos que habitualmente no son incluidos en los esquemas de fertilización como K o Zn. Esto muestra la importancia de la nutrición como herramienta para obtener altos rendimientos, y la necesidad de reconocer y diferenciar ambientes para su correcto manejo.

Bibliografía

Ferraris, G., L. Couretot, F. Mousegne, M. López de Sabando, R. Pontoni y R. Solá. 2007 .a. Evaluación de diferentes dosis y momentos de aplicación de nitrógeno y su interacción con el azufre utilizando fuentes líquidas en Maíz, en el norte de Buenos Aires. En: Maíz. Experiencias en Fertilización y Protección en el cultivo de Maíz. Campaña 2007. CERBAN. Áreas de Desarrollo Rural EEA INTA Pergamino y General Villegas. pp 136-146.

Ferraris, G., L. Couretot y J.C. Ponsa. 2007. b. Respuesta del maíz a la fertilización complementaria. En: Actas Simposio de Tecnología de la Fertilización. Avances en el manejo de los fertilizantes. AACS-FAUBA, Buenos Aires. CD-Rom. 6 pp.

Ferraris, G., J. Elisei y L. Couretot. 2007. c. Evaluación de la interacción entre genética y respuesta a la fertilización en maíz: Una aproximación técnica y económica para la toma de decisiones. En: simposio fertilidad 2007. Bases para el manejo de la nutrición de los cultivos y los suelos: 110-114.

García, F. 2004. Fertilizers to sustain the production of 100 million tonnes of grain in Argentina Presented at the 6^a Conference “Fertilizantes Cono Sur” organized by British Sulphur Pub. – Punta del Este, Uruguay – 21-23.November 2004.

P. Prystupa, F.H. Gutierrez Boem, F. Salvagiotti G. Ferraris & L. Couretot. 2006. Measuring Corn Response to Fertilization in the Northern Pampas. Better Crops. Vol 90 (2):25-27.

Salvagiotti, F., G. Ferraris, F. Gutiérrez Boem, P. Prystupa, L. Couretot y D. Dignani. 2006. Fertilización de maíz en norte de Buenos Aires y sur de Santa Fe: I- Efectos del potasio. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta – Jujuy 2006. 5pp.



Aumentando la eficiencia de uso de N en nuevos híbridos de maíz

Dr. Ricardo Melgar

El valor de los fertilizantes hoy no es el mismo que en el pasado, no solo el valor monetario, sino el estratégico, tanto para los países que lo exportan como para aquellos que dependen de ellos para su desarrollo económico o para alimentar a su población. Millones de toneladas de urea, UAN y otros fertilizantes son aplicadas en el mundo en cada campaña de cultivo, y de éstos solo una fracción será transformada en proteínas para alimentación humana o animal. La eficiencia de uso del nitrógeno N, a nivel global se estima en alrededor del 33%, mucho mas baja que las obtenidas a campo, estimadas en promedio del 50% o de los lotes mejor manejadas de maíz (70%). Así, considerando el nivel de uso actual de fertilizantes nitrogenados, apenas el uno por ciento adicional de mejora en la eficiencia de uso significará millones de dólares de ahorro en toda la cadena de producción y consumo. De los muchos aportes realizados para aumentar esta eficiencia, el mejoramiento genético es uno de los mas significativos, solo basta mirar el aumento de los rindes promedio de maíz en los últimos treinta años.

Los rindes de maíz han venido aumentando sistemática y progresivamente en EEUU, a razón de 100 kg/ año desde 1965, y hoy el promedio nacional esta en mas de 8500 kg/ha. Sin embargo el uso de fertilizantes nitrogenados prácticamente está sin cambios casi desde los años '80, indicando una ganancia de la eficiencia de uso o factor de productividad parcial (Figura 1).

