

RESPUESTA ADITIVA A LA FERTILIZACIÓN CON NITRÓGENO, AZUFRE Y ZINC EN TRIGO.

RELACIÓN CON INDICADORES DE DIAGNÓSTICO

EXPERIENCIAS DE LA CAMPAÑA 2014/15

INTA EEA PERGAMINO

Ings Agrs Gustavo N. Ferraris⁽¹⁾, Fernando J. Mousegne⁽¹⁾ y J. Urrutia⁽²⁾.

1. UCT Agrícola INTA EEA Pergamino. Av Pte. Dr. Frondizi km 4,5 (B2700WAA) Pergamino 2. Bunge Argentina SA
ferraris@gustavo.inta.gob.ar

INTRODUCCIÓN

En la Región Pampeana Argentina, el trigo es aun hoy el cultivo de invierno que ocupa la mayor superficie (Fuente: MAGPyA). El uso más intenso del suelo y la falta de rotación han resultado en una disminución del contenido de materia orgánica (MO)(Sainz Rosas et al., 2011), y por consiguiente, se observa una respuesta generalizada al agregado de nitrógeno (N) en trigo. En la actualidad, el método de diagnóstico más difundido para determinar la necesidad de fertilización con N para maximizar el rendimiento o la respuesta económica a la fertilización se basa en la medición del contenido de nitratos en el suelo (0-60 cm) al momento de la siembra, lo cual sumado al aportado desde los fertilizantes, debe alcanzar un determinado objetivo de nitrógeno (N). En el sudeste bonaerense, se ha determinado una dosis óptima de 150-X (siendo X la cantidad de N en el suelo hasta los 60 cm a la siembra en kg N/ha), para variedades tradicionales, y de 170-X para una variedad de germoplasma de origen francés (Calviño et al., 2002), umbral que, con ligeros ajustes, es utilizado desde mucho tiempo atrás. En la Región Norte de Bs As, el menor rendimiento potencial fruto de las mayores temperaturas que suelen acompañar el período de llenado ha determinado umbrales inferiores, de entre 135 y 150 kgNha⁻¹, llegando hasta 160 kg en sitios de alto rendimiento, con productividades de 6000 kg ha⁻¹ (Ferraris & Mousegne, 2008; Ferrari et al., 2010; Ferraris et al., 2011)

Sin embargo, el N no es el único elemento relevante para el trigo, y con frecuencia se ha observado un interesante aporte del azufre (S) sobre la productividad del cultivo, tanto de manera directa al trigo como residual sobre soja de segunda siembra. Trabajos efectuados en maíz indican una correlación directa entre la respuesta a N y S, explicada a partir de la relación existente entre la fracción disponible de ambos elementos y la MO del suelo, así como también su comportamiento en la fisiología de las plantas (Ferraris, inédito).

Finalmente, se puede mencionar al Zinc (Zn) como un elemento de creciente importancia en gramíneas. El Zn participa como activador de numerosas reacciones enzimáticas. Su carencia afecta el crecimiento de las plantas, y es más frecuente en suelos con baja disponibilidad, bajo contenido de materia orgánica y elevada fertilización con fósforo (P)(Ferraris et al., 2010 a.; b; Torri et al., 2010)

El objetivo de esta investigación fue evaluar la respuesta a N, S y Zn, y correlacionarla con indicadores de diagnóstico. Hipotetizamos que 1. Los nutrientes mencionados incrementan los rendimientos del trigo en Siembra directa y 2. La respuesta es predecible a partir de indicadores de suelo tradicionales como la fracción disponible a la siembra, o novedosos como la determinación de Nan (Nitrógeno anaeróbico), el cual ha sido señalado como un estimador de la mineralización de la MO.

