

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO  
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA**

Trabajo Final Presentado para Optar al Grado de Ingeniero  
Agrónomo

Modalidad: Proyecto

**“FERTILIZACIÓN CON ZINC EN LA ROTACIÓN  
TRIGO/SOJA: EFECTOS SOBRE EL RENDIMIENTO”**

**Lee, Wenceslao Iván  
D.N.I. 32.495.626**

**Director:**

Ing. Agr. Dr. Espósito, Gabriel.

**Co-Director:**

Ing. Agr. MSc. Balboa, Guillermo.



Río Cuarto – Córdoba

Julio 2017

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA**  
**CERTIFICADO DE APROBACIÓN**

Título del Trabajo Final: “Fertilización con zinc en la rotación trigo/soja: Efectos sobre el rendimiento”

Autor: Lee, Wenceslao Ivan.

DNI: 32.495.626

Director: Espósito, Gabriel.

Co-Director: Balboa, Guillermo.

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias de la Comisión Evaluadora:

Giayetto, Oscar. \_\_\_\_\_

Ramos, Diego. \_\_\_\_\_

Espósito, Gabriel \_\_\_\_\_

Fecha de Presentación: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

---

Secretario Académico

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está especialmente dedicado a mi padre y a mi madre, que con mucho esfuerzo hicieron todo lo posible e imposible para que yo pudiera tener una educación universitaria de calidad, una excelente formación personal y un buen desarrollo social.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer principalmente a mi Director Gabriel Espósito y a mi Co-director Guillermo Balboa, ya que sin su ayuda este trabajo no hubiera sido posible. También quiero agradecer a todos los argentinos que contribuyen para que la educación sea pública y gratuita.

## INDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS (GRÁFICOS Y FOTOS) .....	V
ÍNDICE DE TABLAS.....	VI
RESUMEN.....	VII
SUMMARY.....	VIII
INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES.....	10
HIPÓTESIS.....	12
OBJETIVOS GENERALES.....	12
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	12
MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
CONCLUSIÓN.....	29
BIBLIOGRAFÍA.....	30
ANEXOS.....	39

## ÍNDICE DE FIGURAS (GRÁFICOS Y FOTOS)

<b>Figura 1:</b> Hoja de trigo que muestra clorosis y necrosis a lo largo de las venas por deficiencia de zinc .....	39
<b>Figura 2:</b> Hoja de trigo que muestra clorosis y necrosis en el medio de la lamina por deficiencia de zinc.....	40
<b>Figura 3:</b> Hoja de trigo que muestra clorosis y necrosis en el medio de la lamina por deficiencia de zinc.....	40
<b>Figura 4:</b> Vaina de la hoja de trigo que muestra clorosis y necrosis por deficiencia de zinc.....	41
<b>Figura 5:</b> Planta de trigo que muestra clorosis y necrosis en hoja intermedia por deficiencia de zinc.....	41
<b>Figura 6:</b> Hoja de soja que muestra clorosis y manchas necróticas marrones a lo largo de las venas.....	42
<b>Figura 7:</b> Precipitaciones decádicas para el período marzo 2010 – abril 2011 y Normal, Río Cuarto.....	15

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Sensibilidad relativa de los cultivos a la deficiencia de zinc.....	39
<b>Tabla 2:</b> Registro calendario y milímetros aplicados en cada uno de los cultivos del ensayo.....	14
<b>Tabla 3:</b> Propiedades físico-químicas y disponibilidad de nutrientes del suelo del sitio experimental.....	19
<b>Tabla 4:</b> Número de plantas emergidas y tasa de crecimiento de cultivo de trigo entre tercer nudo y grano pastoso en tres tratamientos de fertilización en el sur de Córdoba (2010).....	21
<b>Tabla 5:</b> Componentes indirectos del rendimiento de trigo en tres tratamientos de fertilización en el Sur de Córdoba (2010).....	22
<b>Tabla 6:</b> Rendimiento y componentes directos de trigo fertilizado con Zn en el Sur de Córdoba (2010) .....	24
<b>Tabla 7:</b> Componentes indirectos del rendimiento de trigo en tres tratamientos de fertilización en el Sur de Córdoba (2010) .....	25
<b>Tabla 8:</b> Rendimiento y componentes directos de soja sobre trigo fertilizado con Zn en el Sur de Córdoba campaña 2010-2011 .....	25
<b>Tabla 9:</b> Producción energética del doble cultivo Trigo/soja en el Sur de Córdoba campaña 2010-2011 .....	27

## RESUMEN

El conocimiento de los factores que regulan las disponibilidades de nutrientes en los suelos y los requerimientos que tienen los cultivos es indispensable para el manejo de la fertilización, principalmente ante la creciente necesidad de producir en forma sustentable. En Argentina la inclusión de microelementos en la fertilización es una práctica poco utilizada. En los últimos años se detectaron deficiencias de micronutrientes en diferentes ambientes productivos del país. Dentro de estos microelementos se destaca al zinc, como aquel cuya disponibilidad es reducida para muchos de los cultivos en gran parte de los suelos del mundo. Principalmente en la región del Departamento de Río Cuarto, son escasos los ensayos de fertilización realizados con este elemento en el doble cultivo trigo/soja. Para ello se realizó un ensayo bajo riego en la campaña 2010/2011 donde se comparó la productividad de los siguientes tratamientos: 1) Testigo sin fertilizar, 2) 20,2 kg P ha<sup>-1</sup>, 20,7 kg N ha<sup>-1</sup> y 11,5 S ha<sup>-1</sup> y 3) Ídem al 2 más 1,15 kg Zn ha<sup>-1</sup>. En todos los tratamientos se aplicó mediante fertirriego 70 kg N ha<sup>-1</sup> para anular posibles respuestas al agregado de nitrógeno en los niveles productivos esperados. En trigo se usó el material Baguette 18, sembrado el 11 de Junio con una densidad de 350 plantas m<sup>-2</sup> y en soja se usó la variedad A3731 RG de Nidera S.A., sembrada el 11 de diciembre con una densidad de 48 semillas m<sup>-2</sup>. Para ambos cultivos se evaluó el rendimiento y sus componentes directos. En el caso del trigo además se estimó y analizó los componentes indirectos del rinde. También se analizó la producción integrada del doble cultivo Trigo/Soja en sus equivalencias energéticas. Los resultados muestran que el rendimiento del trigo fue afectado por la fertilización, aumentando su producción en un 7% en los tratamientos con Zn. El efecto positivo de esta fertilización en trigo se pudo detectar en el aumento de su tasa de crecimiento durante el periodo crítico (24%) y en el aumento en el número espigas por m<sup>2</sup>, lo que a su vez se vio reflejado en el aumento del número de granos por m<sup>2</sup> y como consecuencia en un mayor rendimiento con respecto a los restantes tratamientos. En cambio en el cultivo de soja la producción solo fue incrementada como consecuencia de la fertilización con fósforo y azufre sobre el testigo y no por efecto del Zinc. El análisis integrado de ambas producciones mediante la suma de sus valoraciones energéticas permitió concluir que la respuesta a Zinc encontrada en el cultivo de trigo fue diluida por los resultados obtenidos en soja, evidenciándose solamente respuesta a P y S en la producción energética integrada. Estos resultados indicarían la necesidad de ampliar los estudios explorando otras condiciones ambientales para evaluar su efecto sobre la fertilización con Zn en la secuencia trigo/soja en el sur de Córdoba.

**Palabras clave:** Microelementos, Zinc, Fertilización, Trigo y Soja.



## SUMMARY

Knowledge of the factors that regulate nutrient availability in soils and different requirements of crops is essential for fertilization management, primarily to the growing need to produce in a sustainable way. In Argentina the inclusion of microelements in fertilization is a little-used practice. Over the last years there have been detected micronutrient deficiencies in different country's production environments. Within these microelements the zinc is highlighted as one whose availability is reduced for many of the crops in much of the world's soils. Mainly in the region of the Department of Río Cuarto, are few fertilizer trials conducted with this element in double cropping wheat / soybeans. For this, a test was conducted under irrigation in the 2010/2011 season where the productivity of the following treatments were compared: 1) Control unfertilized 2) 20,2 kg P ha<sup>-1</sup>, 20,7 kg N ha<sup>-1</sup> y 11,5 kg S ha<sup>-1</sup> y 3) Idem 2 plus 1,15 kg Zn ha<sup>-1</sup>. In all treatments was applied by fertigation 70 kg N ha<sup>-1</sup> to override possible responses to added nitrogen on expected production levels. In Wheat was used Baguette 18 material , planted on June 11 with a density of 350 plants m<sup>2</sup> and the soybean variety was used A3731 RG of Nidera SA., sown on December 11 with a density of 48 seeds m<sup>2</sup>. Was evaluated yield and its direct components for both crop. In the wheat's case also were estimated and analyzed the indirect components of yield. The integrated production of double cropping Wheat / Soybean also was analyzed in its energy equivalence. The results show that wheat yield was affected by fertilization, with increased its production by 7% in treatments with Zn. The positive effect with zinc fertilization wheat was detected in increasing the growth rate during the critical period (24%) and the increase in the number spikes per m<sup>2</sup>, in turn was reflected in the increasing number of grains per m<sup>2</sup> and consequently in a higher yield in wheat compared to other treatments. However in soybean production was only increased as a result of fertilization with phosphorus and sulfur on the witness and not for the effect of Zinc. The analysis integrated of both productions by the sum of its energy valuations led to the conclusion that the answer to Zinc found in wheat cultivation was diluted by the results obtained in soybeans, showing only response to P and S in energy production integrated. The results of these tests indicate the need to extend these studies to explore other environmental conditions to evaluate its effect on Zn fertilization in the sequence wheat / soybeans in southern Córdoba.

**Key words:** Microelements, Zinc, Fertilization, Wheat and Soybean

## INTRODUCCIÓN

El trigo (*Triticum aestivum. L*) ha formado parte del desarrollo económico y cultural del hombre, siendo el cereal más cultivado en el mundo. Actualmente ocupa el tercer lugar en la producción mundial, alcanzando las 714.07 millones de toneladas (USDA, 2014). En el periodo 1999-2010, el consumo a nivel mundial aumentó en alrededor de 1,3 por ciento por año, debido principalmente al crecimiento económico y poblacional registrado en los países en desarrollo y ligado al continuo proceso de urbanización (FAO, 2004).

El área sembrada en Argentina es de aproximadamente 4,1 millones de hectáreas, con una producción promedio entre doce y quince millones de toneladas por año. En la campaña 2013/2014 la producción total del país fue 9,2 millones de toneladas de trigo (SIIA, 2014).

En Argentina, la producción de trigo actual no puede entenderse sin comprender el estrecho vínculo que lo relaciona con la soja, la conexión más evidente resulta de su complementariedad agronómica, en particular desde la llegada de los trigos de ciclo corto. Estos requieren unos 150 días para desarrollarse. De esta manera, el terreno se libera tempranamente para una segunda utilización en la misma campaña con un cultivo de verano, rol cubierto a la perfección por la soja de segunda, lo cual sumado al paquete tecnológico de la soja, el trigo ha logrado expandirse hacia zonas impensadas 10 años atrás (Hughes, 2008).

La soja (*Glycine max (L.) Merr*) es nativa del norte y centro de China, en Argentina las primeras plantaciones de soja se hicieron en 1862. A principios de 1920 el principal impulsor fue el ministerio de agricultura al cual en décadas siguientes se le sumaría el esfuerzo del sector privado (empresas aceiteras) para desarrollar el cultivo. Esta promoción por parte de empresas aceiteras continuó también durante los años 50, pero con resultados limitados por el flojo escenario comercial para la soja. Luego, a partir de los años 60 las condiciones propias de esa primera etapa comenzarían a modificarse, ya que aumentaría la demanda mundial de harinas, aceites y suplementos proteicos. La campaña 61-62 mostró el primer salto importante en la producción de la oleaginosa y se realizó la primera exportación de soja Argentina. Para 1965 se genera una más intensa acción oficial a través del Ministerio de Agricultura, del INTA, de las Universidades Nacionales y del IADO (Instituto Argentino de Desarrollo de Oleaginosas) para promover la investigación sobre el tema. A partir de 1970, comenzaron los primeros cultivos comerciales y ya en el segundo quinquenio de esa década se pasó de 37.700 ha a 2.100.000 ha. En las dos décadas siguientes, y sobre todo en los 90, el aumento de la superficie destinada a la producción de soja inicia su aceleración, llegando finalmente la gran expansión de los años 90 y

a la llamada “sojización”, encabezada por grandes empresas capitalistas que apuntaron al mercado externo (Dougnac Martínez, 2011).

Su uso en la alimentación humana es sumamente importante. El alto valor proteico de la legumbre lo hace un buen sustituto de la carne en las naciones pobres. De la soja se producen subproductos como el jugo de soja, la salsa de soja, los brotes de soja, la carne de soja, etc. Es uno de los principales alimentos en países orientales como China y Japón (Dirección Regional Peninsular de Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria, 2012).

Su importancia también radica en ser la principal fuente de proteína vegetal para la alimentación animal en sistemas de cría intensiva. Adicionalmente, en estos últimos años es también uno de los cultivos claves para la obtención de biocombustibles (ACSOJA, 2008).

En la actualidad cumple un papel fundamental en la economía argentina. Momento en que ocupa 20 millones de hectáreas sembradas, lo que representa más del 60% del área total de siembra. El 83% de la superficie sembrada se encuentra en las provincias: Buenos Aires (33%), Córdoba (27%), Santa Fe (16%) y Entre Ríos (7%) (SIIA, 2014).

La producción total argentina de soja en grano para la campaña 2012/2013 alcanzó las 49,3 millones de toneladas con un promedio nacional de 25,4 qq/ha. (SIIA, 2014). Según la división de estadística de la FAO (FAOSTAT, 2014), la Argentina se ubica como el tercer productor mundial de la oleaginosa luego de Estados Unidos (89,4 millones de toneladas) y Brasil (81,6 millones de toneladas) y además ocupa el tercer lugar de exportaciones de porotos, con 11 millones de toneladas en el año 2013, luego de Estados Unidos y Brasil. También es el primer exportador mundial de productos de soja procesados: Aceites (tanto crudo como envasados) y harinas proteicas en un nivel de oferta muy superior al de Brasil que es el segundo exportador mundial.

Del total de la producción de aceites de oleaginosas realizada en Argentina, el proveniente de soja es el que reviste mayor importancia ya que representa el 84% de la producción total de aceites. El grueso de la producción primaria de soja (75%) se destina a la industrialización, mientras que el resto se exporta. Del total de la producción de aceite crudo de soja, el 67% se destina a la exportación, el 27% a la producción de biodiesel y el resto a la refinación (tanto para consumo doméstico como para otras industrias). Como consecuencia, la soja es el producto de exportación de mayor incidencia en el PB agropecuario del país y el mayor generador de divisas (MECON, 2011).

