

FERTILIZACIÓN FOLIAR CON COBRE: ¿AUMENTA EL CONTENIDO PROTEICO DE LOS GRANOS EN CEBADA CERVECERA?

PABLO PRYSTUPA^{1*}; EDUARDO A LEMOS²; MARÍA GUADALUPE TELLERÍA² & MIGUEL A VERGARA^{1,2}

Recibido: 12-10-12

Recibido con revisiones: 18-02-13

Aceptado: 19-02-13

RESUMEN

En diversas regiones del mundo se han observado incrementos en el rendimiento de cereales de invierno por efectos de la fertilización con cobre (Cu), pero son raros los reportes de efectos sobre el contenido proteico de los granos. En cultivos extensivos de la Región Pampeana no existen antecedentes de deficiencias de este micronutriente. El objetivo de este trabajo fue evaluar los efectos de la fertilizaciones foliares con Cu durante floración o principios de llenado sobre el rendimiento y el contenido proteico en cultivos de cebada cervecera en el partido de Junín. A modo exploratorio, durante los años 2007 y 2008 se condujeron sendos ensayos en franjas apareadas sin repeticiones. En el año 2007 la fertilización con Cu incrementó significativamente el contenido proteico de los granos en casi 1% mientras que en 2008 los efectos no fueron significativos. Durante el 2009 se realizó un experimento en un suelo alcalino donde se evaluó el efecto de la fertilización con quelatos de Cu en dos dosis (62 y 125 g Cu ha⁻¹) aplicado en dos momentos (espigazón y llenado). Se alcanzaron rendimientos aceptables (3780 kg ha⁻¹) que no fueron afectados por la fertilización. La fertilización con Cu incrementó 1% el contenido proteico siendo mayores los efectos con la dosis mayor. No se observaron diferencias entre momentos de aplicación. En el año 2010 se realizó un ensayo donde se evaluó el efecto de la interacción entre la fertilización con Cu y la nitrogenada. No se observaron efectos del Cu sobre el rendimiento y el contenido proteico de los granos. Los efectos significativos del Cu sobre las proteínas fueron observados en los dos ambientes con mayores rendimientos. Lo observado en estos ensayos constituye un llamado de atención sobre las posibles deficiencias de este micronutriente en los agrosistemas pampeanos.

Palabras clave. Micronutrientes; calidad maltera; nitrógeno; momento de fertilización; cebada.

FOLIAR FERTILIZATION WITH COPPER: ¿DOES IT INCREASE GRAIN PROTEIN CONTENT IN MALTING BARLEY?

ABSTRACT

Symptoms of copper (Cu) deficiencies in wheat and barley crops have been observed in the areas around Junin, Province of Buenos Aires. Yield responses to Cu fertilization in wheat and barley crops have been observed in different regions of the world, but increases in grain protein content as an effect of Cu fertilization have not been frequently observed. Responses to Cu fertilization in grain crops of the Argentine Pampas have never been reported. The objective of this study was to evaluate the effects of Cu foliar fertilization during spiking or late grain filling on yield and grain protein content in malting barley crops. In an exploratory way, two experiments were conducted during 2007 and 2008 consisting of paired strips without replications. In 2007, grain protein content increased nearly 1% as an effect of Cu fertilization. However, no significant protein increases were detected in 2008. During 2009, an experiment was conducted in an alkaline soil. The five treatments included two Cu chelate rates (62 and 125 g Cu ha⁻¹) applied at two different times (spike emergence and late filling) and a control. No significant treatment effects were observed on yields while acceptable yields were reached (3780 kg ha⁻¹). Cu fertilization increased grain protein content nearly 1%. There were no significant differences between the two fertilization times. During 2010, an experiment was conducted in order to evaluate the interaction between Cu and nitrogen fertilization. No significant effects of Cu fertilization on yield or grain protein content were detected. A positive effect of Cu fertilization on grain protein content was observed in the two experiments with the highest yields.

Key words. Micronutrients, malting quality, nitrogen; fertilization timing; barley.

1 Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía, UBA. Av. San Martín 4453, C.A. de Buenos Aires.

