

FERTILIZACIÓN NITROGENADA DE TRIGO Y OTROS CEREALES DE INVIERNO. CRITERIOS DE MANEJO PARA INCREMENTAR SU EFICIENCIA

Ing. Agr (Msc). Gustavo N. Ferraris

Área de Desarrollo Rural INTA EEA Pergamino. Av Frondizi km 4,5 B2700WAA Pergamino
nferraris@pergamino.inta.gov.ar

El trigo una es una especie invernal de elevado potencial de crecimiento y respuesta a la tecnología. Sus requerimientos nutricionales se cuentan dentro de los más altos de los cereales pero están por debajo de otros cultivos como soja, girasol o colza (Tabla 1). Es probable que, hasta hace poco tiempo atrás, haya sido el cultivo pampeano con mayor brecha tecnológica respecto de los rendimientos obtenidos en otros países del mundo. A esto contribuían factores ambientales (duración de la estación de crecimiento, temperaturas durante el llenado de granos, coeficiente fototermal, riesgo de fusariosis de la espiga en algunas regiones trigueras), del sistema productivo (producción en doble cultivo que privilegia el acortamiento de los ciclos y la utilización de cultivares sin requerimientos de vernalización), genéticos (germoplasma con potencial de rendimiento acotado) y de manejo (menor uso de insumos respecto de cultivos estivales). Sin embargo, buena parte de esta brecha fue superada en los últimos años, permitiendo un incremento sostenido en los rendimientos que alcanzaría su apogeo durante la campaña 2007/08.

Tabla 1: *Requerimientos e índice de cosecha de nutrientes en Trigo. Fuente: Ciampitti y García, 2007. IPNI*

Nutriente	Requerimiento	Ind. Cosecha
	<i>kg/ton</i>	
N	30	0,69
P	5	0,80
K	19	0,21
Ca	3	0,14
Mg	4	0,63
S	5	0,34
B	0,025	-
Cu	0,010	0,75
Fe	0,137	-
Mn	0,070	0,36
Zn	0,052	0,44

Manejo de la fertilidad nitrogenada.

El Nitrógeno (N) es el principal elemento requerido para la producción de los cereales de invierno, como es el caso del trigo. Deficiencias de este nutriente reducen la expansión foliar, provocan su prematura senescencia y afectan la tasa fotosintética, dando como resultado una menor producción de materia seca y grano. Por otra parte, la disponibilidad de N afecta su concentración en el grano, interviniendo así en la determinación del contenido proteico, principal determinante de la calidad comercial del grano cosechado. La incidencia del N sobre los dos factores, rendimiento y contenido de proteína, hacen que su manejo sea estratégico para la producción del cultivo. Por otra parte, ambos factores suelen comportarse como antagónicos. Así, la obtención de rendimientos elevados trae como consecuencia bajos contenidos proteicos. Esto puede paliarse al menos en parte con un manejo planificado de la fertilización nitrogenada, destinado a ajustar dosis de aplicación que aporten N en cantidad suficiente para cubrir los requerimientos de rendimiento y contenido de proteína. Otra estrategia apropiada puede ser la aplicación particionada del nutriente, en los momentos más oportunos para aumentar los rendimientos (aplicaciones tempranas) e incrementar su concentración en el grano (mediante aplicaciones más cercanas al período reproductivo).

Tal vez el aspecto más dificultoso a la hora de realizar un correcto diagnóstico de fertilidad nitrogenada, es su fuerte interacción con el ambiente. La respuesta a la fertilización se relaciona en forma directa con la demanda del nutriente, la cual se incrementa al aumentar el rendimiento potencial. Por este motivo, aquellos factores que reducen la expectativa de rendimiento, reducen también la eficiencia de uso del nitrógeno (EUN) agregado por fertilización. Esto justifica que, en aquellas regiones donde el cultivo presenta frecuentes limitaciones a la productividad, como altas temperaturas, baja latitud, riesgo de fusariosis o presencia de calcáreo a poca profundidad, se utilicen bajas dosis de fertilizante nitrogenado. Por el contrario, regiones como el sudeste de Buenos Aires, bajo ambientes de suelo profundo y buena recarga del perfil, presentan EUN elevadas y suelen recibir dosis altas de N.

