

# Fertilización en trigo: ¿es necesario fertilizar con zinc y cobre en Balcarce?

P.A. Barbieri<sup>1,2,\*</sup>, H.E. Echeverría<sup>1</sup>, H.R. Sainz Rozas<sup>1,2</sup>, J.P. Martínez<sup>1</sup>, J.L. Velasco<sup>2</sup>, y N.I. Reussi Calvo<sup>1,3</sup>

## Introducción

El trigo es el principal cereal de invierno de los sistemas productivos del sudeste bonaerense (región Triguera IV). Esta región es una de las más importantes para la producción de trigo, dado que contribuye con un 23.3% al área total sembrada del país (1.2 millones de has) y con un 32.8% de la producción nacional (4.2 millones de toneladas) (SAGPyA, 2006).

En el sudeste bonaerense, la intensificación de la actividad agrícola y la falta de rotaciones con pasturas ha producido una notable disminución de los niveles de materia orgánica (MO), con reducciones cercanas al 37% en el contenido de MO de respecto de la condición prístina (Sainz Rozas et al., 2011). Estas caídas en los niveles de MO explicaría la respuesta generalizada al agregado de nitrógeno (N) (Echeverría y Sainz Rozas, 2005), fósforo (P) (Sainz Rozas y Echeverría, 2008) y, en menor medida, a azufre (S) (Urricarriet y Lavado, 1999; Reussi Calvo et al., 2008).

Las deficiencias de micronutrientes son menos frecuentes que para el caso de N, P y S en los suelos de la región pampeana, ya sea por la menor magnitud de la deficiencia o por la falta de investigación en la temática (Fontanetto et al., 2009). Más allá de ser requeridos en pequeñas cantidades para el crecimiento y desarrollo de los cultivos, los micronutrientes pueden ser deficientes en el suelo y limitar las funciones metabólicas de las plantas. Por lo tanto, la exportación continua de micronutrientes sin reposición podría originar deficiencias de los mismos y respuestas positivas a la fertilización.

La agricultura moderna de alta producción incrementa la tasa de extracción tanto de macro como de micronutrientes (Cruzate y Casas, 2009). El incremento de la frecuencia del cultivo de soja en las rotaciones agrícolas podría afectar negativamente el balance de micronutrientes en el suelo, ya que dicho cultivo exporta mayores cantidades que el trigo o maíz. Considerando la disminución en el contenido de MO de los suelos del sudeste bonaerense respecto a situaciones prístinas, el incremento de la frecuencia de soja en la rotación, la falta de reposición de micronutrientes y los aumentos de rendimiento de los cereales y oleaginosos no leguminosos, es altamente probable que, a mediano plazo, las deficiencias de micronutrientes se acentúen.

Otro factor que afecta la disponibilidad de micronutrientes para los cultivos es el sistema de labranza. La siembra directa (SD) ha provocado cambios en el ambiente

suelo como consecuencia de la estratificación de la MO y cambios en el pH. Lavado et al. (2001) determinaron mayor estratificación de zinc (Zn) en SD en los primeros 5 cm respecto de labranza convencional (LC), mientras que la concentración de cobre (Cu) no mostró tendencia a la estratificación y fue significativamente superior bajo LC respecto de SD (Lavado et al., 1999). Por otra parte, la menor temperatura del suelo bajo SD respecto de LC, afecta la difusión de los nutrientes hacia las raíces de la plantas. Esta situación podría ser más crítica para Zn que para Cu, debido a que la absorción de Zn está más afectada por la temperatura del suelo (Moraghan y Mascagni, 1991).

Si bien trabajos realizados en condiciones de invernáculo en la década del 80 por Echeverría y Navarro, (1983) no determinaron deficiencias de micronutrientes en el sudeste bonaerense, teniendo en cuenta el contexto productivo actual, surge la necesidad de explorar la respuesta de los cultivos a la fertilización con dicho nutrientes. Eyherabide et al. (2012a; 2012b) determinaron, en un relevamiento realizado en 2010 y 2011 en el sudeste bonaerense en suelos con más de 15 años de agricultura y bajo condición pseudo-prístina (**Figura 1**), que los niveles de Cu en suelo se encuentran por encima de los umbrales críticos (0.12-0.25 mg kg<sup>-1</sup> sugerido por Sims y Johnson, 1991), determinándose una disminución del 16% respecto de la situación prístina. Sin embargo, para el caso del Zn, se determinó que los niveles en suelos bajo agricultura han disminuido notablemente respecto de la situación prístina, siendo los valores cercanos a los umbrales de deficiencia mencionados en la bibliografía (0.8-1.0 mg kg<sup>-1</sup> sugerido por Sims y Johnson, 1991). Además, la disminución del contenido de Zn por efecto de la agricultura fue de aproximadamente el 65%.

Las deficiencias de Zn y Cu afectan el metabolismo del N y por lo tanto el contenido de clorofila. Una forma de caracterizar este compuesto es por medio del Minolta SPAD<sup>®</sup> 502 a través de la cuantificación del verdor de la hoja (Waskom, 1996), lo que sería de utilidad considerando que es una determinación no destructiva, rápida y fácil de utilizar.

Además de los efectos sobre el rendimiento del trigo, el estado nutricional del cultivo también tiene efectos sobre su calidad panadera. En tal sentido, el N y el S son los nutrientes que con mayor frecuencia condicionan la obtención de contenidos adecuados de proteína en los granos de trigo. Si bien existen algunos reportes del efecto de la fertilización con Zn y Cu sobre el contenido

<sup>1</sup> Unidad Integrada Balcarce: EEA INTA Balcarce - Facultad de Ciencias Agrarias (UNMDP), CC. 276, (7620). Balcarce, Argentina.

<sup>2</sup> McCain Argentina.

<sup>3</sup> Laboratorio de suelos FERTILAB.

