

ESTUDIO DE LA RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN CON ZINC
EN TRIGO Y MAÍZ
ZONA SUR DE SANTA FE

CONVENIO INTA OLIVEROS – BUNGE S.A.

Informe preparado por Ing. Agr. (PhD) Fernando Salvagiotti, Facundo Ferraguti y Julio Castellarin.

Nutrición Vegetal y Fertilidad de suelos – EEA Oliveros INTA.

INTRODUCCIÓN

La degradación química de los suelos como consecuencia de la agricultura con baja reposición de nutrientes y la intensificación agrícola caracterizada por una alta exportación de nutrientes del sistema ha sido una de las causas de la aparición de situaciones de respuesta a la fertilización en los diferentes cultivos de la región pampeana. El cultivo de maíz tiene una alta demanda de macronutrientes, especialmente de nitrógeno y fósforo. Actualmente se cuentan con métodos para identificar los lotes con deficiencia en estos nutrientes, y herramientas para recomendar la fertilización, no así para otros nutrientes. En cultivos de maíz bajo riego, y con altos rendimientos, se han observado incrementos en el rendimiento en respuesta a la fertilización con zinc, micronutriente esencial relacionado con el crecimiento inicial del cultivo. En región pampeana, se habían señalado algunos micronutrientes como de mayor probabilidad de deficiencia, entre ellos el zinc, y especialmente en maíz, ya que

tiene mayores requerimientos. Por otra parte, los fertilizantes que incluyen zinc en su fórmula pueden ser aplicados al suelo o con aplicaciones al follaje, esperándose que las últimas tengan mayor eficiencia, al no interactuar el zinc del fertilizante con el suelo. Por otra parte en otras gramíneas como trigo, las experiencias de fertilización con Zn no son muchas, y es necesario evaluar las posibilidades de incluir la fertilización con este micronutriente. En este contexto es necesario el estudio de la respuesta de los cultivos de trigo y maíz a la aplicación de zinc, y estudiar las diferencias entre aplicaciones al follaje y al suelo, para de esta manera contar con información que permita la recomendación con este micronutriente en maíz.

Los objetivos del presente trabajo fueron: i) Estudiar la respuesta a la fertilización con Zn en el cultivo de maíz y trigo y ii) Comparar la respuesta a zinc entre aplicaciones foliares y al suelo en diferentes momentos del ciclo.

ENSAYO DE FERTILIZACION CON ZN EN TRIGO

El ensayo se realizó en un lote del campo experimental de la EEA de INTA Oliveros. El ensayo se implantó en siembra directa, sobre cultivo de soja de primera como antecesor, en un suelo Argiudol típico, serie Maciel, en un lote con más de 40 años de historia agrícola.

Los tratamientos evaluados incluyeron la aplicación de Zn durante el macollaje y la adición de B foliar (Foliarsol B) en hoja bandera (Tabla 1).

Tabla 1 – Tratamientos evaluados en los ensayos de trigo

| | Tratamiento | Dosis Zn (kg ha ⁻¹) | Dosis B (kg ha ⁻¹) |
|---|------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | Testigo | 0 | 0 |
| 2 | NS | 0 | 0 |
| 3 | NS + Zn (Mac) | 1.5 | 0 |
| 4 | NS + B (HB) | 0 | 0.10 |
| 5 | NS + Zn (Mac) + B (HB) | 1.5 | 0.10 |

HB: hoja bandera; Mac: Macollaje

Todos los tratamientos recibieron fertilización nitrogenada de base con el fin de alcanzar una disponibilidad de N a la siembra de 135 kg ha⁻¹, teniendo en cuenta el contenido de nitratos a la siembra 60 cm de profundidad a la siembra. Esta fertilización se realizó con urea (46%N). Las aplicaciones de Zn y B foliar se realizaron con equipo de gas carbónico (CO₂) a presión constante.

Los tratamientos se arreglaron en un diseño de bloques completos aleatorizados con cuatro repeticiones. Las unidades experimentales fueron de 5 m por 20 m de longitud. Las características de implantación del ensayo pueden observarse en la Tabla 2.

Tabla 2 – Características de implantación del ensayo

| Hibrido | Fecha siembra | Espaciamiento entre líneas |
|-----------|---------------|-------------------------------|
| DM Cronox | 07/07/2011 | 0.155 |

El ensayo fue fertilizado con P y S a fin de que estos nutrientes no limitaran el rendimiento. Los insectos y malezas fueron controlados adecuadamente.

A la siembra se realizó un muestreo de suelo para determinar pH, P disponible, Zinc y materia orgánica. La aplicación de macollaje (Mac) se realizó el día 15/9/2011 y la de hoja bandera (HB) el día 12/10/2011.

La información fue analizada a través de un análisis de varianza, para detectar diferencias entre tratamientos, a través de contrastes ortogonales para analizar la respuesta a Zn y a B en hoja bandera.

