

## Fertilización con zinc, cobre y cloro en el cultivo de trigo en el sudeste bonaerense

### Fertilization with zinc, copper and chlorine in the wheat crop in the southeast of Buenos Aires

#### **Pablo Barbieri \***

Unidad Integrada Balcarce INTA; Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata; Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina

#### **Cecilia Crespo**

Unidad Integrada Balcarce INTA; Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata; Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina

#### **Matías Cuervo**

Unidad Integrada Balcarce INTA; Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina

#### **María Pía Rodríguez**

Unidad Integrada Balcarce INTA; Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata; Fondo para la Investigación Científica y Tecnológica (FONCyT), Argentina

#### **Revista de la Facultad de Agronomía**

Universidad Nacional de La Plata, Argentina

ISSN: 1669-9513

Frecuencia: Semestral

Vol. 120, núm. 2, 2021

redaccion.revista@agro.unlp.edu.ar

Recepción: 01/07/2020

Aprobación: 30/09/2020

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/23/232371004/index.html>

DOI: <https://doi.org/10.24215/16699513e076>

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

## Resumen

La fertilización con nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S) es una práctica frecuente en la producción de trigo (*Triticum aestivum* L.), sin embargo, micronutrientes como zinc (Zn), cobre (Cu) y cloro (Cl) pueden ser deficientes en el suelo y limitar las funciones metabólicas de las plantas en sistemas productivos extensivos. El objetivo de este trabajo fue explorar la respuesta a la fertilización con Zn, Cu y Cl sobre la acumulación de materia seca (MS) y N, el rendimiento en grano y el contenido de proteína en el cultivo de trigo. La experiencia se llevó a cabo en la Estación Experimental Agropecuaria del INTA Balcarce en dos campañas. Se utilizó un diseño en bloques completos aleatorizados y los tratamientos evaluados fueron la fertilización con: i) NPS, ii) NPS+Zn+Cu, y iii) NPS+Zn+Cu+Cl. Los rendimientos del cultivo de trigo no se incrementaron significativamente por efecto de la fertilización con micronutrientes en dos años con condiciones meteorológicas contrastantes (promediando 4372 kg ha<sup>-1</sup> para el año 1 y 7441 kg ha<sup>-1</sup> para el año 2). En ambos años, la aplicación de micronutrientes no afectó significativamente ( $p>0,05$ ) el índice de verdor, la materia seca y el N acumulado durante diferentes estadios del ciclo de crecimiento del cultivo ni el contenido de proteína de los granos. Se concluye que la fertilización con Zn, Cu y Cl no afectó diferencialmente ninguno de los parámetros evaluados en el cultivo de trigo. Estos resultados serían consecuencia de que la disponibilidad de estos micronutrientes en suelo se encontró por encima de los umbrales reportados, lo que pudo haber disminuido la probabilidad de respuesta.

**Palabras clave:** micronutrientes, índice de verdor, rendimiento

## Abstract

Nitrogen (N), phosphorus (P), and sulfur (S) fertilization is a common practice in wheat (*Triticum aestivum* L.) production, however, micronutrients such as zinc (Zn), copper (Cu) and chlorine (Cl) can be deficient in soils and limiting plants metabolic functions in extensive production systems. The aim of this work was to evaluate the effect of Zn, Cu, and Cl fertilization on wheat dry matter accumulation, grain yield and protein content. The experience was carried out in the Agricultural Experimental Station of INTA Balcarce for two years. A full randomized block design was used and the treatments were fertilization with: i) NPS, ii) NPS+Zn+Cu, and iii) NPS+Zn+Cu+Cl. Wheat grain yield was not significantly increased by micronutrients fertilization in either year, with contrasting weather conditions (averaging 4372 kg ha<sup>-1</sup> for year 1 and 7441 kg ha<sup>-1</sup> for year 2). In years, green index, dry matter, N accumulation during different crop stages and grain protein content were not significantly affected by micronutrient application. It is concluded that Zn, Cu, and Cl fertilization did not differentially affect any wheat parameters evaluated. These results would be a consequence of micronutrients availability, which was above the reported thresholds, which may have decreased the probability of response.

**Keywords:** micronutrients, green index, grain yield

## INTRODUCCIÓN

El trigo (*Triticum aestivum* L.) 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 11,8% a la producción total del país (2,3 millones de Tn) (MAGPyA, 2019). En el ciclo 2019/20 el área sembrada con trigo en Argentina alcanzó las 6,6 M ha y marcó un aumento del 6,5% respecto a la campaña anterior, cuando se registraban 6,2 M ha.

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

Las deficiencias de micronutrientes son menos frecuentes que las determinadas en 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 consiguiente, la exportación continua de micronutrientes sin reposición podría originar deficiencias de los mismos y respuestas a la fertilización. En este sentido, la agricultura moderna de alta producción incrementa la tasa de extracción de macro y micronutrientes (Cruzate & Casas, 2009). A su vez, el incremento en la frecuencia del cultivo de soja (*Glycine max* L.) en las rotaciones agrícolas podría afectar negativamente el balance de micronutrientes en el suelo, ya que exporta mayores cantidades que el trigo o maíz (*Zea mays* L.). Por otra parte, 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, mientras que la concentración de cobre (Cu) no mostró tendencia a la estratificación (Lavado et al., 1999). Por otra parte, la menor temperatura del suelo bajo SD afecta la difusión de los nutrientes hacia las raíces de las 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 & Mascagni, 1991). Por lo tanto, teniendo en cuenta la disminución en los niveles de MO de los suelos del sudeste bonaerense, la falta de reposición de micronutrientes, el aumento en la productividad y exportación de los mismos por otros cultivos, es probable que las deficiencias de micronutrientes incidan en la productividad del cultivo de trigo. En este contexto, es probable que la fertilización con micronutrientes sea una práctica de manejo del cultivo de trigo más frecuente.

