

## DIAGNOSTICO DE FERTILIZACION NITROGENADA PARA TRIGO EN EL OESTE DE LA PROVINCIA DE ENTRE RIOS



EEA Paraná

[Melchiori, R. J. M.](#) y [Barbagelata, P. A.](#)

Area de Investigación en Suelos. INTA- EEA Paraná

### Introducción

El nitrógeno (N) es un elemento indispensable para el crecimiento de los cultivos y su baja disponibilidad en suelos agrícolas, junto con la necesidad de desarrollar estrategias que incrementen su eficiencia de uso, son aspectos de gran importancia en la producción de trigo.

El creciente avance de la siembra directa (SD) como sistema de labranza en el cultivo de trigo en la provincia de Entre Ríos, donde alcanza el 53 % de la superficie sembrada (Lorenzatti, 2001), introduce cambios en el ambiente de crecimiento del cultivo relacionados con la dinámica del N, modifica las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, alterando los procesos de transformación de los nutrientes y su eficiencia de uso por los cultivos (García *et al.*, 1998; Constantini *et al.*, 2000), lo que es necesario considerar al analizar la respuesta a la fertilización nitrogenada y al ajustar las técnicas de diagnóstico a estas condiciones.

Las deficiencias de N limitan el rendimiento del cultivo a través de reducciones en el número de granos (NG) debidas a efectos sobre el desarrollo del área foliar, la intercepción de la radiación y/o sobre la eficiencia de uso de la radiación, que limitan el crecimiento del cultivo (Fischer, 1993; Abate *et al.*, 1994), aunque también se han informado efectos directos sobre la fijación de los granos (Abbate *et al.*, 1995).

Trabajos realizados en la región han abordado la problemática de la nutrición nitrogenada del cultivo, evaluándose aspectos referentes a su dinámica de absorción (Melchiori y Papatotti, 1996) y a las prácticas de fertilización (Barbagelata *et al.*, 2000; Caviglia *et al.*, 2000). Por otra parte se ha informado desde el comienzo de la expansión regional de la siembra directa, la existencia de respuesta generalizada a la fertilización nitrogenada para el cultivo de trigo (Mistrorigo *et al.*, 1997). Sin embargo aún no se dispone en forma local de métodos de diagnóstico de fertilización basados en análisis de suelos.

En el sudeste y norte bonaerense se utiliza habitualmente la medición del contenido de nitratos en el suelo (Ns) al momento de la siembra, como metodología de diagnóstico de fertilización nitrogenada (González Montaner *et al.*, 1991, Satorre *et al.*, 1997, García *et al.*, 1998, Calviño *et al.*, 2000). A partir de la aplicación de esta metodología se han obtenido e informado similares umbrales de respuesta o niveles críticos de disponibilidad de N, a partir del cual no es esperable una respuesta significativa a la aplicación de N, tanto para cultivos de trigo implantados bajo labranza convencional como en sistemas de SD en los primeros años de implementación de la práctica (García *et al.*, 1998), sin embargo para sistemas de SD estabilizados y en ambientes con mayor potencial de rendimiento, Calviño *et al.* (2000) determinaron umbrales de respuesta significativamente mayores.

De lo anteriormente planteado, surge la necesidad de desarrollar una metodología de diagnóstico de fertilización nitrogenada para cultivos de trigo implantados en SD, adaptada a las condiciones edafoclimáticas locales. Los objetivos del presente trabajo son: a) determinar relaciones entre la disponibilidad de N y el N acumulado en planta, b) determinar la relación entre el rendimiento, la respuesta al agregado de nitrógeno y la disponibilidad de N a la siembra y c) determinar la respuesta en rendimiento y la eficiencia de uso del N aplicado ante cambios en la disponibilidad de N.

### Materiales y Métodos

En las campañas 2000 y 2001 se condujeron 9 y 8 ensayos de fertilización nitrogenada, respectivamente en lotes de producción de trigo en SD, sobre suelos Argiudoles y Peludertes de los departamentos Paraná, Diamante, Villaguay y La Paz, con diferentes situaciones de historias de manejo previo y cultivos antecesores. En todos los sitios experimentales se determinó previo a la

siembra el contenido de N-NO<sub>3</sub> en el suelo, hasta la profundidad de 60 cm (por capas de 20 cm) y los contenidos de fósforo extraíble (P) en la capa de 0-20 cm.