Condiciones climáticas durante el ciclo del cultivo de trigo

Las precipitaciones durante el ciclo del cultivo, desde emergencia hasta madurez fisiológica (principios de Julio – mediados de Noviembre) fueron de 259 mm. El 42 % de las lluvias ocurrieron previas a la floración (14 de Octubre), con una demanda atmosférica (ETP) de 235 mm en el mismo periodo. Las lluvias ocurridas a principios de octubre (periodo previo a la floración) estuvieron por encima del promedio histórico de la serie de 40 años de Oliveros (Figura 1). Durante el periodo de llenado de granos, las precipitaciones estuvieron levemente por debajo de los niveles históricos.

Si bien la temperatura media durante el ciclo del cultivo mostró valores similares al registro histórico del área, durante macollaje y el llenado de grano, las temperaturas máximas y mínimas mostraron valores por debajo de los promedios históricos (Figura 2).

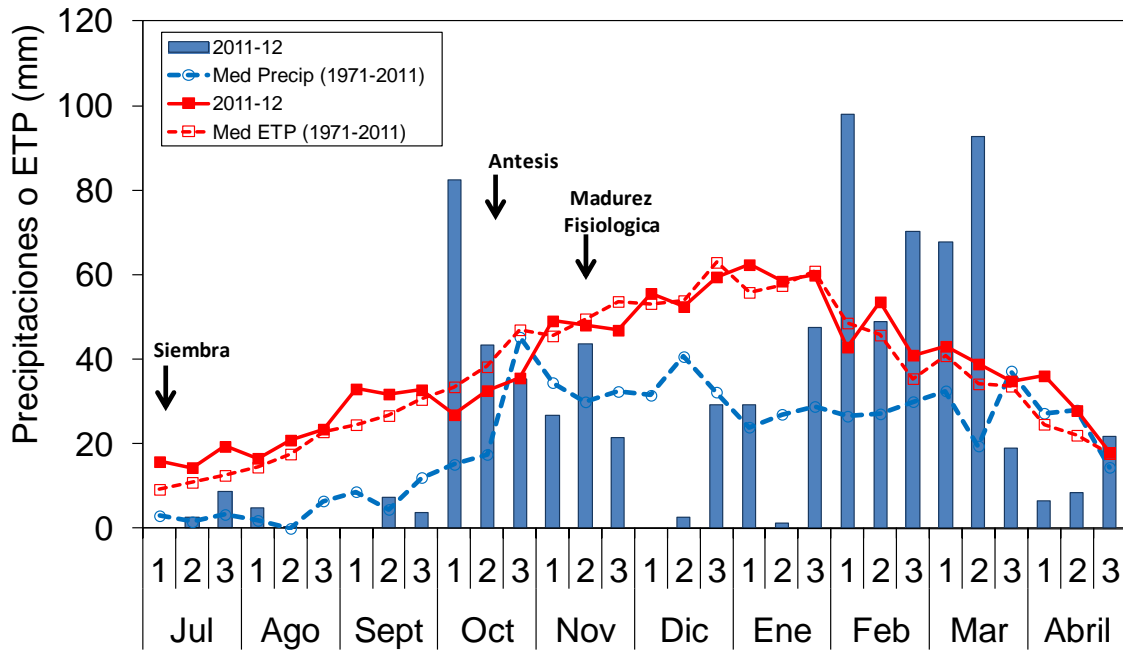


Figura 1 – Precipitaciones y evapotranspiración acumulada durante el ciclo del cultivo de trigo y probabilidad media histórica de la serie climática Oliveros. Las flechas y letras negras indican la siembra y el momento de antesis y madurez fisiológica en trigo.