La disponibilidad de Zn y Cu puede ser elevada en suelos con altos contenidos de MO (Moraghan & Mascagni, 1991). En este sentido, los niveles de MO en el sudeste bonaerense son elevados en condiciones prístinas, sin embargo, Eyherabide et al. (2012a, 2012b) informaron disminuciones del 16% en los niveles de Cu en suelos bajo agricultura continúa encontrándose por encima de los umbrales críticos (0.12-0.25 mg.kg<sup>-1</sup> sugerido por Sims & Johnson, 1991). Contrariamente, las caídas en los niveles de Zn debido a la actividad agrícola fueron de aproximadamente 65%, llegando a valores cercanos a los umbrales de deficiencia mencionados en la bibliografía (0.8-1.0 mg kg<sup>-1</sup> sugerido por Sims & Johnson, 1991).

El estado de nutrición nitrogenada se puede diagnosticar por el índice de verdor (IV), basado en mediciones con el medidor de clorofila Minolta 502 SPAD® a través de la cuantificación no destructiva de las hojas (Waskom, 1996). El medidor de clorofila es un método rápido y fácil de utilizar, está basado en la estrecha relación entre las lecturas IV y el contenido de clorofila y entre éstos y la hoja de la concentración de N (Schepers et al., 1992). Dado que, la deficiencia de Zn está estrechamente relacionada con el metabolismo del N (Kirvy & Römheld, 2007) y que la clorosis es un síntoma típico de la deficiencia de Cu, el IV podría ser usado como una herramienta de diagnóstico para determinar la deficiencia de estos micronutrientes.

A diferencia del Zn y el Cu, la cantidad de cloro (Cl) disponible para los cultivos se encuentra en solución. En el suelo, los cloruros presentan mayor movilidad que los nitratos y por ende mayor probabilidad de que se pierdan del perfil del suelo por lixiviación, sugiriendo que los suelos arenosos y con buen drenaje tengan mayor probabilidad de respuesta a la fertilización con cloruros. Las deficiencias de Cl pueden constituir un factor limitante de la producción en cereales de invierno (Fixen et al., 1986). El requerimiento específico de cloro en trigo se encuentra entre los más altos dentro de los micronutrientes. El uso de umbrales de

contenido de cloruros en suelo por debajo del cual aumenta la probabilidad de respuesta a la fertilización han sido propuestos en ambientes diversos, oscilando entre 13 y 30 mg kg<sup>-1</sup> (Fixen et al., 1987; Díaz Zorita et al., 2004). Dada la movilidad del Cl en el suelo, los valores de estos umbrales pueden ser diferentes en suelos con diferente textura. La respuesta de trigo al agregado de Cl ha sido reportada en otros países. En Argentina, varios estudios de fertilización con cloruro de potasio (KCl), en combinación con otros elementos muestran aumentos en la producción de trigo (Melgar et al., 2001; Díaz Zorita et al., 2004; Ferraris et al., 2008; Castellarín et al., 2010). En general, las dosis normalmente recomendadas se encuentran entre 10 y 25 kg ha<sup>-1</sup> de Cl (Melgar et al., 2001; Garcia 2008).

Los efectos del Cl en el desarrollo de trigo varían con el ambiente específico de cada estación de crecimiento. Se ha sugerido que la fertilización con Cl incrementaría los rendimientos por una acción directa en la disminución de la incidencia de enfermedades foliares (Xu et al., 2000), sin embargo, estudios realizados en el centro norte de la región pampeana mostraron que los mayores incrementos en el rendimiento se lograron cuando la fertilización con Cl se combinó con tratamientos de fungicidas y cultivares de trigo de alto potencial de rendimiento (Salvagiotti et al., 2005; Castellarín et al., 2009). Sin embargo, no hay antecedentes al respecto en el sudeste bonaerense, por lo cual toma relevancia analizar los efectos de la fertilización con Cl en trigo en dicha zona. 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 de proteína (Campbell, 1989; Schmidt & Szakál, 2007), se desconocen tales efectos a nivel local.

El objetivo del presente trabajo fue explorar la respuesta a la fertilización con Zn, Cu y Cl sobre la acumulación de materia seca (MS) y N, el rendimiento en grano y el contenido de proteína en el cultivo de trigo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia se llevó a cabo en la Estación Experimental Agropecuaria del INTA Balcarce (EEAB) (37° 45' S; 58° 18' O). El ensayo se estableció durante 2 años sobre un Argiudol típico fino, mixto, térmico (serie Mar del Plata). En la Tabla 1 se presenta información adicional respecto a los suelos utilizados. El sitio experimental estuvo sometido a prolongada historia agrícola bajo labranza de tipo convencional (arado de reja y rastra de disco) y durante los últimos 5 años continuó bajo cultivo con SD. Previo a la siembra del cultivo se realizó el barbecho químico con glifosato.

El tamaño de las parcelas fue de 5 m por 15 m. En ambos años, la implantación del ensayo se realizó durante la segunda quincena de junio bajo SD. La variedad de trigo utilizada fue BIOINTA 1005 de ciclo intermedio, a una densidad de 420 plantas m<sup>-2</sup>, con una distancia entre surco de 17,5 cm. El diseño utilizado fue en bloques completos aleatorizados y los tratamientos evaluados fueron la fertilización con: i) NPS, ii) NPS+Zn+Cu, y iii) NPS+Zn+Cu+Cl. A la siembra del cultivo de trigo se aplicaron 120 kg ha<sup>-1</sup> de fosfato diamónico (DAP), y al inicio del macollaje se fertilizó con 60 kg N ha<sup>-1</sup> como urea y 25 kg S ha<sup>-1</sup> como CaSO<sub>4</sub> a todos los tratamientos. Al estadio de doble arruga se refertilizó con 60 kg N ha<sup>-1</sup>, con el fin de no tener limitaciones de N y según cada tratamiento, se aplicaron en forma foliar con mochila (162 l de agua ha<sup>-1</sup>) 500 g ha<sup>-1</sup> de Zn (ZnO) y Cu (CuSO<sub>4</sub>) y 20 kg ha<sup>-1</sup> de Cl (KCl, 46% Cl) aplicados al voleo en superficie. En ambos años, se tomaron muestras de suelo al momento de la siembra y se determinó, en todos los tratamientos, el contenido de MO (Walkley & Black, 1934), pH (1:2.5), P Bray (Bray & Kurtz, 1945), el contenido de Cu y Zn (DTPA) y Cl en superficie (Gelderman et al., 1998). (0-20 cm) y de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Bremner & Keeney, 1966) en el perfil (0-60 cm) (Tabla 1).