Argentina es el primer exportador mundial de aceite de la oleaginosa, con 5,9 millones de toneladas exportadas en 2013, representando el 56,4% de las exportaciones totales mundiales. Como productor del mismo a nivel mundial se posiciona en el cuarto lugar. Es también el primer

exportador mundial de harinas de soja, con el 50,6% de las exportaciones totales, aportando 27,5 millones de toneladas. Como productor, se ubica en el tercer lugar, representando el 18,5% de la producción mundial de harina de soja. (FAOSTAT, 2014).

Si bien el país exporta productos procesados oleaginosos a más de 100 países en los cinco continentes, los mercados principales de aceite de soja son China e India. Es el primer rubro de exportación de la economía con el 26% del valor total exportado, por encima de la cadena automotriz y petroquímica (INDEC, 2011).

De acuerdo con la Matriz Argentina de Insumo-Producto que cada 10 años realiza el Ministerio de Economía basada en los datos censales, la industria aceitera es la actividad que, desde el año 1983, lidera no solo el Valor Bruto de la Producción Agroalimentaria sino que lidera holgadamente la generación de empleo indirecto (ACSOJA, 2008).

Dada la importancia de ambos cultivos (trigo y soja) como generadores de ingresos tanto para productores como para todos los demás componentes de su cadena productiva y el país; y bajo un marco de aumento de su consumo, los diversos actores sociales-productivos (empresas, universidades, INTA, productores, etc.) promueven la generación de nuevas tecnologías en busca de aumentar continuamente las capacidades productivas. Entre ellas, el manejo de la nutrición del cultivo mediante la fertilización, ha sido una de las herramientas estudiadas y utilizadas para alcanzar esta meta.

En los últimos 15 años, el cambio de labranza convencional a siembra directa experimentado en el sistema agrícola, produjo un aumento en el uso de fertilizantes en más de 400 a 500%. Pero en este nuevo escenario productivo se ha experimentado casi exclusivamente con macronutrientes (nitrógeno, fósforo y azufre), y aunque es frecuente la inclusión de microelementos en el paquete tecnológico de rutina con criterio preventivo, no existe una base experimental o analítica que lo justifique y esto puede llegar a afectar el balance entre nutrientes o incluso la calidad del ambiente (Berardo, 2004).

A pesar de las pequeñas cantidades requeridas por las plantas, los suelos agrícolas suelen ser deficitarios en uno o más micronutrientes de forma que su concentración en los tejidos de los vegetales cae por debajo de los niveles que permiten un crecimiento óptimo. La naturaleza del suelo juega un papel fundamental en la disponibilidad de micronutrientes y en su comportamiento a nivel suelo-planta (Roca *et al.*, 2007).

En general, los micronutrientes muestran un panorama más complejo que los macronutrientes debido a varios factores, entre los que se destacan: i) su baja concentración total presente en el suelo y una muy baja proporción de ese total en formas disponible para las raíces; ii) su deficiencia repercute negativamente en la producción, pero en forma menos definida que

con los macronutrientes; iii) cada micronutriente posee propiedades específicas por lo que las generalizaciones son poco efectivas; iv) numerosos factores edáficos afectan la disponibilidad para los cultivos, destacándose las modificaciones en el pH y el contenido de materia orgánica, los procesos de óxido-reducción y de intercambio catiónico. Asimismo, las demandas varían según las características de cada cultivo- factores climáticos, de manejo y fertilización (Miretti, *et al.* 2012).

Fageria *et al.* (2002), afirman que la deficiencia de micronutrientes está muy generalizada (por todo el mundo) debido al aumento en la demanda de micronutrientes por prácticas de manejo intensivas, a adopción de cultivares altamente productivos pudiendo tener mayores exigencias en micronutrientes; al aumento de la producción de cultivos en suelos marginales con bajos niveles de nutrientes esenciales; al uso de fertilizantes con mayor pureza y con menor cantidad de contaminación por micronutrientes; a la disminución del uso de estiércol animal, compostajes y residuos de cultivos; al uso de suelos con baja reserva nativa de micronutrientes y; a la conjunción de factores naturales y antrópicos que limitan la adecuada disponibilidad para las plantas y crean desequilibrios entre los nutrientes.

En Argentina, la intensificación de la actividad agrícola, la falta de rotaciones con pasturas y el aumento de la frecuencia de soja en las rotaciones han producido una notable disminución de los niveles de materia orgánica de los suelos de la Región Pampeana, presentando del 50 al 60% del nivel original según zonas. Esto podría acentuar la disminución en la disponibilidad de micronutrientes, dado el efecto positivo que posee la materia orgánica sobre las formas disponibles de los mismos. Además, la baja o nula reposición de los micronutrientes agravaría este panorama (Sainz Rozas *et al.*, 2013).

Dentro de estos micronutrientes se encuentra el zinc (Zn), el cual es un cofactor funcional y estructural en un gran número de enzimas y proteínas vegetales. Participa en el metabolismo de carbohidratos (fotosíntesis y transformación de azúcares) y en el metabolismo de proteínas. Juega un papel clave en el metabolismo de auxinas, lo que en plantas Zn deficientes se expresa a menudo con crecimiento vegetativo atrofiado. Es necesario para mantener la integridad de las membranas celulares y también participa en la reproducción (floración y producción de semillas). Concentraciones adecuadas de Zn en cultivos parecen conferirles una importante medida de resistencia a varias enfermedades infecciosas de hongos (Marschner, 1995).

También Alloway (2008), señaló que la deficiencia de zinc puede causar una reducción de la fotosíntesis neta en un 50% - 70%, dependiendo de las especies de plantas y la gravedad de la deficiencia. Esta reducción en la eficiencia de la fotosíntesis podría ser debida, por lo menos

en parte, a una reducción en la actividad de la enzima anhidrasa carbónica. El zinc es un constituyente de la anhidrasa carbónica. En las plantas C4 la situación es diferente a las C3, ya que se requiere una mayor actividad de la anhidrasa carbónica en los cloroplastos del mesófilo para desplazar el equilibrio a favor de  $\text{HCO}_3^-$ . Por lo tanto, la deficiencia de zinc puede tener un efecto más dramático sobre la tasa de fotosíntesis en C4 en comparación con C3 plantas. Además, agrega que la reducción de la fotosíntesis en plantas con deficiencia de zinc también puede ser debida, a una estructura anormal de los cloroplastos y la clorosis internerval es debida a la cantidad reducida o ausencia de clorofila. Este autor señala al trigo como uno de los cultivos de alta sensibilidad relativa a la deficiencia de zinc y a la soja como de sensibilidad media a la misma deficiencia (ver Tabla 1, Anexo).

El zinc es necesario para la síntesis de auxina y los síntomas de deficiencia son el resultado de perturbaciones en su metabolismo, especialmente por síntesis inhibida del ácido indol acético (IAA) o su degradación. El triptófano es el precursor para la biosíntesis de IAA, hay una cierta evidencia de que el zinc es necesario para la síntesis de triptófano (Brown *et al.* 1993).

La deficiencia de Zn en trigo se manifiesta como una clorosis internerval en hojas (Figura 1, 2, 3, 4 y 5, Anexo) debido a la cantidad reducida o ausencia de clorofila, que avanza desde las vainas hasta la parte superior de las hojas (Ferraris y Couretot, 2007). Una deficiencia severa de Zn se caracteriza por la necrosis del ápice de la raíz, el desarrollo de matices de color marrón rojizo o bronce en hojas y una gama de respuestas de deficiencia de auxinas, enrollado hacia adentro de la lámina de la hoja y reducciones en el tamaño de la hoja. Mientras que la deficiencia Zn subletal induce a una clorosis internerval. (Broadley *et al.*, 2007).

Si bien el trigo es uno de los cultivos más sensibles a la deficiencia de zinc, la manifestación visual de ésta solo ocurre en condiciones de una deficiencia aguda, dado que alrededor del 50% de los cultivos que respondieron a fertilización con Zn no han demostrado ninguno de los síntomas de deficiencia y por lo tanto estaban sufriendo de deficiencia de Zn “oculta”. Como el zinc se mueve algo en las plantas, los síntomas de deficiencia aparecen primero en las hojas que están en el medio de la planta, es decir la deficiencia se manifiesta tanto en hojas nuevas como en hojas viejas (Tasistro y Ortiz-Monasterio, 2012).

La formación de rosetas de hojas se produce cuando los entrenudos en los tallos de los cultivos de dicotiledóneas fallan en alargarse normalmente, por lo que el conjunto de hojas forman un clúster o racimo, en lugar de extenderse entre los nudos en una planta sana. Este es un síntoma muy característico de la deficiencia de zinc en dicotiledóneas. En las cuales, el retraso del crecimiento es una consecuencia de la reducción en la producción de materia seca

dando una planta más pequeña y/o reducido alargamiento de entrenudos de los tallos. En comparación con otros macro y micronutrientes, los síntomas de deficiencia de zinc en dicotiledóneas se encuentran tanto en hojas viejas como en hojas nuevas (Alloway, 2008).

Las hojas de soja deficiente en Zn son pequeñas y presentan clorosis internerval (Figura 6, Anexo). Los síntomas foliares son más graves en las hojas inferiores. Los tejidos cloróticos pueden volverse castaños o grises y morir prematuramente. La madurez se retrasa formándose pocas vainas (EMBRAPA-CNPSO, 1995; Alloway, 2008).

La floración y producción de semillas sufre grave depresión en las plantas deficientes en zinc. Trigos deficientes en zinc han desarrollado pequeñas anteras y granos de polen anormales (Brown *et al.*, 1993).

Grewal *et al.* (1996) mostraron que trigos con genotipos eficientes en la utilización del zinc, fueron menos susceptibles a la enfermedad de pudrición de corona causada por *Fusarium graminearum* en suelos con concentraciones bajas de zinc. Sugirieron que el uso de genotipos eficientes en el uso del zinc y un uso juicioso de los fertilizantes de zinc era una forma viable de sostener la producción de trigo en las zonas donde la podredumbre de la corona era un problema.

Los parámetros que afectan la disponibilidad de este nutriente son de tipo edáfico, climático, antrópico, genético y sus interacciones. Su conocimiento nos puede indicar estrategias agronómicas para abordar el problema de deficiencia de este nutriente para el crecimiento de los cultivos (Broadley *et al.*, 2007).

La principal fuente de Zn disponible en el suelo es la meteorización química y física de las rocas madres. La litosfera está comprendida normalmente por 70 a 80  $\mu\text{g Zn g}^{-1}$ , mientras que las rocas sedimentarias contienen 10–120  $\mu\text{g Zn g}^{-1}$  (Friedland, 1990; Barak y Helmke, 1993; Alloway, 1995). El zinc se incluye en la formación de la roca como resultado de la sustitución no específica de Mg y Fe con Zn (Barak y Helmke, 1993). Rocas que contienen minerales de Zn, tales como sulfuro de zinc (blenda, wurtzita), sulfato de zincosita (goslarita), óxido (zincinita, franklinita, gahnita), carbonato (smithsonita), fosfato (hopeita) y minerales de silicato (hemimorfita, willemita), pueden formar suelos 'calamina' que contiene concentraciones extremadamente altas de Zn y otros metales (Barak y Helmke, 1993).

Otras Fuentes naturales de Zn en los suelos pueden derivarse de deposiciones atmosféricas, por ejemplo: la acción de volcanes, los incendios forestales y polvos de superficies; y/o por factores bióticos como la descomposición-mineralización, lixiviación y lavado de superficies de hoja (Friedland, 1990). Aportaciones antropógenas de Zn a suelos incluyen la combustión de combustibles fósiles, minas de fertilizantes fosfatados, residuos,

pedra caliza, estiércol, los lodos de depuradoras, otros productos agroquímicos, partículas de superficies galvanizadas (revestidos de Zn) y cubiertas de goma (Chaney, 1993; Alloway, 1995).

En el suelo se encuentra en tres fracciones principales: (I) Zn soluble en agua (incluido el ion  $Zn^{+2}$  y fracciones orgánicas solubles en agua); (II) Zn intercambiable y adsorbido en la fracción coloidal (asociada con partículas de arcilla, compuestos húmicos e hidróxidos de Al y Fe); y (III) complejos de Zn insolubles y minerales. La distribución de Zn entre las fracciones del suelo está determinada por reacciones de precipitación, complejación y adsorción específicas del suelo. (Lindsay, 1979; Barrow, 1993; Alloway, 1995; Barber, 1995). El Zn insoluble comprende el 90% del Zn del suelo y no está disponible para la captación de las plantas (Broadley *et al.*, 2007).

Lindsay (1972) describe nueve factores principales que afectan la disponibilidad de zinc (y por lo tanto la deficiencia) en donde incluyó:

1) Suelos de bajo contenido de zinc: los suelos arenosos, turba y suelos arcillosos con bajo contenido de zinc total son altamente propensos a causar deficiencia de zinc en los cultivos. Sillanpää (1982) se refirió a las deficiencias de esta causa como “Deficiencias primarias”.

En general, suelos arenosos tienen el menor contenido de Zn y suelos arcillosos tienen la más alta concentración (McGrath y Loveland, 1992; Alloway, 1995). Sin embargo, debe recordarse que estos valores son concentraciones "totales" y las concentraciones "biodisponibles" serán mucho menor y difieren considerablemente dependiendo de las propiedades del suelo como el pH, contenido de materia orgánica y capacidad adsorción. (Alloway, 1995).

2) Suelos con restricciones para raíces: Restricciones a la penetración y exploración de la raíz, tales como la compactación por ruedas de tractor, pisos de arado y masas de agua, disminuyen la disponibilidad de zinc para las raíces.

3) Suelos Calcáreos y pH: suelos calcáreos, generalmente con un  $pH > 7,4$  tienen concentraciones relativamente bajas de zinc disponible debido a que la solubilidad del zinc disminuye con el aumento pH. Muy a menudo el contenido total de zinc de los suelos calcáreos es similar al de otros tipos de suelos, o incluso mayor, pero la disponibilidad es baja. La adsorción de zinc sobre el  $CaCO_3$  es también un factor que contribuye.

En suelos de pH bajo (ácidos) la biodisponibilidad y la actividad de Zn es mayor y por lo tanto, el riesgo de deficiencias es menor, pero el riesgo de toxicidad es mayor. Las diferencias en el pH tienen un efecto importante en la actividad del ion y en las concentraciones en la solución del suelo (Alloway, 1995). Broadley *et al.* (2007), también afirman que uno de los factores del suelo determinantes en la distribución del Zn es el pH; el Zn se adsorbe más fácilmente en los



sitios de intercambio catiónico a pH superior y el Zn adsorbido es más fácilmente desplazado por  $\text{CaCl}_2$  a pH inferior.