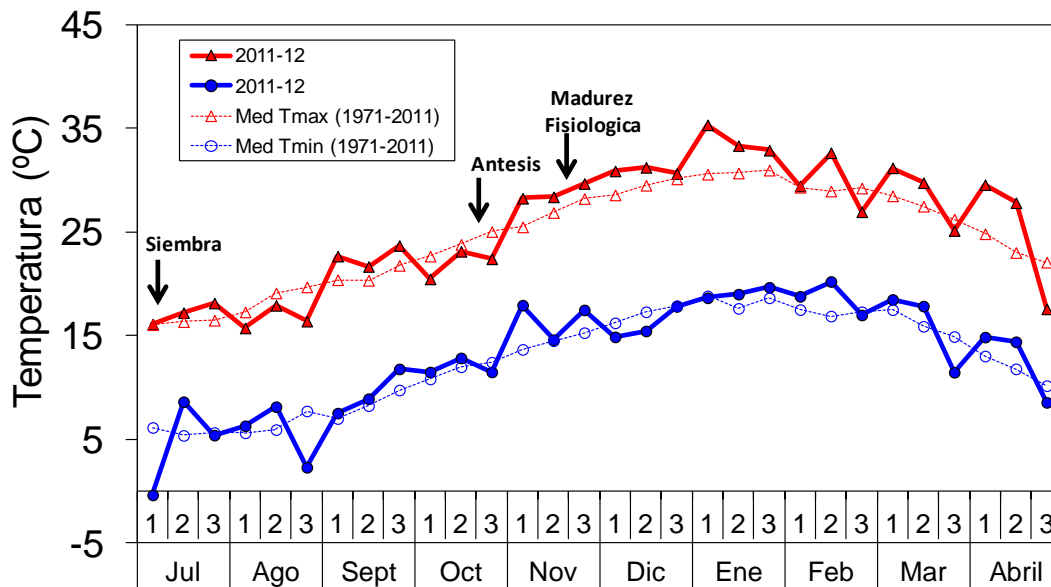


Figura 2 – Temperaturas máxima y mínima media registradas durante el ciclo del cultivo de trigo y la probabilidad media histórica de la serie climática Oliveros. Las flechas y letras negras indican la siembra y el momento de antesis y madurez fisiológica en trigo.

Características químicas del suelo donde se implantó el ensayo.

El suelo donde se realizó la experiencia es representativo de los lotes agrícolas con degradación química sur de Santa Fe, con contenido de materia orgánica inferior a 2.2%. El contenido de Zn fue de 0.9 ppm, considerado bajo según la bibliografía internacional, mientras que el de B llegó solo a 0.5 ppm (Tabla 3).

Tabla 3 – Análisis químico del suelo en el lugar del ensayo de trigo.

| profundidad | NO ₃ (ppm) | P Bray (ppm) | pH | MO (%) | S-SO ₄ (ppm) | Zn (ppm) | B (ppm) | Mn (ppm) |
|-------------|--------------------------|-----------------|-----|-----------|----------------------------|-------------|------------|-------------|
| 0-20 | 6 | 15 | 5.9 | 2.2 | 6.5 | 0.9 | 0.5 | 63.6 |

RESULTADOS

El rendimiento promedio del ensayo fue de 6170 kg ha⁻¹. El cultivo de trigo sin fertilizar rindió 4584 kg ha⁻¹, y cuando fue fertilizado con N y S el rendimiento se incrementó significativamente en un 30% (5866 kg ha⁻¹) (P< 0.01) (Figura 3). La aplicación de Zn en macollaje incrementó el rendimiento en un 16% (P>0.02) respecto del tratamiento que recibió solo N y S, mientras que la respuesta a la aplicación de B en hoja bandera no fue significativa (P>0.26) (Tabla 4). La aplicación en conjunto de B en hoja bandera y Zn en macollaje cuando se habían aplicado previamente N y S no aumentó significativamente el rendimiento (P>0.31).