En los estadios fenológicos de macollaje, floración y madurez fisiológica se realizó la determinación de la materia seca (MS) aérea acumulada. Para ello se cortaron al nivel del suelo en cada parcela muestras de biomasa aérea del trigo de una superficie de 0,525 m<sup>2</sup> y se secaron en estufa a 60° C hasta alcanzar peso constante. En cinco momentos del ciclo del cultivo de trigo se realizaron mediciones de intensidad del color verde (IV) de las hojas, determinado con el medidor de clorofila Minolta SPAD 502 (Waskom, 1996). En madurez fisiológica se determinó el rendimiento del cultivo. El rendimiento en grano fue expresado al 14% de humedad. Se determinó el N total en planta entera para los estadios en los cuales se realizó la determinación de MS mediante el método de Dumas, para lo cual se realizó la combustión de la muestra a 950°C y se cuantificó el contenido de N mediante un analizador LECO TruSpec CN (LECO, 2011). El N

total acumulado (Nac) por el cultivo en planta entera se calculó como el producto entre la biomasa acumulada y el N total en la misma. El contenido de proteína fue estimado a partir del N total en grano (%N\*5,7). En ambas campañas, se realizó un balance de agua mediante la utilización del modelo propuesto por Della Magiora et al. (2003) para determinar si el cultivo estuvo afectado por la oferta hídrica. Los datos climáticos fueron obtenidos de la Estación Meteorológica de la EEA INTA Balcarce

Se realizó análisis de la varianza utilizando el procedimiento GLM del programa Statacal Analysis System (SAS Institute, 1985). Las medias de tratamientos fueron comparadas usando el test de la diferencia mínima significativa (DMS) al 5% de probabilidad cuando el análisis de la varianza indicó efecto significativo de los tratamientos.

## RESULTADOS

### CONDICIONES CLIMÁTICAS

Para ambas campañas de trigo, las precipitaciones registradas de julio a diciembre fueron 195 y 387 mm el año 1 y el año 2, respectivamente. El segundo año presentó lluvias similares al requerimiento hídrico del cultivo de trigo (aprox. 380-400 mm). Por tal motivo, este año, la disponibilidad hídrica durante el ciclo del cultivo fue adecuada para un normal desarrollo (Figura 1). En cuanto al año 1, se observó un déficit hídrico desde mediados de octubre hasta el fin del ciclo del cultivo (Figura 1), Dicho estrés ocurrió alrededor del período crítico y se extendió durante el periodo de llenado de grano, por lo cual pudo haber condicionado el rendimiento del cultivo.

### ACUMULACIÓN DE MS Y N

En el año 1, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos para la MS y el Nac en ninguno de los estadios analizados ( $p > 0,05$ ) (Tabla 2). Lo mismo se determinó en el año 2 (Tabla 2). Sin embargo, en madurez fisiológica se observó una mayor acumulación de MS respecto al año 1, en promedio 2460 kg MS ha<sup>-1</sup>. En ambos años, la fertilización con Zn, Cu y Cl no incrementó la MS ni el Nac en el cultivo de trigo.

### ÍNDICE DE VERDOR

En ningún año y estadio fenológico se determinaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre tratamientos sobre el IV (Tabla 3). En todos los estadios, los valores promedio de IV determinados en el año 2 fueron inferiores con respecto al año 1.

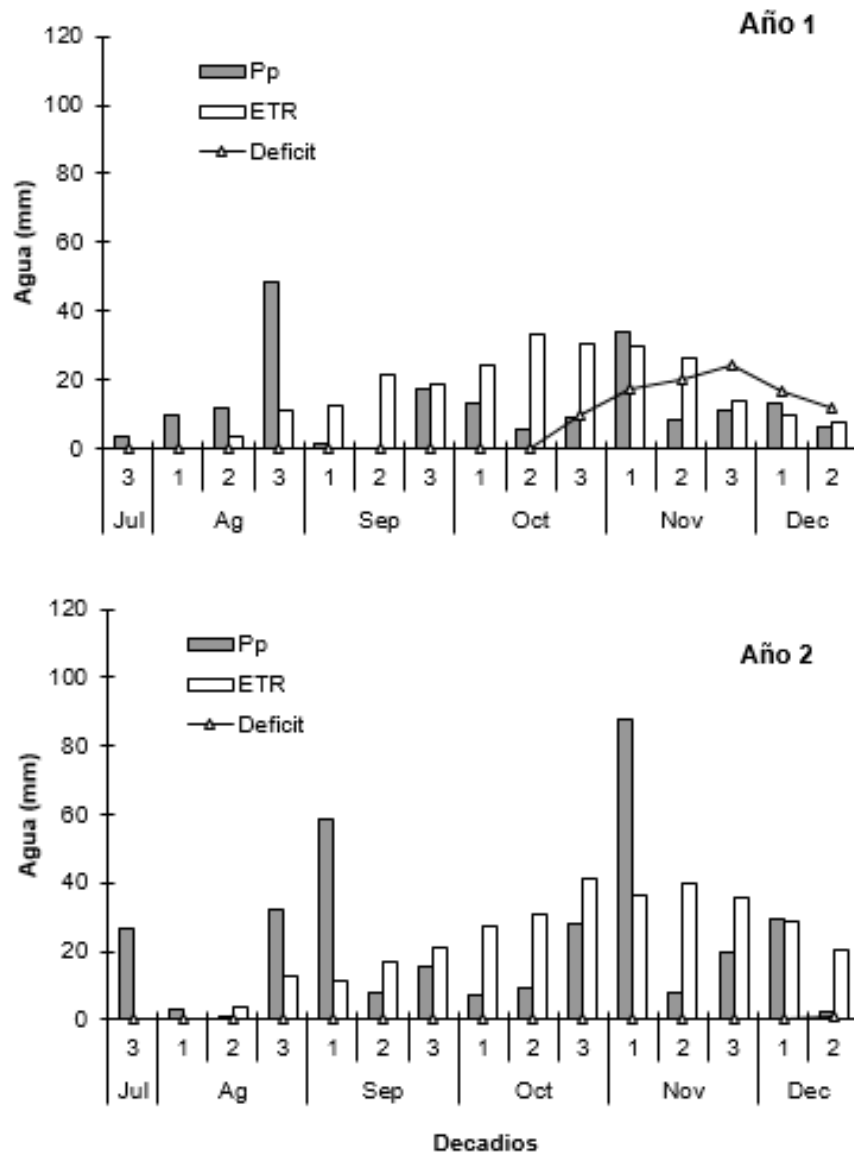
**Tabla 1**  
Características químicas del suelo al momento de la siembra de trigo.