El diseño experimental utilizado fue en bloques completos aleatorizados, con cuatro repeticiones y unidades experimentales de 60 m<sup>2</sup>. Los tratamientos evaluados en la primera campaña fueron cuatro e incluyeron un testigo sin N y tres niveles de N disponible (Nd): 80, 120 y 160 kg N ha<sup>-1</sup>. Se definió como Nd a la suma del contenido de N-NO<sub>3</sub> en el suelo hasta 60 cm de profundidad (Ns) en cada repetición más el N de fertilizante aplicado (Nf) para alcanzar los niveles de Nd de los tratamientos señalados (Nd = Ns + Nf). En la segunda campaña, los tratamientos evaluados fueron cinco e incluyeron un testigo y cuatro niveles de Nd. En este caso se establecieron como la suma del contenido de N-NO<sub>3</sub> en el suelo en cada repetición, más el agregado de niveles fijos de N de fertilizante equivalentes a 40, 80, 120 y 160 kg N ha<sup>-1</sup>. El N se aplicó en todos los casos en cobertura en preemergencia y bajo la forma de urea. La disponibilidad de P no fue limitante o se fertilizó cuando fue necesario.

En la campaña 2000 se determinó la biomasa aérea acumulada hasta antesis y madurez sobre muestras de 0,5 a 1 m<sup>2</sup> en todos los tratamientos; la concentración de nitrógeno de la biomasa y el N acumulado y el rendimiento en grano ajustado al 14% de humedad, sobre muestras de 20 a 4 m<sup>2</sup>. Se calcularon los rendimientos relativos (RR), en referencia al tratamiento con mayor disponibilidad de N de cada bloque y la eficiencia agronómica de uso del fertilizante nitrogenado como: kg grano/kg de N de fertilizante aplicado.

Se realizaron análisis de variancia, regresiones lineales y no lineales mediante procedimientos de SAS (SAS Institute, Inc, 1999).

## Resultados y Discusión

Las condiciones climáticas en ambas campañas (precipitaciones y temperatura) permitieron un crecimiento adecuado de los cultivos hasta antesis, pero generaron condiciones predisponentes para el ataque de Fusarium, lo que limitó la productividad de los cultivos en ambas campañas, con mayor severidad en la segunda (Milisich, comunicación personal).

La disponibilidad de N-NO<sub>3</sub> acumulados a la siembra hasta 0-60 cm en ambas campañas fue baja, con rangos de 25.1 a 60.3 kg ha<sup>-1</sup> en la primera y de 36.7 a 82.7 kg ha<sup>-1</sup> en la segunda.

El contenido de N acumulado en planta hasta madurez fisiológica se relacionó en forma lineal con el rendimiento del cultivo ( $r^2 = 0.80$ ,  $p < 0.001$ ), obteniéndose a partir de la pendiente de esta relación una eficiencia fisiológica de uso del N de 26.6 kg grano kg<sup>-1</sup> de N acumulado en planta. Esto coincide con resultados anteriores obtenidos por Melchiori y Papparotti (1996) en Entre Ríos y por González Montaner *et al.* (1997) en el sudeste bonaerense. García *et al.* (1998) en ambientes interserranos del sudeste bonaerense y Echeverría y Videla (1998) sobre diversos suelos de la región pampeana sin limitaciones hídricas, informaron resultados superiores.

La disponibilidad de N-NO<sub>3</sub> en el suelo hasta 60 cm se relacionó en forma lineal ( $p < 0.001$ ) con el N acumulado hasta antesis, explicando el 76% de la variación de esta variable y se relacionó en forma cuadrática ( $r^2 = 0.64$   $p < 0.01$ ) con el N acumulado total en madurez. Las magnitudes alcanzadas en este parámetro fueron sensiblemente inferiores a la informada en otros experimentos locales (Melchiori y Papparotti, 1996) debido a los menores rendimientos obtenidos en estas experiencias.

El rendimiento en grano de los tratamientos testigo variaron de 572 a 2717 kg ha<sup>-1</sup> y de 479 a 2217 kg ha<sup>-1</sup> para la primera y segunda campaña, respectivamente. Mientras que los rendimientos máximos alcanzados fueron de 4076 y 2430 kg ha<sup>-1</sup>, lo que pone en evidencia la fuerte afectación del potencial de rendimiento de los cultivos debido a la presencia de enfermedades, principalmente "fusariosis de la espiga" (observación visual). González Montaner *et al.* (1997) y Echeverría y Videla (1998) informaron relaciones similares entre el N disponible y la acumulación de N en planta y el rendimiento, lo que señala la factibilidad de utilizar el N disponible en suelo a la siembra como una variable de diagnóstico de la nutrición nitrogenada en el cultivo de trigo.

