

. Evaluación de la respuesta a la fertilización foliar con Zinc en el cultivo de girasol

Autores:

Srta. Larrosa Koch, Emilia.

Sr. Solera, José M.

Tutor:

Ing. Agr. Cantarero, Marcelo.

ÁREA DE CONSOLIDACIÓN.

SISTEMAS AGRÍCOLAS DE PRODUCCIÓN EXTENSIVOS.

AÑO 2015.

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA.

RESUMEN

Distintos estudios demuestran que han comenzado a manifestarse, en la Región Pampeana, deficiencias de Zn en distintos cultivos. La respuesta a la fertilización con Zn en el cultivo de girasol puede ser positiva, respecto aquellas encontradas para otros cultivos, aun cuando la disponibilidad del nutriente en el suelo sea superior a los umbrales que normalmente se establecen (>0.5 ppm). El objetivo de este trabajo es evaluar en el cultivo de girasol el efecto de la fertilización foliar con Zn sobre las eficiencias de captura y uso de la radiación durante el ciclo del cultivo y su impacto sobre la determinación del rendimiento. Se realizó un ensayo durante dos campañas (2013/14 y 2014/15) en donde la fertilización se realizó vía foliar, utilizando fosfito de zinc con una dosis de 0,5 y 1,0 kg Zn/ha en el primer y segundo año respectivamente. No se detectaron diferencias significativas tanto en la captura como en la eficiencia de uso de la radiación durante el ciclo del cultivo, y tampoco en el rendimiento y sus componentes numéricos. Se discuten en el trabajo las posibles causas de la no respuesta y se hacen consideraciones acerca del manejo del Zn en el cultivo.

PALABRAS CLAVE: Girasol, Zinc, Intercepción de radiación, Eficiencia de uso de la radiación, Rendimiento.

INTRODUCCIÓN

El girasol en Córdoba actualmente ocupa el quinto lugar en área sembrada entre los cultivos estivales, luego de la soja, el maíz, el maní y el sorgo. La máxima expansión del cultivo tuvo lugar a fines de los 90 llegando en la campaña 1998/99 a 557.800 has, con una producción de 948.100 toneladas. Posteriormente el área sembrada se redujo marcadamente, siendo de 40.700 has sembradas en la campaña 2012/13 con una producción total de 44.750 toneladas (SIIA, 2014). (Figura 1).

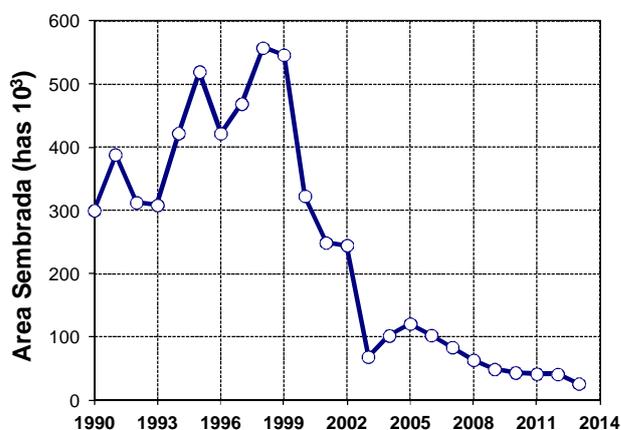


Figura 1. Producción de girasol a nivel nacional (SIIA, 2014).

Actualmente el rendimiento promedio a nivel nacional de girasol es del orden de 18 qq/ha, con un rango que va de 16,5 a un poco más de 20 qq/ha. Según Hall et al. (2010), el rendimiento potencial de girasol puede ser mucho más alto, desde 2,5 a 3 veces el valor de esta media.

Para la descripción del desarrollo del cultivo existen escalas que toman en cuenta los cambios morfológicos asociados a los estados fenológicos. La fase reproductiva del girasol es descrita habitualmente a través de la escala de Estados florales (EF) de Marc y Palmer (1981), y la escala visual de Estados vegetativos (V) o Reproductivos (R) de Schneiter y Miller (1981).

La escala de Marc y Palmer (1981) describe el desarrollo apical entre los primeros cambios de forma del meristema (EF 1) y la finalización del desarrollo de las flores (EF 10). La finalización de la diferenciación de primordios florales en la porción central del receptáculo se da en el EF 8. Desde el EF 8 hasta el

comienzo de antesis los primordios florales aumentan de tamaño y continúan su desarrollo, incluyendo los procesos de micro y megaesporogénesis. Es decir que una vez finalizada la diferenciación floral y hasta la antesis, las flores crecen y adquieren funcionalidad: los estigmas adquieren receptividad y el polen viabilidad (Trapani et al., 2003).

A pesar del papel central que tiene la iniciación floral en la determinación del rendimiento en girasol, la dificultad que entraña su determinación en la práctica (disección de plantas para observar bajo la lupa el estado del ápice y determinar si está produciendo hojas o pasó a diferenciar flores), hace que no se la utilice frecuentemente en la definición de las fases del desarrollo. En su lugar, se utiliza la primera observación macroscópica de la aparición de la inflorescencia, que ocurre más tarde: estado estrella visible seguido por botón floral (R1). Cabe recalcar que cuando el botón floral aparece, el número de flores de la inflorescencia ya está determinado (Figura 2). (Trapani et al., 2003)

Aproximadamente desde el estado estrella+ de Schneiter y Miller (1981) hasta antesis (R5), las flores incrementan su tamaño y se desarrollan para alcanzar su madurez reproductiva, momento en que son aptas para ser polinizadas y fecundadas (Aguirrezabál et al., 1996).