|              | Prof.<br>(cm) | pH<br>(1:2.5) | P-Bray.<br>(mg kg <sup>-1</sup> ) | MO<br>(%) | N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup><br>(kg ha <sup>-1</sup> ) | Zn                     | Cu  | Cl  |
|--------------|---------------|---------------|-----------------------------------|-----------|--|------------------------|-----|-----|
|              |               |               |                                   |           |  | (mg kg <sup>-1</sup> ) |     |     |
| <b>Año 1</b> | 0-20          | 5,5           | 21,7                              | 5,4       | 30,5   | 1,7                    | 1,0 | 4,3 |
|              | 20-40         |               |                                   |           | 28,3   |                        |     |     |
|              | 40-60         |               |                                   |           | 15,2   |                        |     |     |
| <b>Año 2</b> | 0-20          | 5,9           | 26,3                              | 5,2       | 29,0   | 1,8                    | 1,1 | 4,8 |
|              | 20-40         |               |                                   |           | 26,1   |                        |     |     |
|              | 40-60         |               |                                   |           | 14,7   |                        |     |     |

### RENDIMIENTO EN GRANO Y CONTENIDO DE PROTEÍNA

Los rendimientos no se diferenciaron significativamente entre tratamientos para ninguno de los años ( $p > 0,05$ ) (Figura 2). El año 1, el rendimiento promedio fue,  $4372 \text{ kg ha}^{-1}$  mientras que el año 2 el rendimiento promedio fue de  $7441 \text{ kg ha}^{-1}$  (Figura 2).

El contenido de proteína no presentó diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0,05$ ) para ninguno de los años analizados (Figura 3). El promedio fue de 15,5% para el año 1 y de 11,8% para el año 2.



**Figura 1**

Balance hídrico del cultivo de trigo durante 2 años. ETR: evapotranspiración real, Pp: precipitación. La línea de puntos indica el periodo crítico del cultivo.

**Tabla 2**

Materia seca (MS) y nitrógeno acumulado (Nac) en los estadios de macollaje, antesis y madurez fisiológica para dos años y tres tratamientos.

| Año 1               |           |        |           |         |                     |         |
|---------------------|-----------|--------|-----------|---------|---------------------|---------|
| Tratamiento         | Macollaje |        | Antesis   |         | Madurez Fisiológica |         |
|                     | MS        | Nac    | MS        | Nac     | MS                  | Nac     |
| kg ha <sup>-1</sup> |           |        |           |         |                     |         |
| NPS                 | 1274,9 a  | 58,6 a | 10216,4 a | 167,8 a | 12210,5 a           | 128,4 a |
| NPS+Zn+Cu           | 1274,9 a  | 58,6 a | 10397,7 a | 153,9 a | 12462,0 a           | 119,2 a |
| NPS+Zn+Cu+Cl        | 1274,9 a  | 58,6 a | 10274,9 a | 167,3 a | 12538,0 a           | 116,7 a |
| Año 2               |           |        |           |         |                     |         |
| Tratamiento         | Macollaje |        | Antesis   |         | Madurez Fisiológica |         |
|                     | MS        | Nac    | MS        | Nac     | MS                  | Nac     |
| kg ha <sup>-1</sup> |           |        |           |         |                     |         |
| NPS                 | 1568,6 a  | 54,5 a | 9388,9 a  | 184,8 a | 14444,4 a           | 172,3 a |
| NPS+Zn+Cu           | 1568,6 a  | 54,5 a | 10027,8 a | 195,3 a | 15427,4 a           | 179,2 a |
| NPS+Zn+Cu+Cl        | 1568,6 a  | 54,5 a | 9569,4 a  | 187,2 a | 14722,2 a           | 175,1 a |