En la campaña 2000, en siete de los nueve sitios experimentales se detectaron efectos significativos de tratamientos ( $p < 0.05$ ), con una respuesta media en rendimiento ante el agregado de N de 527, 730 y 876 kg ha<sup>-1</sup> para los tres niveles de N disponible evaluados (80, 120 y 160 kg de N ha<sup>-1</sup>). Dichos niveles de N disponible se alcanzaron con dosis de 39.5, 79 y 119 kg de N ha<sup>-1</sup>, respectivamente. En la campaña 2001, en siete de los ocho experimentos evaluados se detectaron efectos significativos ( $p < 0.05$ ) de la fertilización nitrogenada, con respuestas medias en rendimiento al agregado de N de 266, 363, 498 y 538 kg ha<sup>-1</sup> para las dosis de 40, 80, 120 y 160 kg de N ha<sup>-1</sup>.

de fertilizante aplicado. Las diferentes metodologías empleadas para el establecimiento de los tratamientos en las dos campañas, imposibilitaron realizar un análisis conjunto del total de los sitios.

En el análisis de los sitios evaluados en el 2000 (9 sitios experimentales) se detectaron diferencias significativas debidas a los niveles de N ( $p < 0.0001$ ) y entre sitios experimentales ( $p < 0.0001$ ). El rendimiento en los tratamientos N120 y N160 fue similar y significativamente mayor ( $p < 0.05$ ) al del tratamiento N80, y éste mayor al del testigo, con una diferencia mínima significativa (LSD,  $\mu = 0.05$ ) de  $182 \text{ kg ha}^{-1}$  en la campaña 2000. De manera similar, el análisis de los sitios evaluados en la segunda campaña (8 sitios experimentales), mostró diferencias significativas entre sitios ( $p < 0.0001$ ) y entre tratamientos ( $p < 0.0001$ ). Para esta campaña, el tratamiento N160 presentó rendimientos medios similares al de N120 y mayores al de N80. Estos dos últimos fueron similares entre sí y difirieron significativamente de N40, tratamiento que superó significativamente al testigo, siendo la diferencia mínima significativa (LSD,  $\mu = 0.05$ ) para esta comparación de  $105 \text{ kg ha}^{-1}$ .

La respuesta en rendimiento mostró una alta variabilidad (CV de 30% a 54% y 82% a 31% en la primera y segunda campaña, respectivamente), dentro del orden de magnitud de los valores informados por González Montaner *et al.* (1991) y Calviño *et al.* (2000). Sin embargo en el 2000 se obtuvieron en promedio en todos los casos, elevadas eficiencias de uso del N del fertilizante, las que disminuyeron ante incrementos en la disponibilidad de N desde 13 a  $7.3 \text{ kg trigo kg N aplicado}^{-1}$ . Las relaciones obtenidas permiten evaluar la eficiencia económica de la fertilización nitrogenada a partir de los kg de trigo obtenidos por kg de N aplicado y el costo de las dosis de N. Utilizando como punto de comparación una relación histórica de precios de  $4.71 \text{ kg de trigo kg}^{-1} \text{ N de fertilizante}$ , los resultados demuestran que aún en el máximo nivel de N evaluado en el 2000 (N160) se superó dicho valor. De manera similar en la campaña 2001, con menores respuestas medias del cultivo, las relaciones obtenidas permiten estimar que el punto de igualación entre la dosis de N aplicada y el retorno en kg de trigo obtenidos debido a ésta se logra en  $87 \text{ kg de N de fertilizante ha}^{-1}$ .

Se analizaron en forma individual por campaña (Gráfico 1) y para el conjunto de las observaciones las relaciones entre el rendimiento del cultivo expresado en términos relativos (RR) y el N disponible considerando diferentes profundidades de muestreo (0-20, 0-40 y 0-60 cm respectivamente).

El RR se relacionó significativamente con el N disponible a la siembra ( $N_s + N_f$ ), esta relación se ajustó a un modelo lineal-meseta ( $r^2 = 0.75$ ,  $p < 0.001$ ), estableciéndose a partir de este modelo un umbral de  $103.7 \text{ kg de Nd ha}^{-1}$  a partir del cual no se registran incrementos en el RR (Cuadro 1). Para la segunda campaña, también se logró con buen ajuste un modelo similar estableciéndose el umbral de respuesta en un valor superior de disponibilidad de N ( $156 \text{ kg N ha}^{-1}$ ). La relación obtenida mostró un comportamiento similar en ambas campañas evaluadas por lo que se agruparon las observaciones para el análisis conjunto.