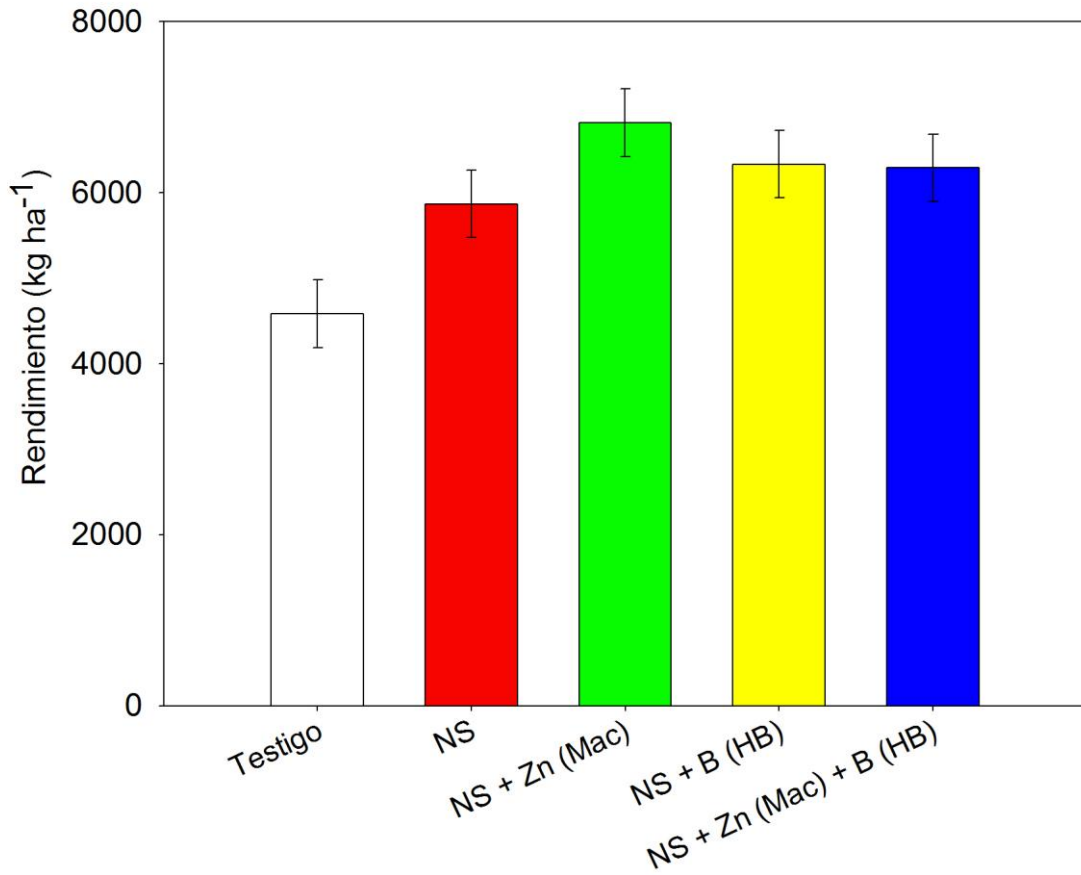


Figura 3 – Rendimiento en grano de trigo en respuesta a la aplicación de Zn y B en diferente momentos del ciclo (Mac=macollaje, HB= hoja bandera). Las barras sobre las columnas son el error estándar de la media.

Tabla 4 – Análisis de la varianza y promedios de rendimiento, numero granos y peso de mil granos por tratamiento de fertilización. Los contrastes fueron realizados entre los tratamientos que recibieron fertilización con Zn y B en diferentes momentos en el ciclo del cultivo de trigo.

| | Tratamiento | Rendimiento (kg ha ⁻¹) | Numero granos m ⁻² | Peso mil granos (g) |
|-------------------|---|---------------------------------------|----------------------------------|---------------------------|
| 1 | Testigo | 4584 | 12093 | 37.9 |
| 2 | NS | 5866 | 15997 | 36.8 |
| 3 | NS + Zn (Mac) | 6815 | 17386 | 39.4 |
| 4 | NS + B (HB) | 6331 | 17570 | 36.1 |
| 5 | NS + Zn (Mac) + B (HB) | 6287 | 17026 | 37.0 |
| | E.S. | 395 | 1149 | 1.6 |
| | | | P< | |
| Contrastes | | | | |
| | <i>NS vs Testigo (1 vs 2)</i> | < 0.01 | < 0.01 | 0.49 |
| | <i>Respuesta a Zn en Macollaje (2 vs 3)</i> | 0.03 | 0.24 | 0.13 |
| | <i>Respuesta a B en Hoja bandera (2 vs 4)</i> | 0.26 | 0.21 | 0.77 |
| | <i>Respuesta a Zn (Mac) + B (HB) (3 vs 5)</i> | 0.31 | 0.44 | 0.77 |

E.S.= error standard de la media

ENSAYO DE FERTILIZACION CON ZN EN MAIZ

Materiales y Métodos

El ensayo se realizó en un lote de producción ubicado en la localidad de Barrancas, 40 km al N de la EEA de INTA Oliveros. El ensayo se implantó en siembra directa, en un suelo Argiudol típico, serie Maciel, en un lote con más de 30 años de historia agrícola con soja de primera como cultivo antecesor.

Los tratamientos evaluados incluyeron la aplicación de tres niveles de Zn en chorreado al suelo (0, 1.5 y 3 kg Zn ha⁻¹) en dos momentos de aplicación; V2 y V6 (Tabla 1).

Tabla 1 – Tratamientos evaluados

| | Momento | Dosis Zn (kg ha ⁻¹) |
|---|---------|------------------------------------|
| 1 | | 0 |
| 2 | V2 | 1.5 |
| 3 | | 3 |
| 4 | | 0 |
| 5 | V6 | 1.5 |
| 6 | | 3 |

Todos los tratamientos recibieron fertilización nitrogenada de base con el fin de alcanzar una disponibilidad de N a la siembra de 162 kg ha⁻¹, teniendo en cuenta el contenido de nitratos a la siembra 60 cm de profundidad a la siembra. Los tratamientos 1, 2 y 3 recibieron la fertilización nitrogenada en V2 mientras

que los tratamientos 4, 5 y 6 en V6, en ambos casos cuando se aplicó el fertilizante con Zn. Como fuente nitrogenada se utilizó UAN (32%N; 1.32 g/l) aplicado chorreado al suelo.

Los tratamientos se arreglaron en un diseño de bloques completos aleatorizados con cuatro repeticiones. Las unidades experimentales fueron de 5 surcos por 20 m de longitud. Las características de implantación del ensayo pueden observarse en la Tabla 2.