2 A.E.R. INTA Junín. Ruta Nac. N° 7 y Camino al Parque Natural Laguna de Gómez, Junín (Buenos Aires).

* Autor de contacto: prystupa@agro.uba.ar

INTRODUCCIÓN

La fertilidad natural de los suelos de la Región Pampeana ha permitido sostener la producción agrícola y ganadera durante varias décadas con un muy bajo uso de fertilizantes (Lavado & Taboada, 2009). La continua exportación de nutrientes por los cultivos, la disminución de la concentración de la materia orgánica, y la erosión combinada con el aumento de los rendimientos, determinaron la aparición de deficiencias de diversos nutrientes, especialmente de nitrógeno y fósforo (Álvarez *et al.*, 2009; Lavado & Taboada, 2009). Desde mediados de la década del 90, se comenzaron a expresar, también, deficiencias de otros nutrientes, en principio azufre (Gutiérrez Boem *et al.*, 2007; Salvaggiotti *et al.*, 2012) y, posteriormente, micronutrientes, en particular cloro, boro y zinc (Zn) (Díaz Zorita *et al.*, 2004; Melgar *et al.*, 2001; Ferraris, 2011; Sainz Rozas *et al.*, 2003).

En los alrededores de Junín (norte de la Pcia. de Buenos Aires), hemos observado síntomas compatibles con deficiencias de Cu en cultivos de trigo y cebada. La disponibilidad de Cu en la región pampeana es en general alta, pero se han detectado zonas con disponibilidad entre media y baja de este elemento en el centro de la provincia de Córdoba y en el centro-norte de la provincia de Buenos Aires, incluyendo la región donde se observaron estos síntomas (Cruzate *et al.*, 2006; Eyherabide *et al.*, 2012). Sin embargo, no existen antecedentes de respuesta a la fertilización con este nutriente en cultivos extensivos en la Región Pampeana. Sainz Rozas *et al.* (2003) observaron respuestas a la aplicación conjunta de Zn y Cu en cultivos de trigo del sudeste de la provincia de Buenos Aires. Pero la respuesta a la aplicación conjunta de ambos nutrientes se asoció al contenido de Zn y no al de Cu del suelo. Además, experiencias posteriores descritas en la misma publicación donde se aplicaron estos nutrientes en forma separada indicaron que las respuestas se debían a las deficiencias de Zn y no de Cu (Sainz Rozas *et al.*, 2003).

En diversas regiones del mundo, como Canadá, Australia y el oeste de Europa, se han observado respuestas a la fertilización con Cu en cereales de invierno (Brennan, 1991; Holloway *et al.*, 2008; Malhi & Karamanos, 2006; Malhi *et al.*, 2005; Sinclair & Edwards, 2008). Tanto las aplicaciones al suelo, como las foliares realizadas entre emergencia y espigazón, pueden producir incrementos en el rendimiento (Malhi & Karamanos, 2006; Malhi *et al.*, 2005). En diversas investigaciones realizadas en suelos deficientes en Cu de las praderas canadienses (predominantemente sobre suelos orgánicos o arenosos) no se han

observado efectos de la fertilización tanto foliar como al suelo con este nutriente sobre el contenido proteico de los granos (Malhi & Karamanos, 2006; Malhi *et al.*, 2005). Sin embargo, en un trabajo reciente realizado sobre suelos alcalinos en la India se observaron que la fertilización foliar con Cu incrementó el contenido proteico de los granos en tres de ocho experimentos (Coventry *et al.*, 2011).

En la última década, la cebada cervecera ha tomado una importancia creciente en las rotaciones agrícolas del norte de la provincia de Buenos Aires. Para ser utilizada por las malterías, la cebada debe tener un contenido proteico intermedio, ni excesivamente alto ni muy bajo (Savín & Aguinaga, 2011). De acuerdo a las condiciones de comercialización vigentes en nuestro país, el precio de este cereal alcanza su máximo valor cuando el contenido proteico se encuentra entre el 10 y el 12%. El objetivo de este trabajo fue evaluar los efectos de la fertilización foliar con Cu durante floración o principios de llenado sobre el rendimiento y el contenido proteico en cultivos de cebada cervecera en el partido de Junín.

MATERIALES Y MÉTODOS

A modo exploratorio, en los años 2007 y 2008 se condujeron dos ensayos en franjas apareadas sin repeticiones donde sólo se evaluó el contenido proteico de los granos. Posteriormente (años 2009 y 2010), se realizaron dos ensayos (con un diseño en bloques completos aleatorizados) donde se evaluaron el rendimiento y el contenido proteico de los granos.

Todos los experimentos se realizaron en el partido de Junín, norte de la provincia de Buenos Aires, se empleó la variedad *Scarlett* y recibieron una fertilización de base de manera que otros nutrientes no limitasen el rendimiento. Los experimentos se realizaron sobre cultivos de producción, por lo que recibieron el manejo que usualmente implementan los productores de la región.

Años 2007 y 2008 (franjas apareadas)

En 2007 el ensayo se realizó sobre un suelo Hapludol típico y en 2008 se realizó en un Hapludol éntico. Los tratamientos consistieron en: a) testigo, y b) fertilizado con sulfato de Cu en una dosis de 500 g ha⁻¹ pulverizado con 100 L de agua al momento fenológico de cuarto de grano en 2007 y a mediados de llenado en 2008. Los ensayos se condujeron en franjas apareadas, realizando tres mediciones del contenido proteico de los granos en cada franja (pseudo réplicas) en el año 2007, y cinco mediciones el año 2008. Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza considerando que cada par de observaciones correspondieron a un bloque.

Año 2009

El ensayo se realizó sobre un suelo Natracualf. El horizonte superficial (0 a 20 cm) era alcalino (pH = 8,5) pero no sódico (PSI = 4) con 2,3% de materia orgánica. A partir de los 20 cm de profundidad, se observó un B_{2t} alcalino (pH = 8,9) y sódico (PSI = 28). Los tratamientos resultaron de la combinación de dos dosis de Cu y dos momentos de fertilización durante el llenado de granos más un testigo sin fertilización con Cu (Tabla 1). La aplicación fue foliar y se empleó quelatos de Cu como fuente. El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. Se determinó el rendimiento y el contenido proteico de los granos. Los resultados fueron analizados mediante análisis de varianza. Cuando el efecto de los tratamientos fue significativo, las medias se compararon mediante contrastes previamente planeados.

Año 2010

El ensayo se realizó sobre un suelo Hapludol éntico con signos de degradación. El horizonte superficial (0 a 20 cm) era ligeramente ácido (pH = 5,9) con 2,9% de materia orgánica. De 0 a 40 cm de profundidad se registraron 38,4 kg de N-NO₃ ha⁻¹.

Los tratamientos resultaron de la combinación factorial de tres niveles de fertilización nitrogenada aplicada como urea (37, 60 y 79 kg N ha⁻¹) y tres tratamientos de fertilización con Cu: i) sin fertilización con Cu, ii) fertilización foliar con 125 g Cu ha⁻¹ como quelatos, aplicado en hoja bandera, y iii) fertilización foliar con 125 g Cu ha⁻¹ como quelatos, aplicado en un cuarto de llenado de granos. El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. Se determinó el rendimiento y el contenido proteico de los granos. Los resultados fueron analizados mediante análisis de varianza factorial.

RESULTADOS

Experimentos 2007 y 2008

En el experimento del año 2007, el rendimiento promedio del lote fue de 4200 kg ha⁻¹. La fertilización con Cu incrementó significativamente el contenido proteico de los granos en casi 1%. El rendimiento promedio del año 2008 fue inferior, con una media de 2300 kg ha⁻¹. No se observaron efectos significativos de la fertilización con Cu sobre el contenido proteico de los granos (Fig. 1).

Experimento 2009

Los tratamientos no afectaron significativamente el rendimiento de los cultivos (Fig. 2). El rendimiento promedio del ensayo fue de 3780 kg ha⁻¹. La fertilización con Cu aumentó el contenido proteico de los granos, en promedio, 0,9% (ANVA p=0,012; contraste tratamiento 1 vs 2, 3, 4 y 5; p=0,014) (Fig. 2). La dosis de 125 g Cu ha⁻¹ determinó un contenido proteico 1% mayor que la dosis de 62 g Cu ha⁻¹ (contraste tratamiento 2 y 4 vs 3 y 5; p=0,004). No se detectaron efectos significativos del momento de aplicación, ni de la interacción entre momento y dosis (contraste 2 y 3 vs 4 y 5; y contraste 2 y 5 vs 3 y 4, no significativos).

Experimento 2010

El rendimiento promedio del ensayo fue de 2870 kg ha⁻¹. Ni la fertilización nitrogenada ni la fertilización con Cu afectaron significativamente los rendimientos (Fig. 3). La fertilización con Cu tampoco afectó el contenido proteico de los granos. En cambio, la fertilización nitrogenada produjo un incremento significativo de 2,2% (p=0,001).