Por cultivarse en una estación seca como el invierno, el rendimiento de trigo guarda una relación directa con el agua disponible almacenada a la siembra del cultivo. En suelos profundos, esta puede definirse como el agua que se encuentra entre capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez (PMP) hasta 2 m de profundidad. Esta relación es más acentuada en algunas regiones i.e. la región triguera norte, de mayor demanda ambiental, pero se cumple en toda las zonas de cultivo de nuestro país, como el centro de Santa Fe (Fontanetto et al., 2009), el norte de Córdoba (Martelotto et al, 2004) o el sur de Buenos Aires (Galantini et al., 2009). Entonces, la disponibilidad de agua, al condicionar el rendimiento, también lo hace con la respuesta a la fertilización nitrogenada. En un trabajo realizado sobre 53 lotes de producción de trigo sobre Argiudoles típicos del norte de Buenos Aires, en los partidos de Pergamino y Chivilcoy, Alvarez et al, (2001) observaron que los rendimientos se asociaban a la disponibilidad de N cuando las precipitaciones de junio, julio y agosto superaban los 74 mm, pero eran erráticos y no había respuesta a N si las lluvias no alcanzaban este límite (Figura 1).

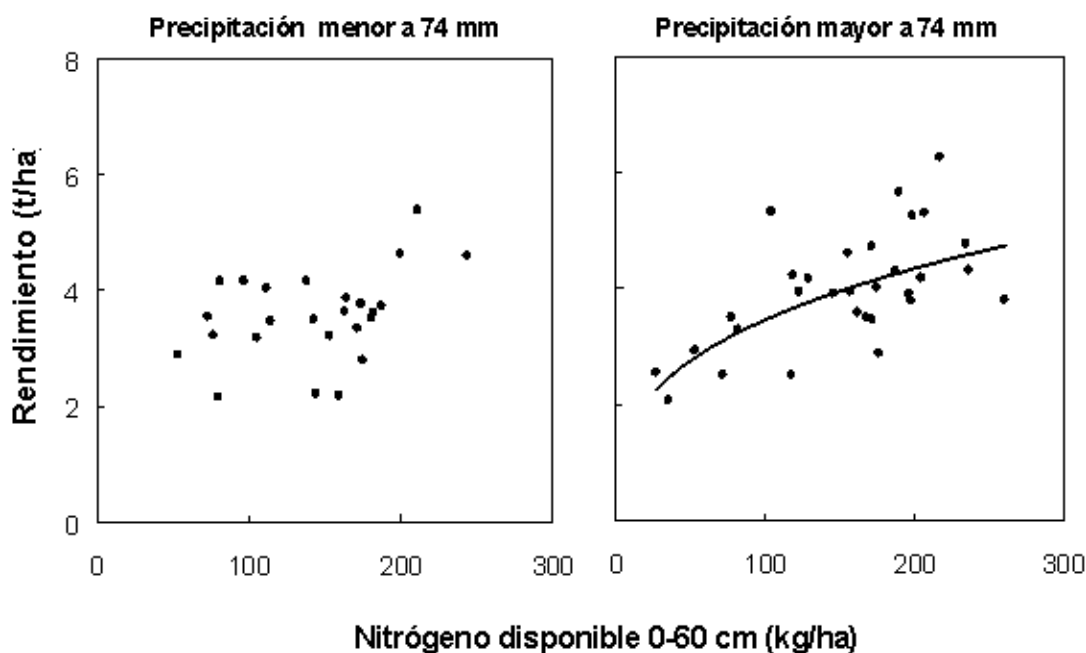


Figura 1: Relación entre rendimiento de trigo y el nitrógeno disponible a la siembra (0-60 cm) en 53 lotes de producción de los partidos de Pergamino y Chivilcoy, bajo dos escenarios de precipitaciones: menor o mayor a 74 mm en los meses de junio, julio y agosto. Tomado de Álvarez et al., 2001.

Como no es posible conocer de antemano la magnitud de las lluvias invernales, y estas son escasas si se las compara con la capacidad de almacenaje de los suelos pampeanos, una certera evaluación del agua disponible inicial es entonces un paso previo a la determinación de la dosis de N a aplicar. Cuando la condición hídrica es adecuada, el rendimiento de trigo se asocia a la disponibilidad de N en suelo, y su contenido inicial a la siembra ha sido utilizado como indicador de diagnóstico. Una red de 14 ensayos que abarcó el norte, centro y oeste de Buenos Aires durante los años 2006 y 2007 permitió establecer que se

podría alcanzar un rendimiento igual al 95 % del máximo con alrededor de 130 kgN ha⁻¹, sumando el disponible a la siembra hasta 60 cm de profundidad, y el agregado como fertilizante (Ferraris y Mousegne, 2008)(Figura 2). Este umbral sería válido para cultivares de genética nacional y europea – tipo Baguette-, ya que si bien estos alcanzarían rendimientos levemente superiores a igual disponibilidad de N, la función de respuesta de ambos genotipos no difiere significativamente. Este mismo esquema ha sido utilizado para realizar recomendaciones de fertilización nitrogenada en cebada, especialmente con el advenimiento de cultivares de alto rendimiento como Scarlett (Loewy et al., 2008). La menor biomasa total acumulada por este cultivo, y la tendencia de la variedad Scarlett a mantener niveles acotados de proteína en los granos, hace que los requerimientos y el umbral crítico de esta especie sean más bajo con relación al trigo (Figura 3).