Tabla 2 – Características de implantación del ensayo

| Hibrido | Fecha siembra | Espaciamiento entre líneas | Densidad |
|--------------|---------------|-------------------------------|--------------|
| EM 510 HX RR | 20/10/2011 | 0.70 | 80000 pl/ ha |

Se fertilizó con P y S a fin de que estos nutrientes no limitaran el rendimiento.

Los insectos y malezas fueron controlados adecuadamente.

A la siembra se realizó un muestreo de suelo para determinar pH, P disponible, Zinc y materia orgánica.

Se realizó un análisis de varianza y contrastes ortogonales para detectar diferencias entre tratamientos.

Condiciones climáticas durante el ciclo del cultivo de maíz

Las precipitaciones durante el ciclo del cultivo, desde emergencia hasta madurez fisiológica (fines de Octubre – Principios Marzo) fueron de 522 mm. El 30% de las lluvias ocurrieron previas a la floración (3 de Enero), con una demanda atmosférica (ETP) de 347 mm. Las lluvias ocurridas durante Diciembre (periodo previo a la floración) estuvieron por debajo del promedio histórico de la serie de 40 años de Oliveros (Figura 1) lo que afectó el número potencial de granos. Durante el periodo de llenado de granos, las precipitaciones estuvieron por debajo de los niveles históricos, especialmente durante los 20 días posteriores a la floración, lo que limitó el cuaje de granos y determinó abortos sobre todo en los granos de la porción apical de la espiga. En la etapa final del llenado, las precipitaciones estuvieron por encima del promedio histórico, y el cultivo no experimentó períodos de déficit hídrico.

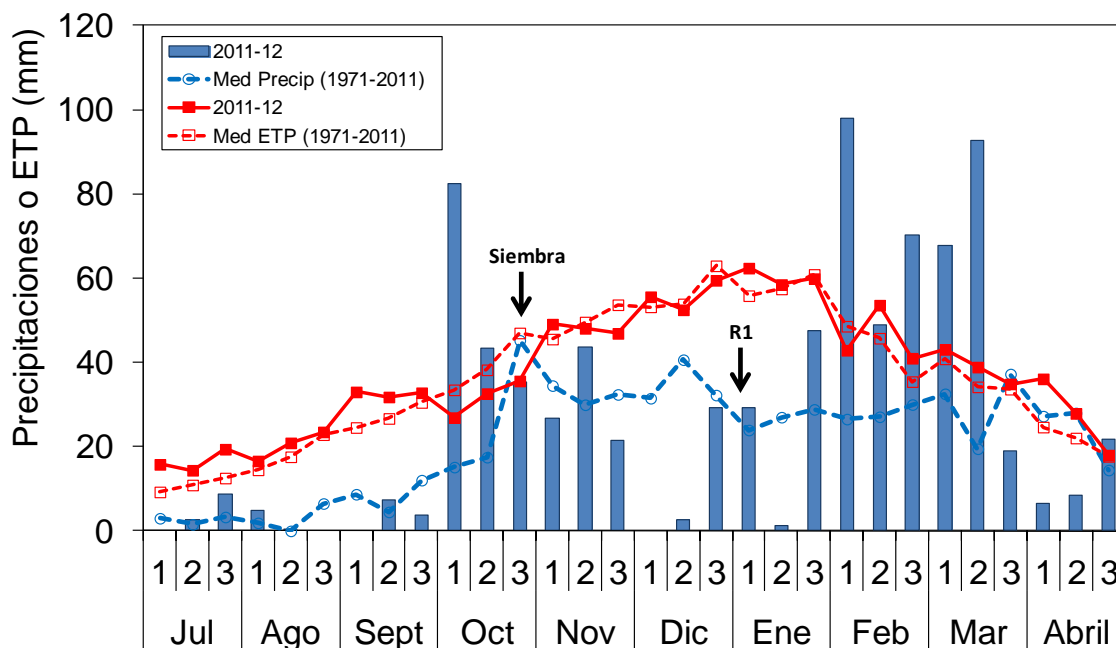


Figura 1 – Precipitaciones y evapotranspiración acumulada durante el ciclo del cultivo de maíz y probabilidad media histórica de la serie climática Oliveros. Las flechas y letras negras indican la siembra y el momento de ocurrencia de R1 (50% de estigmas visibles) en maíz.

La temperatura media durante el ciclo del cultivo estuvo en valores similares a los registros promedio históricos del área. Sin embargo, se observaron temperaturas máximas superiores a los valores históricos (31.4 vs 29.2 °C) en el periodo comprendido entre mediados de noviembre y mediados de enero (Figura 2), coincidente con el periodo crítico de determinación del rendimiento. En el mes de Febrero se registraron temperaturas mínimas y máximas por encima de los registros históricos.