\* Autor de contacto. Correo electrónico: [barbieri.pablo@inta.gob.ar](mailto:barbieri.pablo@inta.gob.ar)

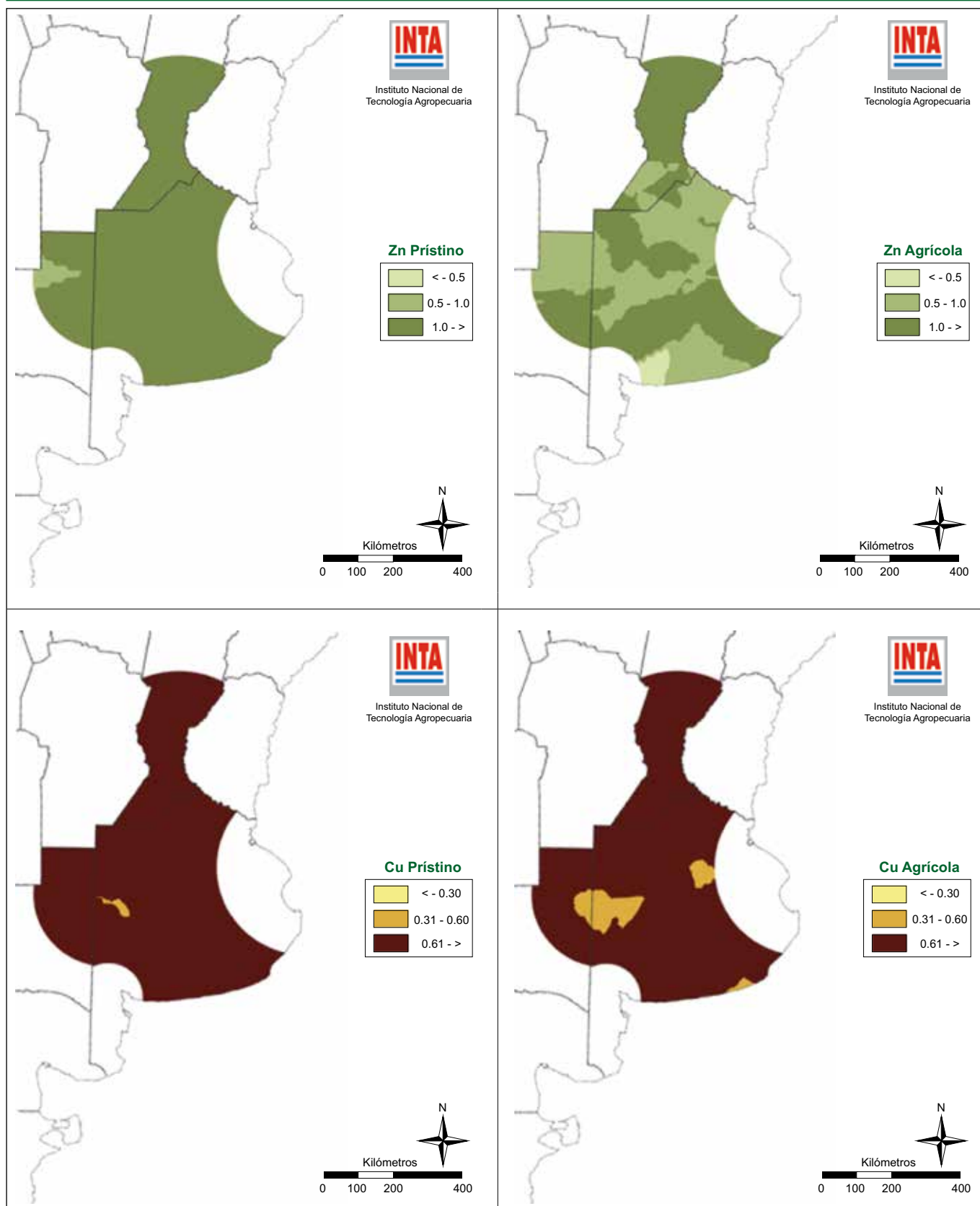


Figura 1. Niveles de Zinc (Zn) y cobre (Cu) extractable ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) (DPTA) en suelos prístinos y agrícolas en algunas zonas de la región pampeana argentina. Adaptado de Sainz Rozas et al. (2013).

de proteína (Campbell, 1989; Schmidt y Szakál, 2007), se desconocen tales efectos a nivel local. El objetivo del presente trabajo fue analizar para distintos sistemas de labranza (SD y LC), el efecto de la fertilización continuada con Zn y Cu sobre la acumulación de biomasa aérea, el índice de verdor, el rendimiento y el contenido de proteína en grano del cultivo de trigo.

### Materiales y métodos

La experiencia se llevó a cabo durante las campañas agrícolas 2003 y 2010 en la EEA INTA Balcarce sobre un ensayo de larga duración llevado a cabo por el Grupo Relaciones Suelo-Cultivo de la Unidad Integrada Facultad de Ciencias Agrarias EEA INTA Balcarce desde

**Tabla 1. Algunas características químicas del suelo a la siembra del cultivo de trigo en 2003 y 2010.**

Tratamiento	pH	P mg kg <sup>-1</sup>	MO %	Cu		Zn		N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> kg ha <sup>-1</sup>	S-SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> kg ha <sup>-1</sup>
				0-20 cm		0-60 cm			
<b>2003</b>									
LC	5.9	20.9	5.3	1.07	1.53	62.6	69.2		
SD	5.9	21.5	5.3	1.03	1.72	62.1	68.7		
Testigo	6.0	16.7	5.3	0.95	1.40	62.6	72.1		
NPS	5.9	23.7	5.4	1.03	1.45	59.5	67.6		
NPS+Zn+Cu	5.9	22.7	5.2	1.18	2.03	64.9	67.1		
<b>2010</b>									
LC	6.1	22.8	4.5	1.12	1.38	77.6	25.8		
SD	6.0	24.8	4.7	1.10	1.72	63.5	20.8		
Testigo	6.2	11.9	4.7	1.10	1.75	67.2	15.8		
NPS	6.1	28.3	4.3	1.15	1.45	68.8	25.8		
NPS+Zn+Cu	6.0	25.1	4.7	1.08	1.45	75.6	28.3		

2001. El suelo del sitio experimental es un complejo Paleudol Petrocálcico y Argiudol Típico, con pendiente menor al 2% y textura superficial franca y contenido de MO al inicio del ensayo de 5.3%. El lugar donde se encuentra emplazado el ensayo cuenta con una prolongada historia agrícola (mayor a 50 años). La rotación en estudio incluye cuatro cultivos en tres años (maíz, soja de primera, trigo y soja de segunda) y se la puede considerar como representativa de los sistemas agrícolas intensivos de la zona. Esta experiencia corresponde al cultivo de trigo en el tercer y décimo año de la rotación con antecesor soja.

Se evaluaron dos sistemas de labranza (LC y SD) asignados a las parcelas principales y tres tratamientos de fertilización en las subparcelas: Testigo, NPS y NPS+Zn+Cu. Las dosis de nutrientes fueron 80 N, 20 P, 10 S, 0.5 Zn, y 0.5 Cu en kg ha<sup>-1</sup> en 2003, y 120 N, 30 P, 15 S, 0.5 Zn, y 0.5 Cu en kg ha<sup>-1</sup> en 2010. Los fertilizantes nitrogenados, fosfatados y azufrados fueron aplicados a la siembra, mientras que el Cu y Zn en forma foliar al macollaje. Estos tratamientos se aplican todos los años en la misma parcela desde 2001, por lo que se evalúa el efecto acumulado de las aplicaciones desde el inicio del ensayo. Las variedades de trigo utilizadas fueron 'Buck sureño' y 'Biointa 1000' sembradas en la segunda quincena de julio en las estaciones de crecimiento 2003 y 2010, respectivamente.