La disponibilidad y distribución de Zn también están influenciadas por la salinidad y granulometría de los suelos. La fuerte sustitución del Zn en presencia de considerables cantidades de  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Na}^+$  podría ser una de las causas del déficit de este micronutriente en el suelo. Por lo tanto, en suelos carbonatados y salinos la disponibilidad de los microelementos no depende únicamente de los contenidos elevados de metales totales sino también de parámetros edáficos que controlan la fuerte adsorción en los coloides, (Roca *et al.*, 2007).

4) Suelos pobres en materia orgánica: Tanto el zinc-DTPA extraíble y el contenido de materia orgánica disminuyen considerablemente con la profundidad del perfil. En los Estados Unidos, una de las más frecuentes ubicaciones de los problemas de deficiencia de zinc en los cultivos es donde la tierra de la superficie se ha eliminado como parte de la nivelación de campos. Varios trabajos han mostrado una correlación positiva entre el zinc extraíble y el contenido de materia orgánica. El contenido de materia orgánica y arcilla y la actividad microbiana son propiedades del suelo que controlan la disponibilidad de este nutriente.

En coincidencia Roca *et al.* (2007), indican que el porcentaje de materia orgánica es el factor determinante en la presencia y distribución de los micronutrientes en el suelo, siendo el horizonte superficial el de mayor acumulación. Tanto cobre (Cu), hierro (Fe) como manganeso (Mn) presentan cierta movilidad en el perfil, mientras que Zn permanece adsorbido en el lugar sin un desplazamiento vertical. También Edwards *et al.* (1992) y Espósito *et al.* (2010) reportaron que la disponibilidad de Zn, se asoció positivamente con el contenido de materia orgánica.

5) Zinc inactivado o absorbido por cultivo anterior en la rotación.

6) Temperaturas bajas del suelo: Hay informes de deficiencias inducidas de zinc por fósforo son más severas a bajas temperaturas que a altas temperaturas.

Además las bajas temperaturas limitan el crecimiento de raíces y por lo tanto la intercepción del Zn, implica también una menor tasa de liberación de Zn desde formas medianamente lábiles hacia formas solubles o intercambiables, las cuales son más rápidamente disponibles por la planta (Ratto, 2006).

7) Especies y Variedades: Las plantas difieren notablemente en su sensibilidad / tolerancia a la deficiencia de zinc. Variaciones intra-específicas a veces son tan grandes como variaciones inter-específicas. Varios investigadores han demostrado que variedades de trigo pueden mostrar una amplia gama de eficiencia de utilización del zinc. La mayoría de las

variedades de trigos “zinc- eficientes” fueron capaces de producir más materia seca y grano en condiciones de baja oferta de zinc disponible que las variedades “zinc-ineficientes”.

Tasistro y Ortiz-Monasterio (2012) explican que existen variedades de trigo más eficientes en adquirir el zinc por las raíces y otras más eficientes en utilizar el zinc dentro de las células. Las más eficientes en adquirirlo por las raíces pueden lograrlo a través de: poseer más superficie absorbente, tener micorrizas, generar una disminución del pH en la zona cercana a las raíces, liberar al suelo compuestos que capturan el zinc y/o por producción de polipéptidos que intervienen en la toma y transporte del zinc a través de las membranas celulares. Por otro lado, los mecanismos biológicos de variedades más eficientes en la utilización del zinc son: una mayor acumulación en citoplasma del elemento y/o una mayor eficiencia bioquímica.

8) Altos niveles de fósforo (P) disponible: Dentro de los factores que afecta la disponibilidad de zinc para los cultivos se encuentra el alto contenido de fósforo de los suelos o la fertilización fosfatada. Fancelli (2006) indica que altos niveles de P en el medio (suelo o sustrato), pueden provocar la deficiencia de Zn inducida, principalmente por la ocurrencia de la insolubilización del Zn en la superficie de las raíces, configurándose un proceso de inhibición no competitiva y fijándolo en formas no disponibles para las plantas. Para Olsen (1972), la disponibilidad de Zn se ve afectada por altos niveles de fósforo disponible en el suelo o la aplicación de este último (fertilización en la línea), y a la formación de fosfato de Zinc, el cual es parcialmente insoluble.

9) Efecto del Nitrógeno (N): El nitrógeno puede afectar la disponibilidad de zinc de dos maneras posibles. En primer lugar, el aumento de la formación de proteínas tras la adición de fertilizantes nitrogenados puede conducir al zinc a inmovilizarse en la raíz como un complejo de proteína de zinc y no trasladarse alrededor de la planta. En segundo lugar, la acidificación de los fertilizantes de nitrógeno, tales como nitrato de amonio y sulfato de amonio puede conducir a una disminución en el pH del suelo y un aumento en la disponibilidad de zinc.

Para Mengel y Kirkby (1987), las tres causas de deficiencia en la disponibilidad para las plantas son: a) baja concentración del elemento en el suelo, b) presencia de una forma química que no puede ser utilizada por la planta, y c) efecto antagónico entre distintos elementos.

## ANTECEDENTES

A nivel mundial existen antecedentes de respuesta de soja a la fertilización con Zn, tal es el caso de los estudios realizados por Hartwig *et al.* (1991) en Newton (Estados Unidos) en suelos de pH elevado o los estudios llevados a cabo por Tsuioshi (2001) en los suelos menos fértiles del Cerrado de Balsas y Mato Grosso (Brasil); ambos dan evidencias de suelos limitantes en Zn para el cultivo de la soja y demostraron efectos positivos en el rendimiento por la fertilización con este elemento. Según Broadley *et al.* (2007), el 50% de los suelos cultivados en la India y Turquía, un tercio de los suelos cultivados en China, y la mayoría de los suelos en el oeste de Australia son clasificados como Zn-deficientes.

En Argentina, Sainz Rozas *et al.* (2003) indicaron que la disponibilidad de Zn en el sudeste bonaerense limitó el crecimiento del cultivo de trigo y, en consecuencia, se observó respuesta a la aplicación de Zn. Por otro lado, González y Buschiazzo (1996) establecieron los contenidos en el suelo de Fe, Cu, Mn y Zn extraídos con EDTA y su relación con los parámetros edáficos, indicando deficiencias de Zn y Cu en la mayoría de los suelos de la provincia de La Pampa. En el área central de Santa Fe, Fontanetto *et al.* (2006), obtuvieron respuesta a la fertilización con Zn en el rendimiento de trigo, logrando incrementos que variaron entre 93 y 490 kg/ha sobre el testigo. En el sur de Santa Fe, Salvagiotti *et al.* (2012) mediante la aplicación foliar de zinc en el estadio de macollaje obtuvo incrementos significativos en el rendimiento del trigo.

Para las condiciones de la campaña 2012/2013 en el cultivo de trigo, la Regional Aapresid Bragado – Chivilcoy afirma que aplicaciones localizadas de zinc al momento de la siembra aportan respuestas significativas en cuanto a rendimiento, y diferencias no significativas en cuanto a calidad comercial. En promedio, el tratamiento con zinc rindió 124 kilos por hectárea más que el tratamiento sin zinc, siendo éste el aporte del elemento para este año y estas condiciones de cultivo (AAPRESID, 2013).

Según Roca *et al.* (2007) los suelos del Departamento de Fray Mamerto Esquiú (Catamarca, Argentina) presentan una deficiencia considerable de Fe y Zn, con más del 70% de los suelos considerados deficientes o pobremente provistos.

Para algunos suelos del norte y centro de la Región Pampeana, Ratto *et al.* (1990) han reportado que la disponibilidad de micronutrientes, como el zinc y el cobre, podría ser limitante para algunos cultivos. La información sobre disponibilidad de los mismos en suelos de Córdoba, concluye que podrían existir deficiencias localizadas con probable respuesta a Cu y Zn (Volmer y Ratto, 2005). Más precisamente en la región suroeste de Córdoba son frecuentes suelos de

textura gruesa, pH alto y materia orgánica escasa, las cuales son características que incrementan la posibilidad de deficiencias de este nutriente (Sims y Johnson, 1991). En la zona rural de Río Cuarto, Córdoba, Espósito *et al.* (2010), encontraron un aumento del rendimiento por espiga, por un mayor número de granos por espiga y un aumento en el peso de los granos debido a la fertilización con Zn.

Principalmente en la región del Departamento de Río Cuarto, son escasos los ensayos de fertilización realizados con este elemento en el doble cultivo trigo/soja.

## **HIPÓTESIS**

La fertilización con zinc incrementa el rendimiento del doble cultivo trigo/soja en suelos del Departamento de Río Cuarto.

## **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el efecto de la fertilización con zinc sobre el rendimiento del doble cultivo trigo/soja en un suelo Haplustol típico del Departamento de Río Cuarto.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a) Evaluar el efecto de la fertilización con Zn sobre la población de plantas por unidad de superficie en trigo y soja.
- b) Analizar el efecto de la fertilización con Zn sobre la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) de trigo durante el período donde se define el número de granos  $m^{-2}$ .
- c) Establecer relaciones entre el rendimiento del doble cultivo trigo/soja y sus componentes directos y la respuesta a la fertilización con zinc.
- d) Evaluar el efecto de la fertilización con Zn en la producción energética de ambos cultivos.

## MATERIALES Y METODOS

Para determinar la respuesta al agregado de Zinc con la fertilización, durante la campaña 2010-11 se realizó un ensayo a campo en el establecimiento agropecuario perteneciente al Sr. Aimar Raúl ubicado sobre Ruta Nacional N° 8, km 580 (33° 8'43.52"S, 64° 6'43.18"O) distante 20 km al este de la localidad de Río Cuarto. El ensayo se realizó sobre un suelo clasificado como Haplustol típico (INTA, 2006), con textura franco arenosa fina.

El ensayo consistió de 3 tratamientos de fertilización en la secuencia trigo/soja de segunda en un lote con antecesor maíz, el cual proviene de 13 años de agricultura en siembra directa. El trigo fue sembrado el 11 de junio de 2010 bajo el sistema de siembra directa, el diseño experimental fue en bloques completos aleatorios con tres repeticiones espaciales por tratamiento, a saber:

- Tratamiento 1: Testigo.
- Tratamiento 2: N-P-K-S-Zn 18-17.6-0-10-0, 115 kg ha<sup>-1</sup>.
- Tratamiento 3: N-P-K-S-Zn 18-17.6-0-10-1, 115 kg ha<sup>-1</sup>.

El tamaño de cada parcela experimental fue de 4,83 m de ancho por 20 m de largo. La variedad seleccionada de trigo fue Baguette 18, se sembraron 23 surcos por cada parcela con una distancia entre líneas de 0,21 m y la densidad de siembra de 350 semillas m<sup>-2</sup> (aproximadamente).

Espósito *et al.* (2010) indican que en suelos Haplustoles típicos del Departamento de Río Cuarto al cual pertenece el ensayo, el trigo respondió positivamente al agregado de fósforo, azufre y zinc como mezcla química (N-P-K-S-Zn 18-0-0-10-1) en dosis cercanas a 100 kg ha<sup>-1</sup> de producto comercial. Por este motivo, en el presente trabajo se escogieron realizar estos tratamientos.

Para los tratamientos 2 y 3 se emplearon dos fertilizantes formulados como una mezcla química. El grado de N-P-K y S en el tratamiento 2 es 18-17.6-0-10, su nombre comercial es MES 10 de Mosaic Co. En el tratamiento 3 el grado de N-P-K y S es igual, solo que además contiene Zn en su formulación (18-17.6-0-10-1), su nombre comercial MES SZ de Mosaic Co. La fertilización se hizo en bandas por debajo y al costado de la línea de siembra.

La fertilización nitrogenada en trigo se realizó mediante el sistema de fertirriego en tres momentos, inicio de macollaje, fin de macollaje y principio de encañazón, la cantidad aplicada fue en total 70 kg N ha<sup>-1</sup> como UAN, para alcanzar los 180 kg N ha<sup>-1</sup>. Para el caso de la soja, se inoculó la semilla con *Bradyrhizobium japonicum* mediante el producto comercial Nitragim Optimize II.

Para obtener un rendimiento en trigo de 6000 kg/ha, Ciampitti y García (2007) indican que se requiere 180 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno, 30 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo, 27 kg ha<sup>-1</sup> de azufre y 0,27 kg ha<sup>-1</sup> de Zn. Y para un rendimiento de 3500 kg ha<sup>-1</sup> en soja se necesitan 231 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno, 22 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo, 14 kg ha<sup>-1</sup> de azufre y 0,19 kg ha<sup>-1</sup> de Zn. En cultivos de soja sin limitantes ambientales para su desarrollo, entre 50 y 80% de los requerimientos de nitrógeno del cultivo de soja son aportados a través de la fijación biológica del nitrógeno (FBN) según el sistema de producción (Salvagiotti *et al.*, 2008). Dicha variación está determinada no sólo por los diferentes contenidos de N mineral (que antagoniza con la FBN), sino también con el hecho de si se cultiva en seco, ya que el proceso de FBN es altamente sensible a pequeñas disminuciones en la condición hídrica del cultivo (Serraj *et al.*, 1999). En base a esto, al resultado del análisis de nutrientes del suelo que se detalla más adelante y a la fertilización realizada sobre la secuencia trigo/soja, se consideró que no hubo limitaciones nutricionales de los elementos nitrógeno, fosforo y azufre para los rindes esperados, por lo cual se asume que las respuestas en rendimiento obtenidas se deberían principalmente a la fertilización con Zn, aplicado al trigo.

Se efectuó un barbecho químico 10 días previos a la siembra del trigo para el control de malezas mediante una aplicación de glifosato (48%) en dosis de 3,5 lt ha<sup>-1</sup> y 2,4D éster (100%) a razón de 0,5 lt ha<sup>-1</sup>. Luego en Z 1.3 (Zadoks *et al.*, 1974) se aplicó metsulfurón 6 g ha<sup>-1</sup>.

En soja, para el control de malezas se realizaron 2 controles químicos, uno en preemergencia y otro en plena floración, en cada momento se aplicaron 3 lt ha<sup>-1</sup> de glifosato 48%. No fue necesario realizar controles químicos de insectos ni enfermedades.

A ambos cultivos se les aplicó riego, mediante un sistema de pivote central. La decisión calendario de riego a aplicar fue tomada por los mismos propietarios del establecimiento de acuerdo a su criterio, en la tabla 2 se detallan los riegos aplicados en el ciclo del trigo, y de la soja.