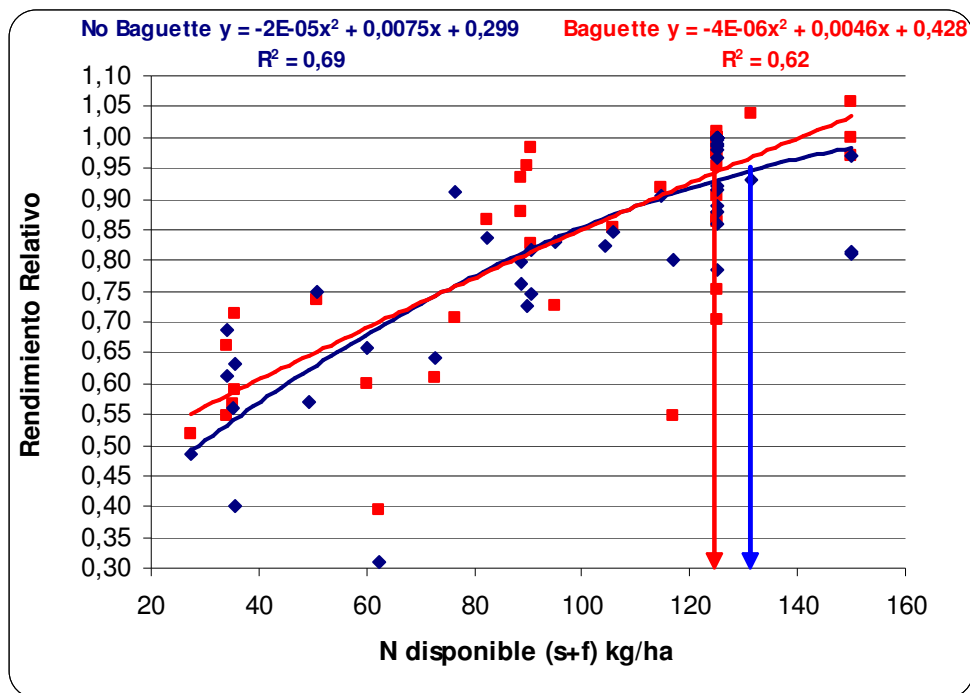


Figura 2.a

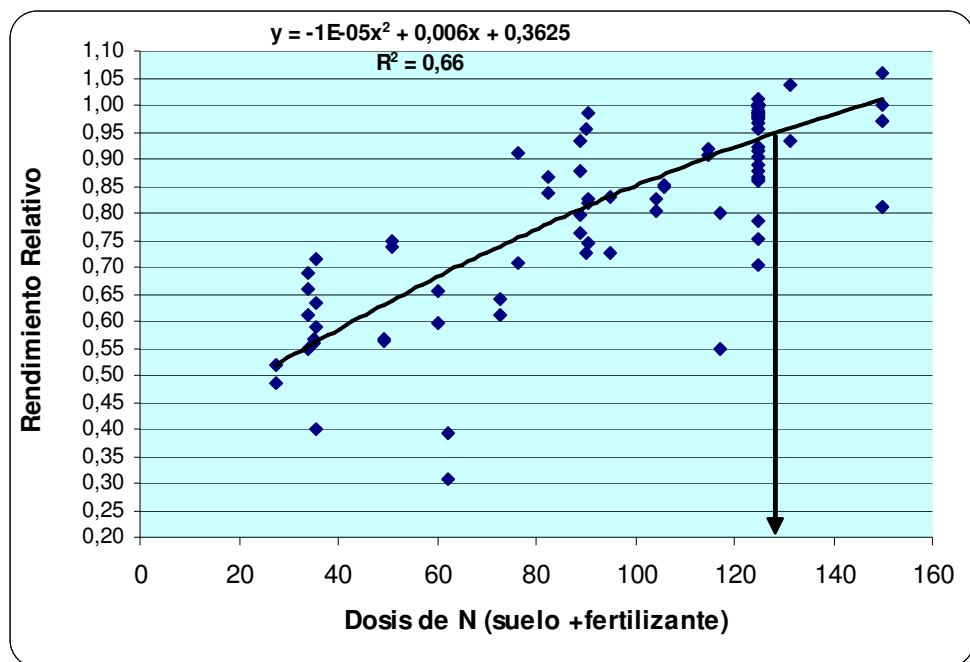


Figura 2.b

Figura 2: Relación entre el Rendimiento Relativo al máximo y la disponibilidad de N (suelo 0-60 cm+ fertilizante) en trigo en el norte, centro y oeste de Nuevos Aires para: a) dos perfiles de genotipos –Baguette en Rojo, no

Baguette en azul y b) toda la red. Las flechas verticales indican el nivel de N necesario para alcanzar un RR=0,95 del máximo. Ferraris y Mousegne, 2008.