**Cuadro 1: Parámetros de los modelos lineal-meseta para N disponible (0-60 cm) y el rendimiento relativo (RR) para las campañas 2000, 2001 y para ambas en conjunto.**

Parámetros del modelo	Valor estimado de los parámetros		
	2000	2001	Conjunto
A	43.32	52.6	51.4
b	0.526	0.304	0.356
Nivel crítico	103.7	156	135
RR en la meseta	97.8	100	99.5
$R^2$	0.74	0.64	0.65
Pr>F	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Nº de observaciones	36	38	74

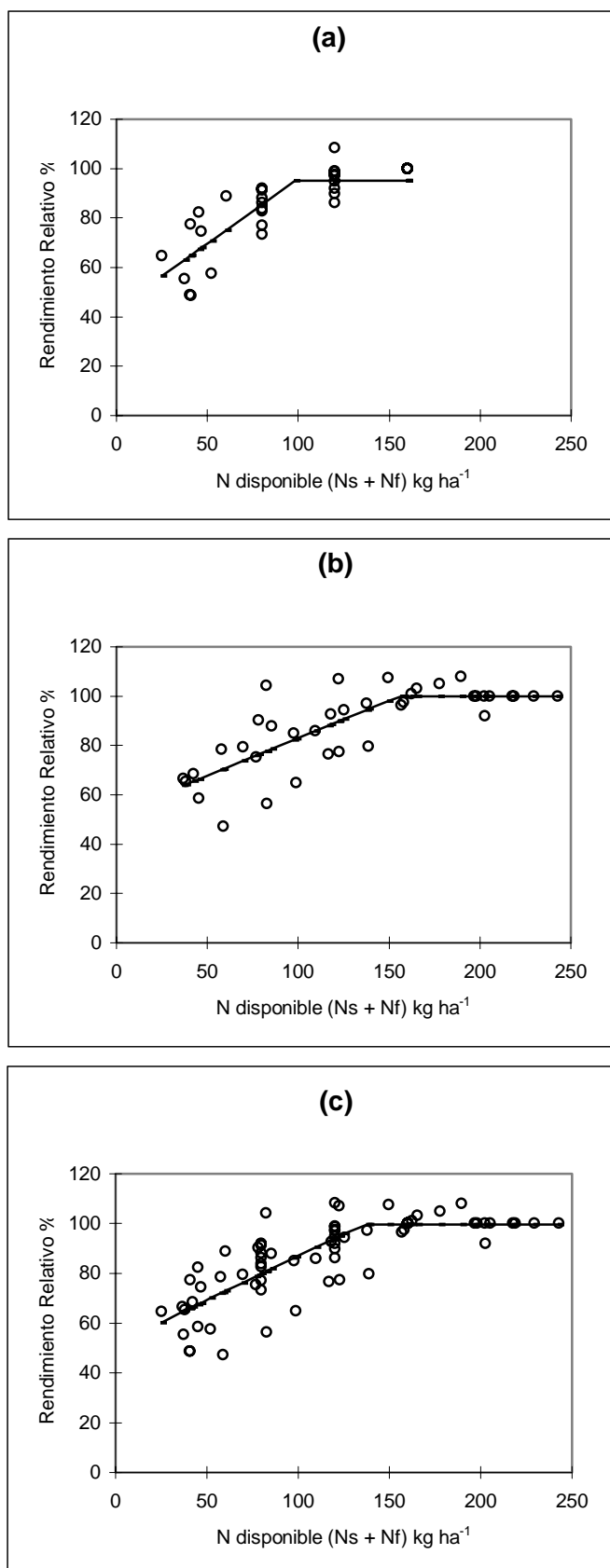


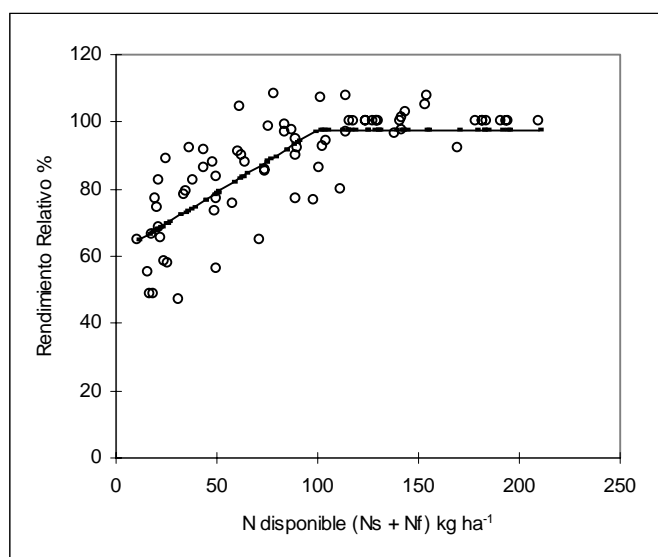
Gráfico 1: Relación entre el rendimiento relativo en grano (RR) y el nitrógeno disponible a la siembra (N-N03 (0-60 cm) + N de fertilizante) a) campaña 2000, b) 2001 y c) conjunto de las observaciones.

El rango de disponibilidad establecido por los umbrales de respuesta en las campañas en forma individual o en el conjunto de las observaciones, incluye valores similares a los valores 100 a 110 kg N ha<sup>-1</sup> obtenidos por García *et al.* (1998) en el sudeste bonaerense y el de 125 kg N ha<sup>-1</sup> establecido por González Montaner *et al.* (1991) para trigos en sistemas de labranza convencional. Por otra parte, el umbral medio de 135 kg de N ha<sup>-1</sup>, resultó de manera esperable inferior al de 150 kg N ha<sup>-1</sup> determinado por Calviño *et al.* (2000), en ambientes de mayor productividad del sudeste bonaerense.

La determinación del contenido de N-NO<sub>3</sub> hasta 60 cm de profundidad no es una práctica habitual en la región, y resulta un esfuerzo adicional importante debido a la presencia habitual en los suelos de la zona de horizontes texturales densos. Esta característica además podrían limitar el movimiento rápido de nitratos con el agua del suelo, situación por la cual en otros ambiente se recomienda la profundización de los muestreos (Berardo, 1994). El contenido de