En ambos cultivos de trigo, se tomaron muestras de suelo al momento de la siembra y se determinó, en todos los tratamientos, el contenido de MO, pH (1:2.5), P Bray y el contenido de Cu y Zn (DTPA) en superficie (0-20 cm) y de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y S-SO<sub>4</sub><sup>=</sup> en el perfil (0-60 cm) (Tabla 1). Adicionalmente, durante el ciclo de ambos

cultivos se llevaron a cabo muestreos de plantas para determinar la acumulación de materia seca (MS) al macollaje, antes y madurez fisiológica (MF). En el estadio de hoja bandera, se efectuó la medición del índice de verdor (IV) mediante el uso del medidor de clorofila Minolta SPAD® 502 (MINOLTA, Kioto, Japón) realizando 15 lecturas por unidad experimental.

En MF se determinó el rendimiento. Las espigas fueron desgranadas en una trilladora estacionaria y el rendimiento se expresó al 14% de humedad. La determinación del N total en MS se realizó por el método de Dumas. En base a estos resultados se calculó el N total absorbido por el cultivo en planta entera como el producto entre la MS y el N total en la misma. El contenido de proteína fue estimado a partir del N total en grano empleando un factor de 5.7 (Rhee, 2001).

## Resultados y discusión

### Características climáticas

Las precipitaciones registradas de julio a diciembre fueron 586 y 411 mm en 2003 y 2010, respectivamente, cuyos valores son superiores a los requerimientos hídricos del cultivo de trigo (aprox. 380-400 mm). Por tal motivo, la disponibilidad hídrica durante el ciclo del cultivo fue adecuada para un normal desarrollo (Figura 2).

### Variables de suelo

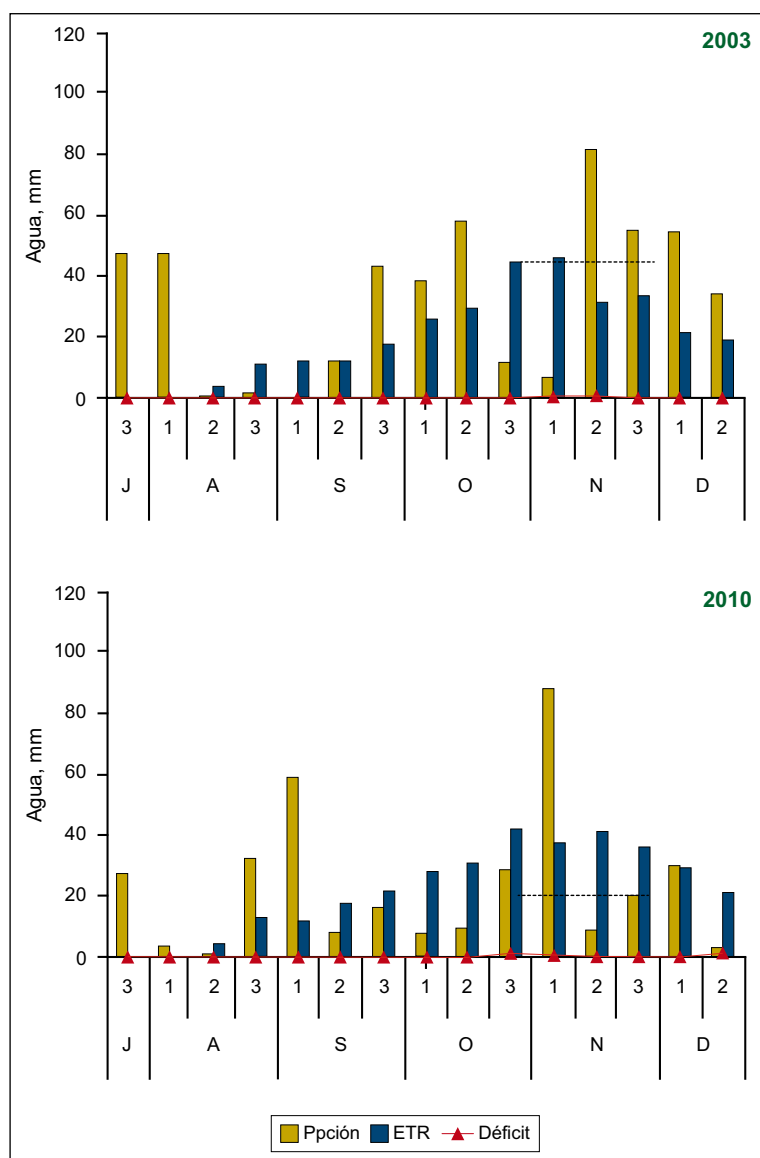
Los valores de pH fueron de 5.9 a 6.3 (Tabla 1), este rango de valores está dentro del reportado como adecuado para el crecimiento del cultivo (Mc Lean, 1982). Considerando el promedio de años y tratamientos fertilizados en la capa de 0-20 cm el contenido de P fue de 25.0 mg kg<sup>-1</sup> (Tabla 1), valor superior al umbral

(15 mg kg<sup>-1</sup>) sugerido por Calviño et al. (2002). Sin embargo, en el tratamiento Testigo, el contenido de P fue levemente inferior al umbral de respuesta (14.3 mg kg<sup>-1</sup>) y en consecuencia la disponibilidad de P, podría haber afectado en alguna medida, el crecimiento del cultivo. Los porcentajes de MO oscilaron entre 4.3 y 5.4% sin diferencias entre sistemas de labranza ni tratamientos de fertilización (**Tabla 1**). Estos valores de MO son característicos de lotes con prolongada historia agrícola de la zona (Studdert y Echeverría, 2000).

El contenido de Zn en 2010 mostró mayores valores bajo SD respecto a LC (**Tabla 1**) (1.72 y 1.46 mg kg<sup>-1</sup> para SD y LC, respectivamente). Por otra parte, el contenido de Zn fue mayor para los tratamientos que recibieron la aplicación de este micronutriente en la estación de crecimiento 2003 (**Tabla 1**). En ambos años, el contenido de Cu fue similar entre sistemas de labranza (1.07 y 1.09 mg kg<sup>-1</sup> para SD y LC, respectivamente) y

tratamientos de fertilización. Estos resultados son similares a los informados por Lavado et al. (1999 y 2001) quienes determinaron mayor concentración de Zn en SD y mayores contenidos de Cu en LC. En ambos años, los contenidos de Zn y Cu en suelo (**Tabla 1**) fueron superiores a los umbrales de deficiencia mencionados en la bibliografía (Sims y Johnson, 1991).