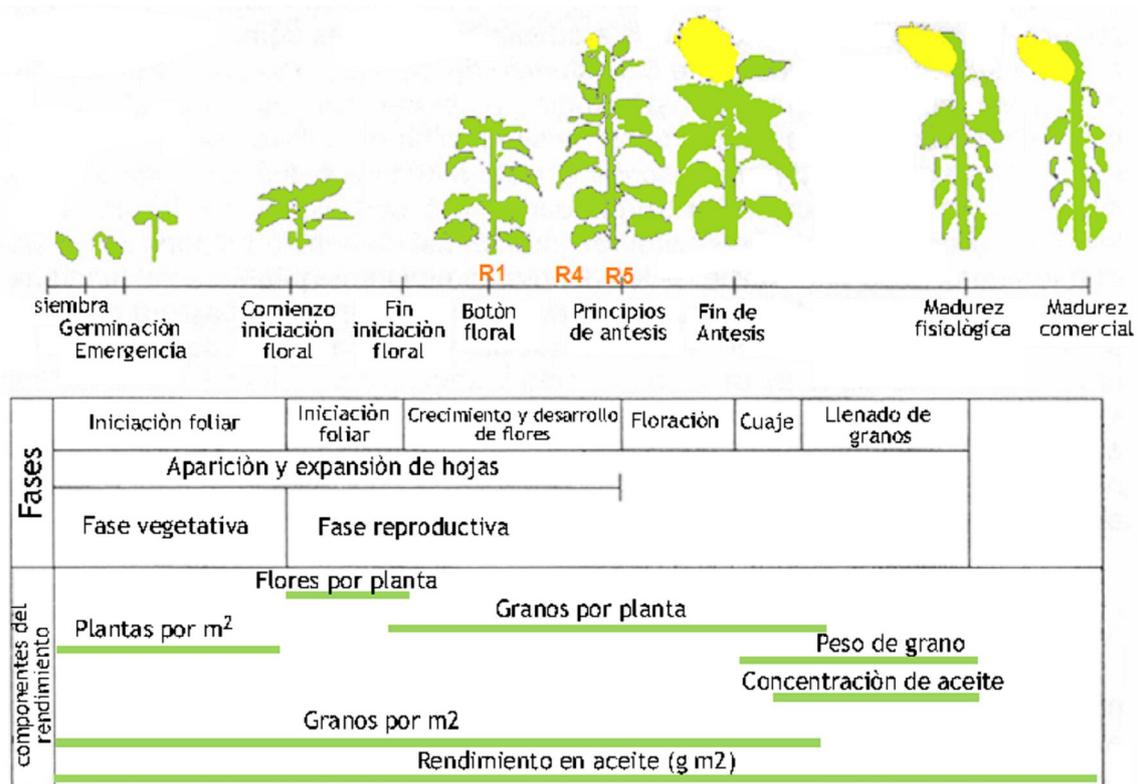


Figura 2. Representación esquemática de la planta de girasol durante su ontogenia indicando los estados fenológicos y la duración relativa de las fases en una hipotética escala de tiempo; eventos asociados a los cambios morfológicos de la planta y barras indicando los períodos en los que se definen los distintos componentes del rendimiento.

Según Cantagallo y Hall (2000), en girasol el número de granos por unidad de superficie (NG) es el principal determinante del rendimiento y el mismo depende del número de primordios florales diferenciados en el ápice, su supervivencia, su fertilización y el posterior cuaje de los embriones. A su vez define que el período crítico en que se determina NG en girasol es más amplio que en otros cultivos ya que se extiende desde unos 30 días antes hasta unos 20 días después de antesis.

Vega et al. (2001), demostraron que existe una fuerte relación entre el número de semillas y la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) durante el período crítico (PC) para la determinación del número de granos, por lo que las prácticas de manejo durante el ciclo del cultivo deben tender a maximizar la intercepción y el uso de la radiación para lograr un mayor crecimiento, lo que permite llegar a

PC en óptimas condiciones y así obtener un mayor NG y, consecuentemente, un mayor rendimiento. No obstante, Mercau (2001) establece un efecto compensatorio sobre el rendimiento, cuando NG se ve afectado, producto de un ajuste a través de PG.

Se reconoce como rendimiento potencial al logrado en óptimas condiciones hídricas, nutricionales y sanitarias. Respecto al impacto de la nutrición en la producción, el Nitrógeno, Fósforo y Azufre son los nutrientes que en mayor medida limitan el rendimiento y los micronutrientes suelen hacerlo en situaciones de alta producción (Salvagiotti, 2013).

Los micronutrientes son necesarios en bajas cantidades pero resultan esenciales para un buen crecimiento y desarrollo del cultivo al estar asociados a enzimas que regulan distintos procesos metabólicos, principalmente la respiración, la fotosíntesis y la síntesis de clorofila (Ferraris, 2011).

Según Ferraris (2011), la demanda de micronutrientes depende de la especie vegetal considerada, del cultivar y el rendimiento esperado. En la Tabla 1 pueden apreciarse los requerimientos de micronutrientes para distintos cultivos.

Tabla 1. Requerimientos de micronutrientes para los principales cultivos. Fuente: IPNI (A.A #3).

Especie	Zn	Cl	Cu	Fe	Mn	Mo	B
	g/tn de grano cosechado						
Girasol	99	444	19	261	55	29	165
Alfalfa	15	-	7	40	25	0,3	30
Maíz	53	-	13	125	189	1	20
Trigo	52	-	10	137	70	-	25
Arroz	40	9700	27	356	370	5	16
Soja	60	237	25	300	150	5	25

En lo que concierne al Zn, este micronutriente interviene también en la síntesis de aminoácidos y fitohormonas, cataliza ciertas reacciones enzimáticas y tiene un rol fundamental en la síntesis de proteínas, siendo esencial para la síntesis de Triptófano precursor del ácido indolacético (AIA). (Vázquez y Fancelli, 2006)

Otras funciones son de carácter estructural en las membranas, manteniendo la integridad de las mismas. Adquiere importancia durante la eliminación de radicales libres en la fijación de CO₂ durante el proceso de fotosíntesis y el metabolismo de carbohidratos en el proceso de conversión de azúcares en almidón. A su vez tiene participación en los sistemas de defensa del cultivo, relacionados a la protección de cloroplastos y en la resistencia a la infección de patógenos, como así también funciones relacionadas a la formación de granos y de polen, fecundidad de flores y su cuajado. (Ferraris y Couretot, 2008)

Por lo tanto una deficiencia del micronutriente afectaría principalmente la producción de clorofila, por ende la fotosíntesis y en consecuencia la eficiencia en el uso de la radiación.

En la Región Pampeana se han comenzado a observar deficiencias de micronutrientes y respuestas a la fertilización, particularmente de B y Zn en ciertos cultivos extensivos, como girasol, maíz, trigo y alfalfa (Ratto, 2006). Sainz Rozas et al. (2013), demostraron que la disponibilidad de Zn en la Región Pampeana podría estar limitando el rendimiento de los principales cultivos. Distintos estudios realizados determinaron respuestas significativas a la fertilización con B y Zn en sistemas de alta productividad de maíz, CI en trigo, y B en girasol (Melgar et al., 2001; Ferraris, 2011; Torri et al., 2010).

El Zn se caracteriza por una baja movilidad en el suelo por lo que alcanza la raíz por el mecanismo conocido como difusión, siendo absorbido predominantemente bajo la forma de Zn⁺² cuando el pH de la solución del suelo varía entre 5 y 7 (Figura 3), por lo tanto, el proceso de absorción es significativamente afectado por el pH cuando supera ese rango. A su vez se reconoce que altos niveles de P en el medio, pueden provocar la deficiencia de Zn inducida por P, principalmente por la ocurrencia de la insolubilización del Zn en la superficie de las raíces (Vázquez y Fancelli, 2006). En el mismo sentido la presencia de altas concentraciones de P reduce no solo la absorción de Zn por

las raíces, sino también el transporte de este nutriente dentro de la planta. Este fenómeno se debe a la precipitación de Zn por P en los vasos conductores (Malavolta, 1997).

