

Informaciones Agronómicas

del Cono Sur



Instituto de la Potasa y el Fósforo

Potash & Phosphate Institute

Potash & Phosphate Institute of Canada

En este número:

Fertilización del cultivo de soja

InfoAg 2005 - Agricultura de precisión

Deficiencias de fósforo en maíz

Cuatro cosechas al año - Centro oeste bonaerense

Predicción de los nitratos a cosecha de maíz

Niveles críticos de N en maíz - SE Córdoba

Fertilización para calidad en trigo

Soja: Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo

Fernando O. García
INPOFOS Cono Sur
fgarcia@inpofofos.org

Presentado en el Congreso "Mundo Soja 2005" organizado por SEMA. Buenos Aires, 23 de Junio de 2005.

El mercado liderazgo de la soja sobre los otros cultivos en Argentina y la región del Cono Sur, implica que gran parte del área cultivada anualmente se encuentra ya sea bajo monocultura de soja o en rotaciones en las cuales otros cultivos se encuentran en una proporción muy reducida. Desde el punto de vista de la fertilidad de los suelos, esta situación genera interrogantes importantes acerca del balance del carbono (C), y por lo tanto de la materia orgánica (MO), y de los nutrientes en los suelos. Por otra parte, el papel dominante de la soja en la agricultura hace imprescindible conocer y manejar la nutrición del cultivo para maximizar rendimientos y resultados económicos de la empresa. En la primera parte de este escrito se presenta una síntesis del estado actual del conocimiento sobre el manejo de las deficiencias nutricionales más comunes y la respuesta del cultivo. En una segunda parte se discute brevemente el impacto tanto del manejo previo de la fertilidad del suelo sobre el cultivo, como de la fertilización del cultivo en la fertilidad de los suelos.

1. Manejo de la nutrición y fertilización de soja

Si bien las técnicas de manejo han mejorado en los últimos años (variedades, fechas de siembra, control de

malezas, cosecha, etc.), el uso de fertilizantes en soja ha sido muy escaso, 23-42% según una reciente encuesta de Fertilizar Asociación Civil e ICASA. Resultados de investigaciones realizadas en la región pampeana de-



Ensayo de fertilización fosfatada en María Grande (Entre Ríos). Testigo a la izquierda y fertilización con P a la derecha.



Director: Dr. Fernando O. García
 INPOFOS Cono Sur
 Av. Santa Fe 910
 (B1641ABO) Acassuso – Argentina
 Tel/Fax (54) (011) 4798-9939
 E-mail: fgarcia@ppi-ppic.org
 Sitio Web: www.inpofos.org
www.ppi-ppic.org



Propietario: Potash and Phosphate
 Institute of Canada (PPIC)



ISSN 1666 - 7115
 No. de Registro de Propiedad Intelectual 222581

Se permite copiar, citar o reimprimir los artículos de este boletín siempre y cuando no se altere el contenido y se cite la fuente y el autor.

Contenido:

Soja: Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo	1
InfoAg 2005: Tecnologías novedosas en la Agricultura de Precisión	7
Generación del rendimiento en un cultivo de maíz sujeto a deficiencias de fósforo	9
Cuando la fantasía se hace realidad: Cuatro cosechas al año	11
Predicción de los nitratos a cosecha de maíz en suelos de la Región Pampeana	14
Fertilización nitrogenada de maíz en el sudeste de Córdoba. CREA Monte Buey - Inrville Campañas 2003-04 y 2004-05	18
Estrategias de fertilización nitrogenada para la obtención de trigos con calidad de exportación	21
Congresos, Cursos y Simposios	25
Publicaciones de Inpofos	26

Diseño e Impresión: www.agroeditorial.com.ar
amatthiess@amatthiess.com.ar

muestran la potencialidad de respuesta del cultivo ante situaciones de deficiencia de nutrientes tales como, por ejemplo, fósforo (P) y azufre (S) (ver sitio Internet de INPOFOS www.ppi-ppic.org/ppiweb/ltams.nsf, INTA, AACREA, AAPRESID, Proyecto Fertilizar, y otros) (Díaz Zorita, 2003).

1.1. Deficiencias nutricionales y respuestas a la fertilización

Los nutrientes generalmente deficientes para el cultivo bajo las condiciones de las distintas regiones sojeras argentinas son el nitrógeno (N), el P y el S. En los últimos años, se han observado deficiencias de algunos nutrientes secundarios y micronutrientes en algunas zonas, fundamentalmente a partir de la intensificación de la agricultura (mayores rendimientos y reducción de períodos bajo pastura).

Nitrógeno

Si bien la soja presenta requerimientos muy elevados de N, una gran parte de este requerimiento es cubierto, vía fijación biológica de N (FBN), a través de la simbiosis soja - *Bradyrhizobium*. En la región pampeana se han determinado aportes de N por FBN del orden del 30-70% de las necesidades totales de N del cultivo dependiendo del nivel de fertilidad nitrogenada del suelo y las características climáticas de la estación de crecimiento (González, 1996). Por lo tanto, la inoculación de la semilla es una práctica indispensable, y de bajo costo, para lograr una adecuada provisión de N para el cultivo. Díaz Zorita (2004) determinó respuestas promedio a la inoculación de 806 kg/ha en 21 lotes sin historia de soja y de 342 kg/ha en 28 lotes con historia previa de soja.

Evaluaciones realizadas en el centro-norte de Buenos Aires (Scheiner et al., 1999) y el sur de Santa Fe (Bodrero et al., 1984) indican que si el establecimiento de la simbiosis es exitoso, la soja no responde a la fertilización nitrogenada. Las experiencias con fertilizaciones durante el período reproductivo, destinadas a proveer N durante el llenado de grano cuando la actividad de los nódulos disminuye, han mostrado resultados variables según la oferta de N del suelo, el estado y crecimiento del cultivo y el rendimiento obtenido (Wesley et al., 1998; Scheiner et al., 1999; Ventimiglia et al., 1999).

Fósforo

La respuesta de los cultivos a la fertilización fosfatada depende del nivel de P disponible en el suelo, pero también es afectada por factores del suelo, del cultivo y de manejo del fertilizante. Los niveles críticos de P en suelo, aquellos por debajo de los cuales se observan respuestas significativas a la fertilización, son menores para soja que para otros cultivos tales como alfalfa, tri-

go y maíz. Esta diferencia ha sido atribuida, entre otras causas, a cambios generados en el ambiente rizosférico del cultivo y al alto costo energético de los granos de soja (aceite + proteína). La Fig. 1 muestra la eficiencia de uso del P aplicado, kg de soja por kg de P aplicado, en función del nivel de P Bray del suelo para 101 ensayos realizados en la región pampeana argentina entre 1996 y 2004. Para costos de P de 1.65 U\$/kg y precios de soja de 0.16 U\$/kg, serían rentables eficiencias de uso superiores a 10.3 kg soja/kg P. De acuerdo a la relación observada en la Fig. 1, los suelos con niveles de P Bray menores de 13-14 mg/kg presentarían respuestas rentables a la fertilización fosfatada. Las recomendaciones de fertilización se basan en el nivel de P Bray y el rendimiento esperado (Echeverría y García, 1998).

Azufre

En los últimos años se han observado respuestas a la fertilización azufrada en soja y en otros cultivos (maíz, trigo, canola, alfalfa, pasturas) en la región pampeana, principalmente en el centro y sur de Santa Fe, sudeste de Córdoba, centro, oeste y norte de Buenos Aires y este de La Pampa; y en cultivos de soja en el noroeste (Tucumán-Catamarca). Las respuestas se observan principalmente en suelos degradados, con muchos años de agricultura continua (especialmente soja), y con historia de cultivos de alta producción con fertilización nitrogenada y fosfatada, y en suelos arenosos de bajo contenido de MO (Martínez y Cordone, 1998; Martínez y Cordone, 2000; Díaz Zorita et al., 2002). Estas respuestas han sido observadas tanto en cultivos de siembra de primera con aplicaciones directas, como en cultivos de segunda con aplicaciones de S en el cultivo antecesor, generalmente trigo. La Tabla 1 resume las respuestas a S observadas en cultivos de soja de primera en distintas redes de ensayos realizadas en los últimos años. Sobre un total de 142 ensayos, 57 ensayos mostraron respuestas significativas a S (40%). Las respuestas a S varían entre 300 y 800 kg/ha según el sitio.

Si bien hay claros indicios de cuales son los ambientes de respuesta a la fertilización azufrada, aun no se dispone de una metodología confiable para predecir los

sitios con respuesta probable a S (Gentiletti y Gutiérrez Boem, 2004). Un factor de importancia, aparte de los ya conocidos errores en el análisis de suelos y las bajas cantidades de S necesarias para cubrir la demanda del cultivo, es la presencia de sulfatos en el agua de napas superficiales. Algunas redes de ensayos han permitido determinar umbrales críticos de S-sulfatos a 0-20 cm de profundidad en pre-siembra, con valores generalmente cercanos a 10 mg/kg S-sulfatos, por debajo de los cuales la respuesta es altamente probable. Otra alternativa, actualmente en evaluación, es la caracterización de sitios deficientes determinando la concentración de S en grano del cultivo anterior.

Las dosis de S recomendadas varían, según el nivel de rendimiento esperado y la historia agrícola del lote, entre 10 y 15 kg/ha de S en soja de primera y entre 15

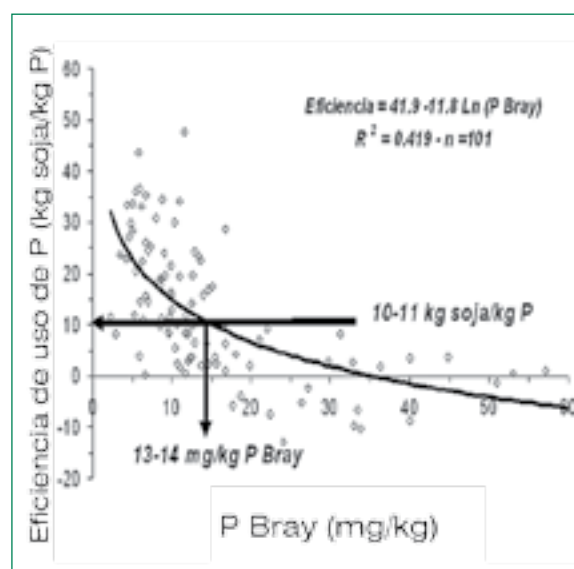


Figura 1. Eficiencia de uso de fósforo (P) en soja en función del contenido de P Bray en el suelo para 101 ensayos en la Región Pampeana Argentina (1996-2004). Elaborado a partir de información de INTA, Proyecto INTA Fertilizar, FA-UBA, FCA-UNER y CREA Sur de Santa Fe. La línea horizontal indica una eficiencia de uso de 10-11 kg de soja por kg de P aplicado y la vertical el nivel crítico estimado de 13-14 mg/kg de P Bray en suelo.

Tabla 1. Sitios con respuesta a azufre (S) en distintas redes de ensayos realizadas en los últimos años.

Zona y Campaña	Sitios con respuesta/ Total sitios	Referencia
Centro-Sur de Santa Fe, 2000/01	8/11	Martínez y Cordone (2003)
Región Pampeana, 2000/01 y 2001/02	10/47	Díaz Zorita et al., 2002
Sur de Santa Fe y Sudeste de Córdoba 2001/02	1/6	CREA Sur de Santa Fe
Córdoba, 2001/02	2/4	Rubione et al., 2002
Sur de Santa Fe y Norte de Buenos Aires, 2002/03	4/6	Ferraris et al., 2004
Centro-Sur Santa Fe, 2003/04	13/19	Gentiletti y G. Boem, 2004
Sur de Santa Fe y Sudeste de Córdoba, 2003/04	17/44	CREA Sur de Santa Fe
Sur de Santa Fe y Sudeste de Córdoba, 2003/04	2/5	CREA Sur de Santa Fe

y 20 kg/ha de S en aplicaciones en trigo para el doble cultivo trigo/soja. Para costos de S de U\$1 por kg, respuestas superiores a 95 kg/ha de soja serían rentables para dosis de 15 kg/ha de S y considerando un precio de soja de U\$160 por tonelada.

Otros nutrientes

Las experiencias realizadas en los últimos años no han mostrado respuestas consistentes y/o generalizadas a la aplicación de otros nutrientes más allá de P y S. Los nutrientes “no convencionales” (otros nutrientes que no sean N, P y S) que han demostrado mayores posibilidades de respuesta en soja son boro (B), calcio (Ca), magnesio (Mg), molibdeno (Mo) y cobre (Cu).

La intensificación de la agricultura ha resultado en la disminución de los niveles de bases (calcio, magnesio) y pH en algunos suelos, especialmente en el Norte de la región pampeana, con respuestas significativas a la aplicación de enmiendas calcáreas y/o dolomíticas en alfalfa y soja. Se han determinado bajos niveles de B, cinc (Zn) y Cu en suelos y plantas de girasol, maíz y trigo. De estos tres elementos, B y Cu serían los primeros a considerar para el cultivo de soja. Otros trabajos han demostrado la importancia de una adecuada nutrición con Mo y cobalto (Co) y respuestas en rendimiento cuando estos nutrientes se aplicaron con la semilla y el inoculante.