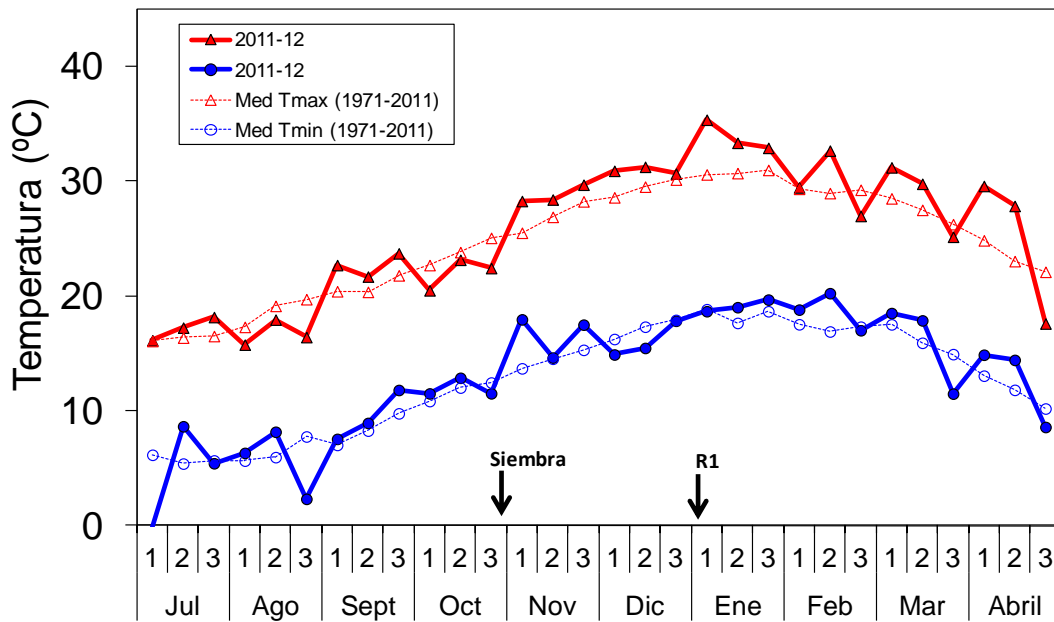


Figura 2 – Temperaturas máxima y mínima media registradas durante el ciclo del cultivo de maíz y la probabilidad media histórica de la serie climática Oliveros. Las flechas y letras negras indican la siembra y el momento de ocurrencia de R1 (50% de estigmas visibles) en maíz.

Características químicas del suelo donde se implantó el ensayo.

El suelo donde se realizó la experiencia es representativo de los lotes agrícolas con degradación química sur de Santa Fe, con contenido de materia orgánica inferior a 2.2% (Tabla 3).

El contenido a la siembra de nitrógeno hasta los 60 cm fue de 42 kg N ha⁻¹, por debajo de los umbrales de respuesta calibrados para el área sur de Santa Fe (Salvagiotti et al, 2004). El contenido de Zn fue de 0.9 ppm, considerado bajo según la bibliografía internacional.

Tabla 3 – Análisis químico del suelo en el lugar del ensayo.

| profundidad | N-NO3 (ppm) | P Bray (ppm) | pH | MO (%) | S-SO4 (ppm) | Zn (ppm) | B (ppm) | Mn (ppm) |
|-------------|----------------|-----------------|-----|-----------|----------------|-------------|------------|-------------|
| 0-20 | 23 | 15 | 5.3 | 1.96 | 8 | 0.9 | 0.5 | 63.7 |

RESULTADOS

El rendimiento promedio del ensayo fue de 8322 kg ha⁻¹. El tratamiento que recibió sólo la adición de N y S en V2 rindió 6569 kg ha⁻¹, mientras que cuando la fertilización se realizó en V6, el cultivo rindió 7551 kg ha⁻¹ aunque esta diferencia no fue significativa ($P > 0.16$) (Figura 3) (Tabla 4).

En cada momento de aplicación, la fertilización con Zn incrementó significativamente los rendimientos. Cuando el Zn se aplicó junto con N en V2 la producción se incrementó en un 36% con dosis por encima de 1.5 kg Zn ha⁻¹. La respuesta a la aplicación de estos niveles de Zn en V6 junto con el N incrementaron el rendimiento pero en menor magnitud, alrededor del 18%.

