

los cultivos se determinó (0-20 cm) materia orgánica (MO), N orgánico (NO), P extractable y pH (Tabla 3). A la siembra y al macollaje se determinó la humedad del suelo y su densidad aparente en capas de 20 cm de espesor hasta los 140 cm de profundidad o hasta la tosca, y el contenido de N de nitratos hasta los 60 cm de profundidad. Se registraron las precipitaciones mensuales desde siembra a cosecha en cada sitio. En madurez fisiológica del cultivo se determinó el rendimiento de grano (14% de humedad). El diseño experimental fue variable estando los experimentos en general bloqueados con tres repeticiones asignadas al azar dentro de cada bloque. Las parcelas fueron de 10 x 10 m. Los resultados de la red se analizaron por técnicas de regresión múltiple. Se testearon efectos lineales, cuadráticos e interacciones empleando modelos de superficie (Colwell, 1994). Se consideraron como variables categóricas sistema de

labranza, profundidad del suelo, textura y momento de fertilización nitrogenada. Las variables solo fueron aceptadas para ser incorporadas al modelo cuando su efecto era significativo a $P = 0.05$ y el modelo a $P = 0.01$. El test de t entre pares de datos se usó para analizar el efecto momento de aplicación.

Resultados y Discusión

La eficiencia agronómica media de las fuentes de fertilizante N fueron semejantes (aproximadamente, 7 kg grano kg^{-1} N), por lo que para la construcción del modelo se sumaron las fuentes a fin de simplificar su uso. Se generó un modelo que explicó el 48% de la variabilidad del rendimiento de trigo utilizando como variables independientes la humedad a la siembra, el N orgánico del suelo, el contenido de N mineral del suelo más la dosis de N del fertilizante,

Tabla 2. Tipo de ensayo y fertilizante, dosis de N y P y momentos de aplicación de N.

Tipo de Ensayo	Nº de Ensayos	Tipo de fertilizante	Dosis de N (kg N/ha)	Dosis de P (kg P/ha)	Momento de aplicación
Momentos de N y dosis de N y P	35	Urea y SFT	50 y 100	15 y 30	Dividida, siembra y macollaje
Dosis variables de N solo y N + P	10	Urea, SFT y FDA	Variable	30	Siembra
Fuentes nitrogenadas y dosis	4	Urea, SA y UAN	50, 75 y 100	0	Siembra y macollaje
Dosis de N	4	Urea	40 y 80	0	Siembra
N y N + P, P en línea y voleo	9	Urea y SFT	50 y 100	30	Siembra
Dosis y momentos de N	23	Urea	50 y 100	0	Siembra y macollaje

SFT: superfosfato triple. SA: sulfato de amonio. FDA: fosfato diamónico

Tabla 3. Contenidos de N orgánico (NO), materia orgánica (MO), P extractable y humedad de los suelos y lluvias registrados.

	NO	MO	N-Nitratos 0-60 cm (kg/ha)	P Bray-1 0-20 cm (ppm)	pH 0-20 cm	Humedad del suelo 0-60 cm		Precipitación Siembra-Cosecha
	0-20 cm (%)					Siembra	Macollaje	
Rango	0.03-0.16	0.60-3.20	15.7-221	2.4-51.6	5.2-7.1	66.0-453.0	56.5-419.0	47-713
Media	0.10	1.75	55.3	17.6	6.2	237.0	222.0	398
Desvío	0.03	0.52	26.9	11.4	0.43	88.0	80.7	147