Palabras claves: Fertilización inicial al suelo, Nan, Zinc

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante el ciclo 2014, se condujeron ensayos de campo donde se evaluó la respuesta de trigo a la aplicación de macro y micronutrientes. Los experimentos fueron conducidos en cuatro localidades de la región norte de Bs As y sur de Santa Fe. En los experimentos, se utilizó un diseño en bloques completos al azar con 3-4 repeticiones. Los ensayos fueron fertilizados con 100 kg SPT(0-20-0) ha⁻¹ a la siembra. Los tratamientos evaluados se describen a continuación, en las Tabla 1. Las fuentes utilizadas fueron una

solución de urea-nitrato de amonio (32-0-0), tiosulfato de amonio (12-0-0-S26) y sulfato de zinc (8% Zn p/p). Todos fueron aplicados al suelo, entre siembra y macollaje. Por su parte, datos que caracterizan a los sitios se presentan en la Tabla 2, y los análisis de suelo en la Tabla 3.

Tabla 1: *Tratamientos evaluados en ensayos de trigo*

	Curasemillas	Dosis
T1	Testigo	Testigo
T2	N (s)	Nitrógeno 100 kg ha ⁻¹
T3	NS (s)	Nitrógeno 100 kg ha ⁻¹ Azufre 20 kg ha ⁻¹
T4	NSZn (s)	Nitrógeno 100 kg ha ⁻¹ Azufre 20 kg ha ⁻¹ Zinc 1,5 kg ha ⁻¹

(*) Todos los tratamientos recibieron 20 kg P ha⁻¹ como Superfosfato triple a la siembra.

Tabla 2: *Descripción de los sitios*

Localidad	Prov	Serie Suelo	Tipo suelo	Variedad	F siembra
		agua 1:2,5	%	ppm	ppm
Colón	Bs As	Rojas	Arg tip	Buck SY 200	20-jun
Wheelwright	Sta Fe	Hughes	Arg tip	Klein Zorro	17-jun
Peyrano	Sta Fe	Peyrano	Arg vert	DM Cronox	18-jun
SA de Areco	Bs As	Cap Sarmiento	Arg tip	Buck SY 041	19-jun

Tabla 3: *Datos de suelo al momento de la siembra*

Localidad	pH	Materia Orgánica 0-20 cm	P-disp. 0-20 cm	N-Nitratos 0-60 cm	S-Sulfatos 0-20 cm	Zn EDTA 0-20 cm	Nan
	agua 1:2,5	%	ppm	kg ha ⁻¹	ppm	ppm	ppm
Colón	5,6	2,83	17,8	65,8	7,4	0,78	31,1
Wheelwright	5,7	3,04	7,7	36,3	7,0	0,74	29,2
Peyrano	5,5	2,51	8,1	44,5	8,2	0,47	25,8
SA de Areco	5,6	3,70	23,3	111,3	8,5	1,04	71,1

La cosecha se realizó en forma mecánica o manual con trilla estacionaria (La Trinidad). Se realizaron mediciones de parámetros de crecimiento y nutrición durante el ciclo de cultivo, especialmente alrededor del período crítico para la determinación del rendimiento. Los resultados se analizaron mediante partición de varianza y análisis de correlación.

RESULTADOS

a) Condiciones ambientales

Se presenta como ejemplo el balance hídrico de uno de los sitios, correspondiente a Colón. Este balance hídrico representa lo ocurrido en todos los sitios. En 2014, el almacenaje inicial de agua en el suelo fue elevado a partir de un histórico otoño climático. A excepción del mes de agosto, las precipitaciones continuaron en el tiempo configurando un escenario hídrico holgado (Figura 1). Menos favorables fueron las condiciones de radiación y temperatura, especialmente por las marcas térmicas elevadas (Tabla 4). También se verificó una alta presión de Roya de la hoja que llevó a realizar dos aplicaciones de fungicidas foliares por sitio.