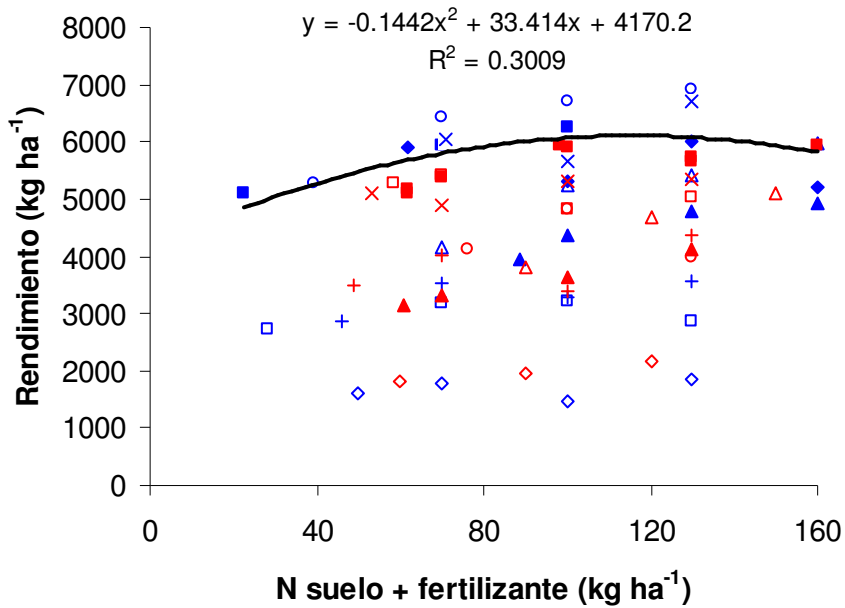


Figura 3: Rendimiento en función de la oferta de N (suelo+fertilizante, 0 - 60 cm) en cebada cervecera Cultivar Sacarlett. Los ensayos fueron realizados en el SO y NO de la provincia de Buenos Aires. La línea indica la función ajustada a los ambientes de mayor rendimiento (Puan, San Francisco Belloq, Trinidad y Bragado en el 2005 y Bragado en el 2006). Tomado de Loewy et al., 2008

En el centro –norte de Buenos Aires, sur de santa Fe y otras regiones ubicadas más al norte o al oeste, el diferimiento de la fertilización de la siembra al macollaje suele traer como consecuencia una disminución en los rendimientos asociado a incrementos en el porcentaje de proteína. Este comportamiento está indicando una menor eficiencia del N aplicado en macollaje para incrementar los rendimientos, y se explica por la menor frecuencia e intensidad de las precipitaciones que acompañan el ingreso al invierno, lo cual disminuye las posibilidades de incorporación de los fertilizantes. Este comportamiento fue observado en localidades tan distantes como Pergamino (Figura 4.a) (Baumer et al., 1997), Necochea o Tres Arroyos (Figura 4.b) (Chevallier y Toribio, 2006. b.c).