N-NO<sub>3</sub> determinado, considerando la profundidad de 0 a 60 cm, se asoció estrechamente al contenido de estos en las capas de 0 a 40 cm (N-NO<sub>3</sub> kg ha<sup>-1</sup> (0-60 cm) = 2.895 + 1.189 x N-NO<sub>3</sub> kg ha<sup>-1</sup> (0-40 cm) ; p< 0.0001 r<sup>2</sup>= 0.97) y con el contenido de N-NO<sub>3</sub> en la capa de 0-20 (N-NO<sub>3</sub> kg ha<sup>-1</sup> (0-60 cm) = 9.574 + 1.637 x N-NO<sub>3</sub> kg ha<sup>-1</sup> (0-20 cm); p<0.0001 r<sup>2</sup>= 0.87). Para el cálculo del contenido en kg ha<sup>-1</sup> de N-NO<sub>3</sub> en todos los casos se utilizaron valores medios de densidad aparente del suelo de 1.20 g cm<sup>-3</sup> para la capa de suelo de 0 a 20 cm y de 1.25 g cm<sup>-3</sup> para las profundidades de 20 a 40 y de 40 a 60 cm, respectivamente. La existencia de estas estrechas relaciones sugiere la conveniencia de evaluar los modelos de diagnóstico considerando una profundidad de muestreo de solo 20 cm. El análisis de la misma sobre la base del conjunto de observaciones de ambas campañas permitió, restringiendo la optimización de los parámetros del modelo con el establecimiento de la meseta dentro del rango de 95 a 97.5 % de RR, obtener un modelo similar (Gráfico 2) a los descriptos anteriormente:

$$\begin{aligned} \text{RR (\%)} &= 60.5 + 0.337 X && \text{si } X < 99,3 \\ \text{RR (\%)} &= 97.5 && \text{si } X > 99.3 \end{aligned}$$

Donde X = N disponible a la siembra en 0-20 cm



**Gráfico 2: Relación entre el rendimiento relativo en grano (RR) y el nitrógeno disponible a la siembra (N-NO<sub>3</sub> (0-20 cm) + N de fertilizante) para el conjunto de las observaciones.**

El ajuste obtenido para el mismo fue similar a los anteriores (R<sup>2</sup>= 0.60; Pr<F < 0.00001; n = 74), lo que posibilita una simplificación del método mediante la menor profundidad de muestreo, sin pérdidas importantes de eficiencia.