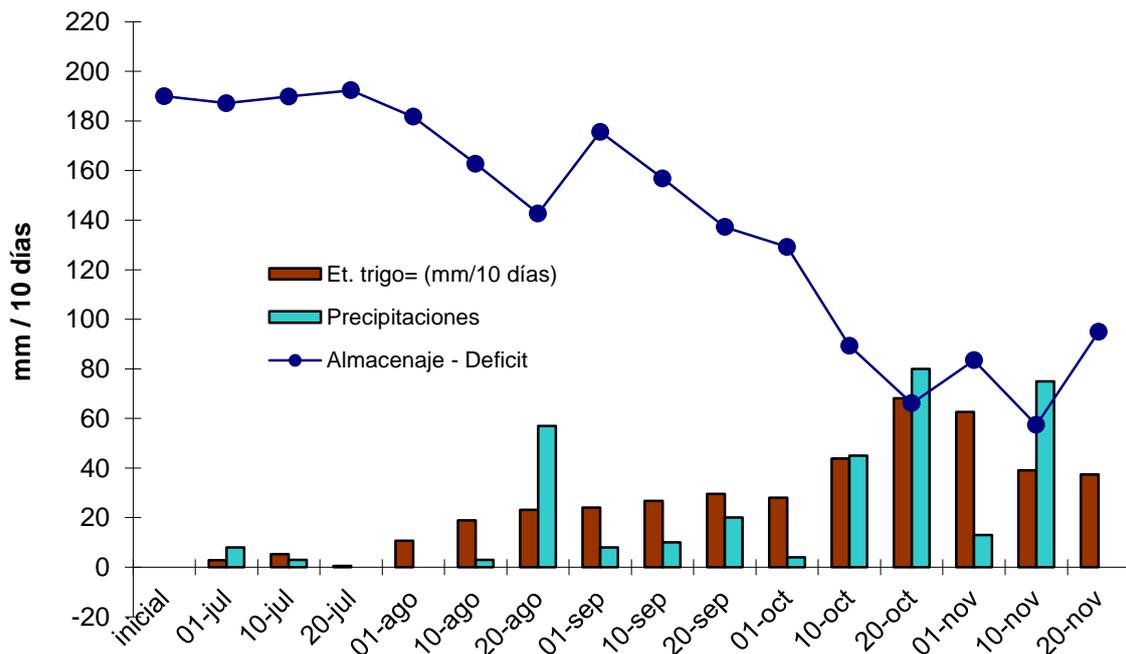


Figura 1: Evapotranspiración, precipitaciones y balance hídrico, expresados como lámina de agua útil (valores positivos) o déficit de evapotranspiración (valores negativos) para trigo en Colón. Valores acumulados cada 10 días en mm. Año 2014. Lámina de agua útil inicial (140 cm) 190 mm. Precipitaciones durante el ciclo: 326 mm.

Tabla 4: Insolación efectiva (hs), Temperatura media (C°) y Cociente fototermal Q (T base 0°C) para el período crítico del cultivo de Trigo en la localidad de Pergamino. 1 al 30 de octubre en 2010, y 15 de setiembre al de 15 de octubre en el resto de los años.

Condiciones ambientales	Año 2005	Año 2006	Año 2007	Año 2008	Año 2009	Año 2010	Año 2011	Año 2012	Año 2013	Año 2014
Insolación Efectiva media (hs)	7,2	7,1	5,9	6,9	8,3	7,45	6,8	5,0	5,6	6,2
T media del período °C	15,1	17,1	15,0	16,4	13,4	14,8	14,8	14,3	13,5	15,1
Cociente fototermal (Q) (Mj m-2 día-1 °C-1)	1,24	1,10	1,12	1,10	1,56	1,34	1,19	1,11	1,20	1,11

b) Resultados de los experimentos

Rendimientos de Trigo:

En la Tabla 5 se presentan los rendimientos junto a su significancia estadística.

Tabla 5: Rendimientos de grano según tratamientos de fertilización en cuatro sitios de la zona Norte de Buenos Aires-Sur de Santa Fe Trigo. Año 2014.

T	Tratamientos	Colón	Wheelwright	Peyrano	SA de Areco
T1	Testigo	4537,5	4011,1	2973,3	3095,2
T2	N	5830,0	5222,2	4388,3	4057,1
T3	NS	5665,0	5733,3	4446,0	4292,4
T4	NSZn	5788,8	5900,0	4747,7	4381,0
P=		0,08	0,06	0,001	0,002
CV=		10,1	13,7	7,6	6,3

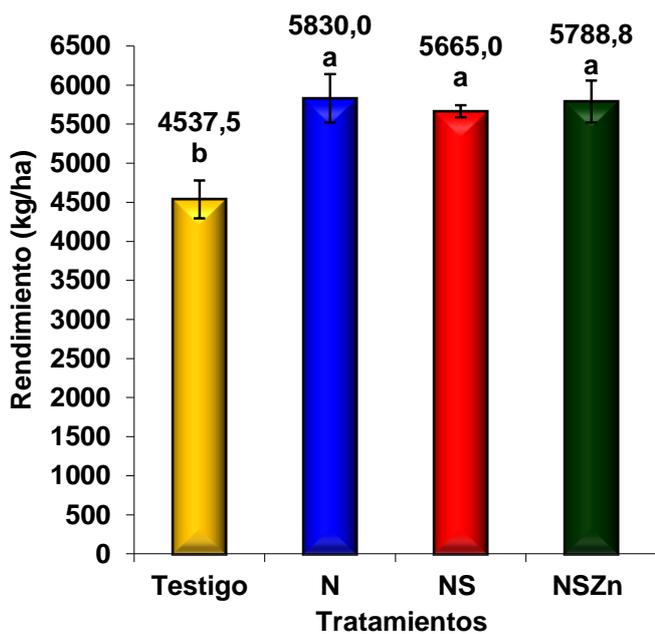


Figura 2.a. Colón

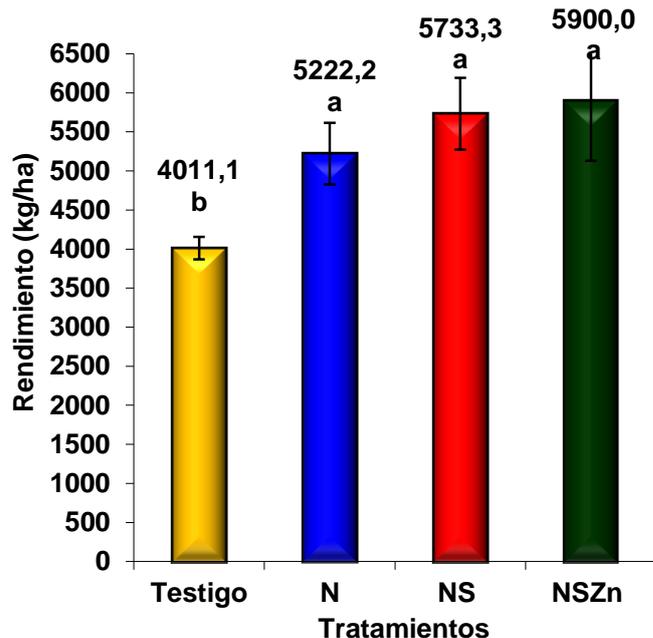


Figura 2.b Wheelwright

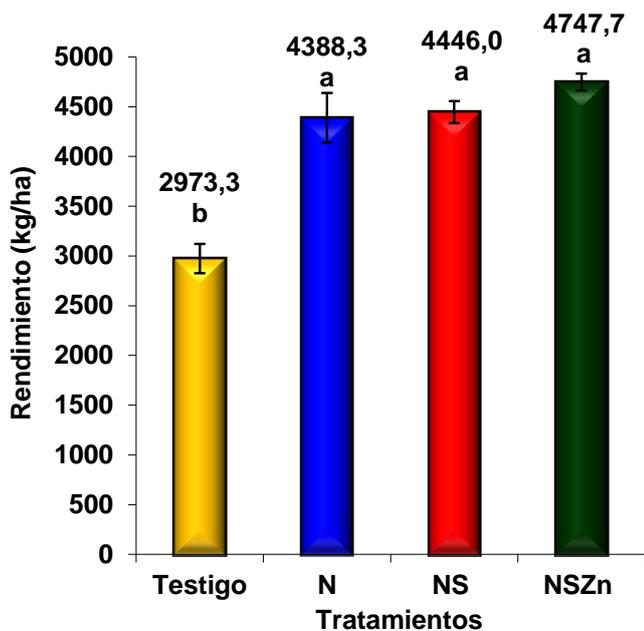


Figura 2.c. Peyrano

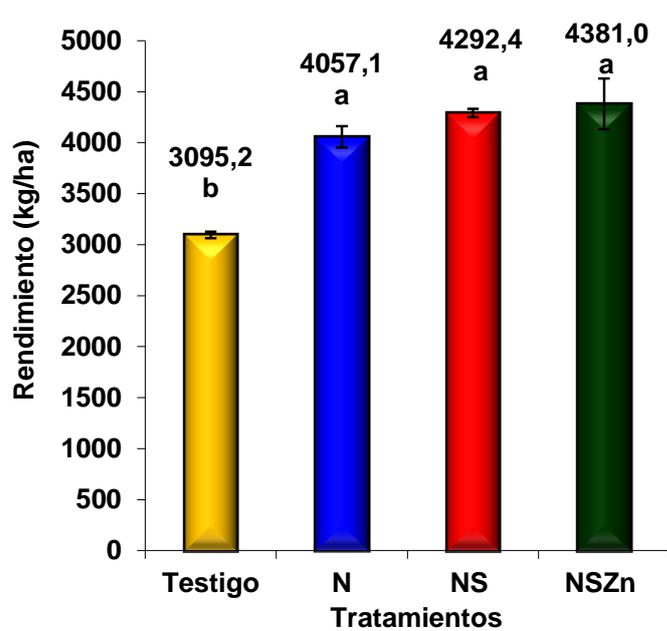


Figura 2.d SA de Areco

Figura 2: Producción media de grano de trigo según tratamientos de fertilización con Nitrógeno, Azufre y Zinc