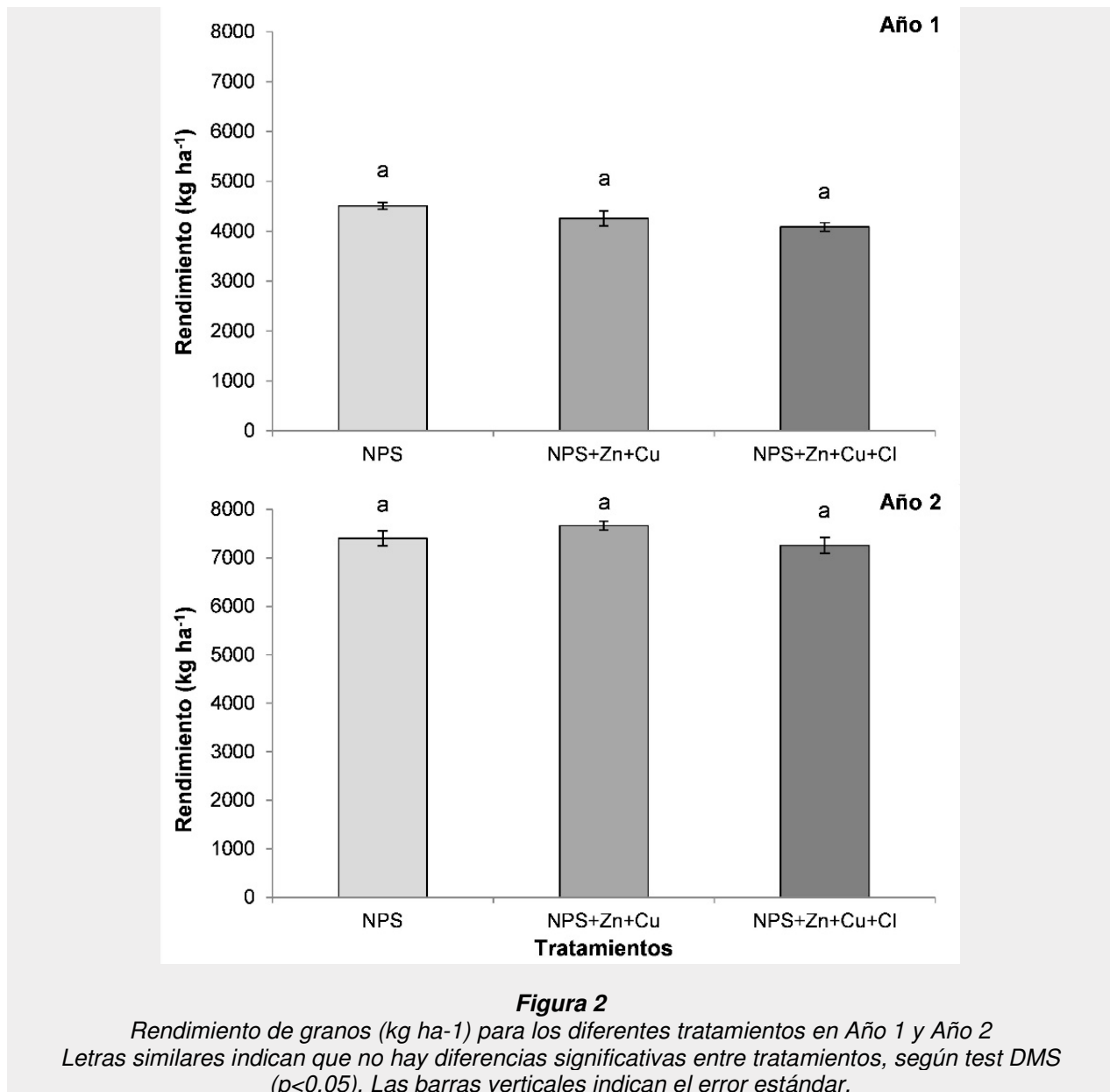
Letras similares indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos, según test DMS ( $p < 0,05$ ).

**Tabla 3**

IV de las hojas determinado con el medidor de clorofila Minolta SPAD 502 para dos años y tres tratamientos.

| Año 1        |               |           |              |           |
|--------------|---------------|-----------|--------------|-----------|
| Tratamiento  | Macollaje     | Encañazón | Hoja bandera | Floración |
|              | Unidades SPAD |           |              |           |
| NPS          | 42,3 a        | 41,0 a    | 44,0 a       | 46,7 a    |
| NPS+Zn+Cu    | 42,7 a        | 41,1 a    | 43,9 a       | 46,2 a    |
| NPS+Zn+Cu+Cl | 42,9 a        | 40,6 a    | 43,8 a       | 46,0 a    |
| Año 2        |               |           |              |           |
| Tratamiento  | Macollaje     | Encañazón | Hoja bandera | Floración |
|              | Unidades SPAD |           |              |           |
| NPS          | 36,5 a        | 38,9 a    | 42,4 a       | 40,8 a    |
| NPS+Zn+Cu    | 37,4 a        | 40,1 a    | 43,0 a       | 39,7 a    |
| NPS+Zn+Cu+Cl | 37,2 a        | 39,7 a    | 42,6 a       | 41,8 a    |

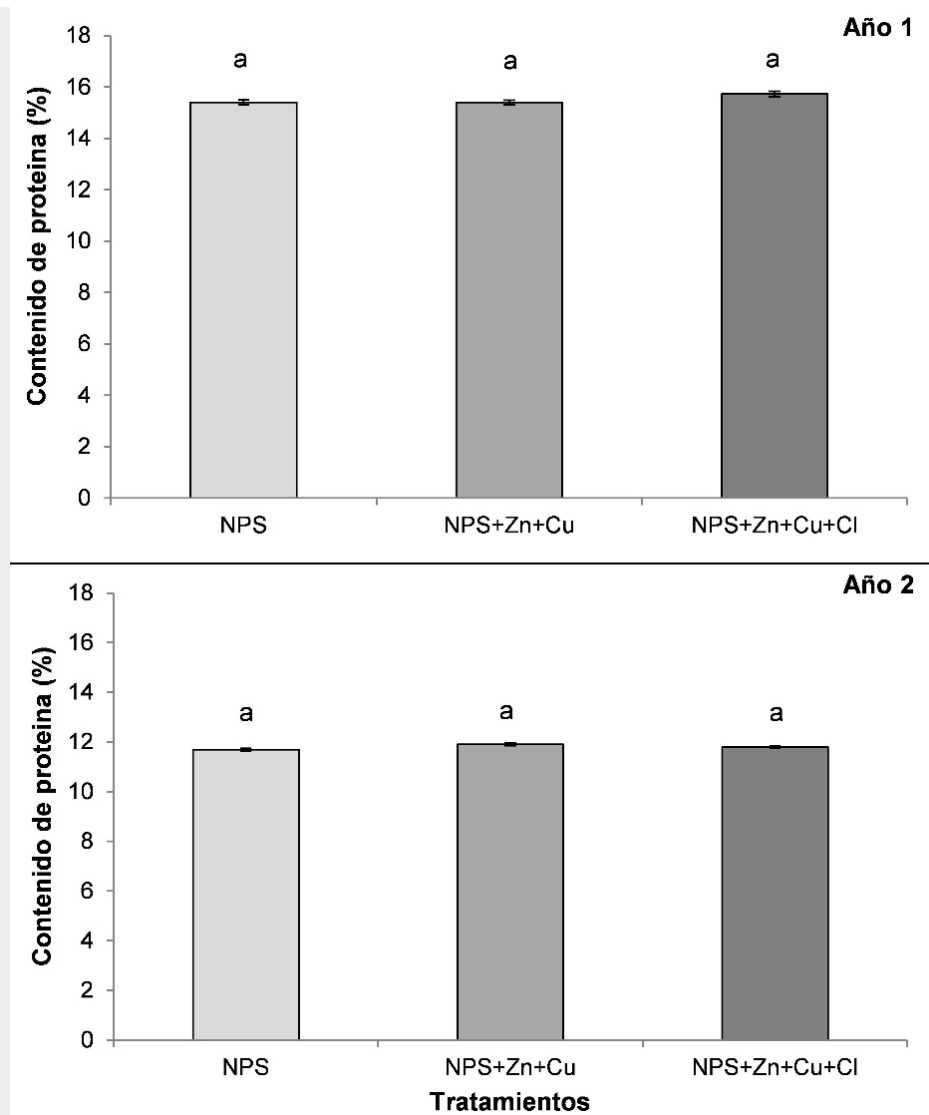
Letras similares indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos, según test DMS ( $p < 0,05$ ).