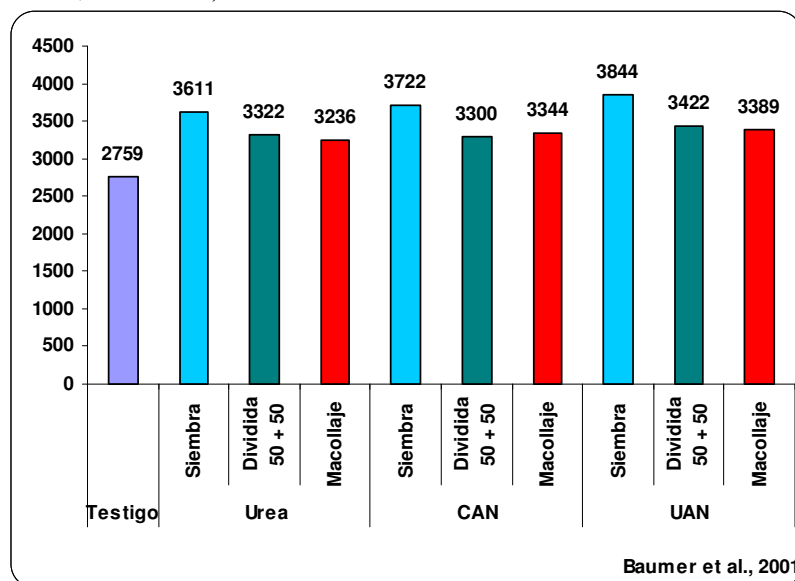


Figura 4.a

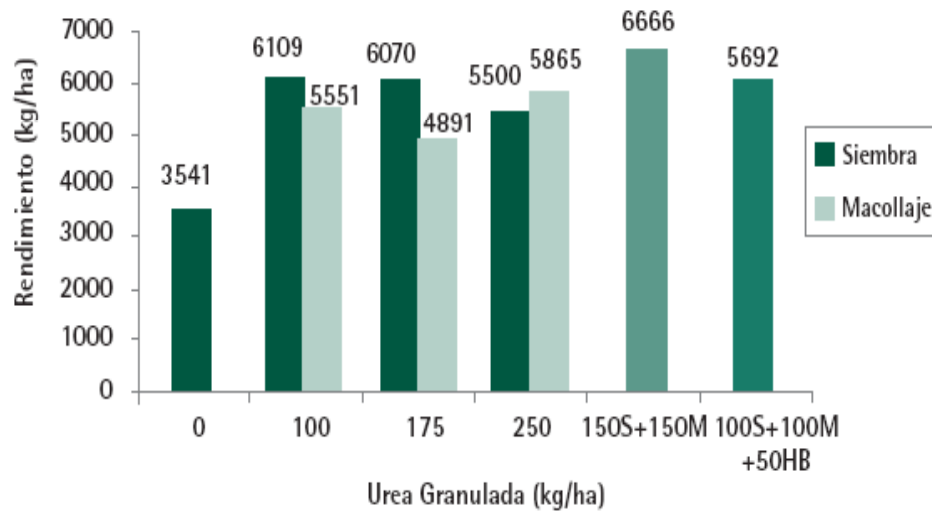


Figura 4.b

Figura 4: Rendimiento de trigo resultado de a) diferentes fuentes y momentos de aplicación de nitrógeno en Pergamino y b) dosis y momentos aplicación de fertilizante nitrogenado en Tres Arroyos. En ambos casos, No se registraron excesos hídricos que pudieran ocasionar pérdidas de Nitrógeno en el sitio. Adaptado de Baumer et al., (1997) y Chevallier y Toribio, 2006.b

En el sudeste de Buenos Aires, la frecuente recarga otoñal de los suelos y la mayor probabilidad de excesos hídricos entre siembra y fin de macollaje determinan cierto riesgo de pérdidas de N por lixiviación, cuando es aplicado a la siembra. Por este motivo, Barbieri et al, (2008.a, b) observaron mayor eficiencia para las aplicaciones de macollaje respecto de siembra en seis de cada diez sitios, entre 2005 y 2008.

Suelos saturados de humedad o presencia de napa cercana a la superficie podrían hacer recomendable postergar la aplicación de N hacia el macollaje. Lo mismo sucedería cuando se aplica N en cobertura sobre residuos voluminosos de alta relación C/N. Esta situación suele presentarse cuando se siembran cultivares de trigo de ciclo largo sobre antecesor maíz recientemente cosechado, y no se dispone de la posibilidad de incorporar el N en el suelo. La alta relación C/N de estos residuos, inmovilizaría el N bajo formas orgánicas, volviendo a estar disponible más allá de la etapa de macollaje. Aplicaciones diferidas, cuando la relación C/N ha descendido, hacen que el nutriente permanezca en forma de nitratos, posibilitando una más rápida absorción por el cultivo invernal, resultando en mayor EUN. Esto explicaría los mejores rendimientos de un ensayo conducido bajo estas condiciones en la localidad de Bragado (Figura 5).

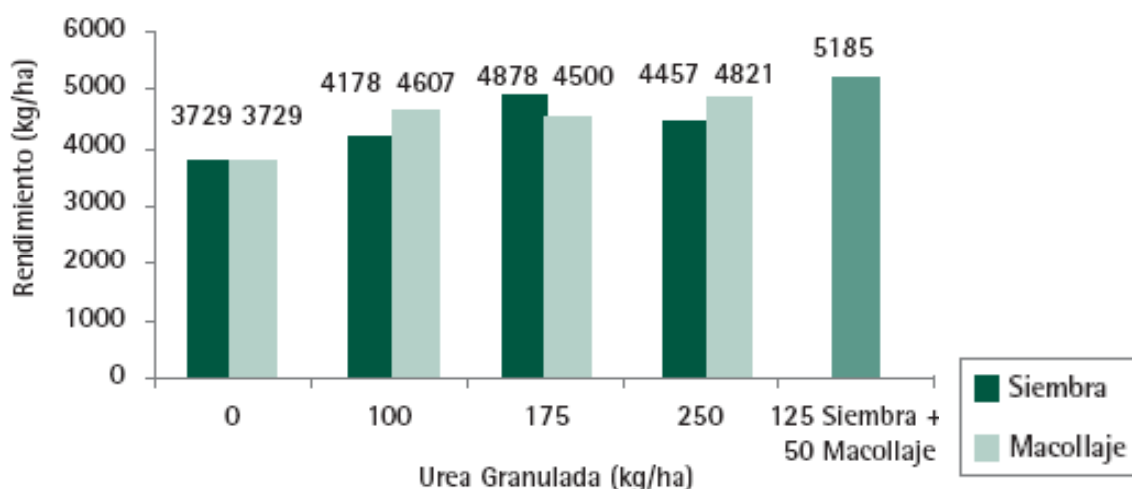


Figura 5: Rendimiento de trigo resultado de diferentes dosis y momentos de aplicación de fertilizante nitrogenado en superficie sobre residuos voluminosos de un cultivo de maíz en la localidad de Bragado. No

se registraron excesos hídricos que pudieran ocasionar pérdidas de Nitrógeno en el sitio. Adaptado de Chevallier y Toribio, (2006.a)