aplicados al inicio del ciclo. Campaña 2014. Letras distintas sobre las columnas representan diferencias significativas entre tratamientos ($\alpha=0,10$ en Colón y Wheelwright; $\alpha=0,05$ en Peyrano y SA de Areco). Las barras de error indican la desviación standard de la media.

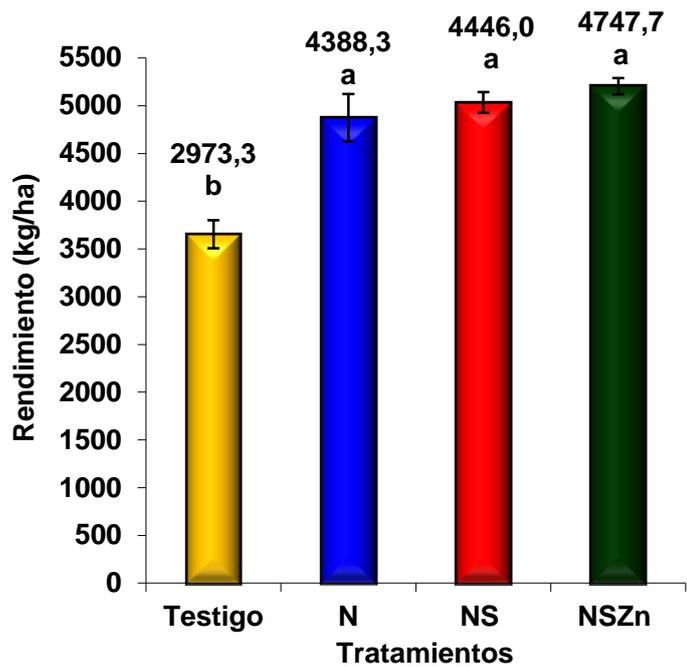


Figura 3: Rendimiento medio de trigo, promedio de cuatro localidades y tres repeticiones por localidad. Letras distintas sobre las columnas representan diferencias significativas entre tratamientos ($\alpha=0,05$). Las barras de error indican la desviación standard de la media. Campaña 2014.