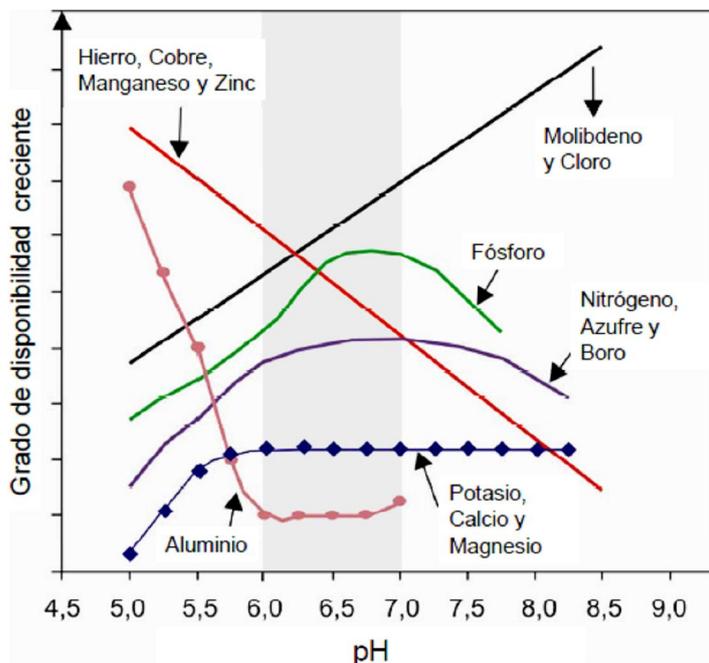


Figura 3. Disponibilidad de micronutrientes en función del pH del suelo (Malavolta et al., 1997).

Rivero et al. (2006) elaboraron mapas tentativos de la disponibilidad de S, B y Zn (Figura 4) en el suelo y sus necesidades de reposición por exportación en grano en distintos cultivos de la Región Pampeana. Con respecto al Zn detallan que la disponibilidad promedio en los suelos de la región es alta (2,15 ppm) y se observa una zona en el centro de Córdoba, entre otras, con probabilidad de media respuesta a la fertilización con Zn, y dentro de ésta, áreas con mayor respuesta. Estos datos se corresponden en parte con los trabajos de Melgar y Díaz Zorita (2000) y Berardo (2004) que indican que existen deficiencias de Zn pero serían inducidas por altos niveles de P y no por la baja disponibilidad del elemento en el suelo.

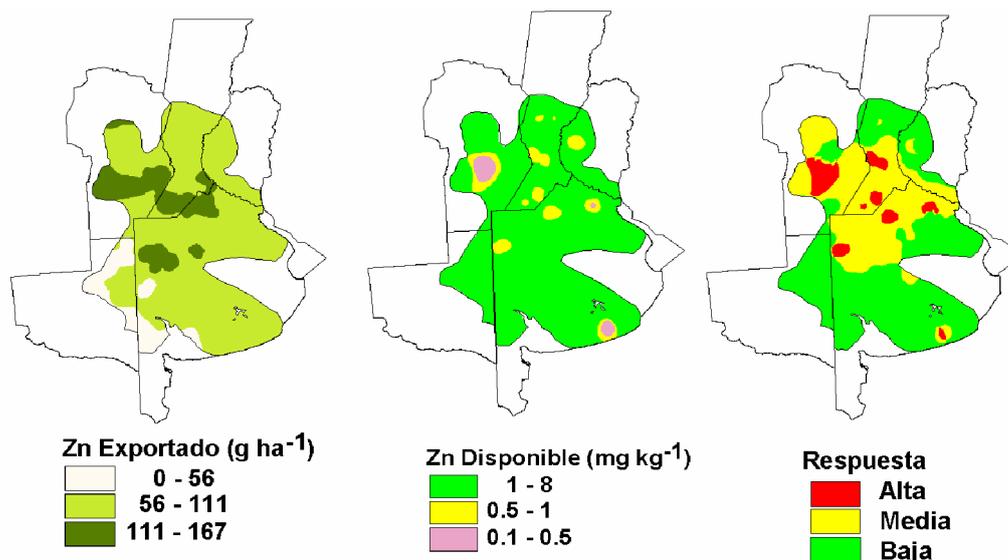


Figura 4. Zinc exportado en granos, disponible en los suelos y respuesta probable a la fertilización. (Rivero, 2006.)

Lindsay y Norvell (1978), expresan que el contenido de crítico de Zn en el suelo para la mayoría de los cultivos medido por el método DTPA-TEA es de 0,5 ppm. Si, en cambio, se ensaya la extracción con EDTA, otra solución extractora muy difundida internacionalmente, el límite crítico es de 1,4 ppm.

Sainz Rosas et al. (2001), evaluó sobre trigo 4 zonas de la Región Pampeana donde las cantidades de Zn superaban el umbral crítico de 0,5-1,4 ppm. Los resultados que obtuvo mostraron incrementos promedio no significativos en el rendimiento en el orden de los 151 kg/ha y destaca que los valores extremos encontrados superan los 500 kg/ha. Del mismo modo en ensayos realizados en soja y con umbrales de 0,5 ppm de Zn, Shittuo y Ogunwale (2013) hallaron respuesta al agregado de P y Zn cuando se aplicaron 30 kg/ha y 2 kg/ha respectivamente. Gambaudo et al. (2011), probaron la fertilización vía foliar con Zn en soja y obtuvieron diferencias no significativas en el rendimiento cercanas a los 200 kg/ha respecto al testigo sin tratar. En estudios realizados en la Región Pampeana se observaron respuestas significativas sobre el rendimiento de soja en 7 de los 12 sitios ensayados, donde el Zn en el suelo no superaba el umbral de 0,5-1 ppm. La respuesta a la aplicación fue de 578 kg/ha cuando se aplicó Zn junto con P y S y el autor remarca que la respuesta debida al Zn por si solo fue de 355 kg/ha (Boga y Ramirez, 2013). Por otro lado, datos divulgados sobre la utilización de Zn en maíz, detallan que se observaron incrementos en el rendimiento de entre 600 y 825 kg/ha sobre los testigos sin

fertilizar (Melgar R, 2004). Marengo (2009), estudió la fertilización con N, P, S y Zn en maíz, obteniendo resultados sin diferencias significativas en el rendimiento con valores de 0,9 ppm de Zn en el suelo. Asimismo el autor destaca una tendencia al incremento del número de granos por el agregado de Zn en la formulación de los fertilizantes. Ferraris y Couretot (2008), evaluaron la respuesta del maíz al agregado de fertilizantes complejos agregados por vía foliar y estudiaron el efecto de la fertilización con N y Zn, determinando diferencias no significativas entre tratamientos de 988 kg/ha en promedio, con valores de 0,6 ppm de Zn en el suelo.

La información disponible en cuanto al micronutriente en cuestión (Zn) sobre el cultivo de girasol, resulta acotada. Sin embargo como se mencionó anteriormente, existen trabajos que demuestran respuesta al agregado de Zn en otros cultivos con umbrales críticos que varían de 0,5 a 1,4 ppm de Zn en el suelo. Teniendo en cuenta esto y que de los cultivos expuestos en la Tabla 1, el girasol es el que mayor requerimiento por tonelada de grano cosechado tiene de Zn, podemos pensar que su umbral de respuesta podría ser mayor a los propuestos para otros cultivos.

Los síntomas a nivel de planta que evidencian una deficiencia de Zn en el suelo son varios, entre ellos se pueden citar de manera general para distintos cultivos, plantas de crecimiento reducido, acortamiento de entrenudos, hojas con clorosis internerval, agrupamiento de hojas pequeñas en la porción terminal de la planta, escaso desarrollo radicular y una consecuente disminución del rendimiento (Vázquez y Fancelli, 2006). Todos estos síntomas afectan, entre otras cosas, la captura de luz por parte del canopeo.