Finalmente, existe la posibilidad de realizar aplicaciones tardías de N, cuando las condiciones ambientales hayan sido desfavorables para aplicar el N a la siembra o durante la etapa de macollaje. El estado de hoja bandera (Zadoks 39, Zadoks et al., 1974) es el más tardío que permitiría incrementar el rendimiento, mientras que la concentración proteica podría ser modificada aún hasta inicios de formación de grano (Zadoks 69 a 71). Por su rápida absorción (hasta 50 % en dos horas), para las aplicaciones tardías son preferidas las fuentes de uso foliar, siempre que la combinación de dosis y concentración del nutriente sea suficientemente para modificar el estado nutricional del cultivo. Por lo general, el N aplicado es absorbido en forma eficiente por el cultivo, y particionado a una mejora del rendimiento o la proteína en función no sólo del momento de aplicación, sino también del nivel previo de N con que contaba el cultivo. Cuando el N inicial es bajo, la aplicación de foliar es apta para incrementar el rendimiento, por el contrario, si la oferta inicial ha saturado la respuesta a N, sería concentrado en los granos aumentando el nivel de proteína (Figura 6). La aplicación tardía de N ha sido propuesta como una herramienta para realizar aplicaciones correctivas en cebada cv Scarlett ante situaciones de elevado rendimiento y, como consecuencia, probables limitaciones para mantener la proteína en el rango óptimo. En este caso, la estrategia pasa por diferir la aplicación foliar hasta el estado de antesis (Figura 7)

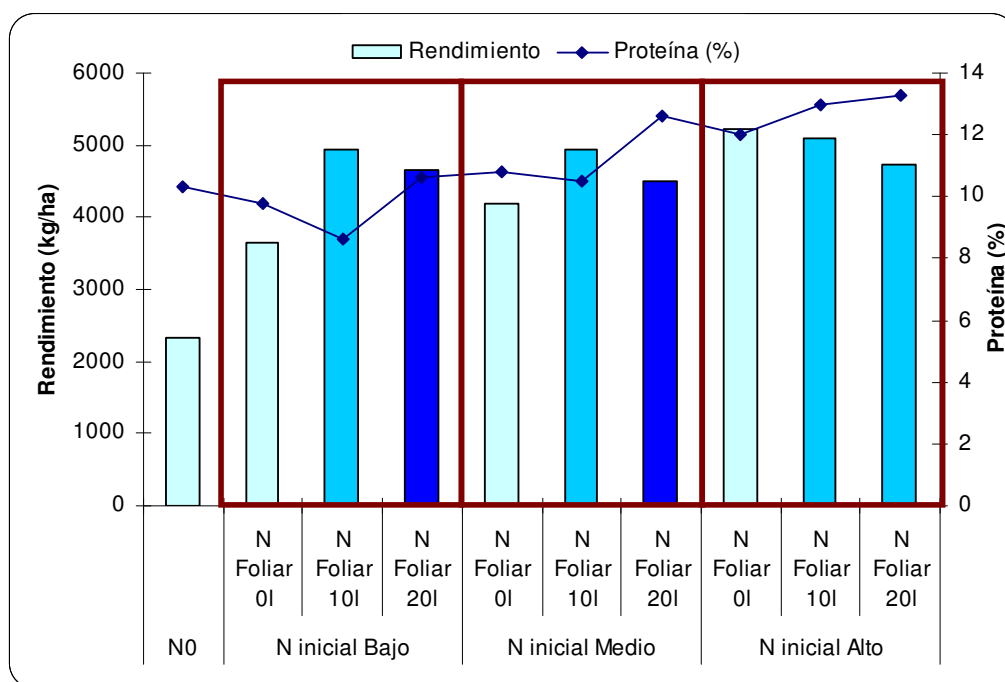


Figura 6: Rendimiento de grano y concentración de proteína en función de diferentes estrategias de fertilización inicial al suelo y de aplicaciones tardías por vía foliar. Pergamino, año 2006. Tomado de Ferraris et al., 2007.