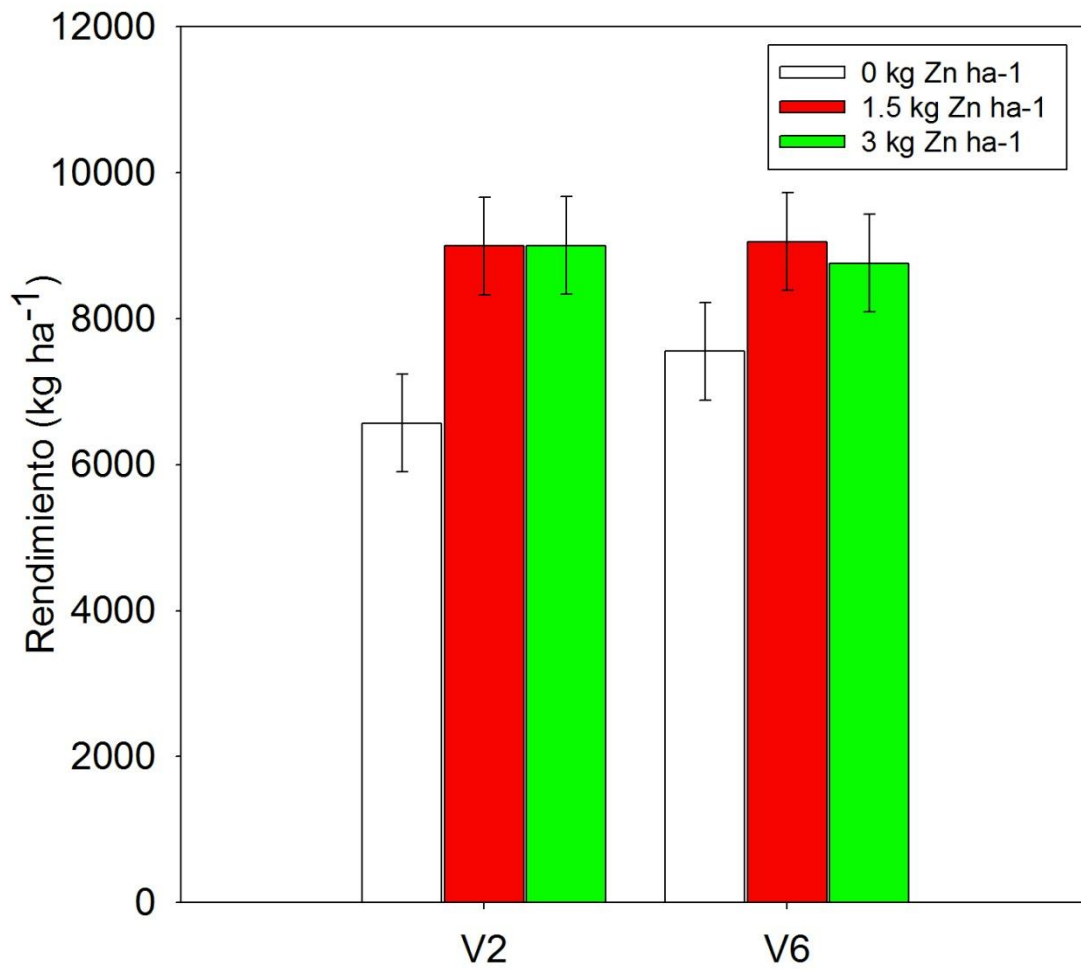


Figura 3 – Rendimiento en grano en respuesta a la aplicación de Zn en estadio V2 y V6. Las barras sobre las columnas son el error estándar de la media.