La disponibilidad de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> a la siembra del cultivo de trigo fue elevada en las dos estaciones de crecimiento (**Tabla 1**), lo que se debería al efecto del cultivo de soja como antecesor. La disponibilidad de N no habría limitado el rendimiento del cultivo en los tratamientos fertilizados dado que el contenido inicial de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> más lo aplicado como fertilizante supera al umbral de respuesta (140 kg de N ha<sup>-1</sup>) sugerido para la zona (Barbieri et al., 2009). Sin embargo, en el tratamiento Testigo, la disponibilidad de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> estuvo por debajo de dicho umbral de respuesta.



El contenido de S-SO<sub>4</sub><sup>=</sup> hasta los 60 cm de profundidad fue diferente entre años, determinándose mayores contenido de S-SO<sub>4</sub><sup>=</sup> durante la estación de crecimiento 2003 respecto de 2010 (69 y 23 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente). La concentración promedio de S-SO<sub>4</sub><sup>=</sup> para 0-20 cm de profundidad fue de 8.5 y 4.8 mg kg<sup>-1</sup> en 2003 y 2010, respectivamente. Estos valores se encuentran por debajo del umbral de 10 mg kg<sup>-1</sup> (Johnson y Fixen, 1990). Por lo tanto, las marcadas diferencias en el contenido de S-SO<sub>4</sub><sup>=</sup> entre las estaciones de crecimiento serían debidas al contenido de dicho nutriente en profundidad (20-60 cm), ya que si bien se determinaron diferencias en los primeros 20 cm, las mismas no fueron de gran magnitud. Estos resultados, demuestran la importancia de cuantificar el contenido de S-SO<sub>4</sub><sup>=</sup> en profundidad al momento de diagnosticar las deficiencias de S en trigo en la zona (Reussi Calvo et al., 2009).

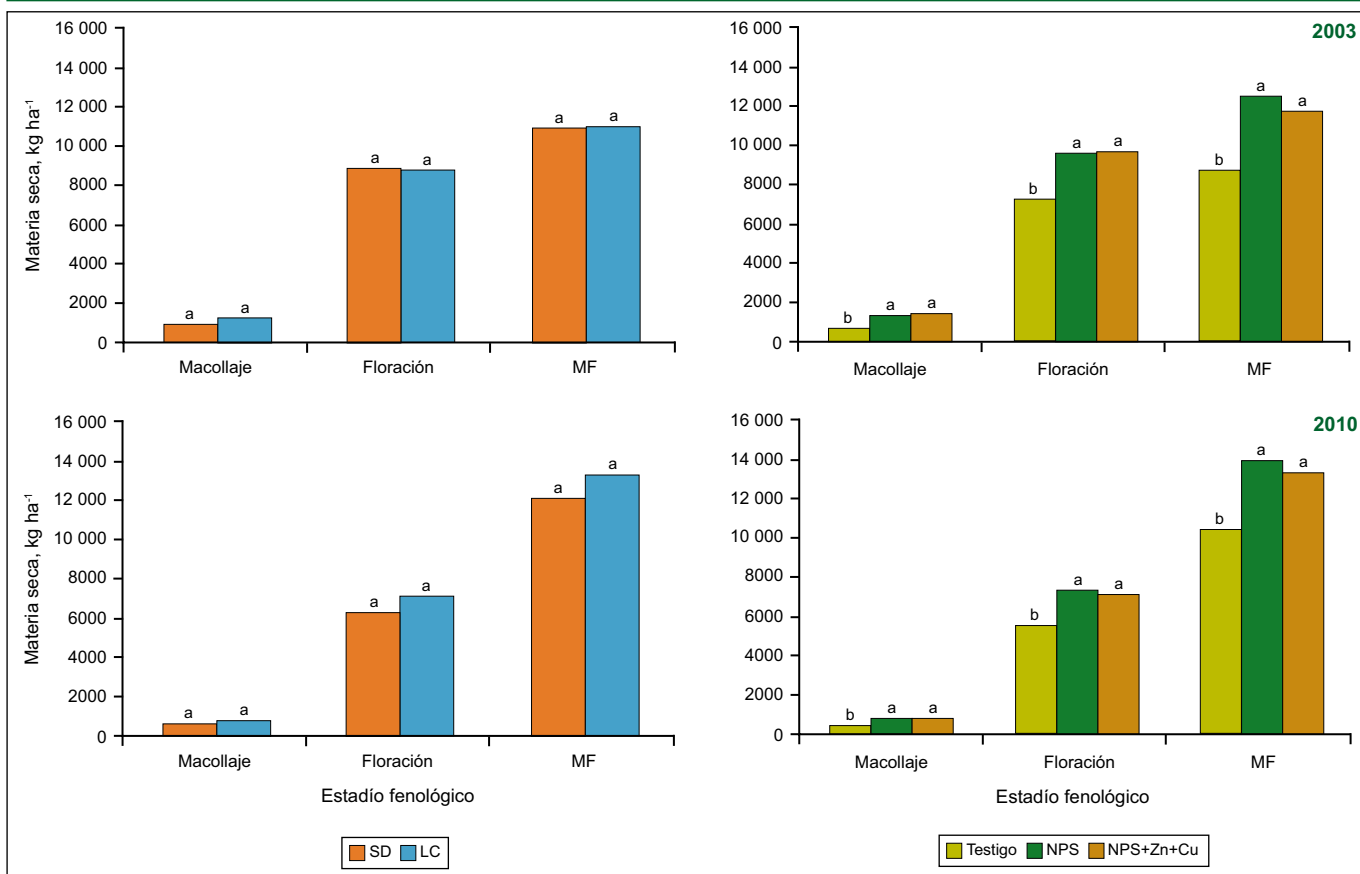
### Variables de cultivo

En ambos años no se detectó interacción entre los factores de tratamiento para las variables de cultivo, por lo tanto se analizaron los efectos principales: por un lado, sistema de labranza (SD y LC), y por el otro, los tratamientos de fertilización (Testigo, NPS y NPS+Zn+Cu).