1.2. Aplicación de fertilizantes

En cuanto a la forma de aplicación de fertilizantes, sería recomendable evitar la aplicación junto con la semilla, dada la susceptibilidad de la soja y, en particular, de las bacterias de los inoculantes aplicados sobre la semilla a los efectos fitotóxicos generados por la disolución de los fertilizantes (salinidad, pH, amoníaco). Estos efectos sobre la semilla y las bacterias dependen del fertilizante utilizado, y el tipo y la humedad del suelo. Los fertilizantes deberían colocarse a unos 3-5 cm de la línea de siembra. Experiencias realizadas en los últimos años en Iowa (EE.UU.) y en Argentina, indican que la aplicación de fertilizantes fosfatados al voleo bajo siembra directa con una anticipación de al menos 60-90 días a la siembra de la soja, puede resultar en respuestas similares a las obtenidas con aplicaciones en línea a la siembra. Las aplicaciones de fertilizantes azufrados al voleo son eficientes dada la movilidad del anión sulfato en el suelo.

La amplia disponibilidad de fertilizantes con P y S bajo formas simples o mezclas físicas y químicas en el mercado argentino facilita la toma de decisión acerca de la elección de la fuente, forma y momento de aplicación, siendo el costo por unidad de nutriente aplicada un factor de importancia en este aspecto.

Un párrafo especial merece la amplia difusión de distintas fuentes de yeso (sulfato de calcio) en los últimos años. Debe considerarse que el sulfato de calcio presenta

un comportamiento similar a las otras fuentes de S en forma de sulfato si la presentación del producto es en tamaños de partícula pequeños ya que su solubilidad es menor que la de otras fuentes de sulfatos. Por otra parte, se debe ser muy cuidadoso al decidir la compra de un yeso, ya que en muchos casos estos productos presentan impurezas no deseables. Un aspecto importante es asegurarse que el producto este registrado en SENASA. El IRAM con otras instituciones, esta trabajando en la normatización de yesos para uso agrícola.

2. El manejo nutricional de la soja y la fertilidad de los suelos

La expansión de la soja y la reducida aplicación de fertilizantes en el cultivo han generado balances negativos para los nutrientes del suelo, con la consiguiente degradación de la fertilidad de los suelos. Un ejemplo evidente lo constituye la zona centro-sur de Santa Fe donde el fuerte desarrollo del cultivo de soja, sumado a los efectos de la erosión, redujo drásticamente los contenidos de MO y P disponible en los suelos (Cordone y Martínez, 2004). La degradación resultante a partir de la disminución de la MO y la descapitalización de nutrientes en los suelos afecta la productividad de la soja y de otros cultivos, en el corto plazo en zonas con historia agrícola más prolongada y, a mediano plazo, en áreas de menor “agriculturización” y “sojización”.

Debe tenerse en cuenta que el aporte vía FBN en soja no siempre resulta en un balance positivo de N para el suelo. Para producir un rendimiento de 4000 kg/ha, la soja debe absorber 320 kg/ha de N de los cuales exporta aproximadamente 240 kg/ha de N. Si consideramos un aporte de 50% del N total acumulado vía fijación simbiótica, es decir 160 kg/ha de N, la extracción neta de N del suelo (suministrado por el N disponible a la siembra y/o mineralizado a partir de la fracción orgánica) sería de 80 kg/ha de N. La disminución del N del suelo implica la caída de los niveles de MO del suelo considerando que la MO es la principal reserva de este nutriente en el suelo (95-99% del N total). La reposición de N al suelo debería realizarse en otro cultivo ya que en soja pretendemos maximizar la FBN (Cordone y Martínez, 2004). La reposición de otros nutrientes puede realizarse vía fertilización, pero los niveles de aplicación actuales se encuentran bien por debajo de los de extracción.

El manejo de la fertilización del doble cultivo trigo/soja constituye un excelente ejemplo en cuanto a los efectos del manejo previo de la fertilidad del suelo sobre el cultivo de soja. Numerosas evaluaciones realizadas en los últimos años han demostrado que la fertilización con P y S para trigo/soja puede hacerse para los dos cultivos al momento de aplicación para el trigo (Salvagiotti et al., 2005). Para P y, preliminarmente, para S, este efecto residual se prolonga en años posteriores a la fertilización como ha sido ampliamente demostrado en diversas zonas del país (Berardo, 2003).

La soja responde muy bien a los efectos residuales de fertilizaciones en cultivos anteriores. La Fig. 2 muestra los rendimientos promedios de soja de primera de la Red de Nutrición de los CREA Sur de Santa Fe en el 2001/02 y 2004/05. Los cinco sitios incluidos en esta Red recibieron los mismos tratamientos de fertilización en las mismas parcelas desde el año 2000. Las diferencias entre tratamientos en 2001/02 fueron de 218 kg/ha y 633 kg/ha para 2001/02 y 2004/05, respectivamente. Las mayores diferencias entre tratamientos en 2004/05 que en 2001/02, más allá de las diferencias en condiciones climáticas entre campañas, indicarían que la soja estaría respondiendo a la “acumulación” de fertilidad como ya ha sido observado para trigo y maíz en esta misma red de ensayos. Debe aclararse que los tratamientos donde se indica aplicación de N, la misma se realiza solamente cuando se siembran trigo o maíz, la soja de primera nunca recibe fertilización nitrogenada.

También en la Red de Nutrición de CREA Sur de Santa Fe se determinaron efectos de residualidad de la fertilización, o efectos de “acumulación” de fertilidad, en un ensayo de trigo/soja de la campaña 2004/05 (Fig. 3). Este sitio recibió los seis tratamientos de fertilización durante cuatro años (2000-2003) en una rotación maíz-trigo/soja. En la campaña 2004/05, todos los tratamientos recibieron la misma fertilización (86, 27 y 10 kg/ha de N, P y S, respectivamente). Las diferencias observadas en rendimientos de trigo y soja de segunda entre los tratamientos se deben exclusivamente al efecto de “acumulación” de fertilidad a lo largo de cuatro años, y a pesar de haber recibido fertilización NPS en la campaña 2004/05. Las diferencias entre el tratamiento que recibió NPS durante 4 años y el Testigo son de 2204 kg/ha para trigo y de 559 kg/ha para soja de segunda. Estos efectos probablemente se deban no solamente al efecto residual de N, P y S, sino también a los efectos que estos nutrientes pudieron haber generado en los

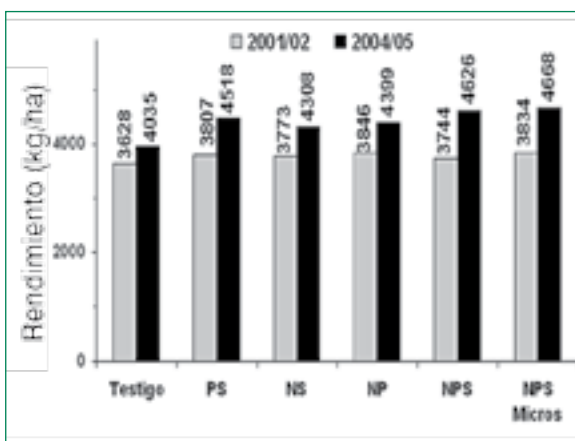


Figura 2. Rendimientos de soja de primera, promedios de cinco sitios, para seis tratamientos de fertilización en las campañas 2001/02 y 2004/05. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Los tratamientos de fertilización se repitieron durante cinco años en las mismas parcelas.

cultivos anteriores y sobre el suelo: mayor producción de rastrojo, mayor desarrollo de raíces, más sustrato para la población microbiana del suelo, etc.

En síntesis, la fertilización puede ser una herramienta estratégica para aumentar rendimientos de soja y mejorar la rentabilidad del cultivo. El manejo de la nutrición y fertilización del cultivo puede ser enfocado conceptualmente en el manejo de la nutrición del suelo o de la rotación.

Referencias

Berardo A. 2003. Manejo del fósforo en los sistemas de producción pampeanos. In Simposio “El fósforo en la agricultura argentina”. INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires. Pp. 38-44.

Bodrero M., R. Martignone y L. Macor. 1984. Efecto de la fertilización nitrogenada en soja. Ciencia del Suelo 2:212-214.

Cordone G. y F. Martínez. 2004. El monocultivo de soja y el déficit de nitrógeno. Informaciones Agronómicas del Cono Sur 24:1-4. INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.

Díaz Zorita M. 2003. Soja: criterios para el manejo de la fertilización del cultivo. En E. Satorre (ed.). El Libro de la Soja. SEMA. Buenos Aires, Argentina.

Díaz Zorita M. 2004. Nutrición balanceada y manejo de la inoculación. Cuadernillo Soja. Revista Agromercado. pp. 14-17.

Díaz Zorita M., F. García y R. Melgar (coord.). 2002. Fertilización en soja y trigo-soja: Respuesta a la fertilización en la región pampeana. Boletín Proyecto Fertilizar. EEA INTA Pergamino. 44 pag.

Echeverría H. y F. Garcia. 1998. Guía para la fertilización fosfatada de trigo, maíz, girasol y soja. Boletín Técnico No. 149. EEA INTA Balcarce.

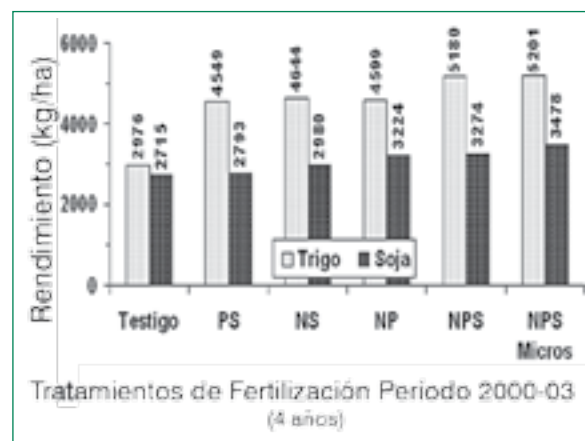


Figura 3. Rendimientos de trigo y soja de segunda en 2004/05 sobre parcelas que recibieron distintos tratamientos de fertilización NPS en los cuatro años previos. El doble cultivo trigo/soja recibió una fertilización de 86, 27 y 10 kg/ha de N, P y S, respectivamente, en todas las parcelas. Ensayo El Fortín, Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe.

Ferraris G., F. Salvagiotti, P. Prystupa y F. Gutiérrez Boem. 2004. Disponibilidad de azufre y respuesta de la soja de primera a la fertilización. Actas CD XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Entre Ríos. AACCS.

Gentiletti A. y F. Gutiérrez Boem. 2004. Fertilización azufrada de soja en el centro-sur de Santa Fe. Informaciones Agronómicas del Cono Sur 24:12-14. INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.

González N. 1996. Fijación de nitrógeno. En Curso de Actualización "Dinámica de nutrientes en suelos agrícolas". EEA INTA Balcarce.

Martínez F. y G. Cordone. 1998. Fertilización azufrada en soja. Jornadas de Azufre. UEEA INTA Casilda, Septiembre 1998. Casilda, Santa Fe, Argentina.

Martínez F. y G. Cordone. 2000. Avances en el manejo de azufre: Novedades en respuesta y diagnóstico en trigo, soja y maíz. In Jornada de Actualización Técnica para Profesionales "Fertilidad 2000". INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.

Martínez F. y G. Cordone. 2003. Fertilización en soja de primera y en trigo-soja de segunda en la región pampeana norte. En E. Satorre (ed.). El Libro de la Soja. SEMA. Buenos Aires, Argentina.

Rubione C., P. Hernández y E. Tronfi. 2002. Fertilización de soja en la provincia de Córdoba. Resultados de ensayos, Campaña 2001/02. Informaciones Agronómicas del Cono Sur 15:1-6. INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.

Salvagiotti F., G. Gerster, S. Bacigalupo, J. Castellarín, C. Galarza, N. González, V. Guidel, O. Novello, H. Pedrol, y P. Vallote. 2005. Efectos residuales y directos de fósforo y azufre en el rendimiento de soja de segunda. Ciencia del Suelo 22(2):92-101.

Scheiner J., F. Gutiérrez Boem y R. Lavado. 1999. Experiencias de fertilización de soja en el centro-norte de Buenos Aires. En Jornada de Actualización Técnica para Profesionales "Fertilización de Soja". INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires. 39 pág.

Ventimiglia L., H. Carta y S. Rillo. 1999. Fertilización foliar nitrogenada complementaria. Agromercado, Cuadernillo No. 40. Buenos Aires, Argentina.