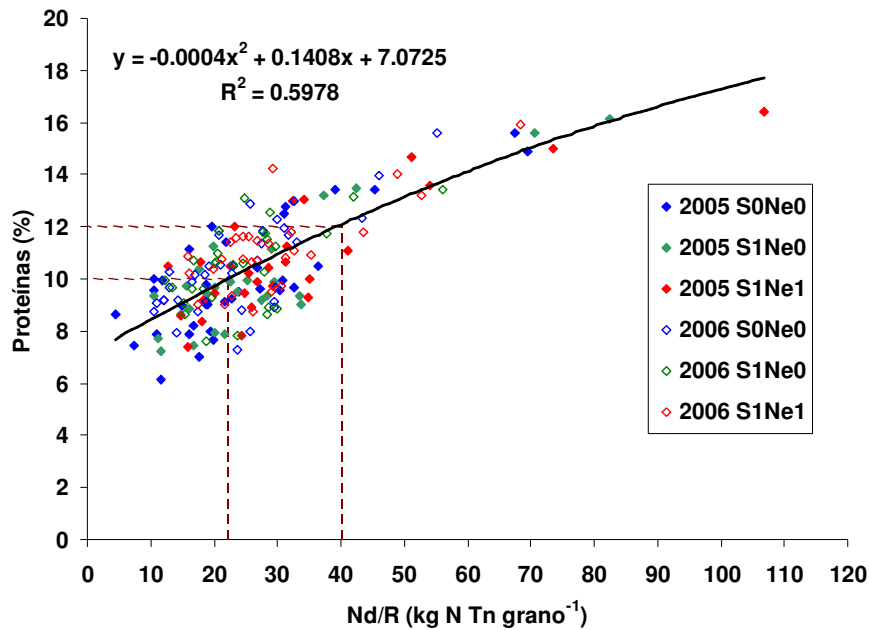


Figura 7: Relación entre el contenido proteico de los granos y el cociente entre la disponibilidad inicial de N en el suelo mas el aportado por el fertilizante y el rendimiento obtenido (Nd/R). Se indica la ecuación ajustada ($n = 183$). Cuando el Nd / R es < 23, se esperan niveles de proteínas < a 10 % y se recomienda intervenir con una aplicación foliar para no ser castigado en la comercialización. Prystupa et al., 2008.

Manejo sitio-específico de la fertilización nitrogenada:

Aun dentro de un mismo lote, la dosis óptima económica puede variar en función de la heterogeneidad natural o inducida por el manejo previo, que origina cambios en el rendimiento potencial del cultivo y en la capacidad del suelo para ofrecer N. El impacto económico de un manejo por ambientes o sitio-específico dependerá de 1. el grado de variabilidad existente en el lote, siendo deseable grandes diferencias a nivel de macroescala 2. que esta variabilidad esté acotada, y exista poca variabilidad a microescala, donde difícilmente podrá ser identificada y manejada . 3. que la causa de variación pueda ser reconocida e interpretada y 4. de la capacidad para diseñar funciones de respuesta específicas para cada uno de los sitios que se propone manejar diferente.

En la Región CREA Mar y Sierras, González Montaner et al., citado por García (2008) proponen definir objetivos de N (suelo 0-60 cm + fertilizante) de 125 o 175 kg Nha⁻¹ en función de la profundidad efectiva de suelo, su contenido hídrico inicial y las precipitaciones hasta fin de septiembre. De ser necesario, se definen valores de índice verde en base a Spad y sensores remotos. En Argiudoles típicos de la zona de San Antonio de Areco, López de Sabando et al (2008) estudiaron diversas metodologías para clasificar ambientes, como mapas de rendimiento, índices verdes integrados a partir de imágenes satelitales Landsat, mapas de suelo, antecedentes de manejo proporcionados por el productor y una integración estandarizada de estas metodologías. En general, se observó las distintas metodologías coincidían en zonas de alta y media productividad pero no así en las de baja. La utilización de mapas de rendimiento y la integración estandarizada de todas las herramientas aparecieron como alternativas apropiadas para discriminar ambientes en un rango amplio de niveles de productividad. Contrariamente a lo esperado, la zona de mayor EUN y a la que se recomienda la dosis más alta no siempre es la de mayor rendimiento, correspondiendo algunas veces a ambientes empobrecidos con baja materia orgánica y muy baja dotación de N inicial (López de Sabando, comunicación personal)

Consideraciones finales

La dinámica propia del nutriente determina la imposibilidad de realizar un correcto diagnóstico a partir de un único indicador de suelo o cultivo. Por el contrario, para alcanzar EUN que hagan rentable la

fertilización es necesario interpretar en forma precisa la capacidad productiva del ambiente, cuantificar indicadores de la oferta actual y potencial del nutriente a lo largo del ciclo y, por último, definir estrategias de aplicación– momento – fuente – dosis fija o variable – que garanticen la máxima recuperación minimizando eventuales vías de pérdida del sistema.