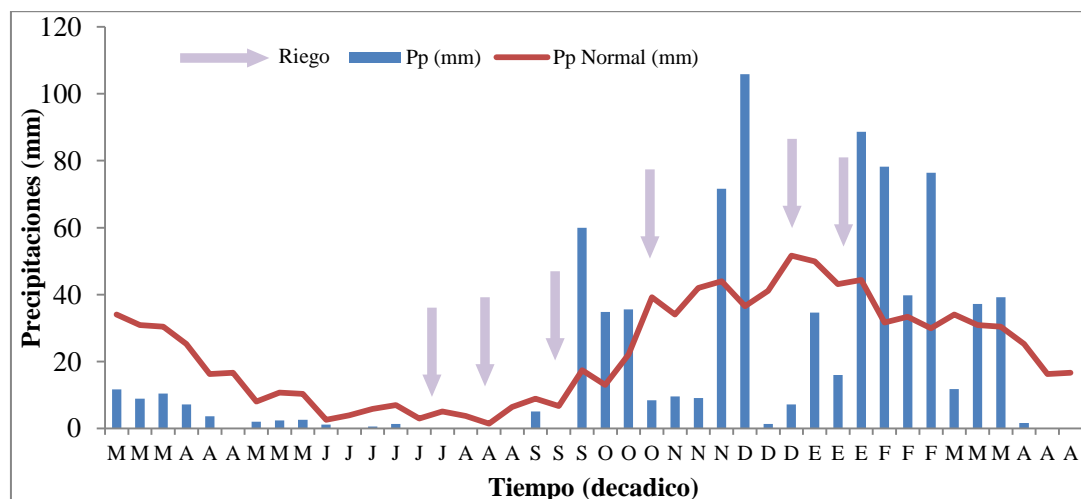
**Tabla 2:** Registro calendario y milímetros aplicados en cada uno de los cultivos del ensayo.

Fecha	20/07/2010	16/08/2010	12/09/2010	28/10/2010	29/12/2010	24/01/2011
Milímetros aplicados	25	50	50	25	25	25
Cultivo	Trigo	Trigo	Trigo	Trigo	Soja	Soja
Estado Fenológico	principio macollaje	fin macollaje	primer nudo	grano lechoso	V2	R2

Al momento de la siembra del trigo se tomaron de cada bloque dos submuestras de un metro de profundidad por tratamiento para determinar condición hídrica del perfil. En el testigo el contenido hídrico total fue de 157,59 mm y en el tratamiento MES Z 115 fue de 145,39 mm.

En la Figura 7, se observan los valores de las precipitaciones normales para la zona y las ocurridas durante el desarrollo de este trabajo. En base a esto y a la tabla 2 de riego aplicado, se puede decir que el cultivo de trigo al momento de la siembra se encontró con buenas condiciones hídricas para la nacencia y desarrollo de plántulas. También se le brindó excelente disponibilidad de agua durante el periodo crítico del cultivo buscando los niveles de rendimientos antes mencionados. Durante el ciclo no se registraron daños por efecto del granizo.

**Figura 7:** Precipitaciones decádicas para el período marzo 2010 – abril 2011 y Normal, Río Cuarto (1974-2011).



A la siembra del trigo, también se tomaron dos submuestras por cada uno de los tratamientos de cada bloque, se mezclaron en una muestra compuesta y se realizó un análisis para evaluar disponibilidad de nutrientes y condición química del suelo. Estévez *et al.* (1998) afirman que es importante tener en cuenta que la distribución del Zn en profundidad se ve afectada por su relación con las prácticas de uso y manejo, así como con la disposición de las raíces. La mayor disponibilidad de los metales está en los primeros centímetros y se relaciona con los ciclos orgánicos, es por esto que las muestras para materia orgánica, fosforo, azufre, pH, zinc y boro fueron tomadas de 0 a 20 cm de profundidad, mientras que las muestras realizadas para nitrógeno se tomaron a las profundidades de 0 a 20, 20 a 40 y de 40 a 60 cm. Las determinaciones que se hicieron fueron N-NO<sub>3</sub> (Bremner y Keeney, 1966), pH (agua 1:2,5), P disponible (Bray y Kurtz, 1945), Materia Orgánica (Walkley y Black, 1934), Zn por extractante



DPTA (0,005 M ácido diethylenetriaminepentaacético, 0,1 M triethanolamina y 0,01 M CaCl<sub>2</sub>) desarrollado por Lindsay y Norvell (1978) y S-SO<sub>4</sub> - por el método turbidimétrico (Johnson, 1987).

Existen diferentes métodos para estimar concentración y disponibilidad de zinc en suelos, Ratto y Fatta (1990) estudiaron la factibilidad del uso de EDTA y DTPA como extractantes para analizar Zn en suelos agrícolas de la zona maicera -norte de la provincia de Buenos Aires y sur de Santa Fe- con buenos resultados en ambos métodos, inclinándose, finalmente, por el DTPA con mayor divulgación entre la comunidad científica.

Debido a que la aplicación de P o N en la línea de siembra puede traer aparejado efectos fitotóxicos cuya magnitud dependerá de la fuente y dosis aplicada, además de factores del ambiente como textura, nivel de humedad del suelo u ocurrencia de lluvias posteriores (Ferraris *et al.*, 2011), se realizaron al momento de la emergencia del cultivo de trigo tres muestras de 1 m de largo por 0,21 m de ancho por tratamiento y por bloque, en donde se contaron el número de plantas emergidas para evaluar el efecto de la fertilización con zinc sobre el stand de plantas e identificar si existió algún efecto fitotóxico por los distintos tratamientos sobre la población de plantas.

Para evaluar el efecto de los distintos tratamientos sobre la TCC de trigo en el período de definición de los componentes directos del rendimiento, se cortaron en estado fenológico de tres nudos (Z 3.3) y en grano pastoso (Z 8.3) dos muestras de biomasa aérea al azar de 1 m de largo por 0,21 m de ancho cada una, en todos los tratamientos de los tres bloques. Luego cada muestra se sometió a un secado en estufa de ventilación forzada a 100 °C durante 24 horas, para obtener la cantidad de biomasa m<sup>-2</sup> en materia seca. Mediante la ecuación [1] se calculó la TCC para cada tratamiento y así se evaluó el efecto de la fertilización con Zn sobre la TCC entre ambas etapas fenológicas.

$$\text{Ecuación [1]: } \text{TCC (g m}^{-2} \text{ día}^{-1}) = \frac{(\text{g m}^{-2} \text{ grano pastoso} - \text{g m}^{-2} \text{ tercer nudo})}{\text{Días entre estado}}$$

El trigo fue cosechado de forma manual el día 09 de diciembre del 2010, en cada parcela se realizaron cuatro estaciones de muestreo al azar y en cada una de ellas se tomaron dos muestras de 1,2 m de largo generando un total de 8 muestras por tratamiento. El método implementado para la cosecha fue el corte manual de las espigas y colocado en bolsas individuales para cada muestra. Al momento de la cosecha, se contó el número de espigas cortadas por muestra para poder analizar este componente del rendimiento y también obtener el rendimiento por espiga y el número de granos por espiga.

Para obtener los valores de rendimiento por muestra y por tratamiento, luego de la cosecha se realizó la trilla de las espigas con la cosechadora Wintersteiger NM Elite 1400. También se realizó el pesado de mil granos de cada muestra para obtener ese componente del rendimiento y además estimar el número de granos por metro cuadrado. A demás se separó una muestra por cada tratamiento de cada bloque a las que se les midió el porcentaje de humedad para hacer correcciones del rendimiento a la humedad comercial de 14%.

Para el caso del cultivo de soja la fecha de siembra fue el 11 de diciembre del 2010 continuada a la cosecha del trigo. De acuerdo a la estación de crecimiento para soja, definida por las condiciones ambientales para una soja de segunda en la zona y por factores de manejo (antecesor, riego, etc.), y apoyado en ensayos de la Red Nacional de Evaluación de Cultivares de Soja (INTA, 2010), se determinó utilizar el cultivar A3731RG de Nidera S.A. perteneciente al grupo de madurez III largo.

La densidad de siembra óptima de cualquier cultivo es aquella que: I. Maximiza la intercepción de radiación fotosintéticamente activa durante el período crítico para la definición del rendimiento y II. Permite alcanzar el índice de cosecha máximo (Vega y Andrade, 2000). En base a esto y a las características del cultivar se decidió sembrar una densidad de 480.000 semillas  $\text{ha}^{-1}$ , la distancia entre hileras planteada de 0,42 m y tanto el largo, el ancho y la ubicación de las parcelas fue el mismo que el dispuesto en el ensayo de trigo.

En este cultivo, también se determinó para todos los tratamientos si hubo respuesta a la fertilización con Zn sobre la densidad poblacional de plantas, para ello se tomaron 3 muestras de 2,4 m de largo por 0,42 de ancho en cada tratamiento en los tres bloques. En cada una de estas muestras se contó el número de plantas nacidas en VE (Fehr y Caviness, 1977). También, mediante el conteo de plantas por unidad de superficie se evaluó si existieron efectos fitotóxicos causados por los tratamientos en la población de plantas nacidas.

Para evaluar el efecto residual de la fertilización con zinc del trigo sobre el rendimiento de la soja y sus componentes, se cosecharon manualmente 4 submuestras al azar de 1  $\text{m}^2$  cada una por tratamiento y por bloque. A cada una de ellas se las sometió al proceso de trilla de vainas con la cosechadora Wintersteiger NM Elite 1400 y se midió rendimiento, humedad de cosecha, peso de 1000 granos y se estimó el número de granos  $\text{m}^{-2}$  de cada submuestra tomada.

Todos los resultados obtenidos en trigo y en soja fueron analizados estadísticamente mediante el análisis de varianza (ANAVA) y la comparación de medias según el test DGC, en ambos métodos estadísticos se utilizó un nivel de significancia del 5 %, como diferencia mínima significativa, todo esto mediante el paquete de análisis estadísticos InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2010).

Para el análisis integrado del doble cultivo, se transformaron los rendimientos obtenidos en sus equivalencias energéticas. Penning De Vries *et al.* 1974, señaló que el gasto energético por kilogramo de materia seca de soja es 4,8 Mcal y para el caso del trigo es 3,5 Mcal kg<sup>-1</sup>. De esta forma se convirtieron ambos rendimientos físicos por hectárea en sus equivalentes energéticos, se sumaron y se estimó si la fertilización con Zn generó una respuesta significativa en la productividad energética por unidad de área.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 3 se presentan los resultados del análisis de suelo realizado. En el caso del Zn extraído mediante DTPA, el valor crítico varía entre los autores considerados. Lindsay y Norvell (1978) lo establecen en 0,8 mg kg<sup>-1</sup> mientras que Zheng *et al.* (1982) y Brown *et al.* (1971), mucho más estrictos, en 0,5 mg kg<sup>-1</sup>. Otros autores como Brennan *et al.* (1993) y Pais y Benton (2000) mencionan umbrales críticos entre 0,5 y 1 ppm. También, Esposito *et al.* 2010, encontraron respuesta en trigo a la fertilización con Zn en suelos del sur de Córdoba con niveles de 0,67 mg kg<sup>-1</sup>. Esto indicaría que las concentraciones disponibles de Zn en el suelo donde se realizó este trabajo, podrían ser deficitarias para las productividades esperadas de los cultivos de trigo y soja.

**Tabla 3:** Propiedades físico-químicas y disponibilidad de nutrientes del suelo del sitio experimental.

Profundidad (cm)	Materia Orgánica (%)	pH	N-NO <sub>3</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	P disponible (mg kg <sup>-1</sup> )	S-SO <sub>4</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	Zinc (mg kg <sup>-1</sup> )	Boro (mg kg <sup>-1</sup> )
0-20	2,26	6,6	16,9	19,8	13,8	0,72	1,03
20-40			11,6				
40-60			5,4				

El porcentaje de materia orgánica del análisis obtenido, si bien es superior a los de los suelos de Río Cuarto en donde Esposito *et al.* (2010) encontraron respuesta en trigo a la fertilización con Zn; es también, inferior al de los suelos de Clucellas (Santa Fe) donde Fontanetto *et al.* (2006) obtuvieron antecedentes de respuesta positiva a la misma fertilización. El contenido de materia orgánica es importante, ya sea por el aporte de nutrientes mediante la mineralización como por las condiciones físico-químicas que genera en el suelo.

### TRIGO

#### Número de plantas logradas y tasa de crecimiento del cultivo (Z 3.3-Z 8.3)

La densidad y el método de siembra son importantes porque determinan el establecimiento apropiado del cultivo, la competencia entre plantas y la conversión de energía solar en productos cosechables (Kabesh *et al.*, 2009). La cantidad de semilla óptima por hectárea es la que capta más del 90 % de la radiación incidente al inicio del crecimiento de las espigas (Satorre, 1999).

La cantidad de plantas de trigo emergidas no fue afectada significativamente por ninguno de los tratamientos evaluados (Tabla 4), por lo tanto los fertilizantes no provocaron daños en la población de plantas.

En la misma tabla 4, se expresan los resultados obtenidos de la tasa de crecimiento que el cultivo experimentó entre los estados fenológicos de tercer nudo (Z 3.3) y grano pastoso (Z 8.3), período en el cual se genera y determina el número de granos, principal componente del rendimiento. Las diferencias en la TCC detectadas entre los tratamientos evaluados fueron estadísticamente significativas. En este sentido, el test de comparación de medias DGC permitió identificar que la tasa de crecimiento del cultivo fue un 24,5% mayor en los tratamientos que fueron fertilizados con zinc que en los tratamientos con Mes S10 y un 27% mayor que en los Testigos. Además, entre los tratamientos Mes S10 y Testigo no se detectaron diferencias significativas para esta variable.

El zinc juega un papel clave en el metabolismo de hormonas promotoras del crecimiento y desarrollo del cultivo, participa también en complejos enzimáticos con fuerte actividad en zonas meristemáticas y está muy vinculado al metabolismo del nitrógeno, carbohidratos y síntesis de proteínas (Marschner, 1995). Por lo tanto, es esperable que una adecuada o mayor disponibilidad de este nutriente para la planta produzca un aumento en su tasa de crecimiento. Es por esto que se presume que el aumento en la tasa de crecimiento entre tercer nudo y grano pastoso detectado sea probablemente producto de la fertilización con zinc.

Además, los resultados obtenidos en la tasa de crecimiento coinciden con lo desarrollado por Broadley *et al.* (2007), quienes señalaron que las plantas de trigo con cierta deficiencia de Zn (testigo) tienen una menor elongación de entrenudos, menor tamaño de hoja y menor macollaje y por lo tanto una menor tasa de crecimiento que aquellas fertilizadas con Zn.

Es importante señalar que la falta de respuesta en la TCC del tratamiento con Mes S10 con respecto al testigo, indicaría que el suelo aportó la cantidad necesaria de fósforo y azufre para que el cultivo pueda crecer sin limitaciones de estos nutrientes.

**Tabla 4:** Número de plantas emergidas y tasa de crecimiento del cultivo de trigo entre tercer nudo y grano pastoso en dos tratamientos de fertilización y un testigo sin fertilizar en el sur de Córdoba (2010).