Wesley T; R. Lamond, V. Martin y S. Duncan. 1998. Effects of late season nitrogen fertilizer on irrigated soybean yield and composition. J. Prod. Agric. 11:331-336. ■



Facultad Ciencias Agrarias y Forestales
Universidad Nacional de La Plata



Asociación Argentina
de la Ciencia del Suelo

PRIMERA JORNADA NACIONAL DE MICRONUTRIENTES

DIAGNÓSTICO Y TECNOLOGÍA DE FERTILIZACIÓN

La Plata, 23 de septiembre de 2005

Disertantes:

Extranjeros:

Dr. Alfredo Scheid López (Brasil)
Dr. Antonio Luoz Fancelli (Brasil)

Nacionales:

MSc Silvia Ratto (FAUBA)
M Sc César Quintero (UNER)
M Sc Hugo Fontaneto (INTA Rafaela)
PhD Ricardo Melgar (INTA Pergamino)
Ing. Agr. León García (Phosyn Hidroplus S.A.)
Ing. Agr. Adriana Ortega (INTA Salta)
Ing. Agr. Eduardo Buffa (UNCor)
M Sc María R. Landriscini y María A. Lazzari (UNS)
Ing. Agr. Mercedes Ron (UNS)

Auspicia: Fertilizar Asociación Civil

FERTILIZAR

Lugar de realización: Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales

Universidad Nacional de La Plata
Av 60 y 119. La Plata.
Edificio Central – 1er Piso – Salón de Actos

Inscripciones a: mvazquez@agro.unlp.edu.ar

TE 0221 – 423-6758 Int 428

InfoAg 2005: Tecnologías novedosas en la Agricultura de Precisión

Inés Davéréde

*Dept. of Crop Sciences, Univ. of Illinois
1102 S. Goodwin Ave. Urbana, IL 61801
daverede@uiuc.edu*

Entre el 19 y el 21 de julio se llevó a cabo el InfoAg 2005, congreso internacional sobre sistemas de información para el manejo sitio-específico del cultivo y del suelo, en Springfield, Illinois (EEUU). El InfoAg 2005 estuvo organizado por PPI-PPIC, FAR y CropLife y contó con 520 inscriptos y 110 presentaciones.

Productores, consultores, representantes de empresas de servicios e insumos, investigadores y extensionistas formaban parte de los disertantes y asistentes. El público se mostró muy interesado en actualizarse de las nuevas tecnologías y sus aplicaciones. Según una encuesta realizada por la Universidad de Purdue en el cinturón maicero, el 70% de las empresas de servicios agrícolas ya ofrece alguna aplicación de la agricultura de precisión. El 60% de las empresas que ofrecen algún servicio de agricultura de precisión lo hacen usando servicios de muestreo georeferenciado, mientras que el 50% de estas empresas mapea el suelo usando sistemas de información geográfica (SIG).

Entre los temas más interesantes y novedosos, se encontraban los sistemas de dirección automática de la maquinaria, la aplicación variada de semillas y nutrientes, el sensoramiento remoto aéreo y terrestre de suelos y cultivos, los sensores de conductividad eléctrica de suelos y los sensores en red.

Los sistemas de dirección automática y banderillero satelital se han diseñado para mejorar la precisión de labores tales como la siembra, la aplicación de herbicidas y fertilizantes en cultivos ya implantados, y en cualquier labor que requiera mayores cuidados. El sistema de banderillero satelital ya se usa en Argentina y cuenta con una barra de luz al lado de la consola del tractor o cosechadora que se desvía del centro cuando el conductor se sale de la línea, y permite una corrección instantánea de la dirección. El sistema de dirección automática es un paso más avanzado y sólo requiere que el conductor doble en las cabeceras del lote, permitiendo tener un control totalmente automatizado de la maquina en cualquier dirección, aún en curvas de nivel. Este sistema necesita

de un sistema de geoposicionamiento más exacto que para el banderillero satelital, ya que no sólo requiere precisión durante las labores, sino que requiere que las pasadas sean repetibles cada vez que se vuelva al lote. Esta precisión es lograda con un equipo de GPS llamado RTK que tiene un error menor a 3 cm gracias a una base local con antena que corrige las señales de los satélites y las retransmite a la maquinaria agrícola. El sistema de dirección automática es atractivo para los productores norteamericanos, ya que ven un incremento palpable en el retorno económico por las reducciones en errores en la siembra, durante la aplicación de insumos y durante la cosecha, además de facilitarles a ellos mismos las labores, por requerir menos atención y proporcionarles mayor confort. Según John Reifsteck, un productor de punta de Illinois, esta tecnología será la que más se adoptará en el corto plazo, ya que resulta especialmente atractiva para los productores que manejan su propia maquinaria. Con la dirección automática no sólo se puede prescindir de los marcadores y trabajar de noche o con niebla, sino que permite también incrementar la velocidad de la maquinaria hasta un 20%.

Las aplicaciones de insumos en forma variable desde avionetas también fueron temas de las presentaciones. Variaciones en las dosis de insumos a velocidades de 220 km/h resultan en aplicaciones sitio-específicas poco precisas. Cuellos de botella como la velocidad de las válvulas, la velocidad del controlador de flujo, la velocidad irregular de la avioneta y el tiempo para la actualización del GPS hacen que las grillas deban tener un mínimo de 75 m de largo por el ancho del aplicador.

En las charlas que trataban la aplicación variada de nitrógeno, se introdujo el Test de Nitrógeno en Suelo de Illinois (ISNT). El ISNT es usado como herramienta de diagnóstico de la fertilización nitrogenada en maíz, y se presentaron resultados promisorios en su uso para la aplicación variada de nitrógeno. Otros temas que despertaron interés fueron las aplicaciones de sensores activos de biomasa, tales como el CropCircle de Ho-

lland Scientific y el GreenSeeker de N-tech, que están siendo desarrollados para que la misma maquinaria realice un sensoramiento directo del cultivo seguido por la aplicación variada de nitrógeno.

Los relevamientos de suelos con sensores de conductividad eléctrica (CE) sirven para separar zonas con distinta textura, contenido de sales, y/o profundidad del perfil. Maurice Wolcott, consultor e investigador de la Universidad del Estado de Louisiana, dio varios ejemplos de cómo esta tecnología logra hacer un uso mucho más eficiente de los insumos mediante la aplicación variada de herbicidas e insecticidas según la textura de cada área dentro de un lote. También explicó la utilidad de los mapas de CE para determinar puntos de muestreo de suelo y así lograr mapas de concentraciones de nutrientes más representativos de la verdadera variabilidad del lote.

Una de las curiosidades del congreso fue la presentación de los sensores en red ("Sensor Web"), desarrollados por técnicos de la NASA. Estos sensores son cápsulas (del tamaño de un pomelo) que pueden ubicarse en distintas posiciones en un lote de producción intensiva o extensiva que, dependiendo del sensor que se le instale a cada cápsula, pueden medir temperatura, humedad, radiación, etc. Estos sensores están comunicados entre ellos, con satélites, y con internet. Por lo tanto, se tiene un registro continuo del sensor en cada posición del campo; cualquier cambio de un parámetro en una zona será captado por el sensor más próximo y este cambio se registrará automáticamente en una planilla accesible por internet. Desde la planilla de internet se puede programar a los sensores para que realicen distintas funciones, tales como la activación de un aspersor para riego o de una alarma. Los sensores en red están recién comenzando a utilizarse en el manejo sitio-específico de producciones intensivas, como en el caso de los viñedos.

Larkin Martin, dueña y arrendataria de grandes extensiones de algodón en Alabama, EEUU, explicó cómo utiliza distintas tecnologías de la agricultura de precisión para organizar su información, mejorar la eficiencia del monitoreo y aplicar los insumos en forma variable. Larkin Martin contrata a la empresa InTime para optimizar el monitoreo de los lotes de algodón. InTime toma imágenes aéreas digitales del cultivo, las procesa en 24 horas, y determina zonas homogéneas. Las zonas delimitadas son monitoreadas inmediatamente a campo por el personal del establecimiento para diagnosticar plagas, deficiencias nutritivas, malezas, y también para decidir los momentos de defoliación del algodón.

Cada observación es marcada en la posición exacta sobre la foto aérea actualizada contenida en una PDA ("palm-top") con GPS. Luego se elaboran los mapas de prescripción y las prácticas recomendadas son llevadas a cabo en forma sitio-específica por el personal del establecimiento, que cuenta con equipos de aplicación con GPS. Larkin Martin es dueña de las fotos aéreas, puede acceder por internet a todos los mapas de evaluación y prescripción y organiza toda la información en bases de datos. Larkin recomendó a los participantes elegir muy bien el software para que sea compatible con los equipos de aplicación, por su facilidad de uso, y por la compatibilidad con otros softwares de SIG.

La agricultura de precisión cuenta con varias tecnologías que ya están siendo adoptadas exitosamente por los productores. Así ocurre con el banderillero satelital o la aplicación variada de nutrientes, mientras que otras todavía se encuentran en la etapa de desarrollo, como, por ejemplo, los sensores activos de biomasa y los sensores en red. La agricultura de precisión está en pleno crecimiento y ofrece infinidad de oportunidades para investigadores, empresas de desarrollo de tecnología y servicios, y para los productores, ya que, como dijo el experto internacional Marc Vanacht, "la agricultura de precisión ofrece mejorar las prácticas agronómicas, maximizar la sustentabilidad ambiental, reducir los costos de producción, y agregar valor al producto final".

Más información de InfoAg 2005 en el sitio web de PPI-FAR www.ppic-far.org. ■



Generación del rendimiento en un cultivo de maíz sujeto a deficiencias de fósforo

Pablo Prystupa, Flavio H. Gutierrez Boem y Guillermo Cernik

Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes. Facultad de Agronomía. U.B.A. Av. San Martín 4453. Buenos Aires.
prystupa@agro.uba.ar

Presentado en el "XXV Reunión Argentina de Fisiología Vegetal" realizado entre el 22 y el 24 de Septiembre de 2004. Santa Rosa, La Pampa.

El número de granos en cultivos de maíz y por lo tanto su rendimiento, se encuentra relacionado con las condiciones fisiológicas durante un período de 30-40 días alrededor de floración. Las variaciones en el número de granos de cultivos sometidos a diversos niveles de disponibilidad nitrogenada o hídrica se pueden explicar mediante las variaciones en la tasa de crecimiento durante este período (Andrade et al., 2002).

El crecimiento de los cultivos depende de la cantidad de radiación solar interceptada y de la eficiencia con que dicha radiación es utilizada para producir biomasa. La fertilización nitrogenada suele incrementar tanto la intercepción de la radiación por el canopy como la eficiencia de uso de la misma (Uhart y Andrade, 1995). Plenet et al. (2000) observaron en cultivos de maíz, que la fertilización fosforada determinó incrementos en la intercepción de la radiación solar y no en la eficiencia de conversión de dicha radiación. Nuestra hipótesis es que la aplicación de

azufre (S) actuará en forma similar al nitrógeno (N) mientras que la de fósforo (P) lo hará de manera distinta. El objetivo de este trabajo fue estudiar los efectos de la fertilización fosforada, azufrada y su interacción sobre el crecimiento durante el período crítico discriminando entre radiación interceptada y eficiencia del uso de la radiación (EUR) y su relación con el número de granos y el rendimiento.

Se realizó un ensayo sobre un Hapludol típico en el Partido de Leandro N. Alem, noroeste de la Pcia. de Bs. As. El suelo tenía 11,4 ppm de P disponible (Bray I) y 10,2 ppm de S-sulfatos de 0 a 20 cm de profundidad. Las parcelas tuvieron 100 m² de superficie. Los tratamientos consistieron en la combinación factorial de dos niveles de fertilización fosforada (0 y 30 kg P ha⁻¹) y dos niveles de fertilización azufrada (0 y 30 kg S ha⁻¹). Se empleó un diseño en bloques completos aleatorizados con cuatro repeticiones. Este experimento forma parte de una red que se repetirá durante dos años.

Durante el período crítico se determinó, en tres

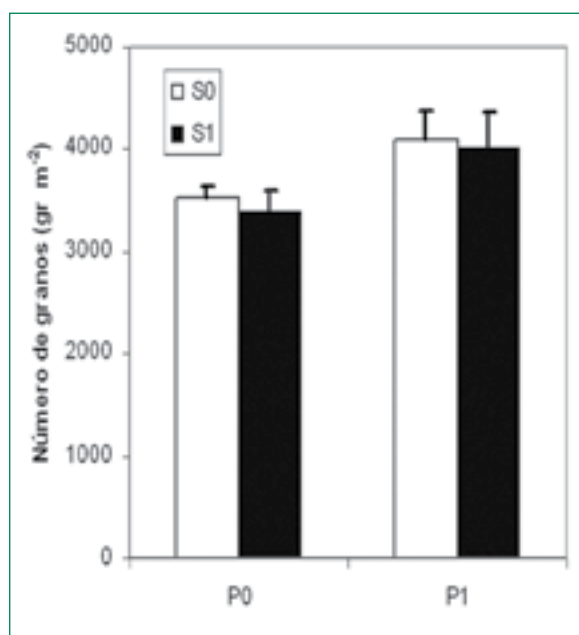


Figura 1. Número de granos en cultivos de maíz sujetos a la combinación de dos niveles de disponibilidad de fósforo (P0 y P1) y dos de azufre (S0 y S1).

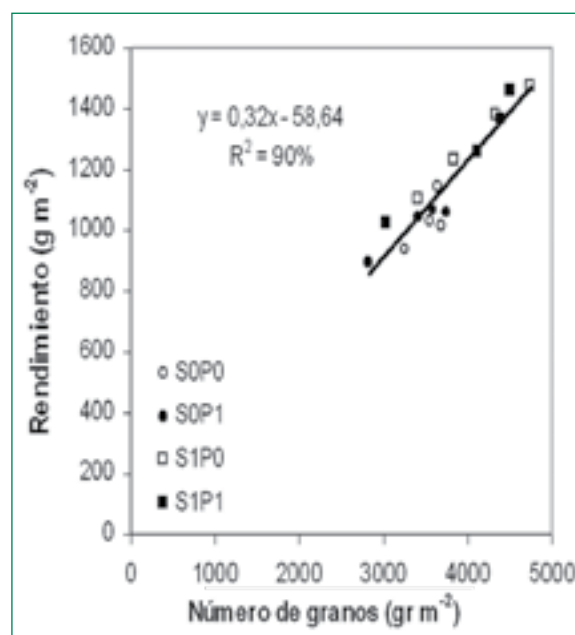


Figura 2. Rendimiento en función del número de granos en cultivos de maíz sujetos a la combinación de dos niveles de disponibilidad de fósforo (P0 y P1) y dos de azufre (S0 y S1).

fechas (20 días antes, durante y 20 días después de emergencia de estigmas), la biomasa aérea y la interceptación de radiación por el canopeo. La EUR fue calculada como la pendiente de la regresión lineal entre la biomasa y la radiación interceptada acumulada.