## DISCUSIÓN

El IV no se incrementó significativamente por efecto de la fertilización con micronutrientes. Por lo tanto, en las condiciones que se desarrollaron estos experimentos el IV no podría ser usado como una herramienta de diagnóstico para determinar la deficiencia de los mismos. El rendimiento en grano fue diferente entre años, el año 1 presentó menores rendimientos, debido principalmente al déficit hídrico que se observó antes y durante el periodo crítico del cultivo (Figura 1). La falta de respuesta en el IV y rendimiento del cultivo sería consecuencia de que la disponibilidad en suelo de dichos elementos fue adecuada para el normal crecimiento del cultivo de trigo (Tabla 1). Barbieri et al. (2015) coincidieron con los resultados obtenidos en este trabajo donde, para el sudeste bonaerense, no encontraron respuestas en el IV ni en el rendimiento a la aplicación de Zn y Cu en el cultivo de trigo bajo dos sistemas de labranza. Incrementos significativos en rendimiento por la aplicación de micronutrientes han sido informados por otros investigadores (Shukla & Warsi, 2000; Ghulam et al., 2010; Khan et al., 2010).





**Figura 3**

Porcentaje de proteína para los diferentes tratamientos del Año 1 y 2  
Letras similares indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos, según test DMS ( $p < 0,05$ ). Las barras verticales indican el error estándar.

Si bien no se determinaron respuestas en el contenido de proteína para la aplicación de micronutrientes en ninguno de los años, se determinó un menor porcentaje de proteína el año que mayores rendimientos se obtuvo. Esto es así, ya que existe una relación inversamente proporcional entre el rendimiento en grano y el contenido de proteína en trigo (Bragachini et. al., 2008). En cuanto a la aplicación de Zn y Cu, los resultados difieren de los reportados por Campbell (1989), Schmidt & Szakál (2007) y Wang et al., (2015), quienes determinaron incrementos en el contenido de proteína por la aplicación de Zn y Cu en trigo. Lemos et al. (2012) reportaron efectos significativos de la fertilización con Cu durante el llenado del grano sobre el contenido de proteína en cebada, principalmente en ambientes de altos rendimientos. Es probable que el

rendimiento de cebada 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 N (Prystupa et al., 2013). Futuros estudios deberían contemplar el efecto de la aplicación de Cu en estadíos más avanzados del ciclo del cultivo de trigo sobre el contenido de proteína.

La falta de respuesta a la aplicación de Zn y Cu estaría indicando que, a pesar de la prolongada historia agrícola del sitio experimental, la disponibilidad de estos micronutrientes en el suelo se encuentra por encima de los umbrales de deficiencia ( $0.12-0.25 \text{ mg kg}^{-1}$  y  $0.8-1.0 \text{ mg kg}^{-1}$  sugerido por Sims & Johnson (1991), para Cu y Zn, respectivamente) y por lo tanto sería adecuada para el normal desarrollo y crecimiento de cultivo de trigo (Tabla 1). Estos resultados coinciden con otros experimentos en donde no se determinaron incrementos significativos de rendimiento para aplicaciones foliares de Zn y Cu (Curtin et al., 2008, Yassen et al., 2010, Wang et al., 2012, 2015). Sainz Rozas et al. (2003) para el sudeste bonaerense, reportaron respuesta a Zn únicamente 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. Por otro lado, los mismos autores reportaron que, para las condiciones del sudeste bonaerense la disponibilidad de Cu no limitó el crecimiento del cultivo.

Los resultados de estos experimentos constituyen los primeros reportes de fertilización con Cl en el cultivo de trigo para el sudeste bonaerense. Si bien no se observaron respuestas significativas de rendimiento, para otras zonas de la región pampeana, el porcentaje de sitios con respuesta a Cl (40%) es similar al observado en regiones trigueras de E.E.U.U. (García, 2008). Las respuestas en rendimiento en ambas regiones varían entre 5 a 30%, y se asocian con niveles de disponibilidad de Cl en suelos. Para suelos de EEUU, cantidades de Cl en suelo inferiores a  $34 \text{ kg ha}^{-1}$  de 0-60 cm de profundidad, presentaron respuesta en el 69% de los casos, entre 35 y  $67 \text{ kg ha}^{-1}$  respondieron 31% de los sitios, y por arriba de  $67 \text{ kg ha}^{-1}$ , no se observaron respuestas (Fixen et al., 1987). En la región pampeana, Díaz Zorita et al. (2004) para suelos de textura arenosa establecieron que niveles de Cl superiores a  $13,2 \text{ mg kg}^{-1}$  de 0-20 cm de profundidad fueron adecuados para la obtención de elevados rendimientos de trigo. Por otra parte, Castellarin et al. (2010) para suelos de textura fina en el sur de Santa Fe determinaron baja probabilidad de respuesta a la fertilización con Cl con valores superiores a  $49 \text{ kg de Cl ha}^{-1}$  de 0-20 cm de profundidad. Mientras que García (2008) en un análisis de 26 experimentos realizados en la región pampeana (Gral. Villegas, 9 de Julio, Oliveros, Pergamino, Rafaela, oeste de Buenos Aires y este de La Pampa) determinó que concentraciones de Cl a 0-20 cm por encima de  $35 \text{ mg kg}^{-1}$  o cantidades de Cl disponible a 0-60 cm superiores a  $65-70 \text{ kg Cl ha}^{-1}$  mostraron rendimientos relativos siempre superiores al 90% del rendimiento máximo. Por debajo de  $35 \text{ mg kg}^{-1}$  de 0-20 cm o de  $65-75 \text{ kg Cl ha}^{-1}$  de 0-60 cm, las respuestas fueron muy variables. En función de los contenidos de Cl disponible determinados en los experimentos de este trabajo (Tabla 1), y estimando el contenido de Cl hasta 0-60 cm de profundidad ( $\text{Cl kg ha}^{-1} 60 \text{ cm} = 6,97 * \text{CL mg kg}^{-1} \text{ Cl } 20 \text{ cm} + 0,70$ ; García, 2008) la disponibilidad a la siembra del cultivo de trigo sería de 31 y  $34 \text{ kg de Cl ha}^{-1}$  hasta los 60 cm de profundidad. Según estos valores de disponibilidad, se esperaría tener respuesta a la fertilización con Cl si se tienen en cuenta los umbrales informados para región pampeana. Mientras que si se utilizan los umbrales informados para la región triguera de E.E.U.U. no sería esperable respuesta en rendimiento por efecto de la fertilización con Cl. En función de estos resultados y coincidiendo con lo reportado por García (2008), se deberá seguir generando información en ambientes con niveles contrastantes de disponibilidad de Cl a la siembra y/o buscar otros parámetros que permitan predecir la probabilidad de respuesta para cada lote o ambientes.