Tratamiento	Nº plantas m <sup>-2</sup>	TCC (g m <sup>2</sup> día <sup>-1</sup> )
Mes SZ 115 kg/ha	354,49 a	6,50 a
Mes S 10 115 kg/ha	344,46 a	5,22 b
Testigo	360,86 a	5,12 b
C.V. (%)	8,67	13,11
PCALT	31,1443	0,9522
p del Test	<b>0,5294</b>	<b>0,0117</b>

*En columnas, letras distintas indican diferencias significativas al 5% de probabilidad, según test DGC.*

### Componentes indirectos del rendimiento

El número de espigas por m<sup>2</sup> también fue afectado por los tratamientos de fertilización aplicados al cultivo de trigo (Tabla 5). La fertilización con Mes SZ incrementó significativamente el número de espigas por m<sup>2</sup> con respecto a los otros tratamientos, logrando un aumento medio del 7,3% y 15,2% entre el tratamiento MESZ y el tratamiento S10 y testigo, respectivamente. Entre el tratamiento Mes S10 y el Testigo no se detectó diferencia significativa entre sus medias.

De acuerdo a lo propuesto por Slafer *et al.* (2003) el número de espigas por m<sup>2</sup> está determinado por la supervivencia de los macollos, la cual depende de la disponibilidad de recursos (radiación, agua y nutrientes) durante la etapa de encañazón, así también, la FAO (2001), indica que las condiciones de crecimiento después de Z3.0 determinan cuántos tallos o macollos sobrevivirán para producir espigas y ello depende, entre otros factores, de la oferta nutricional. Por lo tanto, se asume que en base a estos postulados se explicaría el aumento en el número de espigas por m<sup>2</sup> obtenida por la fertilización con zinc.

Los resultados obtenidos coinciden con los de Battauz *et al.* (2006), quienes obtuvieron respuesta significativa positiva al inoculado con zinc de la semilla de trigo en la cantidad de macollos fértiles. El número de espigas por unidad de superficie obtenido en los tres tratamientos son esperables, ya que el tratamiento Mes SZ proporcionó al cultivo una mayor disponibilidad de nutrientes (en este caso zinc) durante el periodo de macollaje y espigazón, por lo tanto se puede especular que esta condición permitió una mayor tasa de crecimiento, un mayor macollaje, una mayor tasa de supervivencia de los macollos y por lo tanto una mayor cantidad de espigas por metro cuadrado.

Con respecto al rendimiento por espiga y al número de granos por espiga (Tabla 5), no fueron observadas diferencias estadísticas significativas. El componente rendimiento por espiga no arrojó diferencias significativas puesto que el número de granos/espiga fue similar en todos los tratamientos y la variación del peso de los granos detectada no fue suficiente para causar una respuesta significativa en esta variable. Por lo tanto el único componente indirecto del rendimiento afectado fue el número de espigas  $m^2$ .

Esto podría implicar que los tres tratamientos llegaron al momento de definición de número de granos/espiga y primordios florales con similares condiciones nutricionales para los macollos fértiles logrados en cada uno de ellos. Lográndose la fijación de un número similar de granos/espiga y un similar rendimiento por espiga.

**Tabla 5:** Componentes indirectos del rendimiento de trigo en tres tratamientos de fertilización en el Sur de Córdoba (2010).

Tratamiento	Nº espigas $m^{-2}$	g espiga <sup>-1</sup>	Nº Granos espiga <sup>-1</sup>
Mes SZ 115 kg/ha	739,35 a	0,97 a	29,72 a
Mes S 10 115 kg/ha	688,88 b	0,98 a	30,41 a
Testigo	641,27 b	1,04 a	30,75 a
PCALT	54,0827	0,0658	1,9414
C.V. (%)	13,15	11,06	10,75
p del Test	<b>0,0072</b>	<b>0,1597</b>	<b>0,6079</b>

*En columnas, letras distintas indican diferencias significativas al 5% de probabilidad, según test DGC.*

### Rendimiento y componentes directos

En la Tabla 6 se puede observar un efecto estadísticamente significativo sobre el número de granos  $m^{-2}$  entre los distintos tratamientos. Se detectó que el número medio de granos  $m^{-2}$  del tratamiento Mes SZ fue superior un 5,9% al tratamiento Mes S10 y un 12,1% al testigo. A su vez el tratamiento Mes S10 obtuvo estadísticamente un mayor número de granos por superficie que el testigo sin fertilizar (5,8%).

Estos resultados coinciden con Esposito *et al.* (2010), quienes obtuvieron similar respuesta a la fertilización con Zn en la zona de Río Cuarto. Donde los tratamientos fertilizados con Zn tuvieron un aumento significativo del número de granos por superficie del 21% con respecto al testigo y un 12% al tratamiento fertilizado con P y S únicamente.

El número de granos  $m^{-2}$  es el resultante del número de espigas  $m^{-2}$ , que depende del macollaje y supervivencia de macollos; y del número de flores fértiles, que cuajaran un grano por espiga. El establecimiento de un mayor número de granos (y en consecuencia un mayor

rendimiento) dependerá de (i) el estado del cultivo al momento de iniciar el período crítico y (ii) las condiciones ambientales que disponga el cultivo durante ese período (Slafer *et al.*, 2003). En base a esto se presume que la mayor TCC en el periodo crítico y el mayor número de espigas  $m^{-2}$  fijadas por efecto del zinc, se ven reflejados en un mayor número de granos por superficie en el tratamiento SZ al momento de la cosecha.

En cuanto al peso de 100 granos, los análisis arrojaron respuesta significativa a los distintos tratamientos. En donde el testigo sin fertilizar obtuvo un mayor peso medio de 100 granos que los tratamientos de Mes SZ y Mes S10, sin detectarse diferencias entre éstos últimos (Tabla 6). Como resultado, el peso medio de 100 granos fue un 2,6% mayor en el testigo que en los otros dos tratamientos. Lerner *et al.*, (2013) lo explican como efecto compensatorio entre el número de granos por superficie y el peso de los mismos. Indican que la menor fijación de granos por superficie bajo condiciones de recursos limitantes puede resultar en un mayor peso de los mismos, tal es el caso del testigo en este trabajo. También explican que sucede lo inverso para los tratamientos en donde el número de granos fijados por área es elevado (tratamientos Mes SZ y Mes S10) en los cuales el peso de los granos es menor.

En la misma tabla se muestran los resultados obtenidos de rendimiento en trigo en la campaña 2010. Se puede observar que el rinde del trigo fue afectado por los distintos tratamientos, arrojando respuesta estadísticamente significativa por efecto de los mismos. El rinde medio de los tratamientos fertilizados con Zn fueron significativamente mayores a los obtenidos en los tratamientos fertilizados con Mes S10 y el testigo, y a su vez entre las medias de estos dos no hubo diferencia significativa. El aumento del rinde por efecto del Zn fue del orden del 5 % ( $339 \text{ kg ha}^{-1}$ ) al 9 % ( $589,5 \text{ kg ha}^{-1}$ ) con respecto al tratamiento con S10 y el Testigo sin fertilizar, respectivamente.

El número de granos producidos por superficie en trigo es el componente que mejor explica las variaciones en el rendimiento final más que cualquier cambio en el peso individual (Slafer *et al.*, 2003). Respaldado en esto, es posible decir que el aumento en el rendimiento observado en el tratamiento Mes SZ fue principalmente debido al aumento en el número de granos  $m^{-2}$ , a pesar de que el peso de los 100 granos fue menor que el del testigo sin fertilizar.



**Tabla 6:** Rendimiento y componentes directos de trigo fertilizado con Zn en el Sur de Córdoba (2010).

Tratamiento	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	Nº Granos m <sup>-2</sup>	Peso 100 granos (g)
Mes SZ 115 kg/ha	7122 a	21816 a	3,28 b
Mes S 10 115 kg/ha	6783 b	20595 b	3,27 b
Testigo	6532 b	19463 c	3,36 a
PCALT	371	1124	0,09
C.V. (%)	9,15	9,14	2,80
<b>p del Test</b>	<b>0,0194</b>	<b>0,0016</b>	<b>0,0157</b>

*En columnas, medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p <= 0,05$ ) según test DGC.*

Resumiendo, los resultados obtenidos de los distintos componentes directos e indirectos del rendimiento y contrastados con el marco teórico citado, es posible pensar que el efecto positivo de la fertilización con zinc sobre la tasa de crecimiento (27%) durante el periodo crítico generó un aumento en el número espigas por m<sup>2</sup> (15,2%), lo que a su vez se vio reflejado en el número de granos por m<sup>2</sup> (12,1%) y, como consecuencia, en un mayor rendimiento de trigo (9%) con respecto al testigo.

## SOJA

### Número de plantas

En la tabla 7, se observa que no se detectó respuesta significativa a los diferentes tratamientos y se logró similar cantidad de plantas por unidad de superficie en cada uno de ellos. Las plantas logradas representan un 75% de la semilla utilizada. Considerando que la semilla era originaria de la producción propia del establecimiento y que se sembró sobre un rastrojo de trigo de aproximadamente 10.000 kg ha<sup>-1</sup> la obtención de 360.366 plantas ha<sup>-1</sup> es adecuada para la producción de soja. También es importante aclarar que no se observaron pérdidas de plantas ni síntomas de fitotoxicidad a causa de los tratamientos.

La importancia de no haber diferencias en las densidades de cada tratamiento está en que no se vieron influenciados los resultados obtenidos de los componentes del rendimiento durante el desarrollo del cultivo y al momento de la cosecha a causa de esta variable. Esta interacción densidad-componentes del rinde fue explicada por Valentinuz (1996) quien señaló que la soja en bajas densidades aumenta el número de nudos potenciales y disminuye el aborto de flores. También Ferraris *et al.* (2003) indica que a medida que la densidad aumenta, disminuye el crecimiento y el número de granos por individuo. Carpenter y Board (1997) afirman que al

variar las densidades, entre los componentes del rendimiento ocurre una modificación en el número de vainas y granos por planta, originado por cambios en la capacidad de ramificación, lo que hace variar también el número de nudos y hojas por planta.

**Tabla 7:** Componentes indirectos del rendimiento de soja en tres tratamientos de fertilización en el Sur de Córdoba (2010/11).

Tratamiento	Nº plantas m <sup>-2</sup> en V2	Nº plantas m <sup>-2</sup> en R8
Mes SZ 115 kg/ha	35,44 a	32,17 a
Mes S 10 115 kg/ha	36,00 a	33,00 a
Testigo	36,67 a	31,25 a
C.V. (%)	14,95	13,18
PCALT	5,4791	3,6677
<b>p del Test</b>	<b>0,8910</b>	<b>0,6041</b>

*En columnas, letras distintas indican diferencias significativas al 5% de probabilidad, según test DGC.*

#### **Rendimiento y sus componentes directos**

En la tabla 8 se expresan los resultados de rendimientos medios, el peso de 100 granos y el número de granos m<sup>-2</sup> que se obtuvieron de los distintos tratamientos en soja para la campaña 2010-2011.

**Tabla 8:** Rendimiento y componentes directos de soja sobre trigo fertilizado con Zn en el Sur de Córdoba campaña 2010-2011.

Tratamiento	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	Nº Granos m <sup>-2</sup>	Peso 100 granos (g)
Mes SZ 115 kg/ha	3745,18 a	2574,58 a	14,53 a
Mes S 10 115 kg/ha	3685,60 a	2520,75 a	14,62 a
Testigo	3150,52 b	2315,58 b	14,34 a
C.V. (%)	9,68	9,80	3,80
PCALT	295,6795	209,6244	0,4767
<b>p del Test</b>	<b>0,0003</b>	<b>0,0331</b>	<b>0,4445</b>

*En columnas, letras distintas indican diferencias significativas al 5% de probabilidad, según test DGC.*

Como se puede observar no hubo diferencias significativas en el rendimiento de la soja por efecto de la fertilización con Zn en el trigo anterior, pero si, se pudo detectar respuesta significativa en ambos tratamientos fertilizados con respecto al testigo, lo cual significa que la respuesta podría deberse a alguno o a la combinación de los nutrientes que estaban incluidos en la formulación química del fertilizante usado (Fósforo y Azufre).

Las propiedades residuales del fósforo y del azufre fueron demostradas en varias oportunidades por investigaciones realizadas en suelos del centro de la provincia de Santa Fe (Vivas, 1996; Martínez y Cordone, 1998, Albercht *et al.*, 2000; Vivas *et al.*, 2001; Vivas, 2003; Fontanetto *et al.*, 2003). Kamprath (1967) demostró esta propiedad con el P, donde luego de fertilizar con una cantidad considerable de este nutriente, obtuvo respuestas en el rendimiento en maíz durante varias cosechas. Para el caso del S, por su gran movilidad, las posibilidades residuales podrían ser limitadas en suelos arenosos, en cambio en los suelos franco limosos como los del centro de Santa Fe su comportamiento demostró ser efectivo como residual en varias cosechas (Vivas *et al.*, 2001).

Considerando que de estos nutrientes, el fósforo es el que presenta mayor residualidad se presume que la respuesta obtenida en este trabajo es principalmente debida a éste. El aumento del rinde en estos tratamientos fue en promedio del 15%, es decir, aproximadamente 550 kg/ha de aumento de rinde con respecto al testigo. Resultados similares son los obtenidos por Vivas *et al.* (2001), donde demostraron que tanto el P como el S tuvieron efectos residuales significativos en la soja del doble cultivo con trigo y observaron que los incrementos de rendimientos de la soja, respecto del tratamiento testigo, variaron desde un 15% hasta un 47% con distintas dosis y combinaciones de fertilizantes con P y S.

Tal como se indica en la tabla 8 los tratamientos fertilizados con S10 y SZ presentaron respuesta significativa en el número de granos por m<sup>2</sup>, lográndose un aumento aproximado del 10% de este componente con respecto al testigo. De la misma manera que sucedió en el análisis del rendimiento, no se observaron diferencias significativas generadas por la fertilización con Zinc, pero si por efectos de la aplicación de fertilizantes con P y S en los tratamientos S10 y SZ.

El efecto del P sobre el número de granos m<sup>-2</sup> obtenido en este trabajo puede entenderse por lo manifestado por Gutierrez Boem y Thomas (2001), quienes señalaron que la caída en los rendimientos producto de una deficiencia de P, se debe en general a una disminución en el número de granos y que el peso de los granos, por el contrario, raramente es afectado. Afirman que el crecimiento del área foliar depende, entre otros factores, de la disponibilidad de P del suelo porque su deficiencia disminuye tanto la velocidad de aparición de hojas como su tamaño. Además, estos autores indican que cuando la deficiencia fosforada no es tan severa como para disminuir en forma importante la formación de área foliar, la eficiencia con que el cultivo hace uso de la radiación capturada puede ser afectada.

Estos resultados son similares a los obtenidos por efecto de la fertilización con P en soja por Salvagiotti y Gerster (2012) en las localidades de Aldao y Carcarañá, donde los tratamientos fertilizados tuvieron un 6% más de granos logrados por superficie que los testigos sin fertilizar.