La fertilización fosforada incrementó significativamente el número de granos por unidad de superficie ($P < 0,01$) (Fig. 1). El número de granos se asoció con el rendimiento ($r^2 = 0,90$, $P < 0,01$) (Fig. 2) Ni el S ni la interacción de los dos nutrientes tuvieron efectos significativos sobre las variables estudiadas.

La fertilización fosforada aumentó la tasa de crecimiento durante el período crítico ($P < 0,01$) (Fig. 3). Este incremento se produjo como efecto de una mayor radiación interceptada acumulada durante el período en las parcelas fertilizadas con P ($P < 0,01$) (Fig. 4). Los tratamientos no afectaron la EUR, en coincidencia con lo observado por Plenet et al. (2000). La ausencia de efecto del P sobre la EUR sugiere que las deficiencias de P y N afectan los rendimientos a través de diferentes mecanismos.

Agradecimiento

A INPOFOS Cono Sur por la financiación parcial de este trabajo.

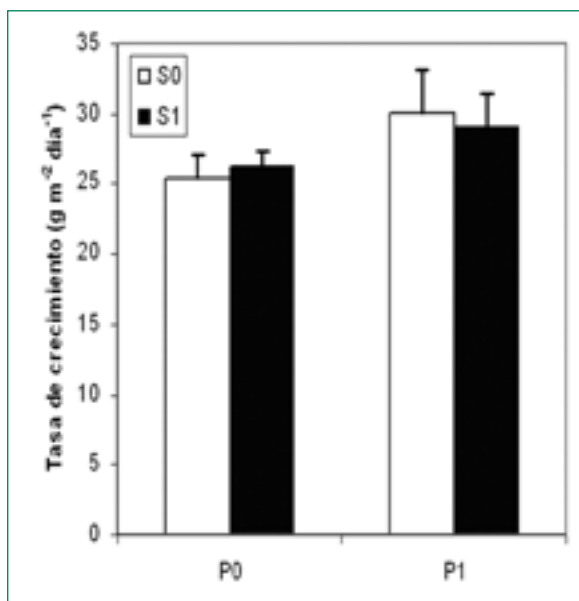


Figura 3. Tasa de crecimiento entre 20 días antes y 20 días después de antesis en cultivos de maíz sujetos a la combinación de dos niveles de disponibilidad de fósforo (P0 y P1) y dos de azufre (S0 y S1).

Referencias

Andrade F.H., L. Echarte, R.Rizzalli, A. Della Maggiora y M. Casanovas. 2002. Kernel number prediction in maize under nitrogen or water stress. *Crop Sci.* 42: 1173-1179.

Plenet D., A. Mollier y S. Pellerin. 2000. Growth analysis of maize crops under phosphorus deficiency. II. Radiation-use efficiency, biomass accumulation and yield components. *Plant Soil* 224: 259-272.

Uhart S.A. y F.H. Andrade. 1995. Nitrogen deficiency in maize. I. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning, and kernel set. *Crop Sci.* 1376-1383.

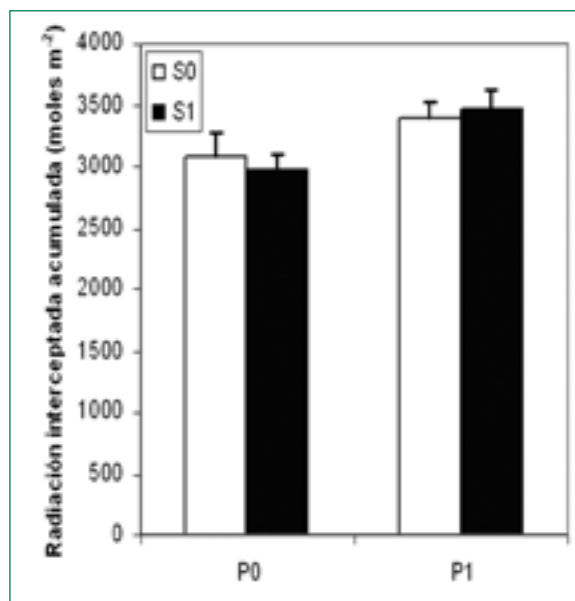


Figura 4. Radiación interceptada acumulada entre 20 días antes y 20 días después de antesis en cultivos de maíz sujetos a la combinación de dos niveles de disponibilidad de fósforo (P0 y P1) y dos de azufre (S0 y S1).

Cuando la fantasía se hace realidad: Cuatro cosechas al año

Héctor G. Carta y Luis A. Ventimiglia

UEEA INTA 9 de Julio, Av. Mitre 857 (6500), 9 de Julio, Buenos Aires.
a9julio@pergamino.inta.gov.ar

Las fantasías son facultades espirituales del hombre con las cuales puede representar cosas ideales o también idealizar las reales. Constituyen una ficción, siendo en realidad una ficción creadora. Pero en determinadas circunstancias, parecería que las fantasías se tornan reales. Este comentario surge porque en muchas zonas de la región pampeana, se ha venido difundiendo en los últimos años, una práctica nociva para la preservación del suelo. Nos referimos a la conducta de algunos productores que además de cosechar el grano producido, cosechan también el rastrojo. Luego de la trilla de soja o del trigo o cebada, e incluso del maíz, aparecen en el campo los rastrillos y las rotoenfardadoras, “limpiando” los lotes de todo vestigio de la cosecha reciente.

Esta práctica comenzó a tomar fuerza en el otoño del 2001 cuando en el centro-oeste bonaerense se produjeron las graves inundaciones por todos conocidas, las cuales se repitieron en el 2002. Bajo esas circunstancias extremas, es perfectamente entendible que se deba echar mano a todos los recursos disponibles. La prioridad en éste caso era salvar la hacienda, aún con recursos de escaso valor nutritivo como los rastrojos. Pero las circunstancias han cambiado. Las dos últimas campañas han sido en general buenas. Las cosechas fueron sin sobresaltos y la implantación de verdes y pasturas no tuvo mayores inconvenientes. Por esta razón no es comprensible este comportamiento, indeseable desde el punto de vista ambiental.

El hecho de cosechar los rastrojos, además de privar al suelo del retorno de parte de los nutrientes que éste aportó para la construcción del rendimiento del cultivo, se recolecta un elemento muy importante para la formación de la materia orgánica, componente fundamental de la productividad del suelo. Nos referimos al carbono (C). Los vegetales obtienen este nutriente a partir del aire y construyen las cadenas carbonadas

fundamentales para su estructura y fisiología. Una vez cumplido el ciclo de las plantas, el C se incorpora al suelo y forma parte sustancial de la materia orgánica. Los rastrojos, y en especial los del maíz, sorgo, cebada y trigo tienen un alto contenido de este elemento.

La acción de privar al suelo de los rastrojos, además de ser nociva, no posee una contrapartida provechosa, dado que estos poseen un escaso valor nutritivo para los animales.

Tanto, para tan poco

En la Tabla 1, se presenta la información generada en el laboratorio de análisis para rumiantes del INTA Balcarce, sobre muestras de rastrojos de soja de su área de influencia.

Para interpretar la Tabla 1, debemos hacer algunas consideraciones. Los rastrojos en general poseen bajos valores de proteína, minerales y energía, nutrientes éstos fundamentales en la nutrición de los animales. Pero en cambio poseen una elevada concentración de hidratos de carbono (cadenas carbonadas), los cuales no se encuentran fácilmente disponibles para la hacienda, ya que son de tipo estructural. Es decir, forman parte de la pared celular (celulosa y hemicelulosa) y están ligados con una elevada cantidad de lignina. La lignina es un componente que generan las plantas para darle rigidez a su estructura a fin de poder soportar las partes reproductivas como vainas, espigas y panojas. La misma posee la característica de interferir la digestión microbiana de la pared celular, rica como mencionamos en celulosa y hemicelulosa, deprimiendo la digestibilidad del forraje. Según S. Guaita y colaboradores (com. personal), en el rastrojo de soja el principal componente es la pared celular (FDN=73,5%) y, particularmente en este caso, está muy lignificada. La proteína bruta y la energía también son muy bajas. Estos autores hacen

Tabla 1. Análisis de muestras de rastrojo de soja del INTA Balcarce (Fuente: Guaita M; Steffan J; Fernandez H. INTA Balcarce).

	Materia Seca %	Proteína Bruta %	FDN %	FDA %	EM Mcal /kg MS
Promedio	87,8	4,4	73,5	60,8	1,37
Máximo	91,1	6,9	76,7	61,5	1,60
Mínimo	79,7	2,2	71,3	59,3	1,00

FDN: Fibra Detergente Neutra, FDA: Fibra Detergente Ácida, EM: Energía metabolizable, Mcal: Megacaloría, MS: Materia Seca

referencia a que el residuo de postcosecha de soja, está constituido por un 30-35% de vainas y el remanente son tallos, ya que no hay prácticamente hojas. Las vainas tienen menos pared celular y lignina (8,7% de lignina), con mayor proteína y digestibilidad de la materia seca. Pero el tallo, que es el componente mayoritario, es muy alto en lignina (18,4%), y por ende es muy baja su digestibilidad. En la Tabla 2 se detallan algunos valores de referencia que aporta la bibliografía.

Es muy importante a fin de tener una medida objetiva, realizar una comparación con otras fuentes de forrajes que se pueden producir en el campo. A continuación se detallan algunas reservas y sus correspondientes análisis realizados en los laboratorios del INTA Balcarce y Rafaela (Tabla 3).

Como vemos, comparando con los forrajes tradicionales, el rastrojo de soja constituye un alimento de muy baja calidad y no puede ser utilizado como único alimento en los procesos productivos normales. Una alternativa es emplearlo como aporte de fibra complementando el grano en sistemas de engorde a corral y en proporciones no mayores al 20% de la dieta total. Como dato complementario debemos mencionar que el rastrojo de trigo no resulta una mejor opción para la alimentación vacuna. Los valores obtenidos de la misma fuente nos indican que en promedio tiene 89% de materia seca, 2,1% de proteína bruta, 80,6% de FDN y una digestibilidad del 47,9%.

La cara oculta de la cosecha de rastrojos

Queda claro que cuando “cosechamos” rastrojos de soja o trigo, estamos obteniendo un producto de escasisimo valor forrajero. En cambio, esta acción

Tabla 2. Valores referenciales de los componentes del rastrojo de soja.

	Materia Seca (%)	Rango de PB (%)
Hoja	87	11,0 - 13,1
Tallo	88	3,6 - 4,5
Vaina	88	4,5 - 9,0

MS: Materia Seca PB: Proteína Bruta

tiene consecuencias negativas para la preservación del suelo. Si consideramos una de las aristas que tiene este problema, es decir desde el punto de vista de los nutrientes involucrados, podemos hacer un análisis que nos muestra la magnitud del daño. Cualquier cultivo agrícola para construir el rendimiento, debe absorber del suelo una determinada cantidad de nutrientes. El resto lo toma del aire, como por ejemplo el C. Una parte de todos estos nutrientes son “exportados” con los granos y el resto retorna al suelo a través de los rastrojos. Obviamente, cuando “cosechamos” el rastrojo, estamos sacando casi la totalidad de los nutrientes involucrados en la producción de biomasa vegetal, salvo los que se destinaron a conformar el sistema radicular, las cuales constituyen una mínima porción de los mismos.

Para clarificar acerca del perjuicio de esta acción, utilizaremos un ejemplo (Tabla 4) que nos muestra la magnitud de la exportación de nutrientes que se hace cuando se realizan 4 cosechas al año, es decir, cuando bajo una secuencia trigo/soja de segunda cosechamos también los rastrojos. En el ejemplo, los rendimientos considerados son 3.500 kg/ha para trigo y 2.500 kg/ha para soja de segunda.

De la información de la Tabla 4, se desprenden una serie de consideraciones. En primer lugar se puede observar que el número de nutrientes que los cultivos extraen del suelo superan ampliamente a los que habitualmente aplican los productores en la región.

Lo normal es fertilizar con 2 o 3 nutrientes tales como nitrógeno (N) y fósforo (P), adicionándose en algunos casos también azufre (S). Estimaciones realizadas por la AER INTA 9 de Julio para 7 partidos del centro-oeste bonaerense, indican que las dosis media de de nutrientes aplicados al trigo son de: 37 kg N /ha, 12 kg P /ha y 5 kg S/ha, totalizando total 54 kg/ha. En tanto que, en soja de segunda es muy bajo el porcentaje de productores que fertilizan. Como vemos, lo que se extrae está muy lejos de lo que se aporta. En el caso del N, se van con las cosechas de grano el equivalente a 219 kg/ha. Este valor esta compuesto por la extracción que hace el trigo estimada en 69 kg/ha y la que realiza la soja de segunda en 150 kg/ha. Debemos descontar

Tabla 3. Análisis de muestras promedio de reservas de forraje (Fuente: Laboratorios INTA Balcarce y Rafaela).