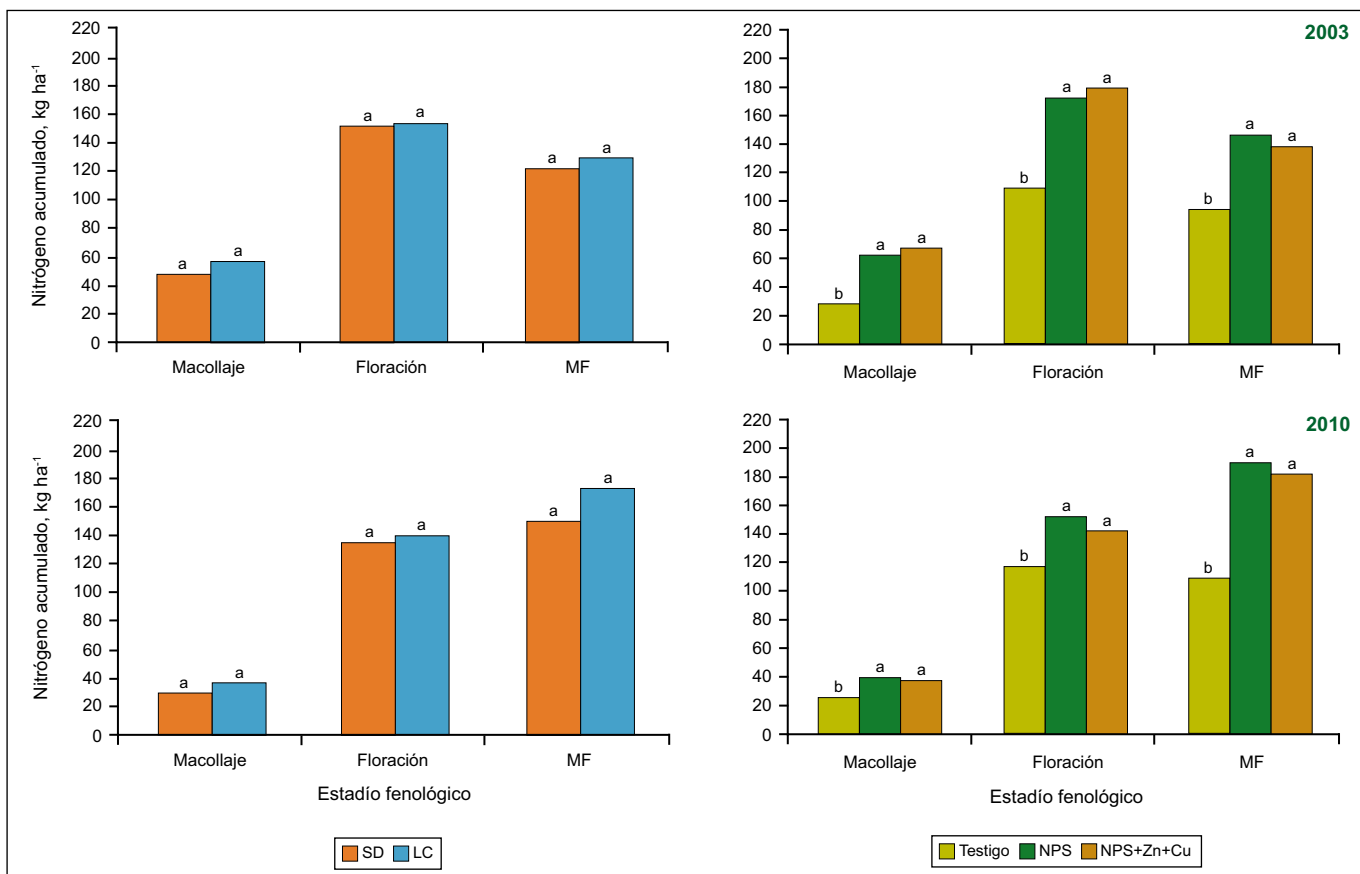
### Acumulación de materia seca aérea

El sistema de labranza y la aplicación de Cu más Zn no produjeron cambios significativos de la MS acumulada en ninguno de los estadios fenológicos evaluados (**Figura 3**). Dentro de cada año, solo se determinaron diferencias significativas del tratamiento Testigo respecto de los fertilizados. El incremento en la MS, promedio de años y momentos de muestreos, por la aplicación de NPS fue del 46% (**Figura 3**). En cuanto a la aplicación de Cu más Zn, el incremento promedio a través

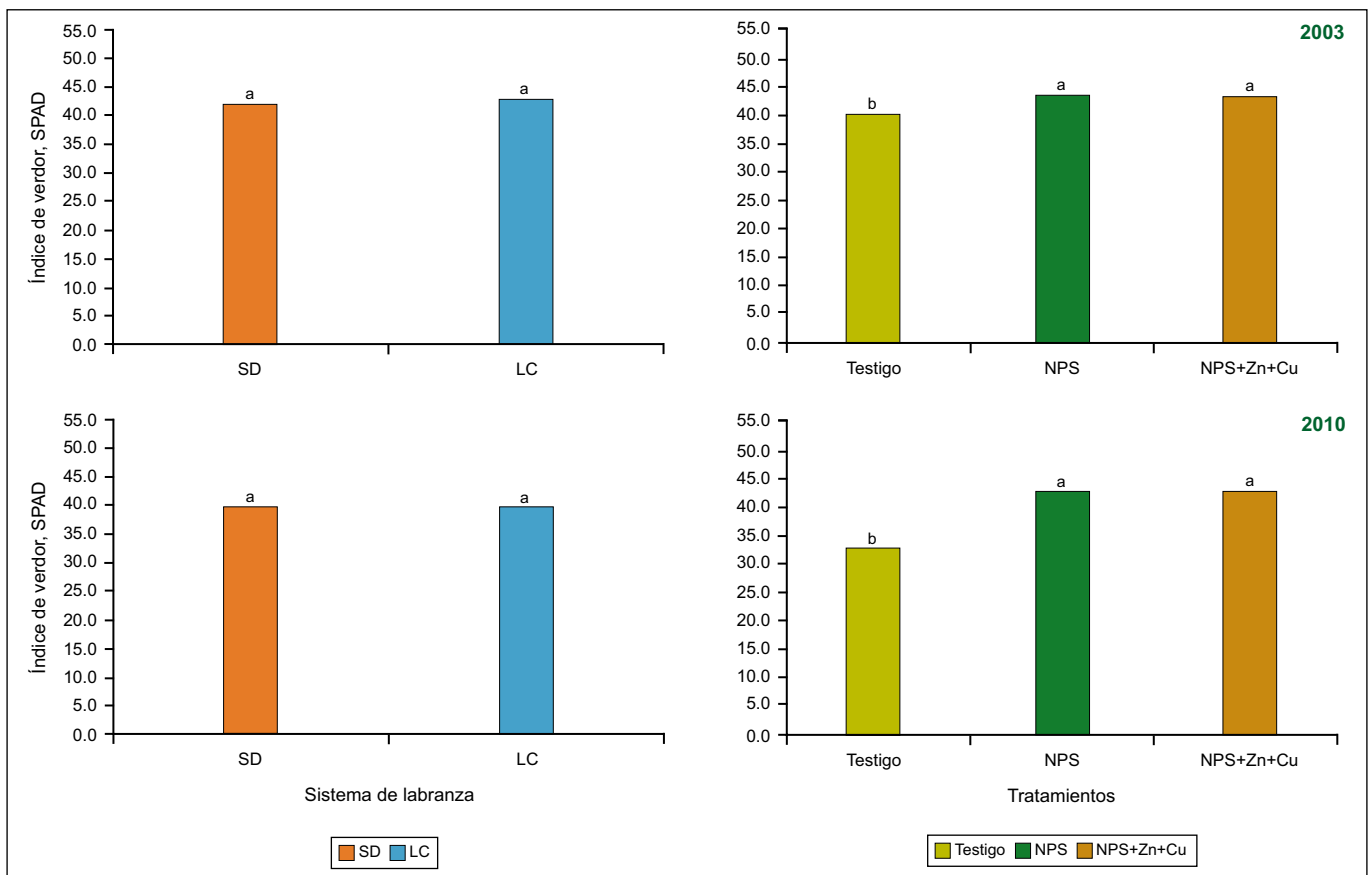
**Figura 2.** Precipitaciones (Ppcción), evapotranspiración real (ETR) y déficit de agua para el cultivo de trigo para las estaciones de crecimiento 2003 y 2010. Las líneas punteadas indican el momento de ocurrencia del periodo crítico para la formación de granos.