Bibliografía:

- * Alvarez R., Steinbach, H.S., Grigera, S., García, R. 2001. Disponibilidad de nitrógeno y rendimiento de trigo en la Pampa Ondulada. *Fertilizar*, 22: 6-
- * Barbieri P. A., H. E. Echeverría, y H. R. Sainz Rozas. 2008a. Nitratos en el suelo a la siembra o al macollaje como diagnóstico de la nutrición nitrogenada en trigo en el sudeste bonaerense. *Actas CD XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. San Luis. AACCS.
- * Barbieri P. A., H. R. Sainz Rozas, y H. E. Echeverría. 2008b. El modelo de simulación CERES Trigo como herramienta para evaluar el manejo de la fertilización nitrogenada en el sudeste bonaerense. *Actas CD XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. San Luis. AACCS.
- * Baumer C, Devito C, González N. 1997. Momentos de aplicación de nitrógeno en siembra directa en trigo. *Rev. Tec. Agrop.* 2(4): 5-7.
- * Chevallier Boutell, S., y M. Toribio. 2005.a. Ensayos de fertilización nitrogenada en Bragado (Prov. Buenos Aires). *Profertil: Investigación y Desarrollo*. N° 3. 4 pp.
- * Chevallier Boutell, S., y M. Toribio. 2005.b. Ensayos de fertilización nitrogenada en Bragado (Prov. Buenos Aires). *Profertil: Investigación y Desarrollo*. N° 3. 4 pp.
- * Chevallier Boutell, S., y M. Toribio. 2005.c. Ensayos de fertilización nitrogenada en Tres Arroyos (Prov. Buenos Aires). *Profertil: Investigación y Desarrollo*. N° 6. 4 pp.
- * Ciampitti I. y F. García. 2007. Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios: Cereales, Oleaginosos e Industriales. *Informaciones Agronómicas* No. 33. *Archivo Agronómico* No. 11. pp. 1-4. IPNI Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires.
- * Ferraris, G. y F. Mousegne (eds.). 2008. Efecto de diferentes estrategias de fertilización sobre el rendimiento y la calidad de perfiles de genotipo de trigo pan en el norte, centro y oeste de la provincia de Buenos Aires. *Campaña 2006/07 y 2007/08. Trigo. Resultados de Unidades Demostrativas. Proyecto Regional Agrícola*. pp 61-72.
- * Ferraris, G., L. Couretot y J.C. Ponsa. 2007. Evaluación del efecto de un fertilizante foliar nitrogenado sobre el rendimiento, sus componentes, la eficiencia de uso del nitrógeno y la calidad en cebada cervecera y trigo. *Información técnica de Trigo y otros cultivos de invierno, campaña 2007*. Publicación Miscelánea N°107. INTA EEA Rafaela 45:56.
- Fontanetto, H, O. Keller, J. Albrecht, P. Rufino, J. Borsarelli, M. Sillón, L. Belotti, C. Negro y D. Giailevra. La importancia del agua edáfica a la siembra como estimador de los rendimientos del trigo en el área central de Santa Fe. Disponible on line www.econoagro.com. Publicado 13-mar-2009.
- * García, F. 2008. Manejo nutricional del cultivo de trigo: ¿Dónde estamos y dónde vamos?. En: *Actas Jornadas A Todo Trigo*. Mar del Plata, 8 y 9 de Mayo de 2008. FCEGAG.
- * López de Sabando., M., Díaz Zorita, M. Otegui, F. Mousegne y P. Mercuri. 2008 Zonas de manejo agrícola en Argiudoles. IV. Productividad de Trigo. En: *XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. San Luis. (CD Rom).
- * Loewy T., R. Bergh, G. Ferraris, L. Ventimiglia , F.H. Gutierrez Boem y P. Prystupa. 2008. Fertilización de Cebada Cervecera Cv. Scarlett: I. Efecto del Nitrógeno inicial. En: *XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. San Luis. (CD Rom).
- * Martelotto, E., A. Salinas, H. Salas, E. Lovera J. Giubergia, V. Capuccino, C. López, O. Signorile S. Lingua, C. Alvarez, M. Cantarero, G. Viotti. 2005 Trigo: un aporte a la sostenibilidad de los sistemas productivos. En: *Trigo en Siembra directa*. Revista Técnica AAPRESID. pp 5-16
- * Prystupa, P. G. Ferraris., R. Bergh, T. Loewy, L. Ventimiglia y F.H. Gutierrez Boem. 2008. Fertilización de Cebada Cervecera cv. Scarlett: IV. Modelo de respuesta del contenido proteico a la Fertilización Nitrogenada. En: *XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. San Luis. (CD Rom).
- * Villar, J. 2001. Economía del agua en el cultivo de trigo. INTA, Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. *Información Técnica de Trigo*. Campaña 2000. Publicación Miscelánea N° 92.