## CONCLUSION

La aplicación de Zn, Cu y Cl no afectó diferencialmente ninguno de los parámetros evaluados, tanto en un año con buena oferta hídrica como en un año bajo deficiencias. Los micronutrientes se encontraban por encima de los umbrales reportados, lo que pudo haber reducido la probabilidad de respuesta. Sería de interés observar el impacto sobre de la aplicación de estos micronutrientes en el rendimiento y el contenido de proteína en sitios con mayor probabilidad de respuesta.

## BIBLIOGRAFIA

- Barbieri P.A., H.E. Echeverría, H.R. Sainz Rozas, J.P. Martínez, J.L. Velasco & N.I. Reussi Calvo.** 2015. Fertilización en trigo: ¿es necesario fertilizar con zinc y cobre en Balcarce? IAH 18. 8 pp. Disponible en: [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/CAFD5E658379EF9303257E5E00008962/\\$FILE/9.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/CAFD5E658379EF9303257E5E00008962/$FILE/9.pdf). Último acceso: julio de 2020.
- Bragachini, M., M. Méndez, F. Scaramuzza, J. Vélez & D. Villarroel.** 2008. Contenido de proteína en el grano de trigo en zonas de diferente potencial de rendimiento dentro de un mismo lote. En: Proyecto Nacional Agricultura de Precisión. 8º Curso de Agricultura de Precisión y 3ª Expo de Máquinas Precisas. Ediciones INTA. E.E.A. Manfredi, Córdoba, Argentina. pp 129-141.
- Bray, R.H. & L.T. Kurtz.** 1945. Determination of total, organic and available form of phosphorus in soil. Soil Science 59: 360-361.
- Bremner, J. & D. Keeney.** 1966. Determination and isotope-ratio analysis of different forms of nitrogen in soils: 3 exchangeable ammonium, nitrate and nitrite by extraction-distillation methods. Soil Science Society of America Journal 30(5): 577-582.
- 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>. Último acceso: julio de 2020.
- Castellarín, J.M., H.M. Pedrol, F. Ferraguti, G. Gerster & F. Salvagiotti.** 2009. Fertilización con cloruro de potasio en el sur de Santa Fe. Determinación de un umbral crítico de respuesta. Trigo. Para Mejorar la Producción INTA EEA Oliveros 40: 39-43.
- Castellarín, J.M., H.M. Pedrol, F. Ferraguti, G. Gerster & F. Salvagiotti.** 2010. Determinación de un umbral crítico de respuesta para la fertilización con cloruro de potasio en trigo en el sur de Santa Fe. Actas del XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario. Argentina.
- Curtin, D., R. J. Martin & C.L. Scott.** 2008. Wheat (*Triticum aestivum*) response to micronutrients (Mn, Cu, Zn, B) in Canterbury, New Zealand. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science 36: 169-181.
- Cruzate, G. & R. Casas.** 2009. Extracción de nutrientes en la agricultura argentina. Informaciones Agronómicas del Cono Sur 44: 21-26.
- Della Maggiora, A.I., A. Irigoyen, J.M. Gardiol, O.P. Caviglia & L. Echarte.** 2003. Evaluación de un modelo de balance de agua en el suelo para el cultivo de maíz. Revista Argentina de Agrometeorología 2(2): 167-176.
- Díaz-Zorita, M., G. A. Duarte & M. Barraco.** 2004. Effects of chloride fertilization on wheat (*Triticum aestivum* L.) productivity in the sandy Pampas region, Argentina. Agronomy Journal 96: 839-844.
- Echeverría, H.E. & H.R. Sainz Rosas.** 2005. Nitrógeno. En: Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. H.E. Echeverría y F.O. García (ed). Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina. pp 69-95.
- Eyherabide, M., H.R. Sainz Rozas, H.E. Echeverría, J.L. Velasco, M. Barraco, G.N. Ferraris & 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 pp.
- Eyherabide, M., H.R. Sainz Rozas, H.E. Echeverría, J.L. Velasco, M. Barraco, G.N. Ferraris & 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 pp.
- Ferraris, G., L. Couretot & A. Caamaño.** 2008. Respuesta al agregado de cloruro de potasio en trigo en el Norte de Buenos aires y Sur de Santa Fe. Resultados de tres años de experiencias. Seminario El Cloruro de Potasio en la Agricultura de Argentina y Uruguay. Campana, Argentina.
- Fixen, P.E., G.W. Buchenau, R.H. Gelderman, T.E. Schumacher, J.R. Gerwing, F.A. Cholick & B.G. Farber.** 1986. Influence of Soil and Applied Chloride on Several Wheat Parameters 1. Agronomy Journal 78(4): 736-740.
- Fixen P., R. Gelderman, J. Gerwing & B. Farber.** 1987. Calibration and implementation of a soil Cl test. Journal of Fertilizer Issues 4: 91-94.
- Fontanetto, H., O. Keller, J. Albrecht, D. Gialivera, C. Negro & 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, Argentina. pp. 109-118.
- García, F.O.** 2008. Cloro en trigo: Resultados de las experiencias en la región pampeana argentina. Años 2001 a 2006. IPNI Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina. Informaciones Agronómicas 38: 17-21.