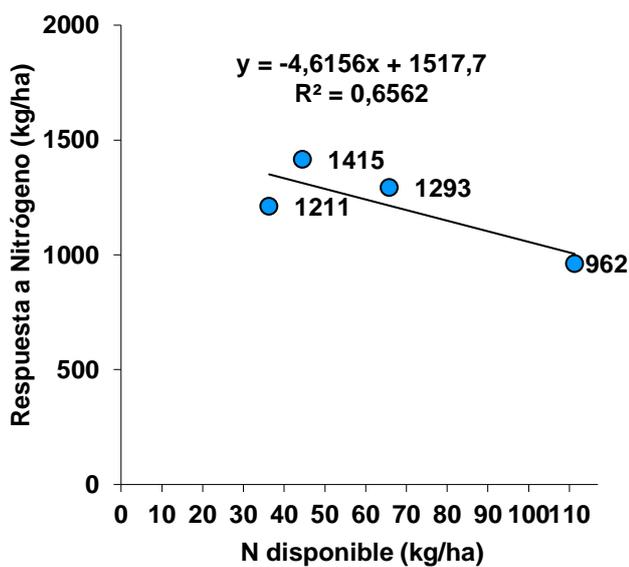


Figura 4.a

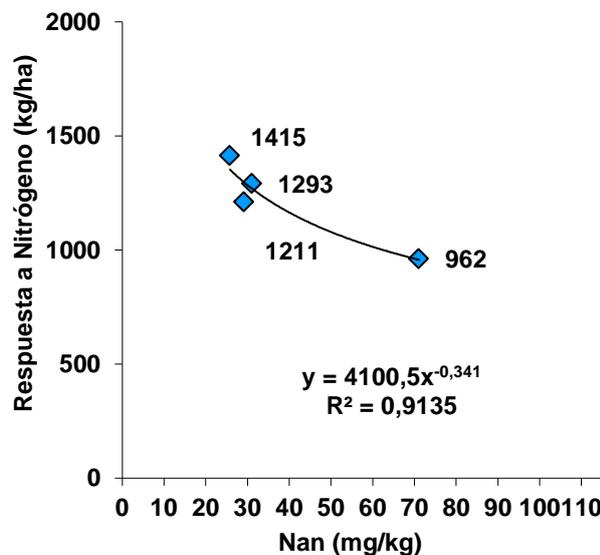


Figura 4.b

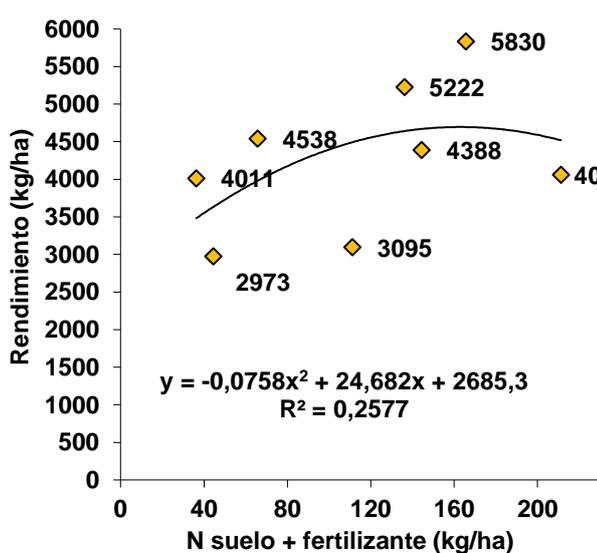


Figura 4.c

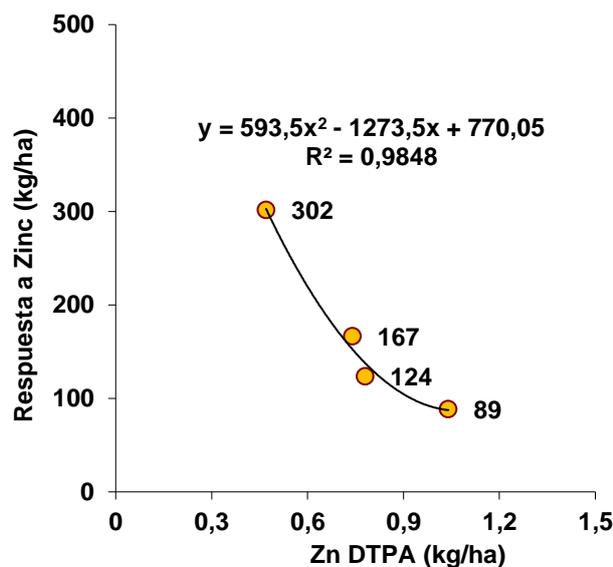


Figura 4.d

Figura 4: Relación entre variables a) Respuesta a N y N disponible a la siembra (suelo + fertilizante 0-60 cm) b) Respuesta a N y Nan (mg/kg 0-20 cm) c) Rendimiento de trigo en T1-T2 y N disponible (suelo + fertilizante 0-60 cm) y d) Respuesta a Zn y Zn en suelo (DTPA 0-20 cm). Red de experimentos de respuesta a NSZn, campaña 2014.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

* Los rendimientos de los cultivos invierno fueron entre medios y elevados, alcanzando su máximo en Colón-Wheelwright y valores algo inferiores en Peyrano y SA de Areco. La condición hídrica inicial fue muy favorable (Figura 1), observando algunas limitaciones por el lado de temperaturas relativamente elevadas que limitaron el cociente fotothermal y acortaron en forma moderada la fase de llenado de los granos (Tabla 4).

* En todos los casos, se determinaron diferencias significativas en los rendimientos ($P < 0,05$ en Peyrano y SA de Areco; $P < 0,10$ en Colón y Wheelwright). El principal factor de producción que los incrementó fue el agregado de N (Tabla 3 y Figura 2). La respuesta a S no fue significativa, mostrando una tendencia moderadamente positiva en Wheelwright y San Antonio de Areco. Aun con la misma valoración estadística, el tratamiento con N,S y Zn fue el de mayor productividad en tres de los cuatro sitios: Wheelwright, Peyrano y SA de Areco.