En cuanto a los métodos de aplicación del micronutriente se destacan la aplicación vía foliar y al suelo, siendo la elección del método más efectivo un problema complejo, ya que los distintos métodos de aplicación dependen fuertemente de distintos factores como pueden ser fuente, tipo de suelo, pH, solubilidad, movilidad del nutriente y cultivo entre otros. (Vázquez y Lopes, 2006). A su vez se reconoce que la fertilización foliar ha demostrado ser una práctica recomendable para la aplicación de micronutrientes por las bajas cantidades implicadas en el suministro, la uniformidad lograda al aplicar

pequeñas cantidades, la falta de contacto con el suelo evitando interacciones y el alto cociente entre las cantidades aplicadas y absorbidas por las plantas (Melgar, 2006).

En el mercado se encuentran distintas fuentes para la fertilización con Zn (fosfitos, sales inorgánicas y quelatos). La utilización de fosfitos en agricultura es una tecnología emergente en cultivos extensivos, se atribuyen incrementos de rendimiento por un efecto nutrición, antifúngico y por la inducción de las defensas naturales de las plantas -producción de fitoalexinas- (Ferraris y Couretot, 2012). Los sulfatos (sales) son las fuentes más utilizadas debido a su alta solubilidad en agua y su menor índice salino en comparación con los cloruros y nitratos (Eloy Molina, 2002). Otra fuente de fertilización difundida son los quelatos, que facilitan la penetración de iones a través de la cutícula foliar, pudiendo ser absorbidos y translocados más rápidamente que las sales . sulfatos- (Eloy Molina, 2002).

HIPÓTESIS

Dado el alto requerimiento de Zn que posee el cultivo de girasol, el rendimiento responde positivamente a la fertilización con este nutriente aun cuando se supera el umbral crítico propuesto para otros cultivos.

OBJETIVO

El objetivo principal de este trabajo fue evaluar en el cultivo de girasol las eficiencias de captura y uso de la radiación durante el ciclo del cultivo y su impacto sobre la determinación del rendimiento, ante aplicaciones vía foliar de Zn en diferentes estados fenológicos (R1 y R4).

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en el Área Experimental del Campo Escuela de FCA-UNC (31°30´ S, 64°00´ W; altitud 360 m), durante dos campañas (2013/14 y 2014/15). Esta zona corresponde a la región semiárida central de la provincia de Córdoba con una precipitación media anual de 800 mm; temperatura media de verano de 24°C y media de invierno de 12°C (SMN, 2013). El suelo es un haplustol típico, de textura franco-limosa en superficie y profundidad (Gorjas y

Tassile, 2003). El análisis de suelo en el cual se realizó el ensayo arroja que la concentración de Zn en el suelo es de 1,26 ppm (DTPA-TEA) y de P es de 75,5 ppm (LABSA, FCA-UNC).

El material genético utilizado fue el híbrido CF-37 Advanta para la campaña 2013/14 y DKSOL 4045 para 2014/15. Las fechas de siembra fueron el 12/12/2013 y 02/12/2014. Se colocaron tres semillas por golpe y luego, en el estadio V2 se realizó un raleo obteniendo una densidad final de 50.000 plantas/ha en ambas campañas.

El producto utilizado en este ensayo fue fosfito de Zn (SC: P 40% y Zn 10%) de la marca comercial Phytogard Zinc de Stoller. La cantidad de producto probada fue de 3,45 l/ha en la campaña 2013/14 y de 6,90 l/ha en 2014/15. Esto equivale a una dosis de 0,5 y 1,0 kg Zn/ha respectivamente. Las aplicaciones se realizaron en los estadios R1 y R4 de acuerdo a la clave fenológica de Schneiter y Miller (1981), dado que estos momentos resultan críticos para la determinación del rendimiento. Los tratamientos evaluados fueron i) Testigo (sin fertilización); ii) Fertilización en R1 y iii) Fertilización en R4. Los tratamientos fueron designados como T, R1 y R4 respectivamente.

El diseño experimental fue en bloques completos al azar, con 3 repeticiones. El tamaño de las parcelas fue de 7,5 m de largo y 3 m de ancho cada una (22,5m²) con 6 surcos por tratamiento.

Previo a la siembra se realizó un barbecho químico con 2.5 l/ha de glifosato + 300 cc de 2-4D. Los controles de malezas en post-emergencia del cultivo se realizaron de forma manual para obtener condiciones óptimas de crecimiento del cultivo.

Se realizaron aplicaciones para control de plagas inséctiles presentes durante el transcurso del cultivo con Clorpirifós (2.5 l/ha) + Cipermetrina (0,45 l/ha) para el control de orugas cortadoras (*Agrotis* sp.) y chinche roja (*Athaumastus haematicus*). Durante la campaña 2014/15, en el estado fenológico de R5 (floración) y en madurez fisiológica (R9) se tomaron muestras de 5 plantas por parcela para determinar la biomasa aérea total. Además, para ambas campañas, se cubrieron con bolsas de malla plástica luego de la floración,

aproximadamente 15 capítulos por parcela para evitar el daño por pájaros. Estos capítulos fueron cosechados en el estado R9 (madurez fisiológica). Posteriormente fueron trillados en forma manual. Todas las muestras de material vegetal fueron secadas en cámara de aire forzado a 65°C. Los granos trillados se pesaron y el rendimiento se calculó por unidad de superficie en base seca (0% de humedad). Se extrajo una alícuota 200 granos de cada tratamiento con el objetivo de determinar PG. Finalmente NG se obtuvo como el cociente del rendimiento y PG.

Los datos climáticos de cada campaña se obtuvieron de una estación meteorológica ubicada a 20 m de sitio experimental. La fracción de interceptación de radiación fotosintéticamente activa (fRFA) se midió semanalmente solo en el experimento de la campaña 2014/15, siguiendo la metodología empleada por Gallo y Daughtry (1986), utilizando una barra medidora de flujo de fotones (Decagon Devices). Las mediciones se realizaron en horarios de alta radiación (12:00 hs) y promediando tres lecturas por parcela, teniendo la precaución de colocar la barra por encima de la última hoja seca.

La fRFA entre mediciones se obtuvo por interpolación lineal. La radiación fotosintéticamente interceptada acumulada durante los períodos de prefloración (RFApre) y posfloración (RFApos) se obtuvieron como la sumatoria diaria del producto entre la fRFA y la RFA registrada en la estación meteorológica, para cada período evaluado. La eficiencia de uso de la RFA en pre y posfloración (EURpre y EURpos) fue calculada como el cociente entre la biomasa en el estado R5 y la acumulada desde R5 a R9 y la RFApre y RFApos respectivamente.

Toda la información obtenida fue analizada estadísticamente mediante análisis de varianza (ANAVA) con una confiabilidad de 95% ($p < 0,05$), a través del programa Infostat (Di Rienzo et al., 2012).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones climáticas

Para las dos campañas en las que se realizaron los experimentos las condiciones ambientales fueron similares, en cuanto a radiación, temperaturas, precipitaciones y evapotranspiración de referencia (Tabla 2).

Tabla 2. Radiación fotosintéticamente activa (RFA); Temperaturas medias: media (TMed), mínima (TMin) y máxima (TMax); Precipitaciones (PP) y Evapotranspiración de referencia (ET₀), en Pre y Pos floración del cultivo respectivamente, para las dos campañas de estudio.

Variable	2013/14		2014/15	
	Pre	Pos	Pre	Pos
RFA (MJ/m ²)	639	352	637	379
TMed (°C)	25,9	18,9	23,8	22,3
TMin (°C)	19,0	13,3	17,2	17,3
Tmax (°C)	32,6	24,5	30,5	27,3
PP (mm)	205	218	251	366
ET ₀	415	167	393	173

Radiación Interceptada

En la Figura 5 se observa la evolución del porcentaje de RFA interceptada para cada uno de los tratamientos evaluados. No hubo diferencias estadísticamente significativas en los valores para ninguno de los momentos de medición. Por lo que los tratamientos de fertilización no manifestaron diferencias en la captura de luz respecto al testigo. La curva de intercepción obtenida muestra las características típicas de la especie en donde desde estados muy tempranos

logra una alta captura de luz y posteriormente una senescencia foliar acelerada a partir de mediados del llenado de los frutos (Andrade, 1995). Esta característica en la dinámica de captura de luz se debe a la mayor plasticidad vegetativa (alta capacidad de expansión foliar) por lo que el cultivo logra en un corto tiempo el índice de área foliar crítico que le permite capturar cerca del 95% de radiación (Andrade et al., 2005). A partir de floración, durante el llenado de los frutos, estos comienzan a acumular aceite y por lo tanto cambia el costo energético de la biomasa producida, lo cual genera una senescencia acelerada del canopeo, producto de una alta translocación de asimilados a los frutos en crecimiento (Andrade et al., 2005), y consecuentemente una caída en los valores de intercepción de luz.

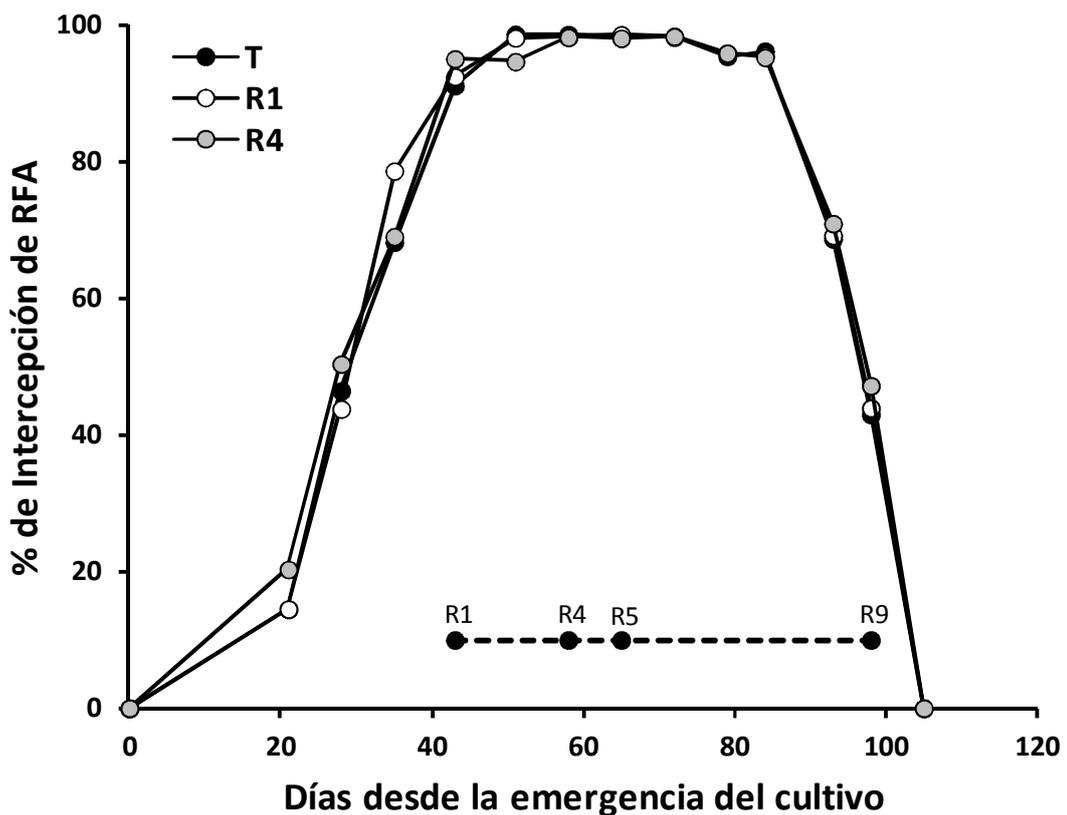


Figura 5: Porcentaje de intercepción de RFA desde la emergencia del cultivo para la campaña 2014/15 para cada uno de los tratamientos evaluados. Sobre la línea punteada horizontal se observan los principales estados fenológicos R1, R4, R5 y R9 de acuerdo a la clave de Schneiter y Miller (1981).

Radiación interceptada acumulada y eficiencia en el uso de la radiación

No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en la cantidad de RFA interceptada en pre y pos floración, ni en la EUR en ninguno de los momentos evaluados (Tabla 3). Los valores de EUR registrados en este experimento son coincidentes con los reportados en la literatura y muestran la típica respuesta de una especie con metabolismo de carbono del tipo C3 (Sinclair y Muchow, 1999). Según Andrade et al. (2005), la EUR es una función del metabolismo fotosintético de la especie, la arquitectura del canopeo y el contenido energético de la biomasa. Por lo tanto la mayor EUR durante prefloración se debe a las diferencias en la calidad de la biomasa producida en esos momentos; mientras en prefloración se acumulan hidratos de carbono, más baratos de producir en términos energéticos, en posfloración el alto contenido de aceite de los frutos tiene un mayor costo energético y por lo tanto la EUR (expresada como materia seca producida por unidad de RFA) es menor.

Tabla 3. Radiación Fotosintéticamente Activa acumulada, Eficiencia de uso de la radiación y Materia seca acumulada desde emergencia hasta el estado fenológico de R5 (RFApre; EURpre; MSpre) y desde R5 hasta madurez (RFApos; EURpos; MSpos) para el experimento conducido en la campaña 2014/15.

Trat	MSpre (g/m ²)	RFApre (MJ/m ²)	EURpre (g/MJ)	MSpos (g/m ²)	RFApos (MJ/m ²)	EURpos (g/MJ)
T	741	331	2,2	381	279	1,4
R1	723	338	2,1	403	280	1,4
R4	701	341	2,1	351	283	1,2
DMS	158	17	0,5	156	19	0,6

Biomasa, Rendimiento y componentes numéricos

No se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados, para ninguna de las variables que se presentan en la Tabla 4, en ninguna de las campañas evaluadas. No obstante, en la campaña 2013/14 se evidencia una tendencia a un mayor rendimiento en los tratamientos fertilizados, esta diferencia fue entre un 10 y 18% superior al testigo para los tratamientos R1 y R4 respectivamente. A pesar de que estas diferencias no fueron estadísticamente significativas, esto puede significar de cierta importancia desde el punto de vista económico.

Los rendimientos obtenidos en ambas campañas superan el promedio nacional para este cultivo. Esto se debe a las excelentes condiciones hídricas y nutricionales dadas y, al adecuado manejo de plagas realizado sobre el cultivo.

Es de destacar que en girasol en años húmedos puede haber mayor presión de enfermedades, no obstante, la no respuesta entre tratamientos evidencia que el producto (fosfito) no mejoró el aspecto sanitario o bien los híbridos evaluados tienen muy buena tolerancia a las principales enfermedades que normalmente se presentan durante el llenado (Sclerotinia y Verticilium).

Tabla 4. Materia seca en madurez fisiológica (MSMF), Rendimiento en base seca 0% de humedad; Rend), peso individual del grano (PG), Número de granos por unidad de superficie (NG) e Índice de cosecha (IC) para los tratamientos evaluados durante dos campañas (2013/14 y 2014/15).

Año	Trat	MSMF -----($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)-----	Rend	PG (mg)	NG (m^{-2})	IC (%)
2013/14	T	--	322	67,5	4776	--
	R1	--	357	71,5	5000	--
	R4	--	381	69,0	5517	--
DMS1		--	155	7,2	2064	--
2014/15	T	1122	323	57,1	5663	28,9
	R1	1185	331	57,3	5781	29,4
	R4	1052	322	56,5	5700	30,7
DMS2		140	42	3,9	602	6,9

DMS1 y DMS2: Diferencia mínima significativa para comparar diferencias entre tratamientos en la campaña 2013/14 y 2014/15 respectivamente.

Estos niveles de diferencia en rendimiento, que no superan los 500 kg/ha, han sido mencionados también para otros cultivos, por distintos autores (Sainz Rosas et al., 2001; Gambaudo et al., 2011; Boga y Ramirez, 2013; Marengo, 2009; Ferraris y Couretot, 2008). En el caso de los experimentos evaluados en este trabajo solo se observaron, aunque de manera no significativa, en la campaña 2013/14.

En esta campaña, la tendencia encontrada podría deberse a que en T los niveles de P en el suelo estarían limitando la absorción de Zn a nivel radicular. Esto último, sumado a la escasa movilidad que presenta el Zn por el floema en presencia de altos niveles de P, afecta los distintos procesos metabólicos en los que interviene este micronutriente en las plantas. En cambio los tratamientos fertilizados, si bien se encuentran en las mismas condiciones de suelo, reciben el aporte externo de Zn evidenciando una respuesta positiva en el rendimiento. Esta respuesta, como muestran los datos obtenidos, se debe principalmente a un mayor NG.

En nuestro experimento la duración de los períodos de crecimiento para los distintos tratamientos fueron los mismos. A su vez, la eficiencia de intercepción de la radiación, que depende fuertemente de IAF, tampoco sufrió variación por el agregado de Zn. En este caso, si se considera importante el incremento en NG (estadísticamente no significativo) se puede especular que la fertilización con Zn incrementó la actividad fotosintética durante la etapa crítica (entre R3 y R6), lo que mantuvo alta la eficiencia en el uso de la radiación. Esto mejoraría la disponibilidad de asimilados en esa etapa y por lo tanto una mayor fijación de granos.

Trapani et al. (2003), definen a la EUR, funcionalmente, como el resultado neto de los procesos que hacen a la economía del carbono del cultivo: la fotosíntesis y la respiración. Como se citó anteriormente el Zn cumple funciones importantes en estos procesos metabólicos y en la síntesis de clorofila (Ferraris, 2011). Esto último sumado a las funciones de carácter estructural en las membranas, eliminación de radicales libres en la fijación de CO₂ y protección de cloroplastos (Ferraris y Couretot, 2008), nos hacen suponer que el agregado de Zn produce una mejora en la eficiencia del uso de la radiación interceptada por el cultivo.

Teniendo en cuenta los estados fenológicos de los tratamientos al momento de la aplicación de Zn y lo citado en la bibliografía sobre los efectos del micronutriente, el aumento en el número de granos obtenido también podría deberse a una mejora en el desarrollo del tubo polínico, en la viabilidad del polen, en la fecundidad de flores y su cuajado (Ferraris y Couretot, 2008). Esto

último se traduciría en un mayor cuajado de granos, por lo tanto, ambas podrían ser las causas que expliquen el aumento encontrado en el rendimiento.

La cantidad de Zn presente en el suelo, supera los rangos críticos citados para este microelemento, pero la mayor demanda de Zn por el girasol, con respecto a otros cultivos, nos hace pensar que el umbral crítico para el nutriente puede ser más alto que los propuestos. Además como se expuso anteriormente, los niveles de P en el suelo podrían estar limitando en alguna medida la absorción del micronutriente en cuestión a nivel radicular.

Para las dos campañas estudiadas, se concluye que a pesar de que el análisis estadístico no haya detectado diferencias significativas, podría existir respuesta a la fertilización con Zn sobre el cultivo de girasol, al generarse en promedio un incremento en el rendimiento del orden del 6 al 9% para los tratamientos fertilizados-R1 y R4 respectivamente- (Figura 6). Esto pone en evidencia que en experimentos de esta naturaleza, donde las respuestas pueden ser menores a 500 kg/ha, se necesita mayor control local sobre el experimento a los fines de poder lograr menor variabilidad y mayor precisión en el análisis estadístico.

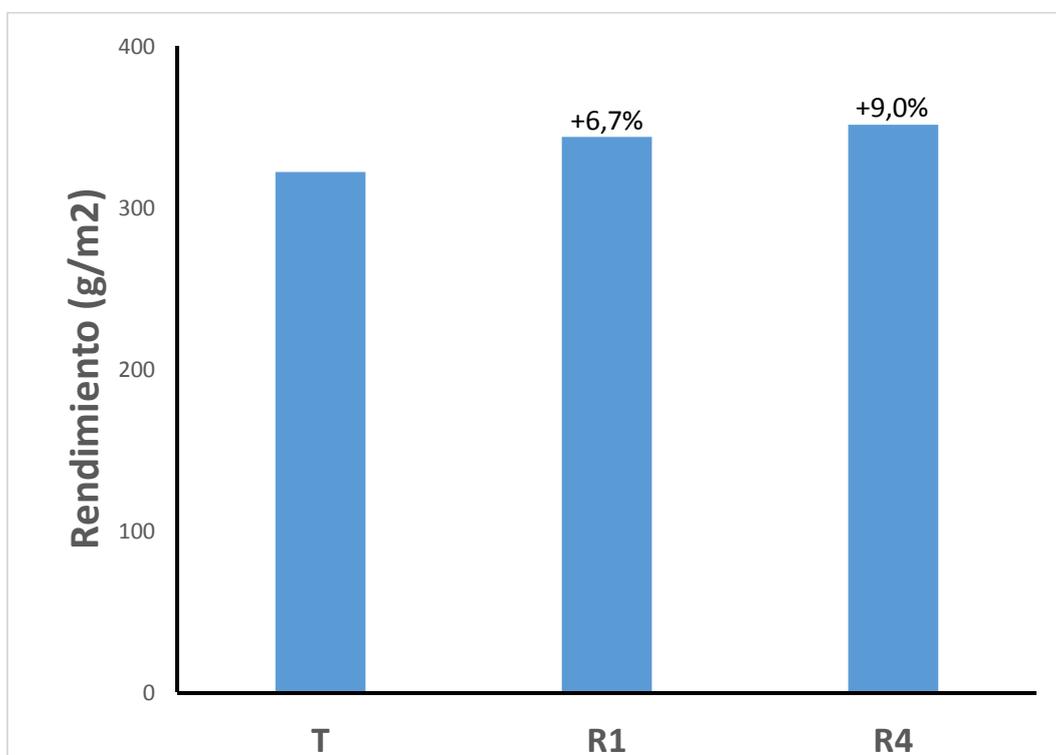


Figura 6. Rendimiento promedio de las campañas 2013/14 y 2014/15, para los distintos tratamientos evaluados.

Es de considerar que no se conoce con certeza si la disponibilidad de Zn fue limitada por la concentración de P en el suelo, como así tampoco, si la fuente utilizada (fosfito) fue la adecuada para vehicular el micronutriente en cuestión.

En base a los resultados estadísticos obtenidos en este experimento, se rechaza la hipótesis planteada en una primera instancia. Concluyendo que el girasol no presenta respuesta a la fertilización con Zn, cuando los niveles en el suelo de este microelemento son superiores a los umbrales propuestos por la literatura.

Es de destacar que en estos experimentos no se realizaron mediciones del porcentaje de materia grasa, producción y composición ácida del aceite, así como tampoco, análisis de tejidos. Por lo que se abren nuevas vías de investigación para determinar si el agregado de Zn afecta a estas variables, y de qué manera lo hace, como así también, si existe deficiencia de Zn inducida por los niveles de P en el suelo. También, queda abierta la posibilidad a nuevos ensayos con otras fuentes de fertilizantes más eficientes en cuanto a disponibilidad, absorción y translocación del Zn.

AGRADECIMIENTOS

A la cátedra de Cereales y Oleaginosas de FCA-UNC en general y, en particular al Ing. Agr. Marcelo Cantarero por su generosidad para compartir sus conocimientos, su tiempo y dedicación. Al Ing. Agr. Ricardo Maich por su permanente aliento, predisposición y su acompañamiento en estos dos años. Al Ing. Agr. Renzo Aranda por su compañerismo y ayuda desinteresada en estos ensayos. Al Ing. Agr. Alfredo Tula, Ing. Agr. Sergio Luque, y alumnos de FCA por su aporte y ayuda durante las dos campañas.

BIBLIOGRAFÍA.

- Aguirrezábal, L. A. N.; Orioli, G. A.; Hernández, L. F.; Pereyra, V. R. y Miravé, J. P. 1996. Girasol. Aspectos fisiológicos que determinan el rendimiento. Unidad integrada Balcarce. INTA EEA Balcarce . FCA Mar del Plata.
- Andrade, F.H. 1995. Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcarce, Argentina. *Field Crops Res.* 41: 1-12.
- Andrade, F.H., V.O. Sadras, C.R.C. Vega, and L. Echarte. 2005. Physiological determinants of crop growth and yield in maize, sunflower and soybean. Their application to crop management, modeling and breeding. *Journal of Crop Improvement* 14:51-101.
- Archivo agronómico N° 3. Requerimientos nutricionales de los cultivos. IPNI. [http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/0B4CDA48FABB666503257967007DD076/\\$FILE/AA%203.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/0B4CDA48FABB666503257967007DD076/$FILE/AA%203.pdf)
- Berardo, A. 2004. Manejo de la fertilización en una agricultura sustentable. *Informaciones Agronómicas* N° 23, Agosto 2004.
- Boga, L. y Ramirez, H. 2013. Efecto de la fertilización con fósforo, azufre y zinc en el cultivo de soja en la región pampeana norte de Argentina. *IAH* 16, Diciembre 2014.
- Cantagallo, J. E. y Hall, A. J. 2000. Reduction in the number of filled seed in sunflower (*Helianthus annuus* L.) by light stress. *Proceedings.* p. D35-D40. En: 15th Int. Sunflower Conference. Toulouse-France, 12-15 June. IntSunflowerAssoc., Toowoomba, Australia.
- Di Rienzo, J.A.; Casanoves, F.; Balzarini M.G.; Gonzalez, L.; Tablada, M. y Robledo, C.W. InfoStat versión 2012. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Eloy Molina, A. 2002. Fuente de fertilizantes foliares. En *Fertilización foliar: Principios y Aplicaciones.* Laboratorio de suelos y foliares. CIA-UCR. Pp 26: 35.
- Ferraris, G. 2011. Micronutrientes en cultivos extensivos. Necesidad actual o tecnología para el futuro? *Desarrollo Rural INTA E.E.A. Pergamino.*
- Ferraris, G. y Couretot, L. 2008. Respuesta del maíz a la fertilización complementaria con nitrógeno y zinc por vía foliar. *Campaña 2007/08.*

Resultados del 2do año de Unidades demostrativas del Proyecto Regional Agrícola. Área de Desarrollo Rural EEA INTA Pergamino.

- Ferraris, G. y Couretot, L. 2012. Micronutrientes y fosfitos en soja. UCT Agrícola - Área de Desarrollo Rural INTA EEA Pergamino. Proyecto Regional Agrícola. CRBAN. Campaña 2011/12.
- Gallo, K. P., and Daughtry, C. S. T. (1986). Techniques for measuring intercepted and absorbed photosynthetically active radiation in corn canopies. *Agron. J.* 78,752-756.
- Gambaudo, S.; Racca Madoery, M. S y Fontanetto, H. 2011. Respuesta al agregado de micronutrientes en el cultivo de soja en suelos de diferente aptitud agrícola. Publicado en <http://agristasts.ipni.net/>
- Gorjas, J.A. y Tassile, J.L. (compiladores). 2003. Los suelos. Recursos naturales de la provincia de Córdoba. Nivel de reconocimiento: 1:500000. Agencia Córdoba ambiente . INTA EEA Manfredi.
- Hall, A.; Feoli, C.; Ingaramo, J. y Balzarini, M. 2010. Proyecto brechas Asagir: Variación interzonal e interanual de las diferencias entre rendimientos de girasol alcanzables y logrados para el período 1999-2007. 5to Congreso Argentino de Girasol: con la mirada en la competitividad. Mod 2. pp 53-82.
- Lindsay, W. L. y Norvell, W. A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *SoilSci.Soc.Amer.J.* 42:421-428. Madison, USA.
- Malavolta, E. 1997. Centro de Energía Nuclear en Agricultura, Universidad de Sao Pablo Piracicaba, Sao Pablo, Brasil. [https://ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/\\$webindex/84942875ADCF8D2C05257268004D722E/\\$file/Relaci%C3%B3n+entre+el+F%C3%B3foro+y+el+Zinc.pdf](https://ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/$webindex/84942875ADCF8D2C05257268004D722E/$file/Relaci%C3%B3n+entre+el+F%C3%B3foro+y+el+Zinc.pdf)
- Malavolta, E.; Vitti, G. y de Oliveira, S. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações. 2ª. Ed. POTAFOS. Piracicaba, Sao Paulo, Brasil.
- Marc, J. y Palmer, J. H. 1981. Photoperiodic sensitivity of inflorescence initiation and development in sunflower. *Field Crops Research.* 4:155-164.
- Marengo, A. 2009. Efecto de la fertilización con Zinc sobre el área foliar y el rendimiento del cultivo de maíz.

- Melgar, R. 2004. Uso de micronutrientes en cultivos de Gruesa. Artículo publicado en www.agrolluvia.com
- Melgar, R. 2006. Fertilizantes con micronutrientes en el mercado argentino. En Vázquez, M (de). Micronutrientes en la agricultura. AACCS: 167-175.
- Melgar, R. y Díaz Zorita, M. 2000. La fertilización de Cultivos y Pasturas. Editorial Hemisferio Sur- INTA.
- Melgar, R.; Lavandera, J.; Torres Duggan, M. y Ventimiglia, L. 2001. Respuesta a la fertilización con boro y zinc en sistemas intensivos de producción de maíz. *Ciencia del Suelo* 19:109-124.
- Mercau, J. L.; Sadras, V. O; Satorre, E. H.; Messina, C.; Balbi, C.; Uribe Larrea M. y Hall, A. J. 2001. On-farm assessment of regional and seasonal variation in sunflower yield in Argentina. *Agricultural Systems* 67:103.
- Ratto, S.E. 2006. Los microelementos en el sistema productivo del área pampeana. En: M Vázquez (Ed.) Micronutrientes en la agricultura. AACCS, Argentina. pp 79-111.
- Rivero, E.; Cruzate, G. y Turati, R. 2006. Azufre, Boro y Zinc: Mapas de disponibilidad y reposición en suelos de la región pampeana. Publicado en las Actas del XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. I Reunión de Suelos de la Región Andina. Salta-Jujuy, Rep. Argentina. Set/2006.
- Sainz Rozas, H.; Echeverría, H.E.; Calviño, P.A.; Barbieri, P. y Redolatti M. 2001. Respuesta del cultivo de trigo al agregado de zinc y cobre en el sudeste bonaerense. EEA INTA Balcarce, FCA UNMP, CREA Tandil, CIC Buenos Aires.
- Sainz Rozas, H.; Eyherabide, M.; Echeverría, H.E.; Barbieri, P.A.; Angelini, H.P.; Larrea, G.E.; Ferraris, G.N. y Barraco, M.R. 2013. Cuál es el estado de la fertilidad de los suelos argentinos? En Simposio Fertilidad 2013. Mayo de 2013. Rosario, Santa Fé. Argentina.
- Salvagiotti, F. 2013. Cómo podemos aumentar los rendimientos de soja?. La visión desde la nutrición. Proc Simposio de Fertilidad 2013. Rosario, pp. 45-50.
- Schneiter, A. y Miller, J. F. 1981. Description of sunflower growth stages. *Crop Science*. 21:901-903.

- Servicio Meteorológico Nacional. 2013. Atlas climático. <http://www.smn.gov.ar/serviciosclimaticos/?mod=elclima&id=65&clave=Media>.
- Shittuo, S. y Ogunwale, J.A. 2013. Phosphorous-Zinc interaction for soybean production in soil developed on chernozem in Ekiti State. *Agriculture Journal*. 8:78-82.
- Sinclair, R.T. and Muchow, R.C. 1999. Radiation use efficiency. *Advances in Agronomy*, Vol 65, pp 215-265.
- Sistema Integrado de Información Agropecuaria, Programa de Servicios Agrícolas Provinciales, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. http://www.siiia.gov.ar/_apps/siiia/estimaciones/estima2.php (CONSULTA: 01 de octubre de 2014).
- Torri, S.; Urricarriet, S.; Ferraris, G.N. y Lavado, R.S. 2010. Micronutrientes en agrosistemas. En: Alvarez, R., G. Rubio, C.R. Alvarez, y R.S. Lavado (Eds.). *Fertilidad de suelos. Caracterización y manejo en la región pampeana*. Editorial Facultad de Agronomía. Buenos Aires.
- Trapani, N.; Lopez, M.; Sadras, V. O. y Hall J.A. 2003. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en girasol. En: *Producción de Granos. Bases funcionales para su manejo*. Editorial Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires. pp. 203-241.
- Vázquez, M. y Fancelli, A. 2006. Micronutrientes en la fisiología de las plantas. Editora Vázquez, M. *Micronutrientes en la Agricultura. Diagnóstico y fertilización en la Argentina. La experiencia brasilera*. 1ª edición. pp 11-22.
- Vázquez, M y Lopes, A. 2006. Micronutrientes en la fisiología de las plantas. Editora Vázquez, M. *Micronutrientes en la Agricultura. Diagnóstico y fertilización en la Argentina. La experiencia brasilera*. 1ª edición. p 37.
- Vega, C. R. C.; Andrade, F. H.; Sadras, V. O.; Uhart, S. A. y Valentinuz, O. R. 2001. Seed number as a function of growth. A comparative study in soybean, sunflower and maize. *CropSci*. 41:748-754.

ANEXO.

Universidad Nacional de Córdoba
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Departamento de Recursos Naturales
LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS – LABSA



Universidad
Nacional
de Córdoba



ANÁLISIS DE SUELO RESULTADOS ANALÍTICOS

Remite: Renzo Aranda
Procedencia: Campo Escuela (camino Capilla de Los Remedios)

<i>N° Registro</i>	014-1887		
<i>Identificación</i>	Lote Girasol		
<i>Profundidad (cm)</i>	0-20		
<i>Materia Orgánica (%)</i>	2,44		
<i>Carbono Orgánico (%)</i>	1,42		
<i>Nitrógeno Total (%)</i>	0,134		
<i>Relación C:N</i>	10,5		
<i>N-NO₃⁻ (ppm)</i>	17,3		
<i>S-SO₄²⁻ (ppm)</i>	6,7		
<i>Fósforo (ppm)</i>	75,5		
<i>pH Actual</i>	6,2		
<i>Extracto de Saturación:</i> <i>Conductividad Eléctr. (dS/m)</i>	0,8		

Córdoba, 19/12/2014.

ANÁLISIS DE SUELO
RESULTADOS ANALÍTICOS

Remite: Renzo Aranda
Procedencia: Campo Escuela (camino Capilla de Los Remedios)

<i>N° Registro</i>	014-1887			
<i>Identificación</i>	Lote Girasol			
<i>Profundidad (cm)</i>	0-20			Límite Crítico (Rango)
<i>Cinc (ppm)</i>	1,26			0,5 – 1,3

Córdoba, 19/12/2014.