- Gelderman, R.H., J.L. Denning & R.J. Goos.** 1998. Chapter 11: Chlorides. In: Recommended Chemical Soil Test Procedures for the North Central Region. North Central Regional Research Publication N° 221. pp. 49-52.
- Ghulam, A., H. Gul, A. Muhammad Anjum, A. Muhammad & A. Zafar.** 2010. Response of wheat to different doses of ZnSO<sub>4</sub> under The desert environment. *Pakistan Journal of Botany* 42(6): 4079-4085.
- Khan, M.B., M. Farooq, M. Hussain, J. Shanawaz & G. Shabir.** 2010. Foliar application of micronutrients improves the wheat yield and net economic return. *International Journal of Agriculture & Biology* 12: 953–956.
- Kirvy, E. & V. Römheld.** 2007. Micronutrients in plant physiology: functions, uptake and mobility,” Technical Booklet. *Information Agronomic* 118: 1–24.
- Lavado, R.S., C.A. Porcelli & R. Alvarez.** 1999. Concentration and distribution of extractable elements in a soil as affected by tillage systems and fertilization. *The Science of the Total Environment* 232: 185-191.
- Lavado, R.S., C.A. Porcelli & 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 and Tillage Research* 62: 55-60.
- LECO Corporation.** 2011. Organic application notes. Disponible en: <http://www.leco.com>. Último acceso: septiembre 2019.
- Lemos, E.A., M.G. Tellería, M.A. Vergara & 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. Actas en CD. 6 pp.
- Melgar, R., H. Magen, M. Torres Duggan & J. Lavandera.** 2001. Respuesta a la aplicación de cloro en trigo en la región pampeana. Actas V Congreso Nacional de Trigo. Carlos Paz, Córdoba, Argentina. 2 pp.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Presidencia de la Nación. MAGYP.** 2019. Estimaciones agrícolas. Disponible en: <http://datosestimaciones.magyp.gob.ar/> Último acceso: junio de 2020.
- Moraghan, J.T. & H.J. Mascagni.** 1991. Environmental and soil factors affecting micronutrient deficiencies and toxicities. En: *Micronutrients in Agriculture*. S.H. Mickelson & R.J. Luxmoore (Ed.) 2nd ed. SSA Book Series, No. 4. pp. 371.
- Prystupa, P., E.A. Lemos, M.G. Tellería & M.A. Vergara.** 2013. Fertilización foliar con cobre: ¿Aumenta el contenido proteico de los granos en cebada cervecera? *Ciencia del suelo* 31: 119-124.
- Reussi Calvo, N.I., H.E. Echeverría & H.R. Sainz Rozas.** 2008. Usefulness of Foliar Nitrogen-Sulfur Ratio in Spring Red Wheat. *Journal of Plant Nutrition* 31: 1612–1623.
- Sainz Rozas, H.R., H.E. Echeverría, P.A. Calviño, P.A. Barbieri & M. Redolatti.** 2003. Respuesta del trigo al agregado de zinc y cobre en suelos del sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo* 21: 52-58.
- Sainz Rozas, H.R. & 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, Argentina. Actas pp. 221-223.
- Sainz Rozas, H.R., H.E. Echeverría & 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.
- Salvagiotti, F., J.M. Castellarín, H.M. Pedrol, A. González & M. Incremona.** 2005. Efecto de la fertilización con potasio y cloro sobre el rendimiento y severidad de las enfermedades foliares en trigo. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 26:16-19.
- Sas. Institute Inc.** 1985. User's guide. Statistics. Version 5. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA.
- Schepers, J.S., D.D. Francis, M.F. Vigil & F.E. Below.** 1992. Comparisons of corn leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter readings. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 23: 2173-2187.
- Schmidt, R. & P. Szakál.** 2007. The application of copper and zinc containing ion-exchanged synthesised zeolite in agricultural plant growing. *Nova Biotechnologica VII-I* :57-62.
- Shukla, S.K. & A.S. Warsi.** 2000. Effect of sulphur and micronutrients on growth, nutrient content and yield of wheat (*Triticum aestivum* L). *Indian Agricultural Research* 34(3): 203-205.
- Sims, J.T. & G.V. Johnson.** 1991. Micronutrient soil tests. In: *Micronutrients in agriculture*. Book series N°4. Mortvedt, J.J., Cox F.R., Shuman L.M. & M.R. Welch (Eds.) Ed. SSSA Madison, Wisconsin, USA. pp. 427-476.
- Urricariet, S. & R.S. Lavado.** 1999. Indicadores de deterioro de los suelos de la Pampa Ondulada. *Ciencia del Suelo* 17:37-44.

- Walkley, A. & I.A. Black.** 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-37.
- Wang, J., H. Mao, H. Zhao, D. Huang & Z. Wang.** 2012 Different increases in maize and wheat grain zinc concentrations caused by soil and foliar applications of zinc in Loess Plateau, China. *Field Crops Research* 135: 89-96.
- Wang, S., M. Li, X. Tian, J. Li, H. Li, Y. Ni, J. Zhao, Y. Chen, C. Guo & A. Zhao.** 2015. Foliar zinc, nitrogen, and phosphorus application effects on micronutrient concentrations in winter wheat. *Agronomy Journal* 107: 61–70.
- Waskom, R.M.** 1996. A review of use of chlorophyll meters to assess crop N status in the Great Plains. En: *Proceedings Great Plains Soil Fertility Conference*. J. Havlin (Ed.). Kansas State University, Manhattan, KS, EEUU. pp. 36-43.
- Xu G., H. Magen, J. Tarchitzky & U. Kafkafi.** 2000. *Advances in chloride nutrition of plants*. Academic Press. *Advances in Agronomy* 68: 97-150.
- Yassen, A., E.A.A. Abou El-Nour & S. Shedeed.** 2010. Response of Wheat to Foliar Spray with Urea and Micronutrients. *Journal of American Science* 6: 14-22.