* El comportamiento entre ensayos fue tan uniforme que se reflejó en ausencia de interacción sitio x tratamiento ($P = 0,97$; $cv = 12,5\%$). También en el promedio, se determinaron diferencias significativas entre tratamientos ($P = 0,00$) principalmente por efecto de N (Figura 3).

* Si bien cuatro puntos es un número de casos muy limitado para establecer regresiones, se observaron algunas relaciones que podrían destacarse. A la hora de predecir la respuesta a la fertilización los valores de N del suelo (Figura 4.a) y Nan (0-20 cm) (Figura 4.b) por sí solos evidenciaron una relación superior en comparación con la suma de N en suelo + fertilizante (0-60 cm) (no presentado). La combinación de ambas variables en una ecuación -N disponible y Nan- no aportó ventajas sobre el uso de una sola de estas herramientas. El rendimiento de tratamientos testigo y fertilizados con N fue débilmente predicho por la suma de N en suelo (0-60 cm) y fertilizante (Figura 4.c). El agregado de Nan a esta ecuación no mejoró su estimación (datos no presentados).

* Los aumentos de rendimiento derivados del uso de S no fueron convenientemente explicados por la disponibilidad de S-sulfatos, el contenido de MO ni se asociaron con la respuesta a N (relaciones no presentadas).