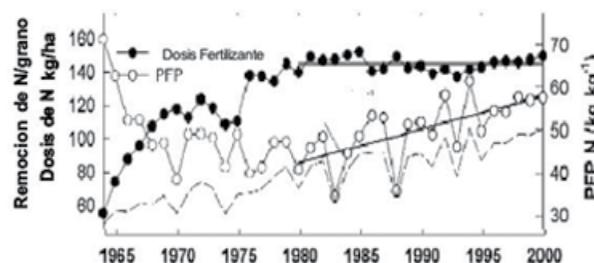


Figura 1. Tendencias en rendimiento de grano, uso de fertilizantes nitrogenados (círculo lleno, factor de productividad parcial (círculo blancos)=kg grano por kg de N aplicado), y remoción de nutrientes con el grano (línea de puntos,) para maíz a nivel nacional en EEUU. <http://www.usda.gov/nass>; Adaptado de A. Dobermann, 1997.

En Argentina se ha venido dando un fenómeno similar en lo que hace al aumento de rinde promedio, siendo el de las región pampeana, similar hoy al del Corn Belt, pero con un uso de N bastante menor y por lo tanto con casi el doble de eficiencia de uso. Mientras que en EEUU un kg de N aplicado produce 60 kg de maíz, en Argentina esta relación es casi el doble. No obstante la tendencia de la eficiencia de uso es decreciente dado el mayor uso progresivo de N, necesario para compensar la extracción de N por el grano, bastante inferior al observado en EEUU (Figura 2).

Gran parte del aumento de producción unitaria a nivel global ha sido atribuido a factores de protección del cultivo incorporados por vía del mejoramiento genético par lograr mayor tolerancia al ataque de plagas (P.ej. Eventos Bt), resistencia a

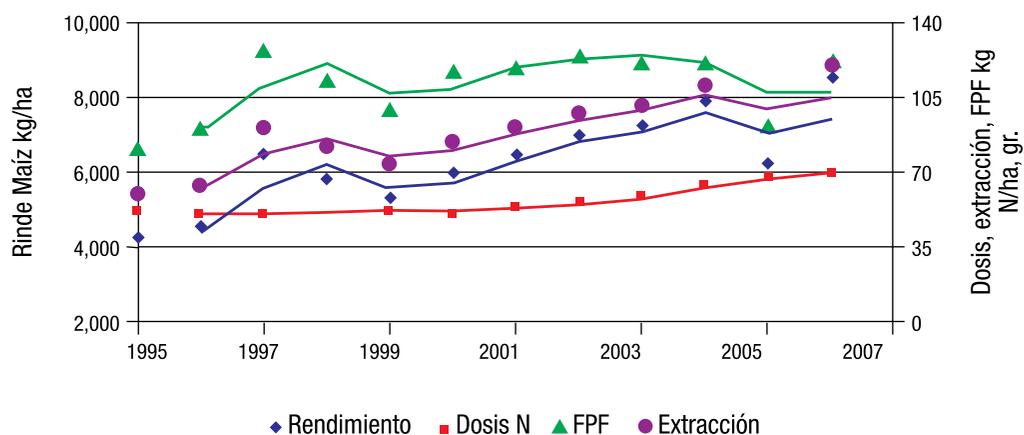


Figura 2. Evolución de los rendimientos promedio de maíz en las provincias pampeanas, extracción de N en el grano, dosis de N aplicada y factor de productividad parcial. Fuente (SAGPyA, Fertilizar, comprende las provincias de Bs. As., Sta. Fe., Er. Rs. y Cdba.)

enfermedades (maíces tropicales) o facilidades para el manejo de herbicidas específicos (Liberty link, RR-Glifosato, Clearfield). Sin embargo y no con menor potencial, el aumento de la eficiencia de uso del N, por la mejora de la tolerancia a bajos niveles del N nativo, como por la mejor eficiencia para aprovechar el N de fertilizante, o de mejor respuesta al N aplicado es una realidad. Estas diferencias son mejor visualizadas en la figura 3, a partir de una adaptación del Dr. Below.