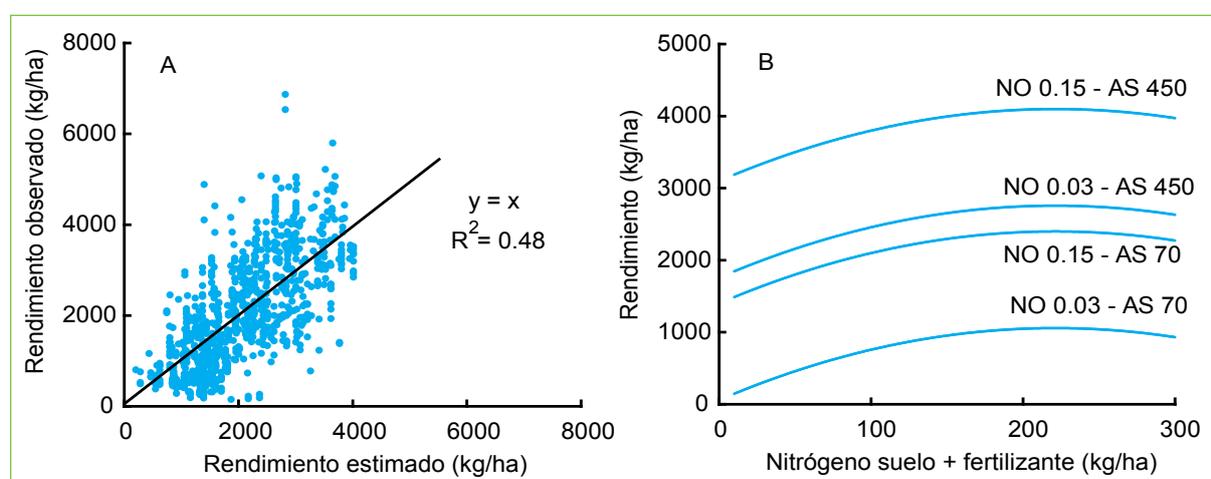


Figura 2. a- Relación entre el rendimiento observado y el estimado por el modelo y b- rendimiento estimado en función de la disponibilidad de N mineral para escenarios con niveles altos y bajos de N orgánico (NO) y humedad a la siembra (HS).

la profundidad del perfil, la textura y el sistema de labranza (Fig. 2):

$$\text{Rendimiento (kg/ha)} = -2400 + 10.4 \text{ HS} - 0.0114 \text{ HS}^2 + 36000 \text{ NO} - 139000 \text{ NO}^2 + 9.03 \text{ NSF} - 0.0204 \text{ NSF}^2 + 534 \text{ P} + 290 \text{ T} - 686 \text{ SL}$$

Donde: HS: humedad a la siembra (mm), NO: N orgánico, NSF: N de nitratos 0-60 cm más N del fertilizante (kg/ha), P: profundidad del suelo (0 menor a 60 cm y 1 mayor a 60 cm), T: textura (0 más de 70% de arena, 1 menos de 70% de arena), SL: sistema de labranza (0 SD y 1 LC).

No se encontraron relaciones significativas del rendimiento con el nivel de P extractable del suelo o la dosis de fertilizante fosforado, con el momento de aplicación de N o con las precipitaciones durante el ciclo del cultivo.

La humedad a la siembra y variables relacionadas con una mayor capacidad de retención de agua en el perfil como la profundidad y la textura tuvieron incidencia en el rendimiento. También el sistema de labranza impactó significativamente en el rendimiento, ya que afectó asimismo el contenido de agua almacenada, siendo esta mayor comúnmente bajo siembra directa. Estos resultados confirman trabajos previos realizados en la región (Bono et al., 1997; Bono y Quiroga, 2003). La disponibilidad de N orgánico y mineral afectó marcadamente el rendimiento del trigo pero no la de P, lo que puede atribuirse a que los niveles de P extractable de los sitios experimentales eran altos, limitando esto la respuesta a este nutriente. Los coeficientes de determinación parcial fueron 0.30 para humedad a la siembra, 0.22 para sistema de labranza, 0.11 para nitrógeno orgánico, 0.10 para nitrógeno disponible y no significativo para la textura. Esto indica que el mayor peso en la explicación del rendimiento del trigo en esta región lo tienen variables relacionadas a la disponibilidad

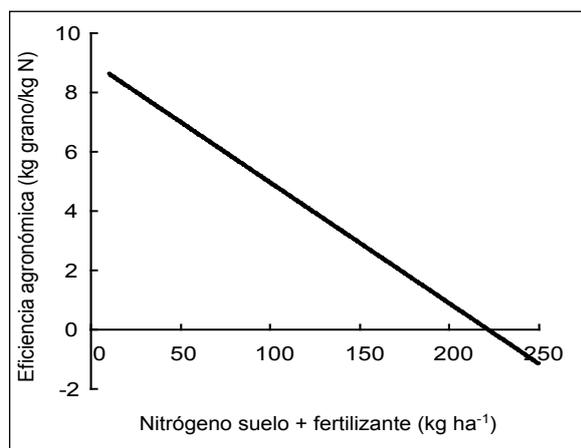


Figura 3. Eficiencia agronómica del N del suelo más el fertilizante estimada con el modelo generado. Esta función representa la pendiente de la curva de rendimiento estimada con el modelo de regresión múltiple generado para un gradiente de nitrógeno disponible.

de agua para el cultivo, siendo el impacto de las variables de fertilidad menor. Si bien el efecto del nitrógeno disponible explicó solamente un 10% del rendimiento esta es el mejor modelo posible de generar sobre la base de la red experimental usada. La respuesta que predice dicho modelo es una respuesta promedio pero existe una amplia dispersión de la misma que no puede ser predicha sobre la base de la información existente.