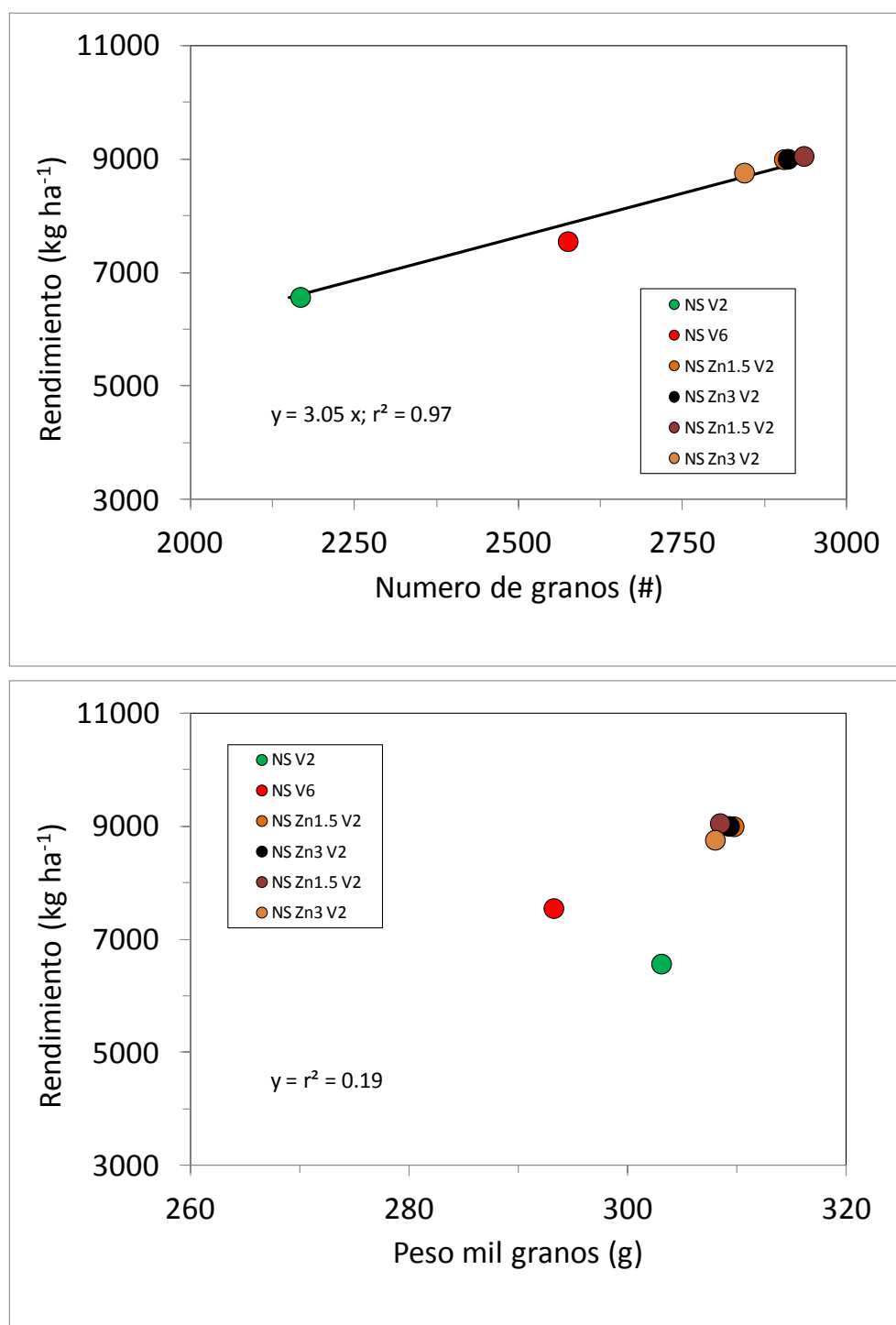


Figura 4 – Relación entre el rendimiento en grano con el peso individual de los granos (panel superior) y el numero de granos (panel inferior).

El número de granos por unidad de superficie fue el componente más determinante del rendimiento (Figura 4), mientras que no se observaron diferencias en el peso de los mismos en respuesta a los tratamientos aplicados (Tabla 4).

Tabla 4 – Análisis de la varianza y promedios de numero granos y peso de mil semillas por tratamiento de fertilización. Los contrastes fueron realizados entre los tratamientos que recibieron distintas dosis de Zn en dos momentos de aplicación de N y S.

| | Momento | Dosis Zn (kg ha ⁻¹) | Rendimiento (kg ha ⁻¹) | Número de granos m ⁻² | Peso de mil granos (g) |
|--------------------------------------|---------|------------------------------------|---------------------------------------|---|------------------------------------|
| 1 | V2 | 0 | 6569 | 2164 | 303.1 |
| 2 | | 1.5 | 8996 | 2905 | 309.7 |
| 3 | | 3 | 9002 | 2911 | 309.3 |
| 4 | V6 | 0 | 7551 | 2575 | 293.3 |
| 5 | | 1.5 | 9052 | 2930 | 308.5 |
| 6 | | 3 | 8759 | 2837 | 308.0 |
| E.S. | | | 668 | 138 | 4.4 |
| P< | | | | | |
| Contrastes | | | | | |
| <i>NS V2 vs NS V6 (1 vs 4)</i> | | | 0.16 | 0.05 | 0.05 |
| <i>NSZn 1.5 V2 vs NS V2 (1 vs 2)</i> | | | < 0.01 | < 0.01 | 0.15 |
| <i>NSZn 1.5 V6 vs NS V6 (4 vs 5)</i> | | | 0.04 | 0.08 | < 0.01 |
| <i>NSZn 3 V2 vs NS V2 (1 vs 3)</i> | | | < 0.01 | < 0.01 | 0.18 |
| <i>NSZn 3 V6 vs NS V6 (4 vs 6)</i> | | | 0.09 | 0.20 | < 0.01 |

E.S.= error standard de la media

CONCLUSIONES

El cultivo de **trigo** tuvo altos rendimientos durante la campaña 2011, y se observó incrementos significativos por la aplicación de Zn en el macollaje principalmente por un mayor número de granos. La aplicación de B en hoja bandera no mostró ventajas en las condiciones evaluadas. La ausencia de respuesta cuando se utilizó Zn en macollaje y B en hoja bandera sugiere algún tipo de interacción entre los nutrientes.

En el cultivo de **maíz**, la aplicación de Zn incrementó el rendimiento del cultivo independientemente del momento de aplicación. Es importante destacar que la respuesta fue significativa aún cuando las condiciones ambientales no permitieron expresar el potencial de rendimiento del cultivo. Dosis por encima de $1.5 \text{ kg Zn ha}^{-1}$ no produjeron incrementos significativos en el rendimiento.