Entre los dos componentes directos del rendimiento evaluados, se observó que el número de granos es el que explicaría los resultados obtenidos en los rendimientos y que además la relación entre el peso de los granos y el rinde no es tan robusta, lo cual es exactamente lo mismo a lo planteado por Kantolic *et al.* (2003).

La respuesta a la fertilización con Zn alcanzada en trigo y la falta de respuesta en soja, se correspondería a la escala de sensibilidad relativa de los cultivos a la deficiencia de zinc propuesta por Alloway (2008).

### **Análisis de la producción integrada del doble cultivo Trigo/Soja**

En la tabla 9 se encuentran las conversiones energéticas de los kilogramos de granos producidos en trigo y soja por tratamiento. Los valores corresponden a la suma energética de ambos cultivos para su análisis integrado.

**Tabla 9:** Producción energética del doble cultivo Trigo/soja en el Sur de Córdoba campaña 2010-2011.

<b>Tratamiento</b>	<b>Producción Energética (Mcal/Ha)</b>
<b>Mes SZ 115 kg</b>	43079,89 A
<b>Mes S 10 115 kg</b>	41541,93 A
<b>Testigo</b>	37703,56 B
<b>C.V. (%)</b>	4,07
<b>PCALT</b>	3592,3
<b>p del Test</b>	0,0373

*En columnas, letras distintas indican diferencias significativas al 5% de probabilidad, según test DGC.*

La producción total de grano de trigo y soja expresado en valor energético, indicó que solamente se encontraron diferencias significativas a favor del tratamiento S10 o SZ con respecto al testigo, sin encontrarse diferencia significativa en el agregado de zinc en la fertilización. Estos resultados son consecuencia principalmente al agregado de zinc en trigo y de fosforo más azufre en soja. La mayor concentración energética y la escasa respuesta al zinc en soja diluyen la respuesta obtenida al zinc en trigo y refuerza la respuesta al fósforo y azufre.

Si bien el análisis de suelo al momento de la siembra del trigo indicó que la disponibilidad de P era mayor al umbral crítico de soja (18,43 mg kg<sup>-1</sup>, Espósito *et al.*, 2008), debe considerarse que el concepto de umbral crítico define valores que separan niveles de probabilidad de respuesta a la fertilización, es decir que será baja la probabilidad de respuesta en

suelos con una disponibilidad mayor al umbral crítico pero no indica la ausencia total de respuesta (Garcia *et al*, 2014).

## CONCLUSIÓN

El análisis de la producción individual de cada cultivo permite concluir que el trigo fue afectado por la fertilización con Zn, aumentando su rendimiento un 7% sobre el rendimiento de base. En cambio en el cultivo de soja el rendimiento solo fue incrementado como consecuencia de la fertilización con fósforo y azufre en un rango de 15% sobre el testigo, por lo tanto se acepta parcialmente la hipótesis planteada.

El análisis integrado de ambas producciones realizado mediante la suma de sus valoraciones energéticas permite concluir que la respuesta a zinc encontrada en el cultivo de trigo fue diluida por los resultados obtenidos en soja, evidenciándose solamente respuesta a P y S, por lo tanto en términos energéticos la hipótesis oportunamente planteada no puede ser aceptada.

Estas conclusiones deberían corroborarse con un mayor número de años y/o sitios, y resaltar la necesidad de profundizar las investigaciones en niveles críticos de fosforo y azufre en soja bajo riego en el sur de Córdoba.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALBRECHT, R.; H.S. VIVAS y H. FONTANETTO. 2000. Residualidad del fósforo y del azufre en soja sobre dos secuencias de cultivos. Campaña 1999/2000. INTA, Estación Experimental Agropecuaria Rafaela; Centro Regional Santa Fe. Publicación Miscelánea N° 93, n (6), p: 1-5.
- ALLOWAY, B.J. 1995. Soil processes and the behaviour of heavy metals. Chapter 2 in Alloway, B.J. (ed) Heavy Metals in Soils (2nd edn.) Blackie Academic and Professional, London, 368pp.
- ALLOWAY, B.J. 2008. Zinc in Soils and crop nutrition. Second edition, published by IZA and IFA Brussels, Belgium and Paris, France, pp18-63
- ASOCIACIÓN ARGENTINA DE PRODUCTORES EN SIEMBRA DIRECTA (AAPRESID). 2013. Fertilización con Zn: ¿Hay respuesta en Trigo?. En: <http://www.aapresid.org.ar/blog/category/notas-tecnicas/notas-tecnicas-trigo/>
- ASOCIACION DE LA CADENA DE LA SOJA ARGENTINA (ACSOJA). 2008. La importancia económica de la soja. En: [http://www.francomanopiacardi.com.ar/news/004\\_abril2008/04\\_21a125/03\\_agricultura\\_ACSOJA\\_ImportanciaEconomica.htm](http://www.francomanopiacardi.com.ar/news/004_abril2008/04_21a125/03_agricultura_ACSOJA_ImportanciaEconomica.htm). Consultado: 08-03-2013.
- BARAK, P. y P.A. HELMKE. 1993. The chemistry of zinc. In: Robson AD, Academic Publishers, ed. Zinc in soil and plants. Publicado por Kluwer Academic publishers. Capitulo 1, p: 1-13.
- BARBER, S.A. 1995. Soil nutrient bioavailability, 2nd edn. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc. In: Broadley M.R. et.al, 2007. Zinc in plants. New Phytologist, v. 173, n. (4), p: 677–702.
- BARROW, N.J. 1993. Mechanisms of reaction of zinc with soil and soil components. In: Robson AD Academic Publishers, ed. Zinc in soil and plants. Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic Publishers. Capitulo 2, p: 15–31.
- BATTAUZ, Y.; A.M. BRETÓN; D.M. FRESOLI y P.N. BERET. 2006. Evaluación del efecto sobre germinación y macollaje para semillas de trigo tratadas con fitohormonas, zinc y azufre. Jornada; Reunión Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Paraná. Entre Ríos. Argentina.
- BERARDO, A. 2004. Manejo de la fertilización en una agricultura sustentable. en: [http://www.ipni.net/ppiweb/iaarg.nsf/\\$webindex/14CD7A51DA97126903256F02004C0BBF/\\$file/Berardo+Sustentabilidad.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iaarg.nsf/$webindex/14CD7A51DA97126903256F02004C0BBF/$file/Berardo+Sustentabilidad.pdf). Consultado: 10-03-2010.

- BRAY, R.H. y L.T. KURTZ. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphate in soils. *Soil Sci.* v. 59, n. (1), p: 39-45.
- BREMNER, J. y 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 Sci. Soc. Am. Proc.* v. 30, n (1), p: 577-582.
- BRENNAN, R.F.; J.D. ARMOUR y D.J. REUTER. 1993. Diagnosis of Zinc deficiency. En: A.D. Robson (ed.) *Zinc in soils and plants.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. v. 55, n (1), p: 167-181.
- BROADLEY, M.R.; P.J. WHITE; J.P. HAMMOND; I. ZELKO y A. LUX. 2007. Zinc in plants. *New Phytologist*, v. 173, n. (4), p: 677-702.
- BROWN, P.H.; I. CAKMAK y Q. ZHANG (1993) Form and function of zinc in plants. Capítulo 7 en ROBSON, A.D. (1993) *Zinc in Soils and Plants.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. v. 55, n (1), p 90-106.
- BROWN, A.L.; J. QUICK y J.L. EDDINGS. 1971. A comparison of analytical methods for soil zinc. *Soil Sci. Soc. Am.Proc.* v. 26, n (1), p: 167-170.
- CARPENTER, A.C. y J.E. BOARD. 1997. Branch yield components controlling soybean yield stability across plant populations. *Crop Sci.* v.37, n (1), p: 885-891.
- CHANEY, R.L. 1993. Zinc phytotoxicity. In: Robson AD, ed. *Zinc in soil and plants.* Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic Publishers. v. 173, n. (4), p: 135–150.
- CIAMPITTI, I.A. y F.O. GARCÍA. 2007. Requerimientos nutricionales, absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. IPNI Cono Sur. Buenos Aires, Argentina. *Archivo agronómico* v. 11, n. (1), p: 13-16.
- DI RIENZO, J.A.; F. CASANOVES; M.G. BALZARINI; L. GONZALEZ; M. TABLADA y C.W. ROBLEDO. 2010. InfoStat, versión 2010, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- DIRECCION REGIONAL PENINSULAR DE APOYOS Y SERVICIOS A LA COMERCIALIZACION AGROPECUARIA (ASERCA). 2012. Oleaginosas. En: [http://www.aserca.gob.mx/artman/uploads/BOLETIN\\_MAYO\\_2012.pdf](http://www.aserca.gob.mx/artman/uploads/BOLETIN_MAYO_2012.pdf). Consultado: 08-03-2013.
- DOUGNAC MARTINEZ, G. 2011. Apuntes acerca de la historia de la soja en la Argentina. Elementos para delinear experiencias comparadas. (CIEA, IIHES, UBA). En: <http://www.econ.uba.ar/www/servicios/Biblioteca/bibliotecadigital/Indice%20alfabetico/archivos/Apuntes%20cerca%20de%20la%20historia%20de%20la%20soja%20en%20la>



%20Argentina.%20Elementos%20para%20delinear%20experiencias%20comparadas.pdf.  
f. Consultado: 04-02-2013.

- EDWARDS, J.H.; C.W. WOOD; D.L. THURLOW y M.E. RUF. 1992. Tillage and crop rotation effects on fertility status of a Hapludult soil. *Soil Sci. Soc. Am.* v. 56, n. (5), p: 1577-1582.
- EMPRESA BRASILEÑA DE INVESTIGACION AGROPECUARIA, CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACION SOBRE LA SOJA (EMBRAPA-CNPSO). 1995. El cultivo de la soja en los trópicos: mejoramiento y producción. Colección FAO: producción y protección vegetal, v. 27, n (1), p: 193.
- ESPÓSITO G.P., C.A. CASTILLO, R. BALBOA y G. BALBOA. 2008. Nivel crítico de fósforo y azufre en suelos del sur de Córdoba para el cultivo de soja. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Luis. Argentina.
- ESPÓSITO, G.P.; G. BALBOA; C.A. CASTILLO y R. BALBOA. 2010. Respuesta del trigo a la fertilización con zinc en Río Cuarto. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario. Santa Fe. Argentina.
- ESTÉVEZ, J.I.; L. ANDRADE; P. MARCER y M.J. MONTERO. 1998. Influencia de las propiedades del suelo en la fijación y movilidad de Zn y Cd. *Edafología*, v. 5, n (1) p: 19-27.
- FAGERIA, N.K.; V.C. BALIGAR, y R.B. CLARK. 2002. Micronutrients in crop production. *Advances in Agronomy*. v.77, n. (1), p: 185-268.
- FANCELLI, A.L. 2006. Micronutrientes en la fisiología de las plantas. En: Editora Vázquez M. *Micronutrientes en la agricultura*. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires, Argentina. p: 11-28.
- FAO. 2001. Irrigated wheat. Departamento de Agricultura. En: <http://www.fao.org/DOCREP/006/X8234S/X8234S00.HTM>
- FAO. 2004. Perspectivas a Plazo Medio de los Productos Básicos Agrícolas. En: <http://www.fao.org/docrep/007/y5143s/y5143s00.htm#Contents>. Consultado: 10-03-2010.
- FAOSTAT. 2014. Producción / Cosechas procesadas. En: <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/browse/Q/QD/S>. Consultado: 24/08/2014.
- FEHR, W.R. y C.E. CAVINESS. 1977. C.E. Stages of soybean development. Ames: State University of Science and Technology. Special report, 80. p:11.

- FERRARIS, G. y L. COURETOT. 2007. Nuevas tendencias en nutrición de trigo: 1. Meso y micronutrientes. En: <http://www.fertilizando.com/articulos/NuevasTendenciasenNutriciondeTrigo1.pdf>. Consultado: 29-02-2012.
- FERRARIS, G.; L. COURETOT y N. GONZÁLEZ. 2003. Densidad de siembra y espaciamiento en Soja: efecto sobre los rendimientos y la estructura de la planta. En: <http://www.elsitioagricola.com/articulos/ferraris/Densidad%20de%20Siembra%20y%20Espaciamientos%20en%20Soja.asp>. Consultado: 15/03/2014.
- FERRARIS, G.N.; A. CAAMAÑO y A. CAPRIDI. 2011. Efectos sobre la fitotoxicidad y el rendimiento de dosis crecientes de fertilizantes fosforados y nitrogenados en trigo. En: <http://www.fertilizar.org.ar/2011/pdf/fitotoxicidadfertilizantes.pdf>. Consultado: 02-11-2013.
- FONTANETTO, H.; H.S. VIVAS; R. ALBRECHT y J. HOTIAN. 2003. La Fertilización con N, P y S y su residualidad en una secuencia agrícola de la región central de Santa Fe. Efecto sobre el rendimiento de granos. INPOFOS Cono Sur. Instituto de la Potasa y el Fósforo. Simposio: El Fósforo en la Agricultura. p: 91-92.
- FONTANETTO, H.; O. QUAINO; O. KELLER; L. BELOTTI; C. NEGRO; y D. GIAILEVRA. 2006. Efecto del zinc en trigo en el área central de Santa Fe, Campaña 2005/2006. Publicación Miscelánea de INTA N° 105 p: 57- 62. Estación Experimental Agropecuaria Rafaela.
- FRIEDLAND, A.J. 1990. The movement of metals through soils and ecosystems. In: editor Shaw AJ. Heavy metal tolerance in plants: evolutionary aspects. FL, USA: CRC, p: 7–19.
- GARCIA F, L. PICONE e I. CIAMPITTI. 2014. Fósforo. En: Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Eds. Echeverría y Garcia. Ediciones INTA. Capítulo 8.: 229 – 264.
- GONZALES, G.P. y D.E. BUSCHIAZZO. 1996. Contenidos de hierro, cobre, manganeso y cinc en suelos de la provincia de La Pampa, Argentina. Comunicaciones del XV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Santa Rosa. Argentina.
- GREWAL, H. S., R. D. GRAHAM y Z. RENGEL. 1996. Genotypic variation in zinc efficiency and resistance to crown rot disease (*Fusarium graminearum* Schw. Group 1) in wheat. *Plant and Soil*. v. 186, n (2), p: 219-226.
- GUTIERREZ BOEM, F.H. y J.D. THOMAS. 2001. Leaf area development in soybean as affected by phosphorus nutrition and water deficits. *Journal of plant nutrition*. v. 24, n (1), p. 1711 – 1711.