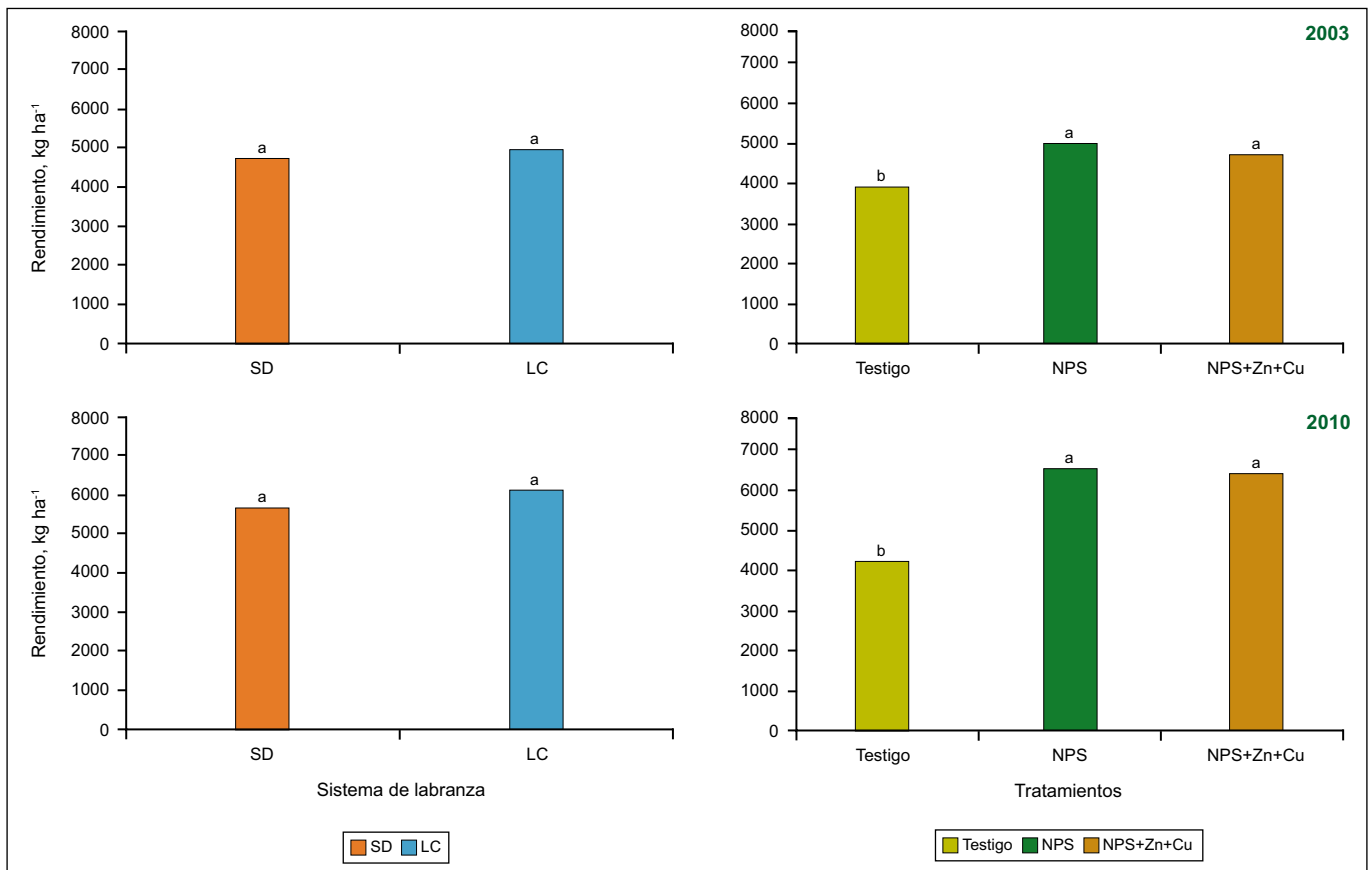
**Figura 3. Materia seca aérea del cultivo de trigo en función del sistema de labranza y los tratamientos de fertilización para las estaciones de crecimiento 2003 y 2010. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) según el test de DMS. MF = madurez fisiológica.**



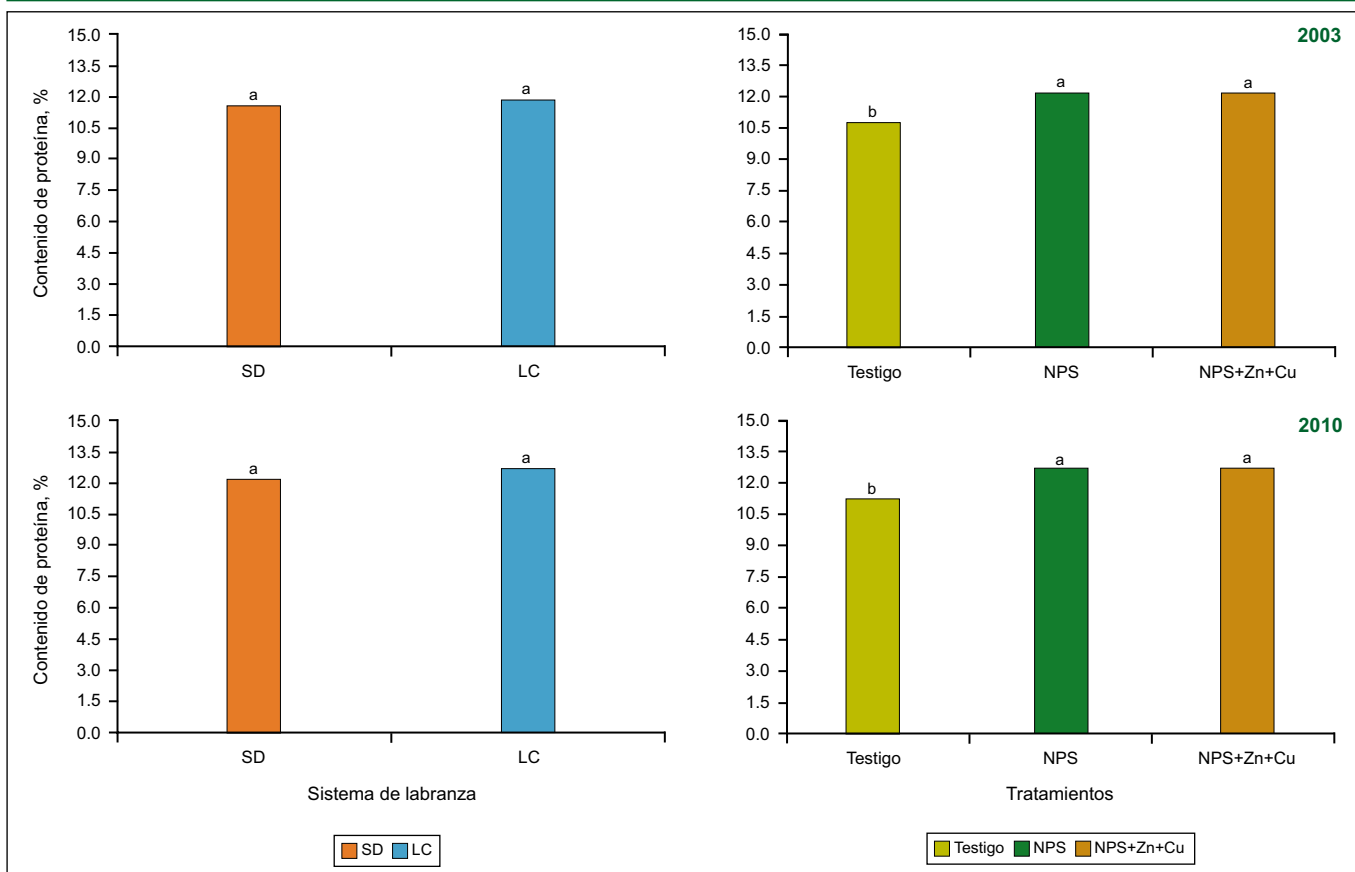
**Figura 4. Nitrógeno acumulado en biomasa aérea del cultivo de trigo en función del sistema de labranza y los tratamientos de fertilización para las estaciones de crecimiento 2003 y 2010. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) según el test de DMS. MF = madurez fisiológica.**



**Figura 5. Índice de verdor al estadio de hoja bandera en el cultivo de trigo en función del sistema de labranza y los tratamientos de fertilización para las estaciones de crecimiento 2003 y 2010. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) según el test de DMS.**



**Figura 6. Rendimiento del cultivo de trigo en función del sistema de labranza y los tratamientos de fertilización para las estaciones de crecimiento 2003 y 2010. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) según el test de DMS.**



**Figura 7. Contenido de proteína en grano del cultivo de trigo en función del sistema de labranza y los tratamientos de fertilización para las estaciones de crecimiento 2003 y 2010. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) según el test de DMS.**

de años y momentos de muestreo fue solamente del 3% adicional al tratamiento NPS.

### Nitrógeno acumulado en biomasa aérea e índice de verdor en hoja

No se determinaron cambios significativos en el N acumulado en biomasa aérea por efecto del sistema de labranza o la aplicación de Zn y Cu (Figura 4). El tratamiento Testigo, presentó los menores contenidos de N acumulado diferenciándose significativamente de los tratamientos fertilizados (Figura 4).

El IV determinado en hoja bandera, no fue afectado por el sistema de labranza o la fertilización con Zn y Cu (Figura 5). Si bien Zn y Cu participan en la síntesis de clorofila, la fertilización con estos micronutrientes no produjo efectos sobre el contenido de dicho compuesto. Lo que sería debido a que la disponibilidad en suelo de dichos elementos es adecuada para el normal crecimiento del cultivo de trigo (Tabla 1). Como era de esperar, solo se determinaron diferencias significativas en IV entre el Testigo y los tratamientos fertilizados (Figura 5), indicando que el medidor de clorofila es un indicador adecuado para caracterizar la nutrición nitrogenada del cultivo de trigo (Gandrup et al., 2004).

### Rendimiento

Los rendimientos obtenidos fueron elevados como consecuencia de la adecuada cantidad y distribución

de las precipitaciones (Figura 2). No se determinaron efectos significativos en el rendimiento por efecto del sistema de labranza o la aplicación de Zn más Cu. Solo se determinaron diferencias significativas en rendimiento entre el Testigo y los tratamientos fertilizados (Figura 6). En ambos años, el incremento promedio de rendimiento por efecto de la aplicación de NPS tendió a ser superior en SD respecto a LC (47 y 34%, respectivamente).

La falta de respuesta a la aplicación de Zn y Cu estaría indicando que, a pesar de la prolongada historia agrícola del sitio experimental (más de 50 años), la disponibilidad de estos micronutrientes en el suelo se encuentra por encima de los umbrales de deficiencia y por lo tanto sería adecuada para el normal desarrollo y crecimiento de cultivo de trigo (Tabla 1). Estos resultados coinciden con los informados por Sainz Rozas et al. (2003) quienes determinaron respuesta al agregado de Zn en solo 4 de 19 sitios del sudeste bonaerense. Dicha respuesta estuvo asociada a condiciones de baja disponibilidad de Zn y pH levemente ácido, o en suelos con disponibilidad media de Zn y pH superior a 6, situaciones poco frecuentes para los suelos agrícolas del sudeste bonaerense destinados al cultivo de trigo.

### Contenido de proteína

El contenido de proteína en grano no fue afectado por el sistema de labranza, ni por la aplicación de Zn y Cu (Figura 7). El tratamiento Testigo mostró

valores significativamente inferiores de proteína en grano respecto de los tratamientos fertilizados, este comportamiento estaría indicando que el N disponible para el cultivo fue limitante en ambos sistemas de labranza no alcanzando los niveles de calidad requeridos (12%). Estos resultados difieren de los reportados por Campbell (1989) y Schmidt y Szakál (2007), quienes determinaron incrementos en el contenido de proteína por la aplicación de Zn y Cu en trigo; y Lemos et al. (2012) quienes reportaron efectos significativos del Cu sobre el contenido de proteína en cebada, principalmente en ambientes de altos rendimientos.

## Conclusiones

Los resultados de esta experiencia permiten afirmar que independientemente del sistema de labranza (LCySD), el cultivo de trigo en Balcarce no respondió a la aplicación de Zn y Cu, a pesar de la prolongada e intensa historia agrícola del suelo. Estos resultados ponen en evidencia que si bien los niveles de MO han disminuido como consecuencia del incremento de la actividad agrícola, la capacidad del suelo de proveer Zn y Cu aún resulta suficiente para satisfacer las necesidades del cultivo de trigo. No obstante, es necesario seguir evaluando en otros ambientes y condiciones el comportamiento del trigo al agregado de micronutrientes y su relación con los contenidos de dichos nutrientes en el suelo.