Continuamente se presentan desarrollos y perspectivas de obtener una mejor comprensión de la regulación de la eficiencia de uso del nitrógeno en las principales especies de cultivo en el mundo. Para mejorar la EUN y así limitar la utilización excesiva de fertilizantes, y a la vez mantener una producción aceptable, es vital conocer los mecanismos reguladores que controlan economía del nitrógeno de la planta. Uno de los métodos es realizar el mejoramiento cultivándolas bajo condiciones agronómicas en regímenes bajos y altos de fertilización con nitrógeno. También ahora es posible desarrollar estudios fisiológicos

de la planta completa combinados con sus perfiles genéticos, de proteínas y metabolitos para aumentar comprensión del cuadro que representa los diversos pasos de la absorción del N, su asimilación, translocación a la espiga y su deposición final en el grano.

Los estudios iniciales de la EUN fueron facilitados identificando los componentes individuales que explicaban la eficiencia de absorción y de utilización. Así sintéticamente la eficiencia total de uso se divide entre la eficiencia de absorción y la de utilización.

$EUN = Ef. \text{ Absorción N} \times Ef. \text{ Utilización N}$; siendo que

$Ef. \text{ Absorción N} = N \text{ planta} / N \text{ aplicado}$, cuanto del N aplicado es absorbido y

$Ef. \text{ Utilización N} = N \text{ grano} / N \text{ planta}$, cuanto del N en planta es translocado al grano.

Es conveniente diferenciar algunos términos para ilustrar mejor estos conceptos. En el recuadro se detallan las definiciones corrientemente en uso.

Terminos útiles para comprender la partición de la eficiencia

1. PFP = Factor Productividad Parcial. Provee un índice integrador del resultado económico total relativo a la utilización de todos los recursos de nutrientes en el sistema
 $= Y / Fr$
 $= \text{kg grano} / \text{kg fertilizante aplicado}$
 $= (Y_0 + \Delta Y) / Fr$
 $= (Y_0 / Fr) + (\Delta Y / Fr)$

Donde:

Y = rinde obtenido con una dosis de fertilizante aplicado

Y₀ = rinde obtenido sin fertilizante

Fr = dosis de fertilizante

ΔY = aumento de rendimiento por la aplicación de fertilizante

2. EA = Eficiencia Agronómica Representa la relación de costo-beneficio de una unidad de nutriente adquirido
 $= \Delta Y / Fr$

= kg aumento de grano / kg fertilizante

PFP = Factor Productividad Parcial

$$= (Y_0 / Fr) + (\Delta Y / Fr)$$

$$= (Y_0 / Fr) + EA$$

3. ER = Eficiencia de Recuperación o de absorción. Un índice de la eficiencia de la absorción de fertilizante aplicado
 $= \Delta Nu / Fr$

Donde:

ΔNu = aumento en la acumulación de nutriente en la parte aérea que resulta de la aplicación de una dosis determinada de nutriente de fertilizante (Fr).

La Eficiencia de Absorción o recuperación (ER) es variable de sitio en sitio

- El momento de aplicación en relación la demanda del cultivo
- Variación en el suministro nativo de nutrientes

- Variación en el transporte de los nutrientes nativos y aplicados

4. EF = Eficiencia Fisiológica o de Utilización. Un índice de la eficiencia con la que una planta utiliza nutrientes adquiridos de los fertilizantes para producir mas grano
 $= \Delta Y / \Delta Nu$

Donde:

ΔNu = Aumento en la acumulación de nutriente en la parte aérea que resulta de la aplicación de una dosis determinada de nutriente de fertilizante (Fr). La Eficiencia Fisiológica o de utilización es en gran parte gobernada por el 'pool' genético

- El Camino fotosintético (C₄ tienen mayor eficiencia que las C₃, con tasas fotosintéticas mayores para las C₄ por unidad de N foliar)
- Variabilidad genética en la concentración de N en el grano (también afectado por el suministro de N)
- Condiciones de estrés durante el desarrollo de grano (agua, plagas, enfermedades)
- Demanda respiratoria durante el desarrollo del grano
- Diferencias en la tasa de desarrollo ontológico y carga de radiación

5. EI = Eficiencia Interna Nutriente. Provee un índice bruto de eficiencia con al que una planta utiliza nutriente adquirido para lograr rendimiento de grano

$$= \Delta Y / Nu$$

$$= \text{kg grano} / \text{kg nutriente absorbido}$$

6. EA = Eficiencia Agronómica

$$= (\Delta Y / Fr)$$

$$= (\Delta Y / \Delta Nu) \times (\Delta Nu / Fr)$$

$$= EF \times ER$$

$$PFP = (Y_0 / Fr) + (\Delta Y / \Delta Nu) \times (\Delta Nu / Fr)$$

$$= (Y_0 / Fr) + (EF) \times (ER)$$

El cociente (Y₀ / Fr) es un "artificio matemático" en el cálculo de PFP derivado de separar la contribución del rendimiento de grano sostenido por los niveles originales de nutrientes del suelo, de la respuesta del rendimiento en

respuesta a los nutrientes aplicados como fertilizantes. Sirve para identificar si las limitantes para aumentar la FPP son debidos a un bajo Yo (bajo suministro nativo) o una pobre EA (eficiencia agronómica)

- $PFP = (Yo / Fr) + AE$

La variación en Yo es impredecible en suelos y regímenes climáticos similares.

Cambios en Yo tienen un gran impacto en FPP. Ajustes del momento y dosis de aplicación de nutriente en respuesta al Yo es crítico para optimizar la eficiencia agronómica (EA).

Un gran avance en estos estudio fue lograda evaluando líneas de maíz con distintas eficiencias en asimilación de N, antes ó después de floración, y con distintas eficiencias de translocación entre partes, raíz al tallo, del tallo a la espiga y de la espiga al grano. En este análisis conducido por el equipo del Dr. Anderson en la Universidad de Carolina del Norte (Moll y otros, 1982) se encontró que las diferencias de EUN entre híbridos de maíz son en gran parte debidas a la variación en la utilización de N acumulado antes de la floración, especialmente ante un suministro limitado de N. Siempre considerando al maíz, varios investigadores observaron que la EUN es generalmente paralelo a la eficiencia de uso del agua (EUA) y que los híbridos con mayores índices de cosecha (grano / biomasa total) eran lo que tenían las EUN mas altas.

Recientes trabajos de Seebauer muestran que el status de N en la planta afecta los niveles de aminoácidos individuales en las espigas jóvenes, en particular de las asparagina. Durante los estadios iniciales de formación de la espiga, se da una Inter conversión enzimática entre este ultimo aminoácido y otros como la Glutamina, alanina, y acido aspártico lo que preconditiona el aporte de asimilados nitrogenados para el llenado del grano. Así, los perfiles de aminoácidos y actividades enzimáticas sugieren que la relación Asn: Gln en la espiga es parte de señal bioquímica metabólica para indicar el status de N de la planta disponible para el llenado de granos.

La selección genética se conduce con frecuencia con un alto nivel de fertilizante nitrogenado, buscando eliminar la disponibilidad de N como variable, no obstante ésta práctica puede enmascarar diferencias de eficiencias entre genotipos para acumular y para utilizar N para producir grano.

El interés general es aumentar o al menos mantener los actuales altos rendimientos de maíz; pero esto implica mantener una alta dependencia de insumos. Reducirla no es un objetivo directo, pero si indirecta al considerar el aumento de la eficiencia de uso del N aplicado y aumentar la tolerancia a los bajos niveles de N nativo. Si bien algunos estiman que ha habido un aumento en estos mecanismos con la evolución de los híbridos simples mas modernos, esto no siempre ha sido así, ni se verifica en todas las comparaciones.

Días aparición estigmas	Bajo N 0 kg/ha	Alto N 168 kg/ha
	AS:GLU	
2	0.08	0.17
8	0.20	0.32
14	1.80	2.36
18	2.10	3.07

Tabla. Relaciones de niveles de aminoácidos Asparagina y Glutamina en espigas en desarrollo

Asimismo, la información de híbridos ofrecidos por las compañías de semilla no incluye claramente el comportamiento de cada uno ante distintos niveles de provisión de nitrógeno. Evaluaciones simples en los ensayos de rendimiento de híbridos, simplemente incorporando un nivel más de N aplicado como una fuente adicional de variación, (Ej. Dosis uno y Dosis dos, por ejemplo, 50% menos que la dosis calculada para el sitio y 50 % más que esta) pueden ser de gran ayuda para seleccionar los más apropiados para cada ambiente. Comparar los rindes obtenidos con uno u otro tratamiento, ofrecerá información útil para el productor.

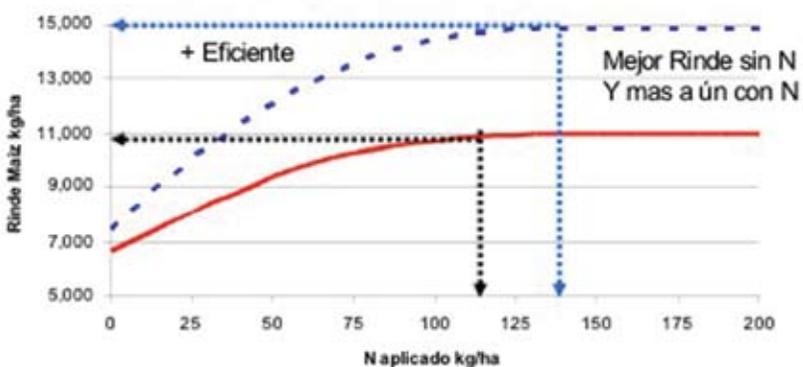
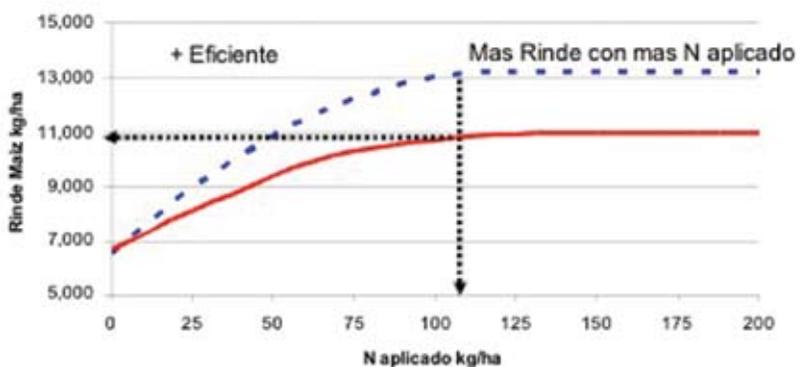
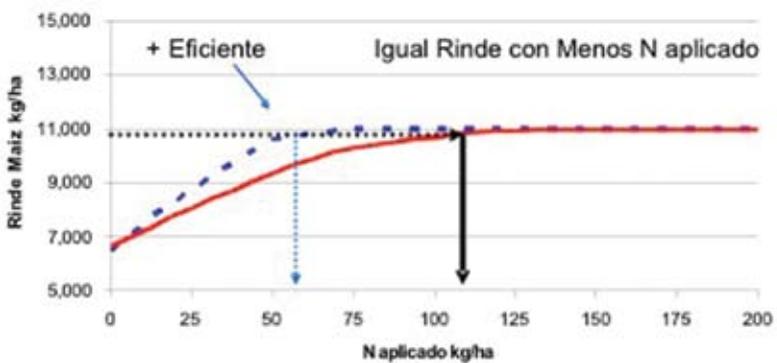


Figura 3. Distintas expresiones de eficiencia de uso del N en híbridos de maíz en relación a su respuesta al N nativo y al N aplicado. (Adaptado de F. Below, 2007).

Novedades & Eventos

Capacitación en fertilización en la Universidad Nacional de Rosario

FERTILIZAR Asociación Civil auspició la “Jornada de Fertilización y Estrategias de manejo en cultivos de Maíz, Trigo, Soja y Pasturas”, organizada por la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Rosario, que se llevó a cabo el jueves 12 de junio, en la sede de la institución educativa santafesina.

La presencia de FERTILIZAR en la actividad, que buscó contribuir a la mejora en la capacitación en diagnóstico y fertilización de cultivos extensivos a alumnos, graduados y docentes de Ciencias Agrarias, representa una de las acciones de extensión en las que participa y organiza continuamente la entidad.

La Ley del Suelo en el IV Congreso Nacional de la Ingeniería Agronómica

Fertilizar Asociación Civil presentó “La Ley del Suelo” para más de 100 profesionales que participaron del IV Congreso Nacional de la Ingeniería Agronómica al final de la jornada del día jueves 26 de junio pasado. La obra de teatro, dirigida por Fabián Harazatey, plantea, a través de una ficción análoga a la actualidad, las diferencias sociales existentes con respecto al tratamiento del suelo.

Producir preservando nuestros recursos

Con motivo de la celebración del Día Nacional de la conservación del suelo, el pasado 7 de julio, Fertilizar Asociación difundió datos aportados por el Instituto de Suelos del INTA Castelar, dirigido por el Ing. Roberto R. Casas, que reflejan el rol clave de una adecuada reposición de nutrientes para la conservación del suelo.

“Coincidimos con los aspectos expresados por el Instituto de Suelos en cuanto a la necesidad de reponer adecuadamente los nutrientes para conservar la calidad del sue-



lo. En este sentido, en FERTILIZAR trabajamos en la promoción de la nutrición de cultivos, el uso responsable de fertilizantes, y especialmente, de la conservación sustentable del suelo y el medio ambiente productivo. Lo hacemos a través de jornadas técnicas, presencia en eventos del sector, convenios con entidades científicas, reuniones de divulgación, publicación de información sobre nutrición, entre otras acciones y recientemente, de una manera distinta, mediante la obra teatral “La Ley del Suelo”, agregó el Ing. Francisco Llambías, presidente de FERTILIZAR Asociación Civil.

Fertilizar presente en el XVI Congreso Aapresid

La entidad estuvo presente en el Congreso a través de la presentación de la obra teatral “La Ley del Suelo” y de la coordinación, junto al IPNI Cono Sur y Aapresid, del Simposio de Nitrógeno. Este último, organizado junto con Aapresid y el IPNI Cono Sur, contó con la presencia de reconocidos referentes internacionales en nutrición vegetal: Newell Kitchen- Investigador del USDA-Universidad de Missouri (EE.UU.), Alan Blaylock - Agrónomo de grupo canadiense Agrium (EE.UU.), y Cliff Snyder- Director del Programa de Nitrógeno del IPNI, quienes disertaron sobre las prácticas de manejo de este nutriente a nivel mundial; así como también de Fernando García, Director del IPNI Cono Sur, quien dio la visión local del tema. El Simposio estuvo coordinado por el Ing. Agr. Agustín Bianchini de Aapresid.

Nueva Gerente Ejecutiva



Fertilizar tiene el agrado de anunciar el nombramiento de la Ing. Agr. María Fernanda González Sanjuan como Gerente Ejecutiva, quien anteriormente se desempeñó como Responsable de Marketing y Comunicaciones de la Asociación de Semilleros Argentinos. Asimismo, cuenta con experiencia en el ámbito académico docente y formó parte del Comité de Calidad Ambiental del IRAM.

“Con su incorporación, continuaremos desarrollando las acciones tendientes a fortalecer el posicionamiento de Fertilizar como entidad promotora de la nutrición de cultivos, del uso responsable de fertilizantes y de la conservación sustentable del suelo y el medio ambiente productivo”, comentó Francisco Llambías, Presidente de Fertilizar Asociación Civil.

FERTILIZAR ASOCIACIÓN CIVIL promueve la reposición de nutrientes, el uso responsable de fertilizantes y la conservación sustentable del suelo y el medio ambiente productivo



- **Realización de simposios**
- **Publicación de Ensayos**
- **Información técnica actualizada**

- **Datos estadísticos**
- **Intercambios técnicos con Universidades e Instituciones**



FERTILIZAR

ASOCIACION CIVIL

Rivadavia 1367 7° B Ciudad de Buenos Aires Tel: (011) 4382-2413

www.fertilizar.org.ar

info@fertilizar.org.ar