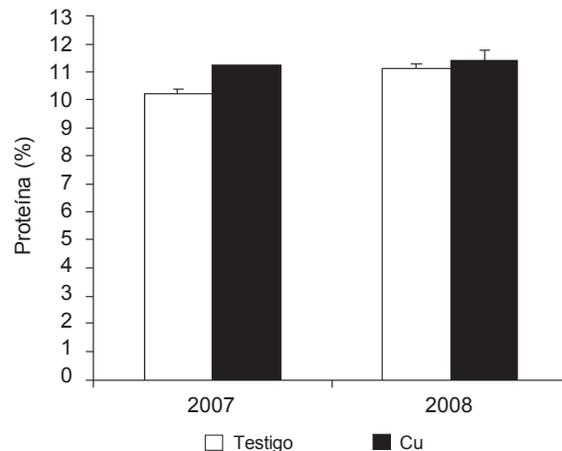


Figura 1. Contenido proteico de los granos en cultivos de cebada con y sin aplicación de cobre (Cu) como sulfato de Cu, durante el llenado en los ensayos de 2007 y 2008. Cada barra es la media de tres observaciones en 2007 y cinco observaciones en 2008, realizadas en una misma franja. Figure 1. Grain protein content in barley crops with and without copper (Cu) fertilization during grain filling using copper sulphate, in the 2007 and 2008 experiments. Each bar shows the average of three (2007) or five (2008) observations inside a strip.

Tabla 1. Tratamientos empleados en el ensayo del año 2009.

Table 1. Treatments evaluated in the 2009 experiment.

Tratamiento	1	2	3	4	5
Estadio de aplicación	-	Inicio de llenado	Inicio de llenado	Mediados de llenado	Mediados de llenado
Dosis (g Cu ha ⁻¹)	0	62	125	62	125

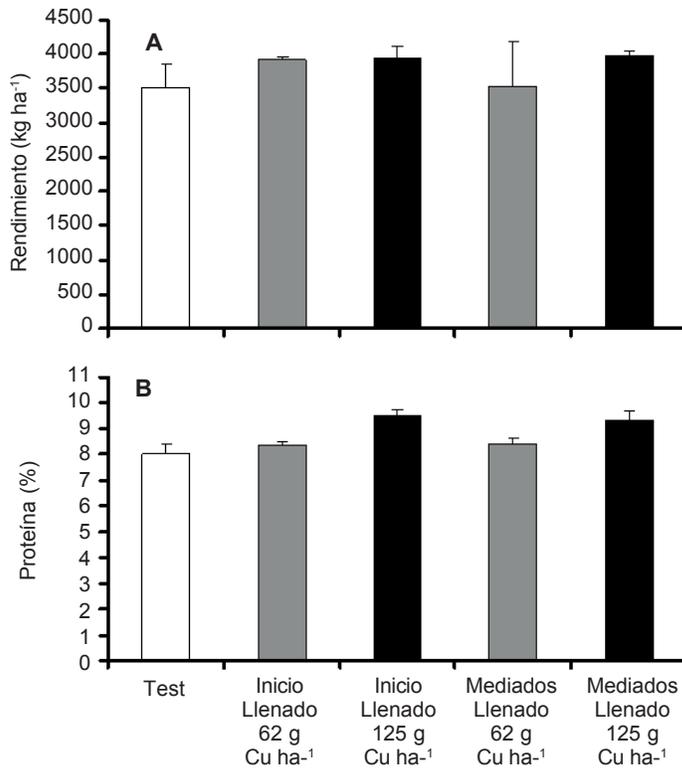


Figura 2. Rendimiento (A) y contenido proteico de los granos (B) en cultivos de cebada cervecera, con y sin fertilización foliar con quelatos de cobre (Cu) en dos dosis y dos momentos de aplicación (Ensayo 2009). Cada barra es la media de tres repeticiones y las líneas sobre las barras indican el error estándar.

Figure 2. Yield (A) and grain protein content (B) in barley crops with and without copper (Cu) fertilization applied in two phenological stages using copper chelates (experiment 2009). Each bar shows the average of three observations and the lines above the bar show the standard error.

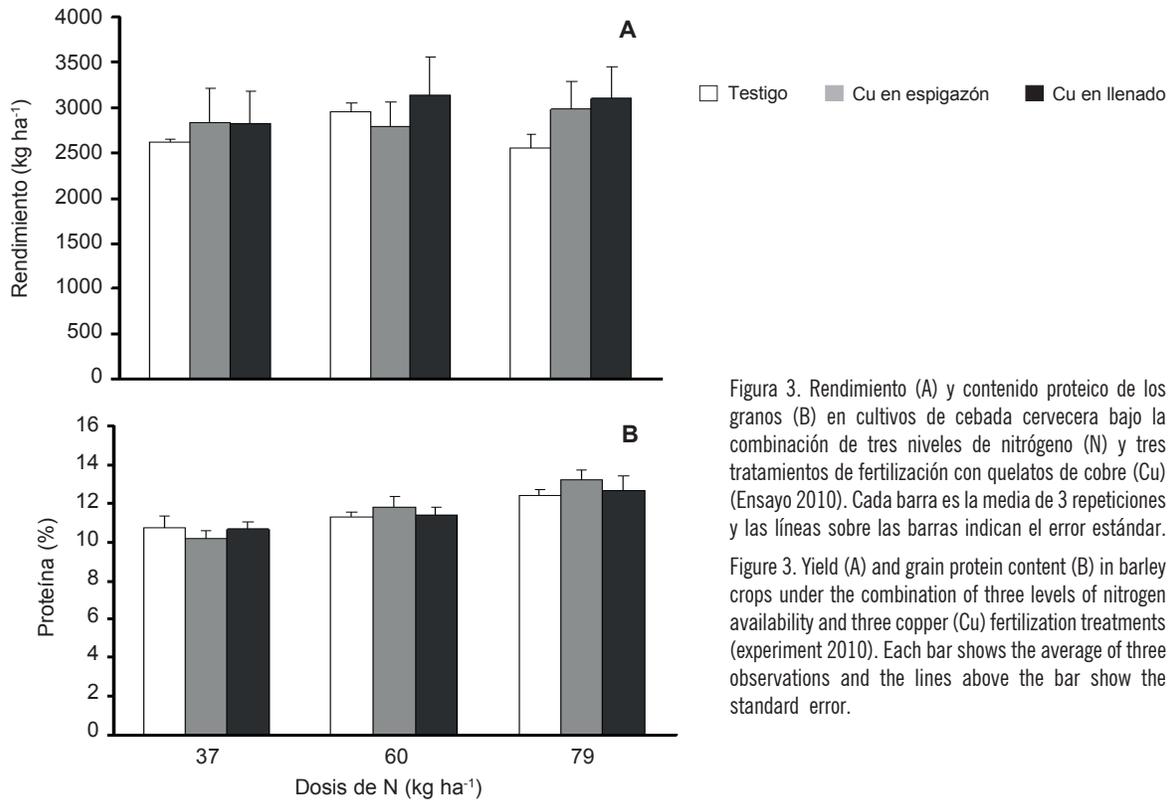


Figura 3. Rendimiento (A) y contenido proteico de los granos (B) en cultivos de cebada cervecera bajo la combinación de tres niveles de nitrógeno (N) y tres tratamientos de fertilización con quelatos de cobre (Cu) (Ensayo 2010). Cada barra es la media de 3 repeticiones y las líneas sobre las barras indican el error estándar.

Figure 3. Yield (A) and grain protein content (B) in barley crops under the combination of three levels of nitrogen availability and three copper (Cu) fertilization treatments (experiment 2010). Each bar shows the average of three observations and the lines above the bar show the standard error.

DISCUSIÓN

El presente trabajo constituye una primera confirmación de deficiencias de Cu en cultivos extensivos de la Región Pampeana. En la mitad de las experiencias presentadas, se observó respuesta a la fertilización con Cu sobre el contenido proteico de los granos. Sin embargo, esta información debe ser tomada en forma provisoria porque el número de experimentos fue pequeño y las evaluaciones realizadas en 2007 y 2008 no tuvieron un diseño experimental válido.

Los mapas de distribución de Cu disponible realizados en la Región Pampeana indican que los ensayos se realizaron en una zona de valores de disponibilidad de este nutriente menor que el resto de la Región Pampeana (Cruzate *et al.*, 2006; Eyherabide *et al.*, 2012). Por lo tanto, las deficiencias observadas en este trabajo no deberían ser extrapoladas fuera del área de estudio.

Las variedades de cebada cervecera más cultivadas actualmente en nuestro país presentan una marcada tendencia a presentar contenido proteicos inferiores a los requeridos por la industria (Wehrhahne, 2008). La fertilización foliar con Cu podría representar una herramienta útil para alcanzar los objetivos de calidad de este cereal.

Tres características edáficas que se asocian con bajas disponibilidades de este nutriente son suelos arenosos, altos contenidos de materia orgánica y alcalinidad (Alloway, 2008). En suelos alcalinos diversos micronutrientes como el hierro y el Cu se encuentra formando precipitados no disponibles para los vegetales (Alva *et al.*, 2000). El ensayo de 2009 fue realizado en condiciones de alcalinidad. Los rendimientos alcanzados son aceptables desde el punto de vista productivo, lo que indica que, al menos en los años con condiciones climáticas favorables, es un ambiente apto para este cultivo. Es destacable la adaptabilidad que mostró la cebada cervecera a un suelo que usualmente sería considerado no apto para la agricultura.

Los dos ensayos en que se observaron respuestas en el contenido proteico de los granos a la fertilización con Cu, tuvieron rendimientos mayores a los que no presentaban respuesta (4200 y 3780 kg ha⁻¹ en los sitios con respuesta, 2300 y 2870 kg ha⁻¹ en los sitios sin respuesta). Es posible, entonces, que la respuesta a este nutriente esté asociada a altos niveles productivos.

La efectividad de las aplicaciones foliares de Cu depende del momento de aplicación (Graham, 1976; Malhi *et al.*, 2005). En las praderas de Canadá, por ejemplo, se ha de-

terminado que las mayores respuestas se encuentran cuando la fertilización se realiza en el estadio de hoja bandera (Malhi & Karamanos, 2006; Malhi *et al.*, 2005). En los dos experimentos donde se observaron incrementos del contenido proteico de los granos por efecto de la aplicación de Cu, la fertilización se realizó durante el llenado del grano. Es probable que el rendimiento (o al menos el número de granos) ya hubiese estado determinado al momento de la fertilización con Cu. Dado que el Cu es un cofactor de distintas enzimas, es probable que la fertilización con este nutriente haya afectado algún paso del metabolismo del nitrógeno. Sería interesante evaluar los efectos de aplicaciones de Cu en otros estadios fenológicos.

En los agrosistemas de la Región Pampeana, la información disponible indica que se debe prestar atención a la probabilidad de que existan deficiencias de diversos micronutrientes, entre ellos zinc, boro, cloro, cobalto y molibdeno (Díaz-Zorita *et al.*, 1998; Melgar *et al.*, 2001; Ferraris, 2011; Fontanetto *et al.*, 2006; Sainz Rozas *et al.*, 2003). Lo observado en estos ensayos constituye un llamado de atención sobre las posibles deficiencias de Cu en los cultivos extensivos realizados en las cercanías del partido de Junín.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Juan José Alé de la empresa Fragaria S.A. por su colaboración en los ensayos.

BIBLIOGRAFÍA

- Alloway, B.J. 2008. Micronutrients and crop production: an introduction. In: B.J. Alloway (ed.), *Micronutrient Deficiencies in Global Crop Production*. Pp. 1-39. Springer Science + Business Media B.V.
- Alva, A.K.; B. Huang & S. Paramasivam. 2000. Soil pH affects copper fractionation and phytotoxicity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 955-962.
- Álvarez, C.R.; M.A. Taboada; F.H. Gutiérrez Boem; A. Bono; P.L. Fernández & P. Prystupa. 2009. Topsoil properties as affected by tillage systems in the Rolling Pampa region of Argentina. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 73: 1242-1250.
- Brennan, R.F. 1991. Effect of copper application on take-all severity and grain yield of wheat in field experiments near Esperance, Western Australia. *Austr. J. Exp. Agric.* 31: 255-258
- Coventry, D.R.; R.K. Gupta; A. Yadav; R.S. Poswal; R.S. Chhokar; R.K. Sharma; V.K. Yadav; S.C. Gill; A. Kumar; A. Mehta; S.G.L. Kleemann; A. Bonamano & J.A. Cummins. 2011. Wheat quality and productivity as affected by varieties and sowing time in Haryana, India. *Field Crops Res.* 123: 234-240.
- Cruzate, G.; E. Rivero & R. Turati. 2006. Cobre, hierro y manganeso: mapas de disponibilidad y respuesta a la fertilización en suelos de la región pampeana. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta-Jujuy. En CD.

- Díaz Zorita, M; GA Duarte & M Barraco. 2004. Effects of chloride fertilization on wheat (*Triticum aestivum* L.) productivity in the sandy Pampas region, Argentina. *Agron. J.* 96: 839-844.
- Eyherabide, M; H Sainz Rozas; H Echeverría; J Velasco; M Barraco; G Ferraris & H Angelini. 2012. Niveles de cobre disponibles en suelos de la Región Pampeana argentina. XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata. 16-20 de abril de 2012. Actas en CD.
- Ferraris, GN. 2011. Micronutrientes en cultivos extensivos. ¿Necesidad actual o tecnología para el futuro? *En: FO García & AA Correndo (eds.) Simposio Fertilidad 2011: La nutrición de cultivos integrada al sistema de producción.* Pp.121-133. International Plant Nutrition Institute. Acaassuso. Argentina.
- Fontanetto, H; O Keller; C Negro; L Belotti & D Giailevra. 2006. Inoculación y fertilización con cobalto y molibdeno sobre la nodulación y la producción de soja. Actas de la III Congreso de soja del Mercosur: 553-556.
- Graham, RD. 1976. Physiological aspects of time of application of copper to wheat plants. *J. Exp. Bot.* 27: 717-724.
- Gutiérrez Boem, FH; P Prystupa & G Ferraris. 2007. Seed number and yield determination in sulphur deficient soybean crops. *J. Plant Nutr.* 30: 93-104.
- Holloway, RE; RD Graham & SP Stacey. 2008. Micronutrient deficiencies in Australian field crops. *In: BJ Alloway (ed.), Micronutrient Deficiencies in Global Crop Production.* Pp .63-92. Springer Science + Business Media B.V.
- Lavado, RS & MA Taboada. 2009. The Argentinean Pampas: A key region with a negative nutrient balance and soil degradation needs better nutrient management and conservation programs to sustain its future viability as a world agresource. *J. Soil Water Conserv.* 64: 150-153.
- Malhi, SS & RE Karamanos. 2006. A review of copper fertilizer management for optimum yield and quality of crops in the Canadian Prairie provinces. *Can. J. Plant Sci.* 86: 605-619.
- Malhi, SS; L. Cowell & HR Kutcher. 2005. Relative effectiveness of various sources, methods, times and rates of copper fertilizers in improving grain yield of wheat on a Cu-deficient soil. *Can. J. Plant Sci.* 85: 59-65.
- Melgar, R; J Lavandera; M Torres Duggan & L Ventimiglia. 2001. Respuesta de la fertilización con boro y zinc en sistemas intensivos de producción de maíz. *Ci. Suelo* 19: 109-114.
- Sainz Rozas, H; HE Echeverría; PA Calviño; P Barbieri & M Redolatti. 2003. Respuesta del cultivo de trigo al agregado de zinc y cobre en el sudeste bonaerense. *Ci. Suelo* 21: 52-58.
- Salvagioti, F; G Ferraris; A Quiroga; M Barraco; H Vivas; P Prystupa; H Echeverría & FH Gutiérrez Boem. 2012. Identifying sulfur deficient fields by using sulfur content; N:S ratio and nutrient stoichiometric relationships in soybean seeds. *Field Crops Res.* 135: 107-115.
- Savin, R & A Aguinaga. 2011. Los requerimientos de la industria: calidad comercial e industrial y sus determinantes. *En: DJ Miralles; RL Benech Arnold & LG Abeledo (eds.). Cebada cervecera.* Pp. 207-238. Editorial Facultad de Agronomía. Buenos Aires, Argentina
- Sinclair, AH & AC Edwards. 2008. Micronutrient deficiency problems in agricultural crops in Europe. *In: BJ Alloway (ed.), Micronutrient Deficiencies in Global Crop Production.* Pp. 225-244. Springer Science + Business Media BV
- Wehrhahne, L. 2008 Evaluación comparativa de rendimiento y calidad de avena, cebada y trigo en Barrow. VII Congreso Nacional de Trigo y V Simposio Nacional de Cereales de Siembra Otoño-Invernal. Santa Rosa, Pcia. de La Pampa: S21.