## Bibliografía

Barbieri, P.A., H.R. Sainz Rozas, y H.E. Echeverría. 2009. Nitratos en el suelo a la siembra o al macollaje como diagnóstico de la nutrición nitrogenada en trigo en el sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo* 27:41-47

Campbell, L.C. 1989. Zinc affects yield, protein and quality of wheat. *Agronomy in a Mediterranean Environment Proceedings of the 5th Australian Agronomy Conference*. Disponible en <http://www.regional.org.au/au/asa/1989/contributed/plant-nutrition/p-33.htm>

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

Cruzate, G., y R. Casas. 2009. Extracción de nutrientes en la agricultura argentina. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 44:21-26.

Echeverría, H.E., y C.A. Navarro. 1983. Exploración de deficiencias nutritivas en suelos agrícolas del sudeste bonaerense. I: Método de Chaminade. *Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA)*, 18:17-29.

Echeverría, H.E., y H.R. Sainz Rozas. 2005. Nitrógeno. Pp. 69-95. En: H.E. Echeverría y F.O. García (eds). *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina.

Eyherabide, M., H.R. Sainz Rozas, H.E. Echeverría, J.L. Velasco, M. Barraco, G.N. Ferraris, y H.P. Angelini. 2012a. Niveles de zinc disponibles en suelos de la región pampeana argentina. XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina. 6 p.

Eyherabide, M., H.R. Sainz Rozas, H.E. Echeverría, J.L. Velasco, M. Barraco, G.N. Ferraris, y H.P. Angelini. 2012b. Niveles de cobre disponibles en suelos de la región pampeana argentina. XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina. 6 p.

Fontanetto, H., O. Keller, J. Albrecht, D. Gialivera, C. Negro, y L. Belotti. 2009. Manejo de la fertilización de la soja en la región pampeana norte y en el NOA argentino. *Mejores Prácticas de Manejo*. Simposio Fertilidad 2009 (Santa Fe, Rosario, mayo 13-14). pp. 109-118.

Gandrup, M.E., F.O. García, K.P. Fabrizio, y H.E. Echeverría. 2004. Evolución de un índice de verdor en hoja para evaluar el status nitrogenado en trigo. *Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA)*, 33(3):105-121.

Johnson, G.V. y P.E. Fixen. 1990. Testing Soils for Sulfur, Boron, Molybdenum, and Chlorine. In: Westerman, R.L. (ed) *Soil testing and Plant analysis*, Third edition. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA. pp. 265-273.

Lavado, R.S., C.A. Porcelli, y R. Alvarez. 1999. Concentration and distribution of extractable elements in a soil as affected by tillage systems and fertilization. *The Science of the Total Env.* 232(1):185-191.

Lavado, R.S., C.A. Porcelli, y R. Alvarez. 2001. Nutrient and heavy metal concentration and distribution in corn, soybean and wheat as affected by different tillage systems in the Argentine Pampas. *Soil Till. Res.* 62(1):55-60.

Lemos, E.A., M.G. Tellería, M.A. Vergara, y P. Prystupa. 2012. Fertilización foliar con cobre: ¿Aumenta el contenido proteico de los granos en cebada cervecera? XIX Congreso latinoamericano de la ciencia del suelo, XXIII congreso argentino de la ciencia del suelo Mar del Plata, Argentina - 16 al 20 de abril de 2012 Actas en CD 6 p.

McLean, E.O. 1982. Soil pH and Lime Requirement. In: A.L. Page, editor *Methods of Soil Analysis*. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI. pp. 199-224.

Moraghan, J.T., y H.J. Mascagni. 1991. Environmental and soil factors affecting micronutrient deficiencies and toxicities. En *Micronutrients in Agriculture*. S.H. Mickelson, R.J. Luxmoore, ED. pp. 371. 2nd ed.-SSA Book Series, No. 4

Reussi Calvo, N.I., H.E. Echeverría, y H.R. Sainz Rozas. 2008. Usefulness of Foliar Nitrogen-Sulfur Ratio in Spring Red Wheat. *Journal of Plant Nutrition*. 31:1612-1623.

Reussi Calvo, N.I., H.E. Echeverría, y H.R. Sainz Rozas. 2009. Determination of Sulfate Concentration in Soil: Depth of Sampling. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 40:1624-1633.

Rhee, K.C. 2001. Determination of Total Nitrogen. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. Texas A and M University, College Station, Texas.

SAGPYA. 2006. Producción de trigo 2006. [En línea]. (<http://www.sagpya.mecon.gov.ar/>). [Consulta: agosto de 2008].

Sainz Rozas, H.R., H.E. Echeverría, P.A. Calviño, P.A. Barbieri, y M. Redolatti. 2003. Respuesta del trigo al agregado de zinc y cobre en suelos del sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo* 21(2):52-58.

Sainz Rozas, H.R., y H.E. Echeverría. 2008. Relevamiento de la concentración de fósforo asimilable en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeana. Simposio Fertilidad 2009. Organizado por IPNI y Fertilizar Asociación Civil. Rosario, 12 y 13 de Mayo de 2009. Actas pp. 221-223

Sainz Rozas, H.R., H.E. Echeverría, y H.P. Angelini. 2011. Niveles de materia orgánica y de pH en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeana argentina. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica* 2:6-12.

Sainz Rozas, H.R., M. Eyherabide, H.E. Echeverría, H. Angelini, G.E. Larrea, G.N. Ferraris, y M. Barraco. 2013. ¿Cuál es el estado de la fertilidad de los suelos argentinos? En: F. García y A. Correndo (Eds.). *Simposio Fertilidad 2013: Nutrición de Cultivos para la Intensificación Productiva Sustentable*. 22-23 de Mayo de 2013. Rosario. IPNI Cono Sur-Fertilizar AC: 62-72.

Schmidt, R., y P. Szakál. 2007. The application of copper and zinc containing ion-exchanged synthesised zeolite in agricultural plant growing. *Nova Biotechnologica* 7(1):57-62-I

Sims, J.T., y G.V. Johnson. 1991. Micronutrient soil tests. In *Micronutrients in agriculture (Book series 4)*: 427-476. Mortvedt, J.J., Cox F.R., Shuman L.M. y M.R. Welch (Eds.) Ed. SSSA Madison, Wisconsin, USA

Studdert, G.A., y H.E. Echeverría. 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:1496-1503.

Urricariet, S., y R.S. Lavado. 1999. Indicadores de deterioro de los suelos de la Pampa Ondulada. *Ciencia del Suelo* 17:37-44.

Waskom, R.M. 1996. A review of use of chlorophyll meters to assess crop N status in the Great Plains. *Proceedings Great Plains Soil Fertility Conference*. J. Havlin (ed.). Kansas State University, Manhattan, KS, EEUU. pp. 36-43.