La dosis de N económicamente óptima depende de la relación de precios fertilizante/grano (Loewy y Ron, 1996). La eficiencia agronómica de la red experimental, estimada usando el modelo desarrollado, fue baja, no superando valores de 8.5 kg grano/kg N (Fig. 3). Cuando la relación de precios es alta (8.5 o más) no conviene fertilizar en la región (Tabla 4). Para relaciones de precios menores, la fertilización nitrogenada puede ser rentable, según el nivel de N de nitratos del suelo. Esta dosis no depende de otros factores pues no se detectaron interacciones significativas entre los efectos de la disponibilidad de nitrógeno y las demás condiciones ambientales.

El momento de aplicación de N no fue una variable con efecto significativo sobre el rendimiento de trigo. Tampoco impactó significativamente sobre la respuesta a la fertilización (Fig. 4a). Las respuestas promedio de la red fueron similares a la siembra o al macollaje. El análisis de situaciones donde se produjeran variaciones importantes de la humedad del suelo entre esos momentos del ciclo tampoco mostró efectos del momento de la fertilización sobre la respuesta (Fig. 4b). Tanto en casos donde la humedad a la siembra era baja y aumentaba al macollaje, como en situaciones donde inicialmente se disponía de alta humedad y el suelo se secaba posteriormente, no se evidenció ninguna tendencia de las diferencias en la respuesta del cultivo al momento de fertilización. Esto concuerda con el análisis de datos de otras subregiones de la Región Pampeana que ha mostrado también la falta generalizada de efecto del momento de fertilización sobre la respuesta de trigo a N y puede atribuirse estos resultados a las escasas pérdidas de N que se producen en las etapas iniciales del ciclo del cultivo (Alvarez y Steinbach, 2006).

Las dosis de N a aplicar deben determinarse sobre la base de la relación de precios fertilizante/grano y el contenido de N de nitratos del suelo en los primeros 60 cm del perfil. Es posible estimar este último valor con exactitud disponiendo del dato del contenido de N de nitratos en la capa 0-20 cm del suelo (Bono y Alvarez, 2007). El momento de aplicación depende de consideraciones de tipo empresarial. En aplicaciones a la siembra se asegura la ejecución de la fertilización en etapas tempranas del cultivo, y si por motivos diversos no pudiera realizarse en ese momento queda la opción de aplicar el N durante el macollaje. Por el contrario, si se decide la aplicación tardía, es posible inspeccionar el estado del cultivo previo a la aplicación de N y regular la misma en función del cultivo. Esta ventaja se contrapone al problema que por motivos climáticos o de otra índole pudiera no ser

posible la fertilización en ese momento. En este caso se perdería la oportunidad de realizar la práctica. La decisión del momento de la fertilización debe tomarse en función de estas consideraciones.

Referencias Bibliográficas

Alvarez R. y H.S. Steinbach. 2006. Salidas de nitrógeno del agrosistema. En *Materia orgánica: valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos*, Cap. 9. Ed. R. Alvarez. Pág. 99-121. Editorial Facultad de Agronomía-UBA, Buenos Aires, Argentina.
Bono A. 2002. Trigo: Evaluando las necesidades de su fertilización en la región subhúmeda pampeana. *Revista Fertilizar* N° 26. pág. 10-11. Abril 2002.
Bono A. y R. Alvarez. 2007. Estimación de nitratos en profundidad en suelos de la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana. *Informaciones Agronómicas* 33: 25-26.
Bono A., Montoya J.C., Lescano P. y F.J. Babinec. 1997. Fertilización de trigo con nitrógeno y fósforo en la región semiárida