Los resultados obtenidos contribuyen al objetivo de lograr un uso eficiente de los fertilizantes nitrogenados, aunque es necesario validar su generalidad en condiciones productivas más diversas y de mayor productividad.

**Bibliografía**

- Abbatte, P.E.; Andrade, F.H. y J.P. Culot 1994. Determinación del rendimiento en trigo. INTA EEA Balcarce. Boletín Técnico N°133
- Abatte, P.E.; Andrade, F.H. and J.P. Culot 1995. The effects of radiation and nitrogen on number of grains in wheat. *Journal of Agric. Sci. Cambridge* 124: 351-360
- Barbagelata, P.A.; Papparotti, O.F. y R.J.M. Melchiori 2000. Efecto del momento de aplicación del fertilizante nitrogenado sobre el rendimiento de trigo en siembra directa. En *Actualización Técnica en Trigo*. INTA EEA Paraná. Serie Extensión n° 18: 47-50
- Berardo, A. 1994. Aspectos generales de fertilización y manejo del trigo en el área de influencia de la Estación Experimental INTA-Balcarce. INTA EEA Balcarce. Boletín Técnico N° 128
- Calviño, P.A.; Echeverría, H.E. y M. Redolatti 2000. Trigo en siembra directa en el sudeste bonaerense: Diagnóstico de necesidades de nitrógeno en función de la fertilización fosfatada. *Actas del XVII Congreso Argentino de Ciencia del Suelo*. Mar del Plata. III. 14.
- Caviglia, O.P.; Papparotti, O.F.; Anthonioz Blanc, D. y M.L.L. Andrián 2000. Monitoreo de la nutrición nitrogenada en el cultivo de trigo a través de la medición de un índice de verdor en hojas. En *Actualización Técnica en Trigo*. INTA EEA Paraná. Serie Extensión n°18: 64-67
- Costantini, A.; Cosentino, D.; Conti, M. y M. Fertig 2000. Efecto de la fertilización sobre la biomasa microbiana en sistemas de labranza conservacionista. En *Actas del XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo (en CD)*. II-15. Mar del Plata
- García, F.O. y K.P. Fabrizzi 1998. Fertilización de trigo y maíz bajo siembra directa en el sudeste de Buenos Aires. INTA EEA Balcarce. Boletín Técnico N° 150, 12 p.
- García, F.O.; Fabrizzi, K.P.; Berardo, A. y F. Justel 1998. Fertilización nitrogenada en trigo en el sudeste bonaerense: respuesta, fuentes y momentos de aplicación. *Actas XVI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo*
- González Montaner, J.H.; Maddonni, G.A.; Mailland, N. y M. Posborg 1991. Optimización de la respuesta a la fertilización nitrogenada en el cultivo de trigo a partir de un modelo de decisión para la subregión IV. *Ciencia del Suelo*. 9:41-51
- González Montaner, J.H.; Maddonni, G.A. and M. R. Di Napoli 1997. Modeling grain yield and grain yield response to Nitrogen in spring wheat crops in Argentinean Southern Pampa. *Field Crops Res.* 51:241-252
- Fischer, R.A. 1993. Irrigated spring wheat and timing and amount of nitrogen fertilizer: Physiology of grain yield response. *Field Crops Res.* 33:57-80
- Lorenzatti, S. 2001. Superficie de trigo en siembra directa en Argentina. <http://www.aapresid.com.ar/trigo> ( 7 de Septiembre de 2001)
- Melchiori, R.J.M. y O.F. Papparotti 1996. Dinámica de la absorción de nitrógeno en trigo. En *Jornada de Actualización Técnica en el Cultivo de Trigo*. INTA EEA Paraná. Serie Extensión n° 9:9-11
- Mistrorigo D.; De Carli, R.; Valentinuz, O. y P. Beret 1998. Fertilización de cultivos en siembra directa. *Fac. Cs. Agrop.- UNER*. 16 p.
- Satorre E.H.; Ruiz, R.A.; Miralles, D.J.; Maddonni, G.A. y D.F. Calderini 1997. Informe de Trabajo. Convenio AACREA - Cátedra de Cereales Fac. Agronomía -UBA
- SAS Institute Inc. 2000. SAS OnlineDoc®, Version 8, Cary, NC: SAS Institute Inc., 1999