- HARTWIG, E.E.; T.C. KILEN y W.F. JONES. 1991. Identification and Inheritance of Inefficient Zinc Absorption in Soybean. *Crop Science Society of America*. v. 31, n. (1), p: 61– 63.
- HUGHES, D. 2008. El mejor amigo del trigo es la soja. En: [http://www.lanacion.com.ar/nota.asp?nota\\_id=1007345](http://www.lanacion.com.ar/nota.asp?nota_id=1007345). Consultado: 11-03-2010.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA Y CENSOS (INDEC). 2011. Exportaciones según complejos exportadores. En: <http://www.indec.com.ar/indec.gov.ar.htm>. Consultado: 14/02/2013.
- INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA (INTA). 2006. Los suelos- Nivel de reconocimiento 1:500.000. Estación experimental Manfredi-Agencia Córdoba Ambiente S. E. v. 1, n (1), p: 162-320.
- INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA (INTA). 2010. Resultados de la Red Nacional de Evaluación de Cultivares de Soja (RECSO) en la Región Norte (I), Pampeana Norte (II) y Pampeana Sur (III). Estación Experimental Marcos Juárez. Campaña 2009/10. En: <http://www.planetasoja.com.ar/index.php?sec=192&tra=37116&tit=37119>.
- JOHNSON, G.V. 1987. Sulfate: Sampling, testing, and calibration.. En J. R. Brown (ed). *Soil testing: Sampling, correlation, calibration, and interpretation*. SSSA Spec. SSSA, Madison, WI. v. 21, n (1), p: 89-96.
- KABESH, M.O; M.F. EL-KRAMANY; G.A. SARY; H.M. EL-NAGGAR y S.H.B. GEHAN. 2009. Effects of sowing methods and some bio-organic fertilization treatments on yield and yield components of wheat. *Res. J. Agr. Biol. Sci.* v. 5, n (1), p: 97-102.
- KAMPRATH, E.J. 1967. Residual effect of large applications of phosphorus on high phosphorus fixing soils. *Agronomy Journal* v: 59, n (1), p: 25-27.
- KANTOLIC, A.G.; P.I. GIMENEZ y E.B. DE LA FUENTE. 2003. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en soja. En: producción de granos, bases funcionales para su manejo. (Ed.) Facultad Agronomía Universidad de Buenos Aires. v. 1, n(1), p: 167 – 195.
- LERNER, S.E.; A.C. ARRIGONI y A.F. ARATA. 2013. Uso del nitrógeno y calidad industrial en cultivares argentinos de trigo pan (*Triticum aestivum* L.). *RIA Revista de investigación agropecuaria*. v. 39, n (1), p: 77-87.
- LINDSAY, W.L. y W.A. NORVELL. 1978. Development of a DTPA soil test for Zinc, Iron, Manganese, and Copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* v.42, n. (1), p: 421 - 428.

- LINDSAY, W.L. 1972. Zinc in Soils and Plant Nutrition. *Advances in Agronomy*. v: 24, n (1), p: 147-186.
- LINDSAY, W.L. 1979. *Chemical equilibria in soils*. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- MARSCHNER, H. 1995 *Mineral Nutrition of Higher Plants*. (2nd edn.) Academic Press, London, p: 889.
- MARTINEZ, F. y G. CORDONE. 1998. Resultados de ensayos de fertilización azufrada en soja. Para mejorar la producción. *INTA Oliveros*. v: 8, n (1), p: 53-57.
- McGRATH, S.P. y P.J. LOVELAND. 1992. *Soil Geochemical Atlas of England and Wales*, Blackie Academic and Professional, Glasgow.
- MENGUEL K. y E.A. KIRBY. 1987. *Principios de Nutrición Vegetal*. Trad. 4ª ed. por Melgar RJ, Ruiz M. Internacional Potash Institute. Basilea, Suiza. p: 692.
- MINISTERIO DE ECONOMIA Y FINANZAS PÚBLICAS (MECON). 2011. Complejo Oleaginoso. Serie "Producción Regional por Complejos Productivos" En: [http://www.mecon.gov.ar/peconomica/docs/Complejo\\_Oleaginoso.pdf](http://www.mecon.gov.ar/peconomica/docs/Complejo_Oleaginoso.pdf). Consultado: 10-01-2013.
- MIRETTI, M.C.; M. PILATTI; R.S. LAVADO y S.C. IMHOFF. 2012. Historia de uso del suelo y contenido de micronutrientes en argiudoles del centro de la provincia de santa fe (Argentina). *Ci. Suelo*. v. 30, n (1), p: 67-73.
- OLSEN, S.R. 1972. Micronutrient interactions. En: Mortvedt et al (Ed.). *Micronutrients in Agriculture*. Soil Sci of America, Madison, Wis. p: 243-264.
- PAIS, I. y J. BENTON. 2000. *The handbook of trace elements*. St. Lucie Press, Boca Raton, Soil Fertility and Fertilizers. Macmillan, New York. v. 50, n (1), p: 634.
- PENNING DE VRIES, F.W.T.; H.M. BRUNSTING, y H. H. VAN LAAR. 1974. Products requeriments and efficiency of biosynthesis: a quantitative approach. *Journal of theoretical biology*. v. 45, n (2), p: 339-377.
- RATTO, S.E. 2006. Los microelementos en el sistema productivo del área pampeana. En: M Vázquez (Ed.) *Micronutrientes en la agricultura*. AACCS. Buenos Aires. p: 79-111.
- RATTO DE MIGUEZ, S. y N. FATTA. 1990. Disponibilidad de micronutrientes en suelos del área maicera núcleo. *Ciencia del Suelo*, v. 8, n (1) p: 9-15.
- RATTO DE MIGUEZ, S.; N. FATTA, y I. MIZUNO. 1990. Influencia de algunas variables edáficas en la extracción de microelementos en suelos de la zona maicera núcleo. *Revista Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires*. Buenos Aires: v.11, n. (1), p: 47 - 52.

- ROCA, N.; M.S. PAZOS y J. BECH. 2007. Plant availability of copper, iron, manganese and zinc in the north west of Argentina. *Revista Ciencia Del Suelo*. v. 25, n. (1), p: 31-42.
- SAINZ ROZAS, H.; H. ECHEVERRÍA; P.A. CALVIÑO; P.A. BARBIERI y M. REDOLATTI. 2003. Wheat response to zinc and copper in soils of southeast Buenos Aires. *Revista Ciencia del Suelo*. v. 21, n. (2), p: 52-58.
- SAINZ ROZAS, H.; M. EYHERABIDE; H.E. ECHEVERRÍA; P.A. BARBIERI; H. ANGELINI; G.E. LARREA; G.N. FERRARIS y M. BARRACO. 2013. ¿Cuál es el estado de la fertilidad de los suelos argentinos?. Simposio Fertilidad 2013. Rosario-Santa fe, Argentina. p: 62-72.
- SALVAGIOTTI, F. y G. GERSTER. 2012. Estrategias de fertilización con fósforo en secuencias basadas en soja. *INTA EEA Oliveros, Argentina*. v: 48, n (1), p:125-128.
- SALVAGIOTTI, F.; J. CASTELLARÍN y F. FERRAGUTI. 2012. Respuesta a la fertilización con zinc y boro en el cultivo de trigo en el sur de Santa Fe. *INTA EEA Oliveros, Argentina*. v: 47, n (1), p: 41-44.
- SALVAGIOTTI, F.; K.G. CASSMAN; J.E. SPECHT; D.T. WALTERS; A. WEISS y A. DOBERMANN. 2008. Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: A review. *Field Crops Research*. v.108, n (1), p.1-13.
- SATORRE, M.H. 1999. Plant density and distribution as modifiers of growth and yield. En: Satorre, E. H., y G. A. Slafer (eds). *Wheat Ecology and Physiology of Yield Determination*. Binghamton, N. Y. p: 141–154.
- SERRAJ, R.; T. SINCLAIR y L. PURCELL. 1999. Symbiotic N<sub>2</sub> fixation response to drought. *J. Exp. Bot.* v. 50, n (1), p: 143-155.
- SISTEMA INTEGRADO DE INFORMACIÓN AGROPECUARIA (SIIA). 2014. Estimaciones Agrícolas. En: <http://www.siaa.gov.ar/series>. Consultado: 24-08-2014.
- SILLANPÄÄ, M. (1982). Micronutrients and the Nutrient Status of Soils: A Global Study, *FAO, Rome*, v:48, n(1), p: 444.
- SIMS, J.T. y G.V. JOHNSON. 1991. Micronutrient Soil Test. In: JJ Mortvedt; PM Giordano & WE Lindsay. (Eds.): *Micronutrients in Agriculture*. 2nd SSSA. Madison. p: 442.
- SLAFER, G.A.; D.J. MIRALLES; R. SAVIN; E.M. WHITECHURCH y F.G. GONZALES. 2003. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en trigo. En: *Producción de granos, bases funcionales para su manejo*. (ed.) Facultad Agronomía Universidad de Buenos Aires. Capítulo: 7. p: 101 – 129.
- TASISTRO, A. e I. ORTIZ-MONASTERIO. 2012. Diagnostico y corrección de la deficiencia de zinc en trigo. VII Simposio Internacional de Trigo. Mazatlán, México.

- TSUIOSHI, Y. 2001. Micronutrient availability for soybean in Brazilian soils: sources and doses for soil correction of manganese, copper and zinc. En: [http://www.ipni.net/far/farguide.nsf/\\$webindex/article=8A573A2E06256A5C0062350F5F425D74!opendocument](http://www.ipni.net/far/farguide.nsf/$webindex/article=8A573A2E06256A5C0062350F5F425D74!opendocument). Consultado: 03-11-2010.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). 2014. Wheat Area, Yield, and Production. En: <http://apps.fas.usda.gov/psdonline/psdReport.aspx?hidReportRetrievalName=World+Wheat+Production%2c+Consumption%2c+and+Stocks&hidReportRetrievalID=750&hidReportRetrievalTemplateID=7>. Consultado: 24-08-2014.
- VALENTINUZ, O.R. 1996. Crecimiento y rendimiento comparados de girasol, maíz y soja ante cambios en la densidad de plantas. Tesis Magister Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad nacional de Mar del Plata, Balcarce, Bs.As., Argentina. v. 1, n (1), p: 45.
- VEGA, C.R. y F.H. ANDRADE. 2000. Densidad de plantas y espaciamiento entre hileras. En: F.H. Andrade y V.O. Sadras (eds). Bases para el manejo del maíz, girasol y la soja. EEA INTA Balcarce-Facultad de Ciencias Agrarias UNMP. v. 1, n. (1), p: 97-133.
- VIVAS, H.S. 1996. Corrección del fósforo edáfico en una rotación agrícola del centro-este de la provincia de Santa Fe. Campaña 1995/96. INTA, EEA Rafaela. Información Técnica N° 202. Publicación Miscelánea N° 80. p: 6.
- VIVAS, H.S.; H. FONTANETTO; R. ALBRECHT; M. VEGA y J.L. HOTIAN. 2001. Fertilización con "P" y "S" en el doble cultivo trigo-soja. Residualidad en soja. Respuesta física y económica. En: [http://rafaela.inta.gov.ar/anuario2001/a2001\\_114.htm](http://rafaela.inta.gov.ar/anuario2001/a2001_114.htm). Consultado: 18/03/2014.
- VIVAS, H.S. 2003. Fertilizando el Suelo: Residualidad de los fertilizantes en rotaciones de cultivos y pasturas. INTA, Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. XI Congreso de AAPRESID, "Simposio de Fertilidad y Fertilización en Siembra Directa". Bolsa de Comercio de Rosario. 26 al 29 de Agosto de 2003.
- VOLMER BUFFA, E. y S.E. RATTO. 2005. Disponibilidad de zinc, cobre, hierro y manganeso extraíble con DTPA en suelos de Córdoba (Argentina) y variables edáficas que la condicionan. En: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1850-2067200500020001&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1850-2067200500020001&script=sci_arttext). Consultado: 10-03-2010.
- WALKLEY, A. y 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 Sci. v. 37, n. (1), p: 29- 37.

ZADOKS, J.C.; T.T. CHANG y C.F. KONZAK. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*. v. 14, n (1), p: 415-21.

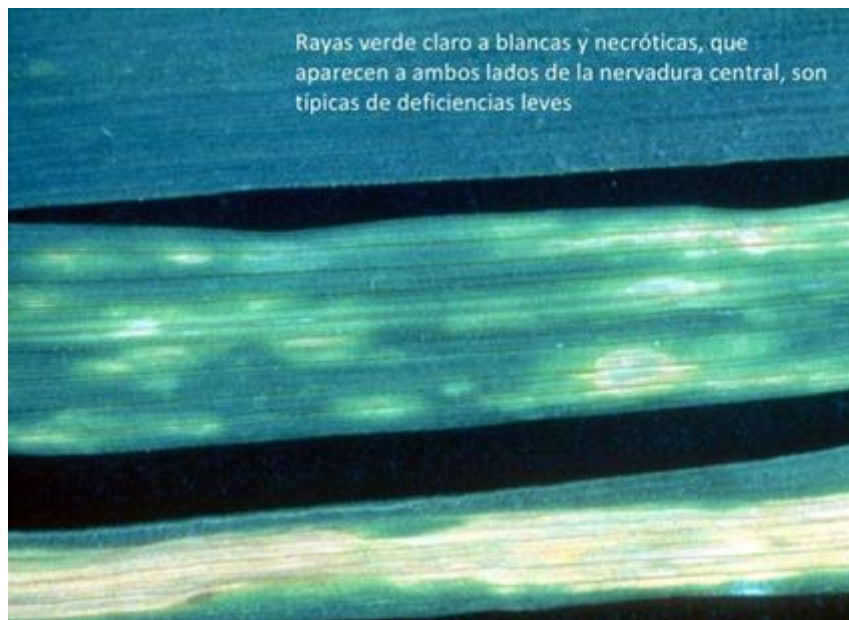
ZHENG, L.; Z. QI-QUING y T. LI-HUA. 1982. En el estado de microelementos en suelos y su papel en la producción de cultivos de China. Instituto de Ciencias del Suelo, la Academia Sínica. Nanjing: p: 1-16.

## ANEXO

**Tabla 1:** Sensibilidad relativa de los cultivos a la deficiencia de zinc (Alloway, 2008).

<b>Alta</b>	<b>Media</b>	<b>Baja</b>
Poroto	Cebada	Alfalfa
Cítricos	Algodón	Espárragos
Lino	Lechuga	Zanahoria
Frutales de hoja caduca	Papa	Trébol
Uva	<b>Soja</b>	Pastos
Lúpulo	Pasto Sudan	Avena
Maíz	Remolacha azucarera	Arvejas
Cebolla	Rábano	Centeno
Pecan	Tomate	
Arroz		
Sorgo		
<b>Trigo</b>		

**Figura 1:** Hoja de trigo que muestra clorosis y necrosis a lo largo de las venas por deficiencia de zinc (Tasistro y Ortiz-Monasterio, 2012).