pampeana. Campaña 1997. *Publicación Técnica* N° 47. EEA Anguil INTA. 22 pág.
Bono A., Montoya J.C., Colazo R. y F.J. Babinec. 1998. Fertilidad y Fertilización en labranza Convencional. In: *Capítulo V. Actualización Técnica del cultivo del trigo en la Provincia de La Pampa. Publicación de Divulgación Técnica* N° 58. EEA Anguil INTA. pp. 33-43.
Bono A. y A Quiroga. 2003. Avances en el ajuste de la fertilidad en el cultivo de trigo en la región semiárida y subhúmeda pampeana. In: *Trigo: Actualización 2003. Boletín de Divulgación Técnica* N° 76. EEA Anguil INTA. pág. 17-32.
Bono A., Quiroga A., Joui R. y A. Corro Molas. 2004. Estrategias para el manejo de la fertilidad en suelos de la Región Semiárida Pampeana. In: *Trigo: Actualización 2004. Boletín de Divulgación Técnica* N° 83. EEA Anguil INTA. pp 29-33.
Colwell J.D. 1994. *Estimating Fertilizer Requirements. A Quantitative Approach.* CAB International, UK, pp. 259.
Loewy T. y M. Ron. 1996. Dosis de nitrógeno para trigo en el SO bonaerense. *EEA Bordenave INTA. Boletín de Divulgación* N° 35. ■

Tabla 4. Dosis de N a aplicar a cultivos de trigo en la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana en función de la relación de precios fertilizante/grano y el nivel de N de nitratos del suelo hasta 60 cm de profundidad (precio del fertilizante: precio del kg de N puesto en el campo, precio del grano: precio neto del kg de grano luego de descontar los costos de cosecha, flete y comercialización). Dosis calculadas sin considerar un costo de aplicación del N, asumiendo que el fertilizante puede aplicarse con la sembradora al implantar el cultivo. Cuando es necesaria una labor adicional para la fertilización, para un costo de aplicación de 5 U\$S/ha, no se deben aplicar dosis menores a 40 kg N/ha para que se compense el costo de la fertilización y la práctica sea rentable.

Nitrógeno de nitratos (kg/ha)	Relación de precios					
	4	5	6	7	8	9
	Dosis (kg de N/ha)					
20	103	79	54	31	5	0
30	93	69	44	21	0	0
40	83	59	34	11	0	0
50	73	49	24	1	0	0
60	63	39	14	0	0	0
70	53	29	0	0	0	0
80	43	19	0	0	0	0
90	33	9	0	0	0	0
100	23	0	0	0	0	0
110	13	0	0	0	0	0
120	3	0	0	0	0	0
130	0	0	0	0	0	0

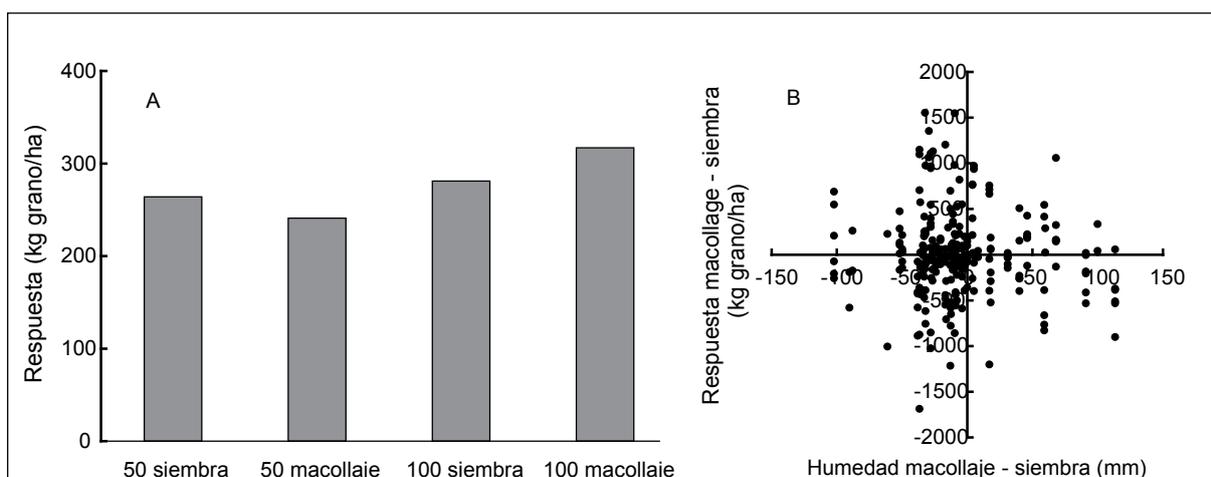


Figura 4. a- Respuesta promedio de 126 situaciones a aplicaciones de 50 o 100 kg N/ha a la siembra o el macollaje de trigo, b- relación entre el cambio en la humedad del perfil del suelo entre macollaje y siembra y la variación del rendimiento de trigo fertilizado en esos momentos.