	MS %	PB %	FDN %	DIVMS %	EM Mcal/kg MS
Rollo Pastura Base Alfalfa Ppios de Floración	88,5	18,8	56,0	59,5	2,15
Rollo Trébol Rojo Ppios de Floración	89,3	16,1	50,0	65,2	2,35
Rollo Avena Grano Pastoso	88,4	9,7	72,3	53,8	1,94
Rollo Moha Ppios de Panojamiento	90,4	9,7	69,2	57,0	2,0

DIVMS: Digestibilidad in vitro de la materia seca

PB: Proteína Bruta

MS: Materia Seca

Mcal: Megacaloría

EM: Energía metabolizable

el aporte de la fijación biológica de N realizada por las bacterias del género *Bradyrhizobium*, que nunca llega a cubrir el total de las necesidades de la soja. Se puede estimar que la misma, es en el mejor de los casos, el 50% del N exportado en el grano, es decir que para el ejemplo sería de 75 kg N/ha. Aceptando lo anteriormente expuesto, la cantidad de N exportado del suelo por la secuencia trigo/soja sería de 144 kg/ha de N.

Para P, el cual proviene en su totalidad del aporte del suelo, en el ejemplo se requieren 38 kg /ha, de los cuales el 47% son necesarios para construir el rendimiento del trigo y el resto para la soja. Con respecto al S, la situación es similar, el trigo requiere el 47% del total de este nutriente consumido en la secuencia trigo/soja de segunda.

Otro aspecto a destacar, es la cantidad de nutrientes que retorna al suelo cuando el rastrojo no es cosechado. Esto depende del elemento que se considere ya que no es igual para todos. Analizando el comportamiento de los principales nutrientes en la secuencia trigo/soja de segunda, vemos que retorna 29% del N, 21% del P, 60% del potasio, 82% del calcio, 59% del magnesio y 38% del S.

Para el ejemplo bajo análisis, es decir teniendo en cuenta los 13 nutrientes, en condiciones normales de cosecha, se exportarían 353 kg/ha de nutrientes. Esto representa 6,5 veces lo que en promedio se fertiliza en la zona. Pero cuando levantamos también el rastrojo, la cantidad de nutrientes exportados se incrementa a 612 kg/ha es decir 11,3 veces más respecto a lo que se aplica. Como vemos, son cantidades muy elevadas de nutrientes que se restan al "pool" de fertilidad del suelo. Si queremos hacer una valoración muy simple de algunos de los nutrientes, los podemos cotizar a precios corrientes. Como parte de este ejercicio podemos transformar los valores de N, P y S totales involucrados en la exportación a valor de los fertilizantes comerciales comunes. Esto equivaldría a 663 kg de urea (259 u\$s); 190 kg de Superfosfato triple (74 u\$s) y 177 kg de yeso (32 u\$s). La sumatoria (365 u\$s), representa parte de un costo oculto que no consideramos.

Por último, debemos tener en cuenta una cuestión también muy significativa pero que es más difícil de valorar económicamente. Nos referimos a la contribución que hacen los rastrojos a la formación de la materia orgánica. No escapa a nadie vinculado a la producción agropecuaria, la importancia de la materia orgánica en la productividad de un suelo. Es el principal reservorio de fertilidad, e influye directamente sobre las propiedades físicas como la estructura, densidad aparente del suelo, almacenamiento de agua, etc. En la región pampeana desde hace mucho tiempo se han establecido correlaciones positivas entre el contenido de materia orgánica de los suelos y el rendimiento de los cultivos. A raíz del proceso de agriculturización y en especial de la monocultura sojera, es creciente en la opinión de técnicos y productores de punta acerca

de la necesidad de rotar con cultivos que aporten C orgánico como trigo, cebada, maíz o sorgo. Esto es, para revertir el proceso de pérdida de materia orgánica que han venido sufriendo los suelos de mayor potencial de producción, sometidos en muchos casos a más de 100 años de agricultura continua. Como análisis final, podemos incluir lo que el suelo pierde de ganar en C si "cosechamos" los rastrojos de trigo y soja de segunda. Utilizando la metodología propuesta por Alvarez (2005), podemos estimar que para los rindes del ejemplo, dejamos de incorporar al suelos casi 2.500 kg/ha de C a través del trigo y cerca de 1.000 kg/ha de C por la soja.

En síntesis, queda claro que la fantasía de tener 4 cosechas al año se parece más a una pesadilla que a una ficción creadora. Los daños que se le hacen al suelo son muy elevados y la recompensa es muy pobre como para justificar semejante acción. Es muy importante tomar conciencia acerca de que el suelo además de ser el principal capital que posee el productor, es un ente vivo y como tal tiene necesidades, las cuales deben ser cubiertas para que el mismo siga siendo productivo en el tiempo.

Referencias

- Díaz Zorita, M.** 2002. La fertilización de soja y trigo /soja en la región pampeana: Red del Proyecto Fertilizar INTA. Jornada de Actualización Técnica para Profesionales. Pag. 37 -42 INPOFOS Cono Sur, Rosario.
- Alvarez, R.** 2005. Balance de carbono en suelos de la pampa ondulada: Efecto de la rotación de cultivos y la fertilización nitrogenada. Pag.61 -70 Simposio Fertilidad 2005. INPOFOS Cono Sur- Fertilizar, Rosario. ■

Tabla 4. Estimación de las necesidades y particionamiento de nutrientes en una secuencia trigo/soja de segunda (Adaptado de Díaz Zorita, 2002).

Nutriente	Necesidad Total	Exportado en los granos de trigo y soja	Contenido en Rastrojo
		kg/ha	
Nitrógeno	305	219	85
Fósforo	38	30	8
Potasio	149	60	89
Calcio	51	9	42
Magnesio	34	14	20
Azufre	33	20	13
Boro	0,15	0,019	0,131
Cloro	0,593	0,278	0,315
Cobre	0,098	0,059	0,039
Hierro	1,23	0,188	1,042
Manganeso	0,62	0,212	0,408
Molibdeno	0,013	0,011	0,002
Zinc	0,332	0,185	0,147
Total	612	353	259

Predicción de los nitratos a cosecha de maíz en suelos de la Región Pampeana

Helena Rimski-Korsakov, Carina R. Alvarez, Mónica B. Rodríguez y Raúl S. Lavado
 Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires
 rimski@agro.uba.ar

Los nitratos del suelo participan en diferentes procesos a lo largo de los ciclos agrícolas. Como es conocido, pueden ser absorbidos por las raíces, inmovilizados por la microflora del suelo o pueden perderse del sistema suelo - planta. Una de las pérdidas más importantes de nitratos es la lixiviación o lavado. Ello ocurre cuando las precipitaciones son suficientes para desplazarlos a una profundidad mayor que la explorada por las raíces, pudiendo alcanzar las capas freáticas. La lixiviación de nitratos tiene consecuencias ambientales y económicas negativas. Entre otras cosas, su presencia puede ser perjudicial para la salud, cuando en el agua de bebida se exceden las concentraciones establecidas. Por otra parte, el fertilizante que no es aprovechado por los cultivos representa una pérdida económica para el productor agropecuario.

Las pérdidas por lixiviación pueden ser importantes cuando la dosis de fertilizantes nitrogenados se encuentra por encima de los requerimientos del cultivo (sobrefertilización), o cuando la oferta de nitratos y la demanda del cultivo están desfasadas en el tiempo. Desde el punto de vista tecnológico, estas pérdidas se pueden minimizar optimizando la dosis y momento de aplicación del fertilizante. Esto se logra utilizando métodos de diagnóstico apropiados para calcular la dosis a aplicar y realizando la aplicación en el momento más cercano a la máxima demanda del cultivo. En el caso del maíz este momento es el de 6 hojas expandidas (estadio V6). Una vez tomadas dichas medidas, la prevención de pérdidas por lavado durante el ciclo del cultivo es difícil de llevar a la práctica por ser un proceso altamente dependiente de las precipitaciones que ocurran en ese período.

Los nitratos a cosecha o nitratos residuales

Luego de la cosecha del cultivo, pueden quedar en el suelo nitratos que no fueron aprovechados por

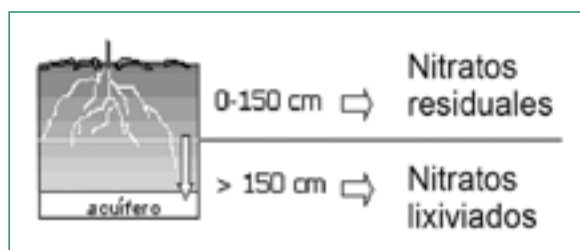


Figura 1. Esquema de nitratos residuales y lixiviados a cosecha del cultivo de maíz.

el mismo. Estos nitratos remanentes son llamados nitratos residuales (Figura 1), y también son susceptibles de lixiviarse, especialmente durante el periodo de barbecho que se inicia al término del cultivo de maíz, y se caracteriza por precipitaciones otoñales importantes y baja evapotranspiración. Se consideran nitratos residuales los que se encuentran hasta 150 cm de profundidad a la cosecha del cultivo. Generalmente, la concentración de estos nitratos es baja, ya que los cultivos son grandes demandantes de este nutriente. Sin embargo, dichas concentraciones resultan elevadas si las dosis de fertilización son excesivas o el cultivo fertilizado no alcanzó el rendimiento previsto, por ejemplo por un estrés hídrico.

El conocimiento de la cantidad de nitratos residuales que quedan en el suelo después de la cosecha es importante, ya que permite a los productores implementar estrategias de manejo tendientes a disminuir las pérdidas por lixiviación. Las condiciones que generan situaciones de alto riesgo de lixiviación se resumen en:

Durante el cultivo de maíz	Durante el barbecho (postcosecha)
Aplicaciones excesivas de fertilizante	
Suelos con alta conductividad hidráulica	
Aplicaciones tempranas de fertilizante	Rendimiento menor al esperado
Precipitaciones intensas en los primeros estadios	Altas precipitaciones durante el barbecho otoño invernal
	Barbecho limpio

Modelos de simulación

Las investigaciones sobre temas de suelos y agricultura, así como ambientales, se enfrentan a problemáticas cada vez más complejas y específicas. El uso de herramientas más potentes y precisas para el análisis de las variables y procesos que intervienen en las mismas, pasa a ser fundamental. En tal sentido, las innovaciones ocurridas en el área informática permitieron el desarrollo de modelos sofisticados, que integran un gran número de variables relacionadas con las características de cada sistema. Precisamente, los modelos predictivos y de simulación, cuyo uso está ampliamente difundido, permiten generar rápidamente análisis a corto o largo plazo, reduciendo la realización de estudios directos

que requieren gran cantidad de tiempo y esfuerzo.

Un ejemplo de ellos es el NLEAP, *Nitrate Leaching and Economic Analysis Package* (Follett et al., 1991). Este modelo fue desarrollado en Estados Unidos con el fin de estimar la lixiviación de nitratos asociada con diferentes prácticas agrícolas. Además, realiza simulaciones de diferentes procesos para llegar a los valores de lixiviación. Algunos de ellos son: la absorción de nitrógeno (N) por los cultivos, las pérdidas por volatilización y los nitratos residuales a cosecha.

Hasta el momento, las aplicaciones más importantes del modelo NLEAP, en su país de origen y otros, han sido:

- Determinación de estrategias de manejo tendientes a la minimizar el riesgo de lixiviación sin reducir los rendimientos del cultivo. Por ejemplo fue utilizado para determinar los momentos del año en que se incrementa el riesgo de lixiviación, para planificar la estrategia más adecuada de fertilización y otras técnicas de manejo del N (Shaffer et al., 1994a).
- Detección de áreas de alto riesgo de contaminación de acuíferos por el uso de fertilizantes, mediante estimaciones a largo plazo de la lixiviación de nitratos en extensas áreas, en conjunto con datos de sistema de cultivos, suelo y clima (Shaffer et al., 1993; 1994b).
- Evaluación del impacto de diferentes alternativas de manejo sobre la lixiviación, como la aplicación de dosis de fertilización variables en el cultivo de trigo (Ersahin, 2001), dosis, momento óptimo de fertilización y cronograma de riego en tomate (Ersahin y Karaman, 2001; Karaman et al., 2005), lechuga, papa, cebada y colza (Delgado et al., 2000).

Objetivos del trabajo

En un trabajo local reciente (Rimski-Korsakov et al., 2004), se informó que en suelos cultivados con maíz, en la Pampa Ondulada, los nitratos residuales se acumularon en los años secos y se perdieron por lixiviación en los períodos postcosecha lluviosos. En base a esta información, el objetivo del presente trabajo fue determinar la aptitud del modelo Nleap para simular los nitratos residuales a cosecha de maíz en siembra directa. Si el modelo logra una buena predicción, se podrán determinar fácilmente las condiciones que llevan a una acumulación de nitratos residuales. De este modo, se podrán implementar alternativas técnicas para minimizar la pérdida de los mismos durante el barbecho otoño-invernal.

Metodología utilizada

Las simulaciones con el modelo Nleap se realizaron en base a datos de seis ensayos de campo, desarrollados en cinco

campañas consecutivas de maíz bajo siembra directa y fertilizado con diferentes dosis de N aplicado como urea (Tabla 1).

En la Tabla 2, se enumeran algunas de las variables requeridas por el modelo y los rangos observados en los diferentes ensayos.

Otras variables, como las climáticas (precipitaciones, días con lluvias, temperatura y evapotranspiración), se ingresaron en el modelo en la forma de dato mensual. La evapotranspiración se calculó utilizando el método de Penman.

En todos los ensayos se contó con los valores de nitratos residuales a cosecha hasta 150 cm de profundidad. Estos fueron correlacionados con los simulados por el modelo.

Resultados y discusión

El rango de nitratos residuales medidos varió entre 26 y 92 kg N ha⁻¹, correspondientes a todas las campañas, sitios y dosis de fertilización analizadas. La correlación entre los valores de nitratos residuales simulados por el modelo y los medidos a campo fue significativa ($p < 0.001$), aunque el ajuste resultó bajo ($R^2 = 0.533$), y la ordenada al origen fue diferente de 0 y la pendiente diferente de 1 ($y = 0.5101x + 21.049$). La falta de ajuste se debió a que dos de los tratamientos se apartaron considerablemente de la recta 1:1, presentando diferencias mayores a 15 kg ha⁻¹, entre valores de nitratos residuales simulados y observados. Estos dos casos fueron los tratamientos con niveles de

Tabla 1. Campañas y ubicación de los ensayos, precipitaciones registradas durante en ciclo de cultivo y dosis de fertilización nitrogenada.

Campaña	Sitio	Lluvias (mm)	Dosis de N (kg N ha ⁻¹)
98/99	Salto	714	0, 120, 180
99/00	Salto	389	0, 120, 180
00/01	Alberti	648	110, 160
00/01	Pergamino	935	130, 160
01/02	Alberti	616	0, 70, 140, 250
02/03	Alberti	887	0, 60, 106

Tabla 2. Rangos de materia orgánica, nitratos al inicio de la simulación (de 0-33 y 33-150 cm), pH, rendimientos del maíz y fechas de siembra y cosecha de los ensayos, utilizados para la simulación.

Variable requerida	Unidades	Rango
Materia orgánica	%	2.5-2.9
N-NO ₃ de 0-33 cm	kg N-NO ₃ ha ⁻¹	17.5 - 45.3
N-NO ₃ de 33-150 cm	kg N-NO ₃ ha ⁻¹	25.8 - 50.6
pH		5.4 - 6.8
Rendimiento maíz	t ha ⁻¹	7.7-14.6
Fecha de siembra		2/9 - 15/10
Fecha de cosecha		15/2 - 1/4

fertilización más altos, 180 y 250 kg N ha⁻¹. En estos puntos, el modelo sobrestimó el valor de nitratos residuales (38 y 76 kg N ha⁻¹, respectivamente).

Analizando las razones de las fallas registradas, se observó que en ambos tratamientos el modelo subestimó la absorción de N por el cultivo. El modelo calcula la absorción teniendo en cuenta el rendimiento del cultivo y aplicando un coeficiente constante de N absorbido por tonelada de grano producido, igual a 21.3 kg N/t grano. Sin embargo, los datos de absorción de N en planta entera que se midieron en este estudio, no coinciden con lo propuesto por el modelo, siendo el rango registrado de 14.6 a 24.1 kg N/t grano producido. Cuando las dosis de fertilización fueron bajas o en los testigos (no fertilizados), los valores de absorción de N se encontraron por debajo de los propuestos por el modelo. Contrariamente, cuando las dosis fueron elevadas, los valores de absorción de N se encontraron por encima de los suministrados por el modelo. Coincidentemente, otros trabajos realizados en la región también mostraron variaciones en el requerimiento de N por tonelada de grano producido (Salas et al., 2002; Steinbach et al., 2004).

Por otro lado, también se evaluó el grado de confiabilidad del modelo en la simulación de las pérdidas por volatilización, ya que posee la opción para estimar este tipo de pérdidas. En nuestro caso, las estimó como inexistentes, lo que provocó que la predicción fuera deficiente ya que mediciones directas de la volatilización en algunos de los ensayos, mostraron que estas pérdidas podían llegar hasta el 27% del fertilizante aplicado (datos no publicados). Adicionalmente, trabajos locales donde se evaluó la volatilización de manera directa en maíz, muestran una importancia variable de esta vía de pérdida según la fuente, momento y forma

de aplicación del fertilizante, así como de la dosis aplicada. La volatilización medida en estos ensayos osciló entre 3 y 21 % del fertilizante aplicado (Rodríguez, 2004; Fontanetto, 2004).

En consecuencia, el modelo subestima la absorción y la volatilización, en las dosis más altas y, por ende, predice valores de nitratos residuales más altos que los medidos. Cuando se descontaron, en los dos tratamientos con alta dosis de fertilización, las cantidades de N subestimadas por el modelo (N absorbido y volatilizado), al valor de los residuales, las diferencias entre simulados y observados se acercaron a cero. Es decir, en nuestras condiciones el modelo no simula adecuadamente los nitratos residuales a cosecha cuando las dosis de fertilización nitrogenada son muy elevadas. Precisamente, realizando la simulación con las dosis comunes para la región, la relación mostró un ajuste muy significativo ($p < 0.001$, $R^2 = 0.97$), no difiriendo la ordenada al origen de 0 y la pendiente de 1 (Figura 2).

Conclusión y estrategias para disminuir los riesgos de lixiviación

El modelo Nleap simuló adecuadamente las situaciones ensayadas, que presentaron grandes variaciones climáticas y de suelos, cuando se utilizaron dosis normales de fertilización nitrogenada. Por este motivo, el modelo es útil como herramienta para aumentar la eficiencia de la fertilización a través del manejo de los nitratos residuales.

La acumulación de nitratos residuales, puede ser regulada a través de la realización de barbechos verdes (enmalezados o con cultivos de cobertura) o bien, sembrando un cultivo de cosecha de invierno (como trigo). De esta forma, los nitratos residuales pueden ser absorbidos por el cultivo existente. Si es un cultivo con valor económico, pueden incrementar su rendimiento y generar mayores ingresos al productor. Si se tratase de un cultivo de cobertura o malezas, el N residual no se lixivia, permanece dentro del sistema como residuo orgánico y con el tiempo se va transformando en nitratos. En cierta forma, esta estrategia constituye una alternativa para aumentar la residualidad del fertilizante nitrogenado, convirtiendo los nitratos, muy móviles en suelo, en N orgánico que se aprovechará en el futuro. Las estrategias para disminuir las pérdidas de nitratos por lixiviación durante el cultivo de maíz y pos-cosecha del mismo, se pueden observar en el siguiente esquema:

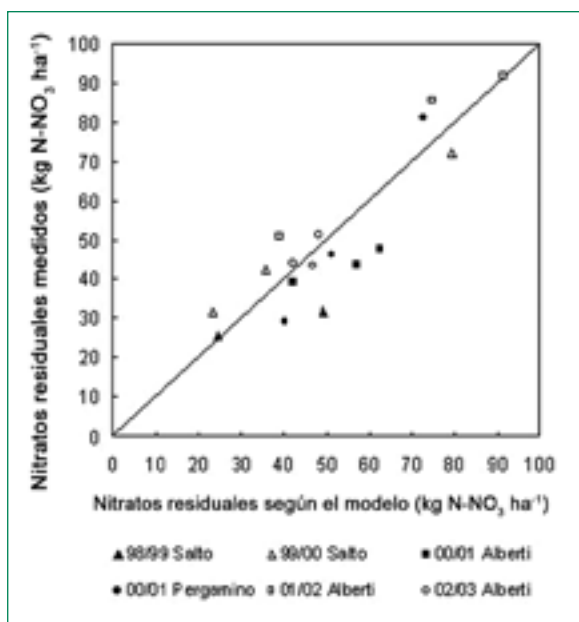


Figura 2. Nitratos residuales simulados por el modelos vs. nitratos residuales medidos. No se incluyen las dosis altas de fertilización (mayores de 180 kg N ha⁻¹).

Durante el cultivo de maíz	Durante el barbecho (postcosecha)
Uso de modelos de diagnósticos ajustados a la zona	
Aplicaciones en V6, donde se da la máxima absorción de N	Dejar enmalezar el lote Utilizar cultivos de cobertura Realizar un cultivo de cosecha de ciclo invernal

Referencias

Delgado JA, Follett RF y Shaffer MJ. 2000. Simulation of nitrate-nitrogen dynamics for cropping systems with different rooting depths. *Soil Science Society of America Journal* 64: 1050-1054.

Ersahin S y Karaman MR. 2001. Estimating potential nitrate leaching in nitrogen fertilized and irrigated tomato using the computer model NLEAP. *Agricultural Water Management* 51: 1-12.

Ersahin S. 2001. Assessment of spatial variability in nitrate leaching to reduce nitrogen fertilizers impact on water quality. *Agricultural Water Management* 48: 179-189.

Follett RF, Keeney DR y Cruse RM. (Eds.) 1991. *Managing Nitrogen for Groundwater Quality and Farm Profitability*. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI. 357 p.

Fontanetto, HM. 2004. ¿Por qué se pierde el N en fertilizaciones superficiales? *Boletín INTA Informa*, Número 290, <http://www.inta.gov.ar/info/intainfo/ant/2004/290.htm>.

Karaman MR, Saltali K, Ersahin S, Gülec H y Derici MR. 2005. Modeling nitrogen uptake and potential nitrate leaching under different irrigation programs in nitrogen-fertilized tomato using the computer program NLEAP. *Environmental Monitoring and Assessment* 101: 249-259.

Rimski-Korsakov H, Rubio G y Lavado RS. 2004. Potential nitrate losses under different agricultural

practices in the Pampas Region, Argentina. *Agricultural Water Management* 65: 83-94.

Rodríguez M. 2004. Fertilización sustentable: fuentes y formas de aplicación de nitrógeno. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Paraná :504.

Salas J, Alvarez R y Alvarez CR. 2002. Aporte de nitrógeno al maíz desde los pools del suelo en la Pampa Ondulada bajo distintos sistemas de labranzas. XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Puerto Madryn: 99.

Shaffer MJ, Brodahl MK y Wylie BK. 1993. Integration and use of the Nitrate Leaching and Economic Analysis Package (NLEAP) in the GIS environment. En: *Proceedings of the Federal Interagency Workshop on Hydrologic Modeling Demands for the 90's*. 1993, Fort Collins, Colorado. pp: 528-535.

Shaffer MJ, Wylie BK, Follett RF y Bartling PNS. 1994a. Using climate/weather data with the NLEAP model to manage soil fertility and nitrate leaching. *Agricultural and Forest Meteorology* 69:111-123.

Shaffer MJ, Wylie BK y Brodahl MK. 1994b. NLEAP as a predictive tool for regional nitrate leaching in Colorado. En: *Great Plains Soil Fertility Conference Proceedings*. 1994, Denver, Colorado. pp. 197-202.

Steinbach HS, Alvarez R y Valente CR. 2004. Balance between mineralization and immobilization of nitrogen as affected by soil mineral nitrogen level. *Agrochimica*, XLVIII: 204-212. ■

Nueva publicación

“Nutrición y fertilización potásica en frutales y vides”

El INIA (Instituto de Investigaciones Agropecuarias) de Chile ha editado el libro “Nutrición y fertilización potásica en frutales y vides”, escrito por Rafael Ruiz y Angelica Sadzawka de la Estación Experimental INIA La Platina.

La publicación es resultado de un proyecto desarrollado por INIA La Platina con la



colaboración de INPOFOS Cono Sur.

En cuatro capítulos principales se discuten aspectos relacionados con el metabolismo del K en frutales, la dinámica de K en los suelos, una revisión del status de K en suelos chilenos y las estrategias de fertilización potásica en frutales y vid en Chile y el mundo.

Disponibile a través:

Oficina de Publicaciones de INIA La Platina - www.inia.cl/platina

INPOFOS Cono Sur - www.inpofos.org

Costo: U\$20 o \$60 (pesos argentinos), más gastos de envío.

Para mayor información contactar a: Sra. Laura Pisauri - INPOFOS Cono Sur - lpisauri@inpofos.org

(54) 011 4798 9939.

Fertilización nitrogenada de maíz en el sudeste de Córdoba

CREA Monte Buey-Inriville Campañas 2003-04 y 2004-05

Martín A. Sánchez y Luciano M. Ascheri
CREA Monte Buey, Inriville, Córdoba, Argentina
msanchez@nodosud.com.ar

En la actualidad son pocos los suelos agrícolas donde es posible la producción rentable de granos sin el uso eficiente de los fertilizantes. La inadecuada utilización de este insumo puede llevar a la sub-fertilización, que no permite captar todo el potencial productivo del ambiente, o a la sobre-fertilización, produciendo contaminación si se excede la dosis que el cultivo requiere, resultando en la reducción de las ganancias de la empresa y aumentando el riesgo ambiental.

La determinación de un umbral crítico de oferta de nitrógeno (N), por debajo del cual se torna crítica la producción, permitiría maximizar las ganancias siendo rentable la respuesta a la fertilización y atenuando el impacto negativo sobre el ambiente.

Se evaluó la respuesta a la fertilización nitrogenada del cultivo de maíz en una serie de ensayos en campos de los productores del CREA Monte Buey-Inriville, con el objetivo de caracterizar el comportamiento en la zona y definir un umbral crítico para esta situación de producción (ambiente y manejo tecnológico).

Materiales y Métodos

Durante las campañas 2003/04 y 2004/05, se llevaron a cabo 12 ensayos, evaluando distintas dosis de N. Los sitios donde se llevaron a cabo las experiencias corresponden a las localidades de Monte Buey, Inriville,

Tabla 1. Características de los sitios experimentales.

Localidad	Campo	Híbrido	FS (sept.)	Ant	Cap. Suelo	MO (%)	P Bray (mg/kg)	Ns (kg/ha)	Fertilización siembra (kg/ha)		
									N	P	S
Campaña 2003/04											
Monte Buey	Aurelli	DK615	13	S1	llw	3.01	22	185	9	18	0
Monte Buey	Los Algarrobos	DK615MG	11	S2	llc	2.86	26	153	18	16	12
Gral. Baldissera	Capobianchi	AX882	15	S2	llc	2.43	25	137	6	13	0
Inriville	La Redención	DK682MG	13	S2	lles	2.44	32	171	8	17	0
Monte Buey	Sto. Domingo	DK722MG	13	S2	llc	2.47	22	164	11	23	0
Arias	La Querencia	DK682MG	23	S1	lls	3.35	12	66	12	24	0
Campaña 2004/05											
Monte Buey	Aurelli	DK615	18	S2	llw	1.73	7	86	10	22	0
Monte Buey	Los Algarrobos	AW190MG	10	S2	llc	2.07	9	63	6	12	0
Marcos Juárez	San Manuel	DK682MG	13	S2	l-l	2.51	11	76	8	17	0
Inriville	Balsa	AX882	15	S2	llc	1.88	6	60	9	18	0
Monte Buey	Sto. Domingo	AW190MG	10	S2	llc	3.02	50	118	12	25	0
Monte Buey	La Maya	AW190MG	10	S2	llc	2.32	10	69	77	14	14

El sitio La Maya poseía una fertilización de base de 70 kg de N y 14 kg de S.

FS: Fecha de siembra (septiembre) Ant: Antecesor Ns: N disponible a la siembra S1: Soja primera S2: Soja segunda

Gral. Baldissera, Monte Maíz, Marcos Juárez y Arias del Departamento Marcos Juárez, en la provincia de Córdoba.

Los ensayos fueron realizados en franjas aleatorizadas, con dosis crecientes de fertilización nitrogenada de 0, 60, 120 y 180 kg de N/ha. Las parcelas poseían 200 metros de largo y 18.5 metros de ancho, dando una superficie de 0.37 has.

La fecha de siembra de los ensayos fue de mediados de septiembre, época donde se siembra la mayor proporción de los lotes de maíz de la zona (Tabla 1). La fertilización se realizó una vez implantado el cultivo, desde V4 a V6. La fuente nitrogenada utilizada fue UAN.

La cosecha se realizó en el centro de las parcelas, dependiendo del ancho de cabezal de la cosechadora utilizada. Tanto la siembra como la recolección fueron realizadas con maquinaria del productor o contratista.

En la Tabla 1 se resumen las características de los 12 sitios experimentales.

Resultados

Los dos años donde se llevaron adelante estos ensayos fueron muy diferentes en su oferta climática (Fig. 1 y 2), siendo el 2003-04 un año con precipitaciones durante el ciclo del cultivo inferiores al promedio

histórico, y la campaña siguiente 2004/05 con lluvias abundantes, habiendo una diferencia entre años de 287 mm. Este es un factor a tener en cuenta, ya que existe una alta relación entre la disponibilidad de agua durante el ciclo del cultivo y la respuesta a la fertilización (Andrade et al., 2000).

Los rendimientos de los tratamientos variaron de 7413 kg/ha a 11951 kg/ha en la campaña 2003-04 y de 9363 kg/ha a 16919 kg/ha en la campaña 2004-05. Las condiciones climáticas contrastantes en las distintas campañas marcaron estas diferencias entre máximos y mínimos (Tabla 2).

En la Fig. 3 se observa la relación entre el rendimiento del maíz y la oferta total de N (N-NO₃ suelo 0-60 cm + N fertilizante), en las dos campañas evaluadas. La gran diferencia de respuesta a la fertilización nitrogenada entre campañas se debe a las ofertas hídricas contrastantes entre las mismas. La mejor provisión de agua en la campaña 2004-05 permitió que el cultivo explore rendimientos por encima de los 16000 kg/ha y, con una oferta de N suelo + fertilizante de 300 kg/ha, alcance rendimientos de 15000 kg/ha. En la campaña 2003/04, las condiciones hídricas limitaron los rendimientos máximos a 11000 kg/ha, con un umbral de 150 kg/ha de N suelo + fertilizante para alcanzar 9000 kg/ha de rendimiento.

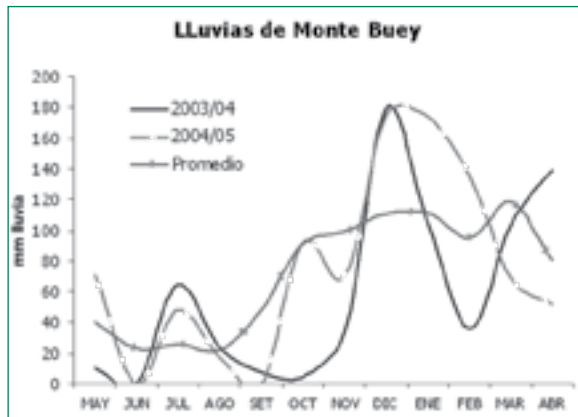


Figura 1. Precipitaciones registradas en las dos campañas y promedio histórico para Monte Buey, Córdoba.

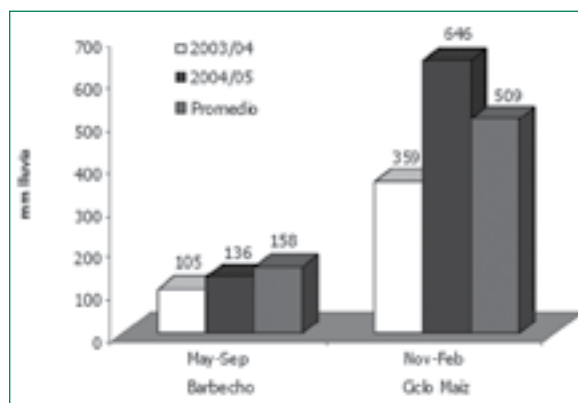


Figura 2. Precipitaciones durante el barbecho y el ciclo del cultivo para las dos campañas y promedio histórico. Monte Buey, Córdoba.

Tabla 2. Rendimientos de los cuatro tratamientos de fertilización nitrogenada en los seis sitios de las campañas 2003/04 y 2004/05.

Campo	Dosis N (kg N/ha)	Rendimiento (kg/ha)
Campaña 2003/04		
Los Pinos	0	8532
	60	10009
	120	10602
	180	9653
Los Algarrobos	0	11951
	60	10948
	120	11148
	180	10725
V. Giordana	0	7413
	120	11193
	180	10759
La Redención	0	8704
	60	9465
	120	10024
Santo Domingo	0	7493
	60	9053
	120	9715
	180	9731
	0	8455
	60	9423
	120	9576
	180	9545
	Campaña 2004/05	
Los Pinos	0	9548
	60	12085
	120	12857
	180	12481
Los Algarrobos	0	10473
	60	11608
	120	12072
	180	12107
La Redención	0	10038
	60	11663
	120	12972
	180	13608
La Sorpresa	0	9363
	60	11253
	120	13767
	180	14785
Santo Domingo	0	10184
	60	13734
	120	14358
	180	16545
La Maya	70	13047
	120	15397
	180	16919

Para encontrar un umbral crítico de respuesta a la oferta de N del cultivo para los dos años evaluados, donde no se observen incrementos de rendimiento por encima del mismo, se transformaron los rendimientos absolutos en rendimientos relativos de cada ensayo. A estos datos se le ajustó un modelo de regresión lineal-plateau, utilizando del programa "Table Curve" (Fig. 4).

Este modelo nos revela que el umbral crítico de oferta de N es de 230 kg N/ha, en el cual el rendimiento no sigue creciendo a medida que aumentamos la oferta total de N. Este umbral es mayor al de 162 Kg N/ha encontrado por Salvagiotti et al. (2004), en una recopilación de ensayos en el centro-sur de la provincia de Santa Fe para rendimientos por encima de los 9500 kg/ha. Las líneas inferiores y superiores graficadas corresponden a un intervalo de confianza para la predicción del 90%. Se puede esperar que el 90% de los rendimientos a predecir se encuentre dentro de esta área, para una oferta de N dada.

Conclusiones

- La gran variabilidad en la oferta hídrica interanual que se observó entre las campañas 2003-04 y 2004-05, influyó en la respuesta a la fertilización nitrogenada, permitiendo alcanzar rendimientos máximos de 11951 kg/ha y 16919 kg/ha para cada año, respectivamente.
- Se logro un mejor ajuste del modelo de fertilización a través de una función lineal-plateau ($R^2 = 0,507$), con los rendimientos transformados en rendimientos relativos.

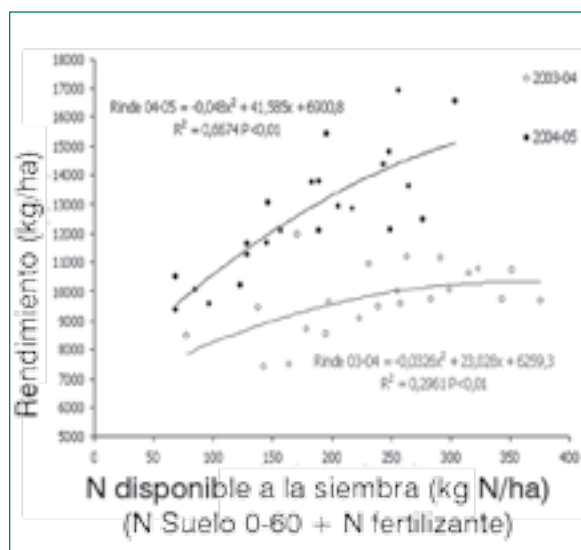


Figura 3. Rendimiento de maíz en función del nitrógeno disponible a la siembra para las dos campañas.

- Se encontró una oferta óptima de N (N suelo 0-60 cm + N fertilizante) de 230 kg/ha, donde el rendimiento no sigue creciendo a medida que aumentamos la oferta total de N. Este umbral es superior a los 162 kg/ha que otros autores encontraron para rendimientos mayores a los 9500 kg/ha en una red de ensayos en el centro-sur de Santa Fe.

Agradecimientos

- A todas las empresas del CREA Monte Buey-Inrville, sin la colaboración de sus miembros es imposible realizar este tipo de experiencias.
- A Máximo Uranga de PASA Fertilizantes, por su apoyo en la realización de los ensayos.
- A Fertibuey, de Monte Buey.

Bibliografía

- Andrade F.H., Echeverría H.E., González N.S., y Uhart S.A.** 2000. Requerimientos de nutrientes minerales. En F. Andrade y V. Sadras (ed.). Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. EEA INTA Balcarce-Facultad de Ciencias Agrarias (UNMdP). Pag. 207-233.
- Salvagiotti, F., Pedrol, H., Castellarín, J., Cordone, G., Capurro, J., Felizia, J.C., Gargi-
cevich, A., Gentili, O., Martinez, F., Mendez, J., Prieto, G., Trentino, N.** 2004. Umbrales de Nitrógeno a la siembra para el diagnostico de la fertilización nitrogenada en maíz según el potencial de rendimiento. Para Mejorar la Producción N° 26 Pag. 84-87. INTA Oliveros.

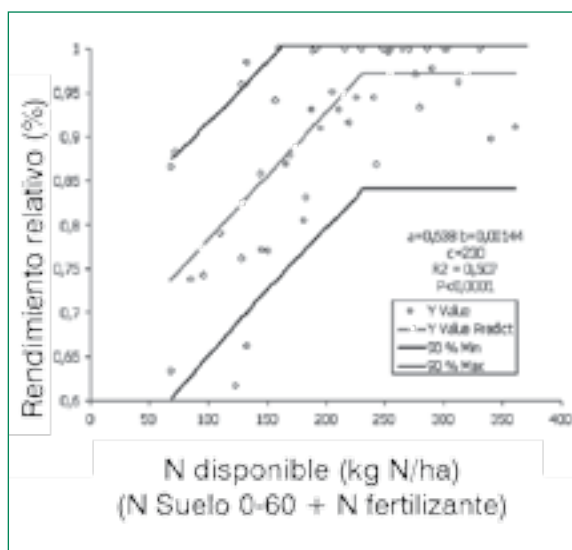


Figura 4. Relación entre la disponibilidad de N a la siembra (N suelo + N fertilizante) y el rendimiento relativo de maíz considerando los 12 sitios en los dos años de experimentación.

Estrategias de fertilización nitrogenada para la obtención de trigos con calidad de exportación

Dr. Néstor A. Darwich

Consultor privado

Dr. Nestor Darwich y Asociados, Avellaneda 3354, (7600) Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina

ndarwich@arnet.com.ar

Introducción

La producción de trigos de calidad puede ser una estrategia interesante para acceder a nichos de mercado con sobreprecios que mejoren la rentabilidad del cultivo. Para definir calidad es necesario ubicarnos en algún eslabón de la cadena agroalimentaria del trigo. Desde esta perspectiva, la calidad es la capacidad que tiene el producto de satisfacer las necesidades de los consumidores o usuarios del mismo. Para el productor agropecuario (eslabón primario de la cadena), un trigo de calidad será aquel que le permita alcanzar altos rendimientos y mayores márgenes de ganancia. Para la industria molinera, las propiedades consideradas serán por ejemplo, rendimiento en la molienda, peso de 1000 granos, cenizas en grano entero, el color de la harina, etc. Desde el punto de vista de la calidad panadera, los atributos más importantes a tener en cuenta son el contenido de proteínas del grano, la cantidad y calidad del gluten, las propiedades reológicas de la masa medidas por el alveógrafo y farinógrafo (estabilidad), y el ensayo de panificación.

Dentro de las diferentes regiones trigueras argentinas, la subregión triguera IV se ha caracterizado tradicionalmente por obtener los mejores valores en los parámetros de calidad industrial antes mencionados. No obstante, en los últimos cinco años, el incremento

en el uso agrícola de los suelos, el aumento de los rendimientos y las condiciones climáticas que lo favorecieron, produjeron un deterioro en el porcentaje de gluten y proteína de los granos, así como en la estabilidad de las harinas (Tabla 1).

De allí que algunas empresas dedicadas a la exportación de trigo con calidad panadera, hallan optado por desarrollar estrategias conducentes a mejorar la calidad de la producción triguera en el sudeste de Buenos Aires. En este escrito se tratará de resumir la estrategia desarrollada por una empresa del sudeste Bonaerense, abocada a la comercialización de trigos de calidad desde 1996.

Para obtener un diferencial de precio en la comercialización del trigo pan, es necesario contar con granos que posean un contenido de gluten húmedo superior al 28-30% y porcentajes de proteína superiores al 12,0%. Para lograr estos estándares de calidad es necesario seleccionar las variedades con mejor aptitud panadera e implementar un plan de fertilización en función de las metas prefijadas. Por otro lado, para que la producción sea rentable para el productor el nivel de rendimiento debe mantenerse sobre la media zonal.

El logro de estas metas requiere de un programa que conste al menos de dos fases importantes.

Tabla 1. Evolución del rendimiento y de los parámetros asociados a calidad industrial para los trigos de la subregión IV. (Adaptado con datos de Montaner, 2003 y 2005; CEI-Barrow, 2005).

Año	Rendimiento (kg/ha)	Zona Mar y Sierras (AAPOTRIGO)				GRANOTEC subregión IV			
		Proteína (%)	Gluten (%)	W	Estabilidad	Proteína (%)	Gluten (%)	W	Estabilidad
98	3794	12.1	28.8	362		11.5	26.6		
99	3809	13.3	30.5	350		12.2	27.2	331	
00	4390	11.3	27.1	292	33.0	10.6	22.5	263	23.0
01	4120	10.9	25.5	294	12.2	10.9	24.2	221	11.5
02	3736	10.9	26.2	289	16.6	10.1	23.1	242	10.9
03	4800	10.0	24.1	269	10.2	10.3	22.6	257	12.0
04	4400	10.7	26.1	251	13.7	10.9	25.1	271	15.0

- 1- La existencia de un contrato o documento donde las partes acuerden los porcentajes o sobrepagos (primas) que se pagarán por la calidad de los granos obtenidos.
- 2- Las técnicas de manejo y monitoreo que el productor deberá aplicar al cultivo, para lograr el rendimiento y la calidad buscada.

El programa comienza con el conocimiento de las partes involucradas (empresa comercializadora o acopiador y productor). El primer paso en la ejecución del programa consiste en la selección de los lotes donde se llevará a cabo la producción del cultivo. Aquí se tiene en cuenta, los años de agricultura continua, el cultivo antecesor, la profundidad del suelo, aptitud, estado físico, compactación, degradación estructural, etc. Una vez realizada esta primera selección, se procede a realizar una caracterización del estado de fertilidad actual, mediante análisis químico. Con estos elementos y el conocimiento de la zona en cuanto a sus características climáticas, se definirá una meta de rendimiento y un plan de fertilización para cada lote, cultivar, fecha de siembra y tipo de labranza seleccionado.

El nitrógeno (N) y el azufre (S), han demostrado ser los nutrientes que con mayor frecuencia condicionan la obtención de altos contenidos de gluten y proteína en los granos de trigo. No obstante, la disponibilidad de estos elementos generalmente está estrechamente asociada al contenido de materia orgánica del suelo, cultivo antecesor y a las lluvias ocurridas durante el barbecho y ciclo del cultivo.

El manejo diferencial de la fertilización nitrogenada, especialmente en lo relacionado al momento, dosis y fuente utilizada, ha permitido lograr aumentos de proteína y gluten en harina, los cuales posibilitaron obtener cosechas de trigo con calidad panadera superior a la media zonal.

Materiales y Métodos

Una vez realizado el diagnóstico de necesidades

de fertilización se conviene con el productor cual será la fuente, forma y momento de aplicación del fertilizante nitrogenado. Las dosis que superan los 60 kg de N/ha se aplican en dos veces, la primera puede ser aplicada a la siembra o en 3 hojas y la segunda hacia fines de macollaje o principios de encañazón. Una lectura del tenor de clorofila en hoja bandera durante la espigazón, confirmará la necesidad o no de una tercera aplicación para lograr el tenor de proteína y gluten deseado. Tanto Echeverría y Studdert (1998) en trigo pan, como Bergh et al. (1998), en trigo candeal, encontraron una estrecha correlación entre el contenido de N en hoja bandera durante el estadio de grano lechoso y el porcentaje de proteínas en los granos al momento de la cosecha. Trabajos posteriores (Bergh et al., 1999 y 2001), demostraron que cuando el cultivo de trigo no ha sido expuesto a déficit hídrico durante el periodo de llenado de granos, la concentración de N en hoja bandera durante dicho período puede ser utilizada como predictor del contenido final de proteína en los granos.

Dada la necesidad funcional de tener una predicción del contenido de gluten y proteína con anticipación a este estadio, se realizaron calibraciones comenzando las lecturas de SPAD en hoja bandera en periodos de 5, 10 o 15 días antes de la antesis. Dado que existe una excelente correlación entre el contenido de N total y la concentración de clorofila en la hoja bandera, la determinación del índice de verdor con medidores, tipo Minolta (SPAD 502), ha resultado ser una eficaz herramienta para determinar el estado nitrogenado del cultivo a partir de hoja bandera desarrollada (Figura 1).

Trabajos en trigo pan realizados por Echeverría y Studdert, 2001 y en trigo candeal por R. Bergh y col., 2001, han demostrado que el índice de verdor determinado con el lector de clorofila, Minolta SPAD 502, puede predecir la concentración de N en hoja bandera y estimar el % de proteína en los granos adecuadamente.

Tabla 2. Resultados de lotes Convenios Premium para algunas zonas. Campaña 2003.

Zona	Rendimiento	Diferencia sobre el Rendimiento Estimado	Peso Hectolítrico	Gluten	Proteína
	(kg/ha)			(%)	
Gral. Alvarado	5040	1040	82.1	29.2	11.5
Balcarce	4980	980	82.2	29.4	11.1
Napaleofú	5495	1495	80.2	28.7	11.0
Necochea	4600	600	82.0	28.7	11.4
Promedio	5030	1030	81.6	29.0	11.2

Resultados y Discusión

En las campañas 2003 y 2004 se realizaron alrededor de 10.000 hectáreas, en cada campaña, bajo la modalidad de "Convenio para calidad". En todos los casos se

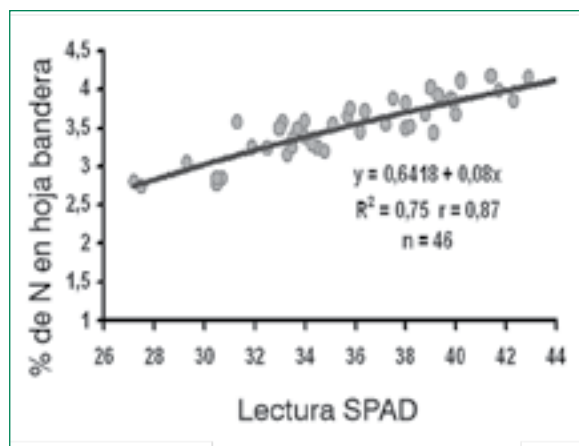


Figura 1. Relación entre la Lectura de SPAD y el porcentaje de nitrógeno en hoja bandera. Campaña 2001. Estadio de muestreo: una semana pre floración a una semana pos floración. Cultivares medidos: Poncho, Caudillo, Panadero y Pronto. Fuente: Estudio Dr. Néstor A. Darwich & Asociados, noviembre del 2001.

lograron diferencias importantes en el rendimiento y la calidad de los granos (% de gluten y proteína) en los lotes bajo Convenio respecto a la producción media de la zona.

En las Tablas 2 y 3 se muestran algunos resultados que resumen los logros alcanzados en lotes de convenio durante las últimas dos campañas agrícolas. El lector puede comparar estos resultados con el promedio de calidad embarcado por Puerto Quequén (Tabla 2b).

En condiciones de ser necesaria la aplicación suplementaria de N en estados avanzados, se han verificado respuestas significativas con aplicaciones foliares de N. En la Tabla 4, se muestra el efecto de la fertilización foliar nitrogenada en dosis de 20 kg de N/ha, sobre el porcentaje de gluten en 6 variedades difundidas en la zona.

Conclusiones

Si bien los resultados obtenidos en los últimos cuatro años, han sido satisfactorios respecto al logro de las metas propuestas, se continúan ajustando los umbrales de índice verde, para cada cultivar o variedad, a los fines de mejorar la precisión de los diagnósticos.

Tabla 2b. Calidad embarques Pto. Quequén (Enero - Mayo 2004).

VAPOR	ESPIRITU SANTO	NORSUL SOBRAL	LOKRIS	LYRA	TRONADOR	KYMA	MINI MOON	AKTI	SEMI RAMIS
W	235	225	204	214	216	213	239	218	215
Proteína (%)	9,8	10,1	10,1	10,3	10,1	9,9	10,1	10,1	10,2
Gluten*	24,1	23,7	22,8	23,2	24,3	23,3	23,3	21,4	22,8
Miles de Ton	33,5	25	11,3	12,6	6,1	33,2	2,7	25	26
Destino	Brasil	Brasil	Holanda	Brasil	Chile	Argelia	Brasil	Brasil	Brasil

*Gluten húmedo

Tabla 3: Resultados de lotes Convenio Premium y calidad de los embarques, realizados en Pto. Quequén y Bahía Blanca. Campaña 2004-05.

Zona	N° de Casos	Gluten Promedio	Proteína Promedio	Peso Hectolítrico
		(%)		
Gral. Alvarado, Pueyrredón, Balcarce, Pieres, Necochea	59	29,5	11,7	80,2
Tres Arroyos	42	28,9	11,6	80,2
Loberia, San Cayetano	18	26,5	11,4	79,6
Promedios embarques Puerto Quequén	150.000 ton	24,3	10,1	78,7
Pto. Bahía Blanca	519.000 ton	25,3	10,7	79,2

Bibliografía

Bergh R, A. Baez, M. Zamora y A Quatrocchio, 1998. Fertilización nitrogenada del trigo Candeal en el Centro sur Bonarense. Actas IV Congreso y 2do Simposio Nacional de Cereales. Mar del Plata 11 al 13 de Nov. 1998.

Bergh R, A. Baez, M. Zamora y A Quatrocchio, 1999. Diagnóstico de la fertilización nitrogenada para calidad en trigo. In: Seminario Diagnósticos de deficiencias de N, P Y S en cultivos de la región Pampeana. INTA, IPG, SAGPyA, 1 al 2 de julio 1999. P 21-30.

Bergh R, M. Zamora, M L Seghezzeo y E. Mol-fese, 2001. Nutrición nitrogenada y proteína en trigo candeal. Actas V Congreso 3er Simposio Nacional de Cereales. Villa Carlos Paz, 25 al 28 de sep de 2001.

Echeverría HE. y GA Studdert, 1998. El contenido de nitrógeno en la hoja bandera del trigo como predictivo del incremento de proteína en el grano por aplicaciones de nitrógeno en la espigazón. Revista de la facultad de Agronomía, La Plata 103 (1), p 27-36.

González Montaner, J. 2003. Manejo y fertilización del cultivo de trigo en la región sudeste de la provincia de Buenos Aires. In : Jornada técnica para productores: Capturando las oportunidades de altos rindes en trigo. Miramar, 19 de noviembre de 2003.

González Montaner, J. 2003. Resultados de experimentación en cosecha fina. Campaña 2002/03. AACREA. Zona mar y sierras.

González Montaner, J. 2005. Resultados de experimentación en cosecha fina. Campaña 2004/05. AACREA. Zona mar y sierras. 47 páginas. ■

Tabla 4. Efecto de la fertilización foliar, sobre el contenido de gluten. 12 Casos, Campaña 2002, Zona: Gral. Alvarado, Pieres y Napaleofú.

Caso N°	Cultivar	Gluten (%)	
		Con Foliar	Sin Foliar
1	Guapo	30,6	29,0
2	Caudillo	30,4	27,2
3	Caudillo	30,7	29,2
4	Sureño	28,2	25,4
5	Brasil	31,3	28,9
6	Poncho	31,1	27,2
7	Panadero	31,4	28,0
8	Caudillo	34,4	24,5
9	Panadero	30,5	27,1
10	Sureño	31,1	24,6
11	Sureño	33,0	25,9
12	Caudillo	31,2	27,0

Latin America
Southern Cone
(INPOFOS-Cono Sur)



Visite nuestro sitio web

www.inpofos.org