* A diferencia de lo observado con S, la respuesta a Zn mostró una relación curvilínea de alto ajuste con el nivel de Zn en suelo (Figura 4.d) Esta asociación ya había sido mencionada por Ferraris (2011; 2012) para el cultivo de Maíz.

* Los resultados obtenidos permiten aceptar la hipótesis 1: Existe respuesta a la fertilización siendo predominante el efecto N, significativo a través de los cuatro sitios. En orden de magnitud siguieron la respuesta a Zn y luego S. Por otra parte, la hipótesis 2 es igualmente aceptada: se hallaron relaciones entre variables que permitirían anticipar la respuesta a la fertilización, como el nivel de Zinc en suelo, la sumatoria de N como N-nitratos en suelo y el agregado como fertilizante, y el valor de N potencialmente mineralizable estimado por incubación anaeróbica. Es necesario confirmar y robustecer estas relaciones mediante la incorporación de un mayor número de experimentos, que servirían de puntos en las respectivas ecuaciones de regresión.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

* Calviño, P; HE Echeverría & M Redolatti. 2002. Diagnóstico de nitrógeno en trigo con antecesor soja bajo siembra directa en el sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo* 20: 36-42.

* Ferrari M.; Castellarín, J.M.; Sainz Rozas, H. R.; Vivas, H. S.; Melchiori, R. J. M. y Gudelj, V. J. 2010. Evaluación de métodos de diagnóstico de fertilidad nitrogenada para el cultivo de trigo en la región pampeana. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario. Argentina 2010.

* Ferraris, G. 2011. Microelementos en cultivos extensivos. Necesidad actual o tecnología para el futuro? pp 121-133. En: Actas del Simposio Fertilidad 2011. "La Nutrición del cultivo integrada al Sistema de Producción". IPNI Cono Sur-Fertilizar Asociación Civil. 269 pp.

* Ferraris, G. 2012. Zinc y otros microelementos en Maíz. Jornada de Maíz. INTA EEA Marcos Juárez. 5 de Julio de 2012. 8pp

* 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 M. Toribio. 2011. Desarrollo de estrategias de fertilización para mejorar integralmente sanidad, calidad y rendimiento en trigo pan. Área de Desarrollo Rural INTA EEA Pergamino, Proyecto Regional Agrícola, Campaña 2010. <http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf>

* Ferraris, G., L. Couretot y J. Urrutia. 2010.a Tecnologías para la aplicación de microelementos en maíz. Dosis y sistemas de aplicación de zinc en combinación con fuentes nitrógeno-azufradas. V Jornada de Maíz. AIANBA-INTA EEA Pergamino. 11p.

* Ferraris, GN, L. Couretot, L. Ventimiglia y F. Mousegne, F. 2010.b. Respuesta al zinc en maíz utilizando diferentes tecnologías de aplicación en la región Centro Norte de Buenos Aires. IX Congreso Nacional de Maíz. Mesa de Fertilidad y Nutrición del cultivo. AIANBA. Rosario, Noviembre de 2010.

* Galrão, E.Z. 1996. Níveis críticos de zinco e avaliação de sua disponibilidade para o milho num Latossolo Vermelho-Escuro, argiloso, fase cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 20 283-289.

* Prystupa, P. M. Torres Duggan y G. Ferraris. 2012. Tecnología de aplicación de micronutrientes en la Región pampeana Argentina.

* Sainz Rozas, HR; HE Echeverría & HP Angelini. 2011. Niveles de carbono orgánico y pH en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeana argentina. *Ciencia del Suelo*. 29: 29-37.

* Torri, S., Urricariet, S., Ferraris, G. y Lavado, R.S. 2010. Cap.5. Micronutrientes en agrosistemas pp 395-423. En: En: Fertilidad de Suelos y Uso de Fertilizantes. Rubio, G. Y R. Lavado (eds). Editorial Facultad de Agronomía, UBA.