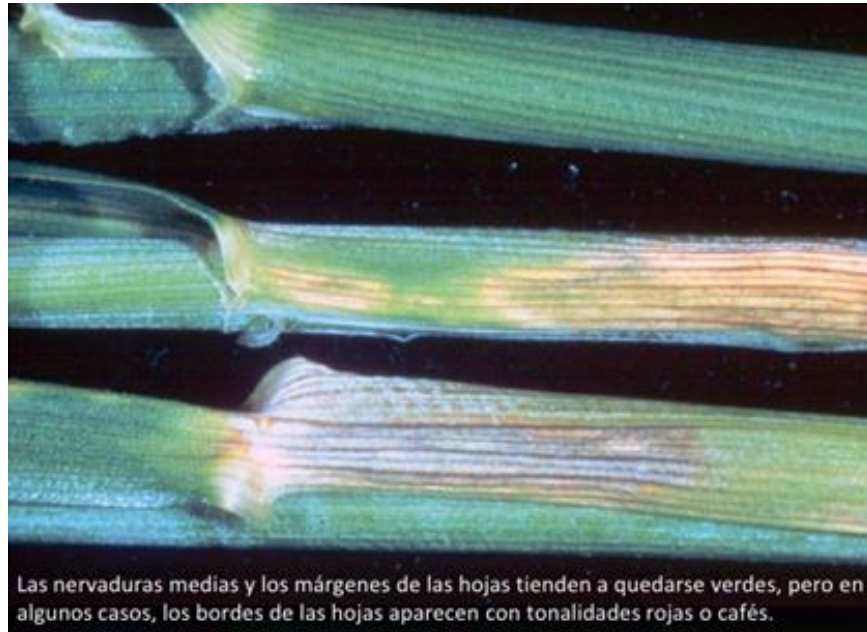
**Figura 2:** Hoja de trigo que muestra clorosis y necrosis en el medio de la lamina por deficiencia de zinc (Tasistro y Ortiz-Monasterio, 2012).



**Figura 3:** Hoja de trigo que muestra clorosis y necrosis en el medio de la lamina por deficiencia de zinc (Tasistro y Ortiz-Monasterio, 2012).



**Figura 4:** Vaina de la hoja de trigo que muestra clorosis y necrosis por deficiencia de zinc (Tasistro y Ortiz-Monasterio, 2012).



**Figura 5:** Planta de trigo que muestra clorosis y necrosis en hoja intermedia por deficiencia de zinc (Tasistro y Ortiz-Monasterio, 2012).



**Figura 6:** Hoja de soja que muestra clorosis y manchas necróticas marrones a lo largo de las venas (Alloway, 2008).



## TRIGO

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
N° pl/m <sup>2</sup>	27	0,19	0,00	8,67

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Coef
Modelo	4515,30	5	903,06	0,96	0,4629	
Tratamiento	1230,49	2	615,24	0,66	0,5294	
Bloque	2296,18	2	1148,09	1,22	0,3144	
Muestra	988,64	1	988,64	1,05	0,3164	7,41
Error	19706,94	21	938,43			
Total	24222,24	26				

### Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=31,1443

Error: 938,4255 gl: 21

Tratamiento	Medias	n	E.E.
Testigo	360,86	9	10,21 A
Mes SZ 115 kg	354,49	9	10,21 A
Mes S 10 115 kg	344,46	9	10,21 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ )

### Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=31,1443

Error: 938,4255 gl: 21

Bloque	Medias	n	E.E.
1,00	366,13	9	10,21 A
3,00	348,68	9	10,21 A
2,00	344,99	9	10,21 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ )

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
<b>TCC</b>	18	0,53	0,34	13,11

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Coef					
Modelo	7,36	5	1,47	2,72	0,0723
Tratamiento	7,14	2	3,57	6,60	0,0117
Bloque	0,22	2	0,11	0,20	0,8205
Muestra	2,2E-03	1	2,2E-03	4,1E-03	0,9500
0,02					
Error	6,50	12	0,54		
Total	13,86	17			

#### Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=0,9522

Error: 0,5414 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
Mes SZ 115 kg	6,50	6	0,30 A
Mes S 10 115 kg	5,22	6	0,30 B
Testigo	5,12	6	0,30 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

#### Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=0,9522

Error: 0,5414 gl: 12

Bloque	Medias	n	E.E.
2,00	5,73	6	0,30 A
1,00	5,63	6	0,30 A
3,00	5,47	6	0,30 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
<b>N° Espigas/m<sup>2</sup></b>	72	0,32	0,27	13,15

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Coef
Modelo	260966,57	5	52193,31	6,34	0,0001	
Tratamiento	87634,01	2	43817,01	5,32	0,0072	
Bloque	78156,20	2	39078,10	4,75	0,0119	
MUESTRA	14141,24	1	14141,24	1,72	0,1945	1,08
Error	543383,43	66	8233,08			
Total	804350,00	71				

#### Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=54,0827

Error: 8233,0822 gl: 66

Tratamiento	Medias	n	E.E.
Mes SZ 115 kg	739,35	24	19,42 A
Mes S 10 115 kg	688,88	24	18,88 B
Testigo	641,27	24	20,81 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

**Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=54,0827**

Error: 8233,0822 gl: 66

Bloque	Medias	n	E.E.
1,00	758,52	24	48,22 A
2,00	716,51	24	19,42 A
3,00	594,47	24	42,89 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ )

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
<b>Rto/Espiga</b>	72	0,26	0,21	11,06

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Coef
Modelo	0,28	5	0,06	4,67	0,0010	
Tratamiento	0,05	2	0,02	1,89	0,1597	
Bloque	0,14	2	0,07	5,78	0,0049	
MUESTRA	2,4E-03	1	2,4E-03	0,20	0,6593	-4,4E-04
Error	0,81	66	0,01			
Total	1,09	71				

**Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=0,0658**

Error: 0,0122 gl: 66

Tratamiento	Medias	n	E.E.
Testigo	1,04	24	0,03 A
Mes S 10 115 kg	0,98	24	0,02 A
Mes SZ 115 kg	0,97	24	0,02 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ )

**Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=0,0658**

Error: 0,0122 gl: 66

Bloque	Medias	n	E.E.
3,00	1,09	24	0,05 A
1,00	0,96	24	0,06 B
2,00	0,95	24	0,02 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ )

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
<b>Granos/Espiga</b>	72	0,23	0,17	10,75

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Coef
Modelo	207,88	5	41,58	3,92	0,0036	
Tratamiento	10,64	2	5,32	0,50	0,6079	
Bloque	131,37	2	65,68	6,19	0,0034	
MUESTRA	3,80	1	3,80	0,36	0,5513	-0,02
Error	700,19	66	10,61			
Total	908,08	71				

**Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=1,9414**

Error: 10,6090 gl: 66

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
Testigo	30,75	24	0,75	A
Mes S 10 115 kg	30,41	24	0,68	A
Mes SZ 115 kg	29,72	24	0,70	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ )

**Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=1,9414**

Error: 10,6090 gl: 66

Bloque	Medias	n	E.E.	
3,00	33,29	24	1,54	A
2,00	28,83	24	0,70	B
1,00	28,75	24	1,73	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ )

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
<b>Rendimiento kg/ha</b>	72	0,21	0,15	9,15

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Coef
Modelo	6856974,73	5	1371394,95	3,53	0,0069	
Tratamiento	3253706,97	2	1626853,49	4,19	0,0194	
Bloque	480888,66	2	240444,33	0,62	0,5416	
MUESTRA	601633,15	1	601633,15	1,55	0,2177	7,02
Error	25640250,64	66	388488,65			
Total	32497225,37	71				

**Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=371,5065**

Error: 388488,6461 gl: 66

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
Mes SZ 115 kg	7122,37	24	133,40	A
Mes S 10 115 kg	6783,39	24	129,67	B
Testigo	6532,85	24	142,95	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ )

**Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=371,5065**

Error: 388488,6461 gl: 66

Bloque	Medias	n	E.E.	
1,00	7168,59	24	331,25	A
2,00	6767,99	24	133,40	B
3,00	6502,04	24	294,62	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ )

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
<b>N° granos/m<sup>2</sup></b>	72	0,29	0,24	9,14

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Coef					
Modelo	96476412,35	5	19295282,47	5,43	0,0003
Tratamiento	50518043,56	2	25259021,78	7,10	0,0016
Bloque	4416691,94	2	2208345,97	0,62	0,5406
MUESTRA	5480638,53	1	5480638,53	1,54	0,2189
	21,19				
Error	234741622,05	66	3556691,24		
Total	331218034,40	71			

#### Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=1124,0880

Error: 3556691,2432 gl: 66

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
Mes SZ 115 kg	21816,54	24	403,64	A
Mes S 10 115 kg	20595,60	24	392,36	B
Testigo	19463,56	24	432,54	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

#### Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=1124,0880

Error: 3556691,2432 gl: 66

Bloque	Medias	n	E.E.	
1,00	21706,15	24	1002,27	A
2,00	20482,22	24	403,64	B
3,00	19687,33	24	891,44	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
<b>Peso 100 granos</b>	30	0,36	0,29	1,66

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Coef
Modelo	0,04	3	0,01	4,94	0,0076	
Tratamiento	0,04	2	0,02	7,33	0,0030	
Muestra	4,9E-04	1	4,9E-04	0,16	0,6894	-1,4E-03
Error	0,08	26	3,0E-03			
Total	0,12	29				

#### Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=0,0527

Error: 0,0030 gl: 26

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
Testigo	3,36	10	0,02	A
Mes S 10 115 kg/ha	3,29	10	0,02	B
Mes SZ 115 kg/ha	3,27	10	0,02	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

## SOJA

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
<b>N° de plantas V2/m<sup>2</sup></b>	27	0,15	0,00	14,95

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Coef
Modelo	111,04	5	22,21	0,76	0,5855	
Tratamiento	6,74	2	3,37	0,12	0,8910	
Bloque	102,30	2	51,15	1,76	0,1963	
Muestra	2,00	1	2,00	0,07	0,7956	-0,33
Error	609,93	21	29,04			
Total	720,96	26				

#### Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=5,4791

Error: 29,0441 gl: 21

Tratamiento	Medias	n	E.E.
Testigo	36,67	9	1,80 A
Mes S 10 115 kg	36,00	9	1,80 A
Mes SZ 115 kg	35,44	9	1,80 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

#### Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=5,4791

Error: 29,0441 gl: 21

Bloque	Medias	n	E.E.
2,00	38,78	9	1,80 A
3,00	34,89	9	1,80 A
1,00	34,44	9	1,80 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
<b>N° Plantas R8/m<sup>2</sup></b>	36	0,12	0,00	13,18

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Coef
Modelo	76,23	5	15,25	0,85	0,5256	
Tratamiento	18,39	2	9,19	0,51	0,6041	
Bloque	49,39	2	24,69	1,38	0,2679	
Muestra	8,45	1	8,45	0,47	0,4977	0,43
Error	538,08	30	17,94			
Total	614,31	35				



**Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=3,6677**

Error: 17,9359 gl: 30

Tratamiento	Medias	n	E.E.
Mes S 10 115 kg	33,00	12	1,22 A
Mes SZ 115 kg	32,17	12	1,22 A
Testigo	31,25	12	1,22 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ )

**Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=3,6677**

Error: 17,9359 gl: 30

Bloque	Medias	n	E.E.
3,00	33,75	12	1,22 A
2,00	31,67	12	1,22 A
1,00	31,00	12	1,22 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ )

---

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
N° granos/m <sup>2</sup>	36	0,29	0,17	9,80

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Coef
Modelo	717267,55	5	143453,51	2,45	0,0564	
Tratamiento	448289,56	2	224144,78	3,83	0,0331	
Bloque	245471,06	2	122735,53	2,09	0,1407	
Muestra	23506,94	1	23506,94	0,40	0,5313	22,86
Error	1757696,09	30	58589,87			
Total	2474963,64	35				

**Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=209,6244**

Error: 58589,8696 gl: 30

Tratamiento	Medias	n	E.E.
Mes SZ 115 kg	2574,58	12	69,87 A
Mes S 10 115 kg	2520,75	12	69,87 A
Testigo	2315,58	12	69,87 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ )

**Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=209,6244**

Error: 58589,8696 gl: 30

Bloque	Medias	n	E.E.
1,00	2587,08	12	69,87 A
2,00	2412,33	12	69,87 A
3,00	2411,50	12	69,87 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ )

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
<b>Rto (kg/ha)</b>	36	0,46	0,37	9,68

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Coef					
Modelo	2987617,27	5	597523,45	5,13	0,0016
Tratamiento	2573956,10	2	1286978,05	11,04	0,0003
Bloque	413571,54	2	206785,77	1,77	0,1870
Muestra	89,63	1	89,63	7,7E-04	0,9781
1,41					
Error	3497055,23	30	116568,51		
Total	6484672,50	35			

#### Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=295,6795

Error: 116568,5077 gl: 30

Tratamiento	Medias	n	E.E.
Mes SZ 115 kg	3745,18	12	98,56 A
Mes S 10 115 kg	3685,60	12	98,56 A
Testigo	3150,52	12	98,56 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

#### Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=295,6795

Error: 116568,5077 gl: 30

Bloque	Medias	n	E.E.
1,00	3652,61	12	98,56 A
3,00	3537,96	12	98,56 A
2,00	3390,74	12	98,56 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
<b>Peso 100</b>	36	0,25	0,13	3,80

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Coef
Modelo	3,07	5	0,61	2,02	0,1036	
Tratamiento	0,50	2	0,25	0,83	0,4445	
Bloque	2,51	2	1,25	4,14	0,0259	
Muestra	0,06	1	0,06	0,18	0,6728	-0,03
Error	9,09	30	0,30			
Total	12,16	35				

#### Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=0,4767

Error: 0,3030 gl: 30

Tratamiento	Medias	n	E.E.
Mes S 10 115 kg	14,62	12	0,16 A
Mes SZ 115 kg	14,53	12	0,16 A
Testigo	14,34	12	0,16 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

**Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=0,4767**

Error: 0,3030 gl: 30

Bloque	Medias	n	E.E.	
3,00	14,87	12	0,16	A
2,00	14,32	12	0,16	B
1,00	14,30	12	0,16	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ )

---

## ANÁLISIS INTEGRADO SOJA Y TRIGO

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
<b>Producción Mcal</b>	9	0,81	0,63	4,07

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	48061423,74	4	12015355,93	4,36	0,0913
Tratamiento	46003386,69	2	23001693,34	8,35	0,0373
Block	2058037,05	2	1029018,52	0,37	0,7099
Error	11012485,30	4	2753121,32		
Total	59073909,03	8			

**Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=3592,3886**

Error: 2753121,3248 gl: 4

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
Mes SZ 115 kg	43079,89	3	957,97	A
Mes S 10 115 kg	41541,93	3	957,97	A
Testigo	37703,56	3	957,97	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ )