

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

Trabajo Final presentado para optar al Grado de Ingeniero Agrónomo

“FERTILIZACION FOLIAR CON MICRONUTRIENTES EN SOJA DE PRIMERA”

Alumno: Sabino Andrés RAVERA

DNI: 26932550

Director: Ing. Agr. Marcos BONGIOVANNI

Co-Director: Ing. Agr. Daniel CANOVA

Río Cuarto - Córdoba

Octubre de 2009

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

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del Trabajo Final: “*FERTILIZACION FOLIAR CON MICRONUTRIENTES EN SOJA DE PRIMERA*”

**Autor: Sabino Andrés RAVERA
DNI: 26 932 550**

**Director: Ing. Agr. Marcos BONGIOVANNI
Co-Director: Ing. Agr. Daniel CANOVA**

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias del Jurado Evaluador:

(Nombres)

Fecha de Presentación: ____/____/____.

Aprobado por Secretaría Académica: ____/____/____.

Secretario Académico

DEDICATORIA

A toda mi familia,
Por su constante apoyo.
Amigos y profesores.

ÍNDICE

Resumen.	4
Summary.	5
Introducción.	6
Función metabólica y efecto en la producción.	7
Metodología de diagnóstico.	8
- Análisis de suelo.	8
- Análisis foliar.	9
Antecedentes.	11
Hipótesis.	15
Objetivos.	15
Materiales y métodos.	15
Datos del campo.	15
Tratamientos realizados.	17
Datos de los productos utilizados.	17
Resultados y discusión.	19
Resultado del análisis foliar.	19
Efecto de los distintos tratamientos.	20
Conclusiones.	24
Consideraciones finales.	24
Bibliografía.	26

RESUMEN

Para determinar si existen respuestas diferenciales de rendimiento en soja, con el uso de microminerales por vía foliar, se realizó un ensayo comparativo utilizando distintos fertilizantes líquidos elaborados con diferentes combinaciones de micro y macroelementos. La experiencia se realizó en un establecimiento ubicado en General Viamonte, provincia de Buenos Aires, sobre un Hapludol típico. El diseño estadístico empleado fue en bloques completamente aleatorizados con tres repeticiones por tratamiento. En el mismo se evaluó el rendimiento y se realizó un análisis de factores que determinan al mismo, siendo estos el número de vainas por unidad de superficie y el peso de los granos. En ninguno de los tratamientos se logró una diferencia significativa que avale una ventaja en el uso de micronutrientes por vía foliar, manifestándose este mismo comportamiento en todos los parámetros analizados. Esto pudo estar explicado por una óptima nutrición aportada por el suelo, sin haber sido necesario una complementación vía foliar.

SUMMARY

In order to determine if there are any response in soybean grain yield with the use of postemergence applied micronutrients, a comparative essay was conducted using liquid fertilizers with different combinations of micro and macronutrients. The experiment was held near “General Viamonte” town, in Buenos Aires province, on a Typic Hapludol soil. The experimental design was a randomized complete block with three replicates. The parameter evaluated was soybean grain yield; an analysis of the factors that define it was made, taking number of pods per square meter and grain weight. Neither of the treatments achieved a significant difference in grain yield, nor in any of the yield components analyzed. This could have been explained by an optimal nutrition provided by the soil, making a complementary postemergence fertilization completely unnecessary.

INTRODUCCIÓN

La extensión del área agrícola con deficiencias de micronutrientes aumenta año tras año con el avance de la frontera agrícola en Argentina. En gran medida, las deficiencias más pronunciadas de micronutrientes se relacionan con el zinc y el boro en la región Pampeana y afectan a todos los cultivos, pero principalmente a los cultivos de granos que normalmente no reciben fertilizaciones correctivas. (Melgar, 2005).

Además de los conocidos, N, P, K, Mg y S, los micro son también nutrientes esenciales para la vida del vegetal, ya que intervienen en variados procesos fisiológicos. Dieciséis nutrientes cumplen los tres criterios para la condición de esencial los cuales son: 1) Ser imprescindible, lo que significa que su ausencia impide a la planta alcanzar su ciclo vital 2) La deficiencia es específica para el elemento en cuestión; es decir no es reemplazable por otro y 3) El elemento está directamente implicado en la nutrición de la planta. Por ejemplo como constituyente de un metabolito esencial requerido para la acción de un sistema enzimático (Coic y Coppenet 1993).

Los micronutrientes son elementos esenciales para el crecimiento y la reproducción vegetal requeridos en proporciones menores a los macronutrientes. Su concentración en tejido vegetal es del orden de los mg kg^{-1} . Hasta el momento, se ha demostrado la esencialidad de siete elementos en todas las especies vegetales: boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo) y cinc (Zn). Existen otros elementos que actúan en el metabolismo vegetal de manera no específica, denominados nutrientes funcionales, debido a que no intervienen en reacciones bioquímicas reconocidas en las plantas: cadmio (Cd), plomo (Pb), silicio (Si), vanadio (V), y otros que cumplen funciones únicamente en ciertas especies vegetales sodio (Na), níquel (Ni), silicio (Si), o que son esenciales para los animales (cobalto (Co), yodo (I), selenio (Se)). Por otro lado ciertos elementos como arsénico (As), Cd, Cu, Pb, y Zn, entre otros, son tóxicos para los vegetales y los animales cuando son absorbidos por encima de determinados niveles. Esto es porque inhiben distintos procesos metabólicos. La mayor parte de los elementos mencionados, junto con otros que se presentan en concentraciones extremadamente bajas en la naturaleza en general, y en los tejidos vegetales en particular, suelen denominarse elementos traza. Debido a que esta denominación es amplia e imprecisa, se utiliza el término micronutriente para denominar específicamente a los elementos traza que son esenciales y así diferenciarlos de los que son no esenciales. (Torri, et al. 2006)

Función metabólica y efecto en la producción.

Los micronutrientes poseen un rol fundamental en los organismos vegetales ya que la mayoría de los mismos se encuentran asociados con enzimas que regulan distintos procesos metabólicos, principalmente la respiración (Cu, Fe, Mn, Zn), la fotosíntesis (Cu, Mn) y la síntesis de clorofila (Cu, Fe, y Zn). El Mn interviene, además, en el proceso de regulación enzimático y la permeabilidad de las membranas. El Mo es un componente de la nitrato reductasa, además de intervenir, junto con el Zn, en la síntesis de proteínas. El Cl está involucrado en el transporte de cationes, y en la regulación de la apertura y cierre de las células estomáticas, mientras que el B se asocia al metabolismo de azúcares y a la formación del tubo polínico. (Torri, et al. 2006)

La deficiencia de cualquier micronutriente repercute negativamente en producción, tanto en el rendimiento como en la calidad. Por ejemplo la deficiencia de B ocasiona un incompleto llenado de granos y en los casos más severos se observa un acortamiento de los entrenudos y escasa floración. Los requerimientos de micronutrientes depende de la especie (tabla 1), y dentro de ella del cultivar y los rendimientos obtenidos. (Torri, et al. 2006)

Tabla 1. Requerimiento de micronutrientes para distintos cultivos.

Cultivo	B	Cl	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn	Fuente
	mg kg ⁻¹ órgano cosechado *							
Alfalfa ¹	30		7	40	25	0.3	15	Malavolta y col., 1997.
Festuca ¹	26		14.1		61	7	26	García y col., 1999.
Girasol ²	165		19	261	55	29	99	Wichmann, 2000.
Maíz ²	20	444	13	125	189	1	53	Wichmann, 2000.
Trigo ²	25		10	137	70		52	Wichmann, 2000.
Arroz ²	16	9700	27	356	370	5	40	De Datta, 1989.
Soja ²	25	237	25	300	150	5	60	Malavolta y col., 1997.
Naranja ³	2.8		0.6	3	0.8		1.4	Wichmann, 2000.
Papa ⁴	2		2	5-20	1-20	1	1	Burton, 1989.

* Órgano cosechado: 1- materia seca, 2- grano, 3- fruto, 4- tubérculo.

En la región pampeana se ha comenzado a observar deficiencias y respuestas a la fertilización con micronutrientes, particularmente al B y al Zn en ciertos cultivos extensivos como girasol, maíz, trigo y alfalfa. Estas situaciones pueden manifestarse en planteos de alta producción, donde se maximizan los rendimientos a través de un elevado nivel tecnológico. (Andrade y col., 2000), en

suelos deteriorados (Maddonni y col., 1999), así como en suelos de elevado pH, en particular en aquellos recientemente encalados (Kabata-Pendías y Pendías, 1992).

La soja es una especie vegetal con elevada demanda de nutrientes (García, 2000; Ferraris, 2001). Los requerimientos y la fracción exportada por tonelada de grano producido superan a los de los restantes cultivos extensivos. En general los suelos de la región pampeana presentan deficiencias de nitrógeno y fósforo pero en los últimos años, se han observado en algunas zonas deficiencias de algunos micronutrientes, fundamentalmente a partir de la intensificación de la agricultura (García, 2000). Por esta razón se han observado respuestas a la fertilización con macro (Ferraris et al., 2002) y micro nutrientes aplicados a suelo o por vía foliar (Ventimiglia et al., 2000). La fertilización foliar presenta la ventaja de proveer una nutrición intensiva y una dosificación exacta, sobre la base de un diagnóstico preciso, y con posibilidad de aplicar los nutrientes en los momentos de mayor demanda del cultivo gracias a su rápida absorción (Barber, 1984) complementando la estrategia de fertilización implementada a la siembra. (Torri, et al. 2006)

Metodología de diagnóstico.

Al igual que con los restantes nutrientes, el principio fundamental de los métodos de diagnóstico nutricional es la existencia de relaciones entre la concentración de micronutrientes en suelo o planta y la productividad de los cultivos. Los métodos de diagnóstico para identificar deficiencias o toxicidad incluyen el análisis de suelo y el análisis vegetal. Los síntomas visuales son orientativos de deficiencias nutricionales y representan el primer paso en el diagnóstico, pero deben ser confirmados posteriormente mediante un análisis de suelo, vegetal o ambos. (Torri, et al. 2006)

➤ Análisis de suelo.

El análisis de suelo permite estimar la disponibilidad de micronutrientes, aunque frecuentemente debe complementarse con evaluaciones en el vegetal. En cultivos extensivos la principal ventaja que presentan los análisis de suelos es la de permitir la corrección de posibles deficiencias, previamente a la implantación del cultivo. Los micronutrientes presentan mayor complejidad que los macronutrientes, por ello es más evidente la falta de un método analítico que permita determinar universalmente y en forma cuantitativa, la absorción radical de estos nutrientes a partir de análisis de suelos. (Torri, et al. 2006)

Se han propuesto diferentes metodologías para evaluar el contenido de micronutrientes, y por extensión a todos los elementos traza, que pueden agruparse en:

- Extracciones de formas disponibles, que involucran una extracción única, cuyo valor representa correlación con la absorción vegetal. El valor obtenido se compara con el nivel

crítico, definido como el valor de concentración que produce una disminución del 10% del rendimiento.

- Extracciones secuenciales, las cuales están compuesta por una serie de extracciones sucesivas a partir de una muestra, utilizando cada vez agentes más enérgicos. Estas metodologías proveen información sobre la asociación de los elementos traza con las diferentes fracciones del suelo.
- Extracciones totales, determinadas mediante digestiones con ácidos fuertes, como ácido nítrico (HNO_3) o agua regia y ácido fluorhídrico (HF).

La determinación de formas disponibles se emplea habitualmente para el diagnóstico de deficiencias de micronutrientes. La extracción secuencial es principalmente utilizada en investigación para estudiar la partición y la dinámica de los microelementos y otros elementos traza en las diferentes fracciones del suelo, particularmente luego de la incorporación de fertilizantes o biosólidos, o en suelos previamente contaminados. La concentración total suele utilizarse para relevamientos globales de micronutrientes, en las regulaciones para el uso de biosólidos y residuos peligrosos o para establecer límites de contaminación con elementos tóxicos. (Torri, et al. 2006)

➤ **Análisis foliar**

La concentración de nutrientes en tejido vegetal resulta de la integración de diversos factores, tales como suelo, clima, tipo de cultivo y manejo. De esta manera es posible evaluar el estado nutricional del suelo y del cultivo, observar la variación de concentración de los macro y micronutrientes a lo largo del ciclo del cultivo y determinar si el nivel de fertilidad del suelo es suficiente para cubrir el requerimiento vegetal. La ventaja que presenta este método es que permite registrar estados incipientes de deficiencia. Su empleo para el diagnóstico de la fertilización en nuestro país no se encuentra difundido para cultivos anuales extensivos, aunque suele utilizarse para cultivos frutales. El análisis foliar también es empleado para verificar la ausencia de elementos potencialmente tóxicos para el crecimiento de las plantas o animales, evitando su ingreso a la cadena alimentaria. Para interpretar los resultados del análisis foliar se utilizan dos criterios: rangos de suficiencia o relación entre nutrientes. (Torri, et al. 2006)

- Rango de suficiencia:

La concentración de micronutrientes en tejido vegetal varía según el momento fenológico del cultivo. Por lo tanto el momento de muestreo, el órgano y su posición en el vegetal se han estandarizado. En el caso de la soja, se sugiere hacer el muestreo antes de floración, recolectando dos o tres hojas completamente desarrolladas de la parte superior de la planta (Summer, 2000).

El rango de suficiencia se define como el rango de concentración entre el nivel crítico y la concentración por encima de la cual se produce toxicidad (Tabla 2). Si el valor determinado en tejido se encuentra dentro del denominado rango de suficiencia, se concluye que ese nutriente no es limitante para obtener altos rendimiento. Si por el contrario el valor cae por debajo de ese rango, se estima que el rendimiento se encontrará limitado por una deficiencia nutricional. (Torri, et al. 2006)

Tabla 2. Rangos de suficiencia para el cultivo de soja en estado de prefloración.

Cultivo	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Mo
	mg kg ⁻¹ materia seca					
Soja	51-350	21-100	10-30	21-51	21-55	1-5

Fuente: Small y Ohlrogg,. 1978.

- Relación entre nutrientes.

El Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS) permite establecer un orden de deficiencias e identificar desbalances entre nutrientes, aunque estos se encuentren por encima de su nivel crítico (Walworth y col., 1986) Las normas DRIS pueden diferir según los autores en función de las poblaciones evaluadas, dado que pueden ser desarrolladas en diferentes situaciones de balance óptimo (Reis, 2000). La mayoría de los trabajos publicados en el país sugieren que las normas internacionales resultan muy estrictas y éstas deberían adecuarse a las condiciones locales. (Torri, et al. 2006)

ANTECEDENTES

Las respuestas al uso de microelementos se han publicado para algunos cultivos de grano en la región Pampeana. Sin embargo, el uso más difundido se limita actualmente al boro en girasol, y al zinc en maíz y arroz. (Melgar, 2005).

A pesar de ser la soja el principal cultivo extensivo en Argentina, se han conducido escasos experimentos de campo con micronutrientes, excepto ensayos de tratamiento de semilla con Mo y Co durante la inoculación. Los resultados de rendimiento de semillas recubiertas con Mo y Co demuestran aumentos significativos de la producción en casi 50 % de los ensayos. (Melgar, 2005).

Las tablas 3 y 4 muestran resultados de ensayos realizados por grupos independientes en el sudeste y el norte de la región pampeana, en los cuales se evalúa un producto a base de Co y Mo agregado en el tratamiento de inoculación de semilla. Todo el proceso de ingestación, y reducción del N del aire para incorporarse a la biomasa de las leguminosas es mejorado simplemente por un mejor suministro de Co y Mo. (Melgar, 2005)

Tabla 3 Respuesta a la aplicación de soluciones de Co y Mo en cuatro variedades de semillas de soja. Valores de rendimientos promedio de tres repeticiones.

Variedad	Testigo	Tratadas	Diferencia
	-----	Kg./ha	-----
A4456	4.044	4.218	174
DM48	4.841	4.993	152
JOKETA	4.222	4.527	305
P9396	3.944	4.018	74

Ensayo realizado por el Dr. N. Darwich y col. 1999-2000, pH: 5,6; Mat. org.: 5,5% P disponible (0-20 cm): 20 ppm. Producto utilizado COMOSOL

Tabla 4. Efecto del tratamiento de semilla de soja con Co y Mo en el rendimiento promedio en cuatro localidades del norte de Bs.As. y Sur de Santa fe (Melgar y col., 2002).

Sitio	Campaña	TESTIGO	Tratadas	Diferencia
		-----	Kg./ha	-----
Santa. Teresa	1999/2000	3119	3802	683
V. da Fonte	1999/2000	3524	3802	308
Santa Teresa	1998/1999	4245	4624	379
Arequito	1998/1999	3431	3504	73

Ensayo realizado por R. Melgar, Camozzi y Lavandera. 1998-2000. Producto utilizado Co-Mo ® (inédito).

Ensayos de fertilización foliar efectuados en el INTA 9 de Julio, en los que se probaron dos tratamientos, uno con azufre y otro con una combinación de P, Mg y Mo encontraron respuestas significativas al agregado de S aplicado en V6 en lotes con niveles de 11 ppm de S-SO₄²⁻. Asimismo, si bien la fertilización conjunta de Mg, P y Mo resultó en aumentos considerables de rendimiento, los mismos no fueron estadísticamente significativos (tabla 5) (Torres Duggan, 2005)

Tabla 5: Efecto del agregado por vía foliar de meso y micronutrientes sobre el rendimiento de soja.

Fertilización con magnesio, fósforo y molibdeno		Fertilización con azufre	
Dosis	Rendimiento	Dosis	Rendimiento
L/ha	Kg/ha	L/ha	Kg/ha
0	3462 ^a	0	3462 ^b
5	3719 ^a	5	3586 ^{ab}
10	3924 ^a	10	3774 ^a
C.V.1 (%)	9.7		4.3
DMS2 (hg/ha)	626		291

Por otra parte Ferraris y Couretot (2004) mencionan incrementos en el rendimiento en forma significativa, en un ensayo realizado en la localidad de Pergamino, atribuidos al suministro, por vía foliar de macro y micronutrientes (tales como N, P, K, Co, B, Zn, Mn, Cl, Mb, Cu y Fe), sustancias de origen biológico o de ambas cosas a la vez. En este ensayo analizaron distintos momentos de aplicación del fertilizante foliar, encontrando respuestas significativas, respecto al testigo sin fertilizar, en los tratamientos realizados en V6, mientras que las aplicaciones en R3 no manifestaron diferencias significativas en lo que respecta a rendimiento. Las diferencias fueron explicadas por

cambios en el número de granos y no en el peso de los mismos. Esto guarda relación con los incrementos de rendimiento observados como resultado de la aplicación temprana de los fertilizantes foliares. La aplicación en V6 produjo un mejor crecimiento durante el cuajado y el crecimiento de las vainas lo que determinó un mayor número de granos. En cambio, la aplicación en estado reproductivo habría sido tardía para modificar este componente, y no produjo cambios en la tasa de llenado ni en su duración como para incrementar el peso de los granos (Ferraris y Couretot, 2004).

Estos mismos investigadores, al trabajar evaluando productos combinados a base de macro y microelementos, similares a los utilizado en el estudio aquí abordado (BASF Ca, Nitrofoska + BASF Zn y Nitrofoska + Nutrimix) (para la formulación de cada producto ver página 17) obtuvieron incrementos en forma significativa en todos los tratamientos en relación con el testigo. Los incrementos sobre el testigo oscilaron entre 277 y 474 kg ha⁻¹, lo que representa un aumento de entre el 9 y el 15 % (Gráfico 1). La fertilización foliar modificó significativamente el número de granos de todos los tratamientos (P=0,017, CV= 5,5 %), sin afectar su peso (P=0,96, CV=10,4 %). (Ferraris y Couretot, 2005).

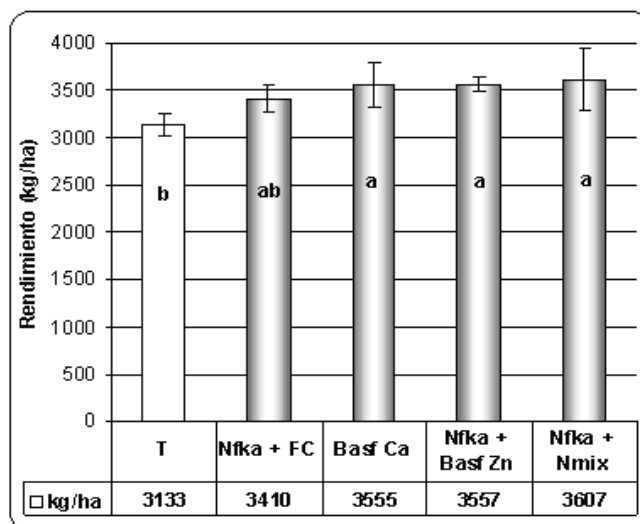


Gráfico 1: Rendimientos de grano como resultado de la aplicación de diferentes tratamientos de fertilización foliar, contrastados con un testigo. Letras distintas en las barras representan diferencias estadísticamente significativas (P<0,05). Las barras de error muestran la desviación Standard respecto de la media.

En otro ensayo realizado por estos mismos autores, en los que evaluaron respuesta en el rendimiento comparando distintos estados del cultivo al momento de la aplicación foliar, esta vez con dos productos que poseen una combinación de macro y microelementos (Chase SM3 GE +

Chase Nitro 4) como fertilizante foliar, no obtuvieron diferencias significativas en el rendimiento pero las tendencias fueron positivas en ventajas a los tratamientos fertilizados. Las diferencias sobre el testigo oscilaron entre 182 y 276 kg ha⁻¹ para los tratamientos de fertilización foliar, lo que representa incrementos del orden del 6,5 al 10 % (Gráfico 2). A su vez, sin diferencias significativas, los tratamientos de fertilización foliar mostraron una tendencia a incrementar el número de granos entre un 4,7 y un 9,6 % (Ferraris y Couretot, 2005).

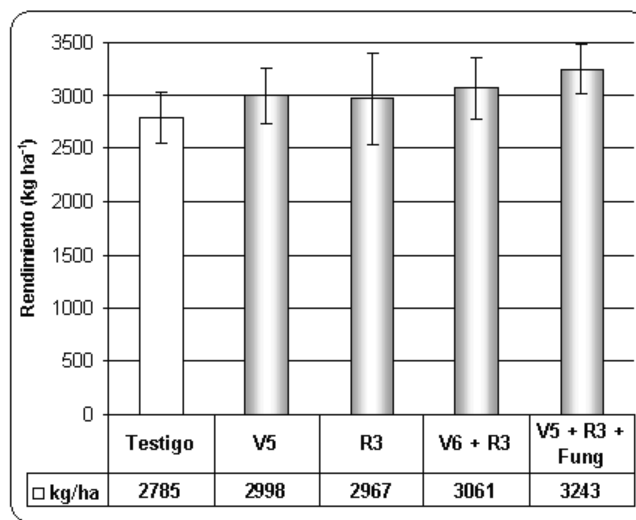


Gráfico 2: Rendimientos de grano como resultado de la aplicación de diferentes tratamientos de fertilización foliar y fertilización foliar más fungicida, contrastados con un testigo. Las barras de error muestran la desviación Standard respecto de la media.

La fertilización foliar es una estrategia interesante para incorporar en el manejo de la nutrición en soja. La fertilización nitrogenada complementaria en estadios reproductivos avanzados; sobretodo en sojas no noduladas; es una práctica que normalmente impacta positivamente en los rendimientos produciendo importantes respuestas que no solo cubren los costos del fertilizante sino que además determinan beneficios económicos considerables. La aplicación foliar con otros nutrientes primarios (K, P); de nutrientes secundarios (por ejemplo S) o micronutrientes; presenta resultados más variables, dependiendo de factores de manejo, del ambiente (clima, tipo de suelo, etc.). Por ello es necesario evaluar la eficiencia de esta práctica en condiciones locales. (Torres Duggan, 2005)

HIPÓTESIS

La adición de fertilizante foliar a base de micronutrientes en el cultivo de soja de primera, permitirá detectar respuestas diferenciales en el rendimiento.

OBJETIVO

El objetivo de esta experiencia es evaluar los efectos de los distintos fertilizantes foliares compuestos por micronutrientes, sobre el rendimiento de soja de primera, así como también sobre los componentes del mismo.

Objetivos específicos:

- Determinación del rendimiento
- Evaluación del número de vainas por metro cuadrado.
- Evaluación del peso de las semillas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Datos del campo:

Se realizó un ensayo de fertilización foliar con micronutrientes en el establecimiento “El Bajo Hondo”, ubicado a 15 km al sur de la localidad de General Viamonte, perteneciente al Partido de Junín ubicado al noroeste de la provincia de Buenos Aires. El mismo fue realizado en la campaña agrícola 2005/2006. El lote elegido para llevar a cabo el ensayo posee un suelo Hapludol típico con capacidad de uso II.

La historia agrícola del lote muestra dieciséis años de uso para producción agrícola, con cuatro de siembra directa continua y anteriormente agricultura convencional.

El cultivo antecesor es maíz y el potencial de producción del lote es alto, demostrado por los altos rendimientos obtenidos en campañas anteriores.

La variedad de soja implantada es la 3700 del semillero Don Mario perteneciente al grupo de madurez tres largo, la cual tiene un muy buen comportamiento en la región. La fecha de siembra fue el día 9 de noviembre la cual se realizó con una sembradora de siembra directa Brioschi con una distancia entre surcos de cuarenta centímetros y una dosificación de semillas de 85 kg por hectárea.

Se realizó un análisis de suelo previo a la siembra el cual arrojó los siguientes resultados:

Tabla 7. Análisis de suelo previos a la siembra.

Profundidad cm	M.O. %	p.H.	N. Total %	P ppm	S-SO ₄ ppm
0-20	2,74	5,6	0,14	13,2	7,4
20-40	2,34	5,7	0,12	12,7	6,8

Se fertilizó en el momento de la siembra con una mezcla comercial compuesta por Superfosfato triple y Fertisas, en relación 80/20, la cual posee un 37 % de P y un 16 % de S. Esta fertilización se realizó en la línea de siembra con una dosis de 53 Kg/ha, logrando un incremento de 3,22 ppm de fósforo y 3,26 ppm de azufre. Estos niveles de fertilización nos estarían dando una alta disponibilidad de P como se puede apreciar en la tabla 8 y una suficiente disponibilidad de S ya que niveles de 14 Kg de S-SO₄ nos estarían asegurando rendimientos superiores a 95% (Ferraris et al, 2003).

Tabla 8. Clases de disponibilidad de P de suelo para el cultivo de soja (Gutiérrez Boem y Scheiner, 2006)

	Clases de disponibilidad de P				
	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
P Bray I (mg kg ⁻¹ , 0 - 20 cm)	< 3,5	3,5 – 8	8 - 12,5	12,5 - 18	> 18
Rendimiento relativo (%)	- 80	80 – 90	90 - 95	95 - 98	+ 98

Antes del momento de la aplicación foliar de los micronutrientes se realizó una segunda toma de muestra del suelo de 0 a 10 y de 10 a 20 cm. de profundidad del lote, fuera de la línea de fertilización y se determinó la concentración de macro y micronutrientes de la parcela en la que se llevó adelante el ensayo (Tabla 9). En este mismo momento se tomó muestra de hojas, siendo recolectado el último trifolio completamente expandido de la planta y con un mínimo de cien hojas escogidas al azar, se dejaron secar a temperatura ambiente y luego fueron guardadas en bolsas de papel. Las mismas fueron llevadas al laboratorio de A. C. A. Pergamino en donde se les realizó un análisis foliar (Tabla 10). La interpretación de los resultados se basó en el rango de valores críticos citado por Small y Ohlrogge, (1978).

Tabla 9. Análisis de suelo al momento de la aplicación foliar.

Profundidad cm.	K ppm	Mg ppm	Ca ppm	Zn ppm	Mn ppm	Cu ppm	Fe ppm	B ppm
0-20	602	204	1358	2,1	26	0,78	327	1,64
20-40	547	215	1471	1,85	18,7	0,68	195	1,18

Tabla 10. Análisis de hoja al momento de la aplicación foliar.

Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Azufre	Calcio	Magnesio	Zinc	Hierro	Manganeso	Cobre	Boro
% N	% P	% K	% S	% Ca	% Mg	ppm Zn	ppm Fe	ppm Mn	ppm Co	ppm B
5,61	0,36	2,7	0,22	0,51	0,38	48,5	93	55	16,9	94,9

Tratamientos realizados:

La fertilización foliar se realizó el día 19 de enero cuando más del ochenta por ciento de plantas del cultivo de soja se encontraba en el estado fenológico fin de R2 y principios de R3 según escala de Fehr y Caviness (1977), y los tratamientos realizados y su correspondiente dosis fueron los siguientes:

Tratamiento 1: Nitrofoska foliar 3 lts/ha + Nutrimix 0,5Kg/ha. (Nfka+ Ntmix).

Tratamiento 2: Basfoliar Boro 1ltr/ha + Basfoliar Calcio 1ltr/ha. (Bfol Ca+ Bfol B).

Tratamiento 3: Bio Q micronutrientes quelatados de la empresa Orius 1 lt/ha+ coadyuvante. (Bio-Q).

Tratamiento 4: Fósforo + Potasio aplicación foliar de la empresa Canon 1 lt/ha. (Canon (P+K)).

Tratamiento 5: Fósforo + Potasio aplicación foliar de la empresa Canon 1 lt/ha + Kadima 100 cc. (Canon+Mo-Co).

Tratamiento 6: Testigo sin fertilizar.

Datos de los productos utilizados.

Nitrofoska foliar: Fertirriego foliar líquido, marca Compo originario de Chile, su grado es de 10 – 0,2 – 0,7 y contiene N 10%, P asimilable 2%, K 6%, Mg 0,31%, y trazas de B, Mn, Cu, Zn, Fe, S, Co y Mo

Nutrimix: Marca Basf, de origen Alemán, su grado es de 10-0-0, y contiene S 15%, Cu 3%, Mn 4%, Zn 3%, Mo 0,04% y trazas de micronutrientes quelatados EDTA.

Basfoliar Boro: Solución líquida. Es un fertilizante foliar líquido de marca Compo, de origen Chileno, y contiene 10 % p/p de boro.

Basfoliar Calcio: Solución líquida. Fertilizante foliar concentrado soluble de marca Compo, de origen Chileno, y contiene 17% p/v calcio.

Bio Q: Balanceador nutricional orgánico mineral con quelatos en aminoácidos suspensión concentrada de la empresa Orius, originario de Colombia. Contiene K soluble en agua 46,0 g/l, B 0,5 g/l, Mg 15 g/l, Cu 5 g/l, Mn 7 g/l, Zn 8 g/l y aminoácidos 35 g/l.

Canon: 30% de P₂O₅ y 26% de K₂O.

Kadima: Fertilizante foliar líquido con 17% de Mo y 1,7% Co.

En la tabla 11 se muestra un resumen de cada tratamiento con las dosis utilizadas para cada uno de los elementos que las componen. Las dosis utilizadas son las recomendadas en marbete por las distintas empresas.

Tabla 11: Tratamientos y dosis en gramos de elemento por hectárea.

Tratamiento	Nº	Dosis Lts o Kg/ ha	AA	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	Ca	OMg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo	Co
Nitrofoska Foliar	1	3		300	12	21			0,6	0,05	0	0	0	0,01	0,01	
Nutrimix		0,5		40			75				20	15	15			
Total (gramos)				340	12	21	75		0.6	0.05	20	15	15	0.01	0.01	
Basfoliar boro	2	1												133		
Basfoliar calcio		1						170								
BIO-Q*	3	1	35			46			15		7	8	5	0,5		
Coadyuvante		1														
Canon	4	1			300	260										
Canon	5	1			300	260										
Kadima		0,1													17	1,7
TESTIGO	6															

El tamaño de parcela fue de 10.500 m², con lo que cada tratamiento consta de una superficie de 31.500 m².

La aplicación foliar se efectuó con un equipo pulverizador autopropulsado marca Pla con un volumen de aplicación de 115 litros por hectárea y con 55 libras de presión por pulgada cuadrada, con picos en forma de abanico plano con pastillas 8002, distanciados a cincuenta centímetros, con un ancho de labor de 21 m. La aplicación se realizó entre las 15:00 hs y 17:00 hs con una velocidad del viento que oscilaba entre los 7 y 10 Km/h.

El diseño experimental utilizado fue el de bloques completos aleatorizados, con tres repeticiones. La cosecha se realizó el día 22 de abril con una maquina John Dere 1550, se determinó el rinde de cada parcela usando para pesar un carro con balanza electrónica. Con el objetivo de determinar los distintos componentes de rendimiento se cosecharon en forma manual tres submuestras de cada parcela, con los cuales se midió número de grano por metro cuadrado y peso de mil granos.

RESULTADO Y DISCUSIÓN

Las precipitaciones registradas en la campaña 2005/06 resultaron algo por debajo de lo normal en el período otoño invierno primaveral, durante el barbecho del cultivo. La implantación del cultivo se realizó con buenas condiciones de humedad de suelo, dado que se registraron lluvias durante el mes de noviembre que superaron los 100 mm. Durante el verano el registro de lluvias fue normal, con un mes de enero lluvioso, lo que permitió un óptimo estado de humedad en el suelo durante todo el período crítico del cultivo, lográndose con esto condiciones ideales para el crecimiento del mismo.

En la siguiente tabla se muestran las lluvias acontecidas durante dicho período (Tabla 12).

Tabla 12: Precipitaciones históricas promedio y de la campaña 2005/06.

Mes	may	jun	jul	Ago	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	Anual
Promedio *													
1990-2005	70,4	30,7	26,7	46,6	44,1	124,2	117,8	119,9	132,1	94,8	139,2	132,3	1072,3
Campaña													
2005-2006	0,7	7	40,7	87,6	64	35	108,9	45,9	227	90,8	97,8	138,9	944,3

* Datos suministrados por el Servicio Meteorológico Nacional, estación Junín.

Resultado del análisis foliar.

No existe información hasta el momento sobre rangos de suficiencia para micronutrientes en soja realizada en nuestro país que nos permita realizar un diagnóstico preciso. En este caso se tomó como referencia valores propuestos por Small y Ohlrogg, 1978, basados en estudios realizados en Estados Unidos. Estos valores deberán ser validados por investigaciones realizadas en la región en los cuales se tengan en cuenta las condiciones de producción local.

Tabla 13: Diagnóstico de suficiencias.

Nutriente	Rango optimo de suficiencia*	Resultado de análisis foliar	Diagnóstico
	%	%	
Nitrógeno	4.3-5.5	5,61	Elevado
Fósforo	0.25-0.5	0,36	Optimo
Potasio	1.7-2.5	2,7	Elevado
Calcio	0.35-2.0	0,51	Optimo
Magnesio	0.25-1.0	0,38	Optimo
	ppm	ppm	
Hierro	51-350	93	Optimo
Manganeso	21-100	55	Optimo
Cobre	10-30	16,9	Optimo
Zinc	21-51	48,5	Optimo
Boro	21-55	94,9	Elevado
Molibdeno	1-5		

* Fuente: Small y Ohlrogg, 1978

Según los resultados obtenidos del análisis de las hojas en R3, se vio que en todos los casos la concentración de los micronutrientes era óptima, a excepción del boro que se encontraba en niveles superiores a los óptimos. (Tabla 13).

Efecto de los distintos tratamientos.

Los resultados de los análisis estadísticos, indican que no hubo diferencias significativas entre el testigo y los distintos tratamientos ni entre los distintos tratamientos entre sí (Gráfico 3).

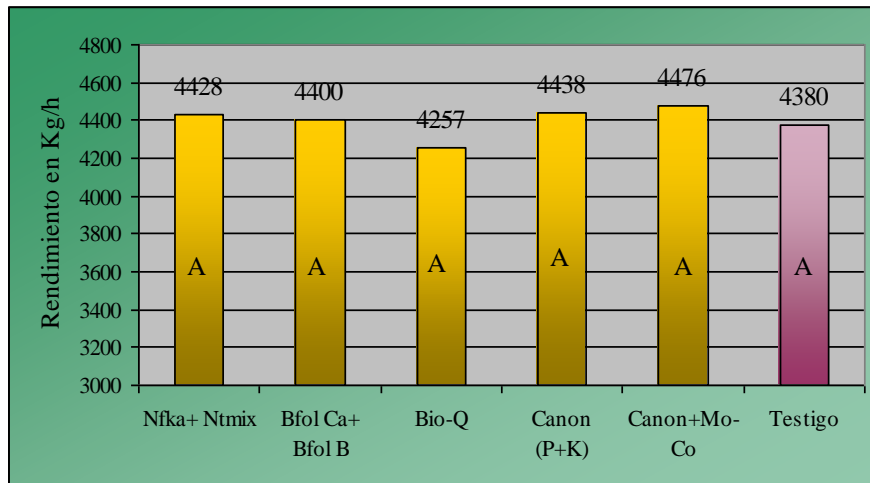


Gráfico 3: Rendimiento de los distintos tratamientos

Letras distintas indican diferencias significativas ($p <= 0.05$)

Test: Tukey. Alfa: $= 0.05$. DMS: $= 265,95035$. Error: $1603,58$ gl: 10

Con excepción del tratamiento con Bio Q, todos los tratamientos se mantuvieron con rindes por encima del testigo, destacándose los productos que contenían agregado de P_2O_5 y K_2O (Canon P+K) siendo este levemente superior al agregársele un compuesto con Mo y Co (Kadima). Esto manifiesta que ante cantidades suficientes de macronutrientes, la adición de Mo y Co resulta una leve tendencia en la mejora del rendimiento, aunque ésta no llega a ser significativa. Esto esta en concordancia con los resultados obtenidos en los trabajos antes vistos (Darwich y col., 2000 y Melgar y col., 2002)

Analizando el número de vainas por metro cuadrado, se obtiene como resultado una media de 632 vainas, y los valores de los distintos tratamientos arrojan un desvío no mayor de 2,8 % con respecto a la media (Gráfico 4). Se observa que no hay diferencias significativas entre los distintos tratamientos, quedando de manifiesto que ante el agregado de micronutrientes y bajo condiciones

edafoclimáticas particulares como las del caso en estudio, no fueron logrados aumentos en el número de vainas por superficie.

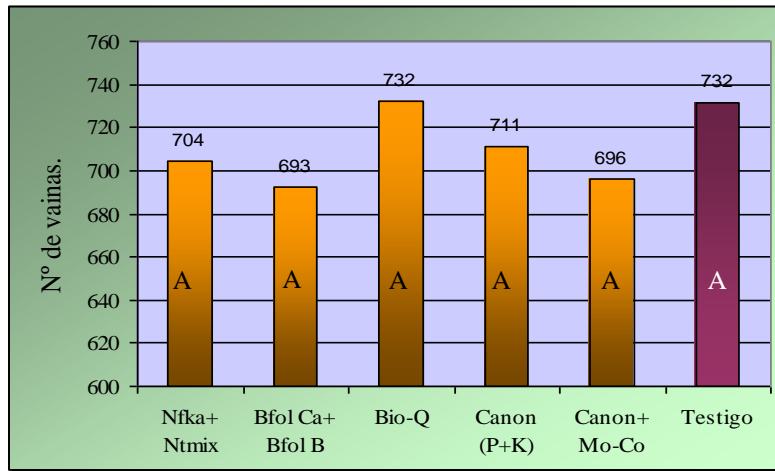


Gráfico 4: Número de vainas por metro cuadrado.

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

Test: Tukey Alfa: 0,05 DMS: 185,826. Error: 8794,3889 gl: 10

En el caso del peso de mil semillas, se logró un promedio de 161,1 gramos. Entre los distintos tratamientos se relevó una oscilación no mayor al 2,2 % con respecto a la media, sin diferencias significativas entre tratamientos (Gráfico 5). Esto indica que el aporte de micronutrientes en forma foliar no fue determinante para lograr un mayor llenado de los granos y su consiguiente mayor peso.

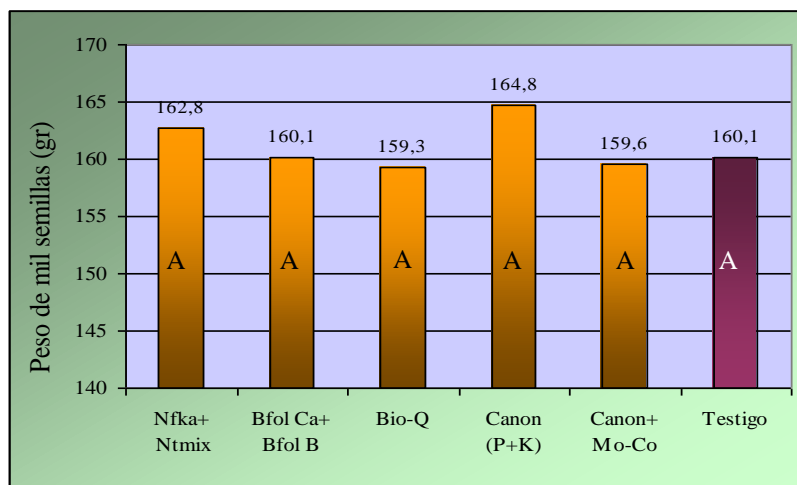


Gráfico 5: Peso de mil semillas.

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

Test: Tukey Alfa: 0,05 DMS: 6,93136 Error: 5,9737 gl: 10

Analizados los resultados se puede arribar a que, en el presente ensayo, el aporte de micronutrientes provenientes del suelo no fue limitante para el desarrollo del cultivo, no siendo necesaria una complementación vía foliar para lograr mejoras en el rendimiento.

Feraris y Couretot (2004) en sus evaluaciones encontraron que las diferencias halladas a favor de los tratamientos con fertilización foliar eran explicadas por un aumento en el número de granos, (incrementos que variaban entre 180 y 305 granos/m² por encima del testigo) y no por el peso ya que, al igual que en este ensayo, el peso de los mismos no manifestó variación.

La disponibilidad de algunos micronutrientes como Fe, Co, Zn, Mn y Cu es máxima cuando el pH es menor a 6 y se reduce al acercarse a la neutralidad (pH=7) (González *et al.*, 1998). Esto puede explicar la ausencia de respuesta a la fertilización foliar como quedó manifestado en este ensayo, donde los suelos poseen niveles de pH que rondan los 5,5 - 5,7 mientras que en la situación estudiada por Ferraris y Couretot (2004), el valor de pH de los suelos con el que se trabajó fue de 6,7 por lo que el cultivo pudo haber sufrido carencia de algún microelemento por encontrarse insoluble en el suelo, y su aplicación vía foliar habría corregido esta deficiencia incrementando los rendimientos.

Mousegne (2004), evaluando tratamientos similares a los de Ferraris y Couretot (2004) en San Antonio de Areco, informó incrementos de magnitudes similares a las observadas por ellos (2,4 a 14,2 %), resultando la de mayor rendimiento una mezcla de dos productos comerciales que combinan varios macro y micronutrientes. (Nitrofoska más Fetrilon Combi). Esta última combinación también alcanzó los rendimientos máximos en un ensayo conducido por Bertoia (2004), con una respuesta de 614 kg. ha⁻¹, equivalente a un 30 % por encima del testigo.

Estas experiencias constituyen una evidencia de que están surgiendo deficiencias de nutrientes no tradicionales debido a la prolongada historia de extracción de los mismos en lotes bajo agricultura continua, y que cuando estos son aportados por una vía que permite una absorción y metabolización eficiente es probable observar respuestas a su agregado.

Sin embargo, la carencia de respuesta a la fertilización foliar demostrada en nuestro ensayo pone de manifiesto que no en todas las situaciones de producción, incluso las intensivas, es necesaria la complementación con micronutrientes para el logro de rendimientos potenciales.

Esta va a estar determinada por factores tales como: a) Condiciones químicas como concentración y disponibilidad de macro y micro nutrientes, pH del suelo y otros que garanticen una óptima oferta nutricional; b) Condiciones físicas como ausencia de compactación, macro y micro porosidad, que permitan un óptimo desarrollo y exploración radicular; c) Condiciones biológicas como presencia

de macro y micro fauna, organismos promotores de crecimiento, que intervengan en la degradación de materiales orgánicos y solubilización de nutrientes necesarios para la nutrición de la planta.

Para determinar la conveniencia de dicha adición será necesaria la evaluación exhaustiva de cada unidad de producción.

CONCLUSIONES

- ❖ La aplicación foliar de micronutrientes, a pesar de que la mayoría de los tratamientos manifestaron tendencia al aumento del rendimiento, no resultaron en diferencias estadísticamente significativas que avalen que dicho incremento se haya debido al aporte realizado por los micronutrientes.
- ❖ En el caso del número de vainas por metro cuadrado, la adición de micronutrientes no generó variaciones en la magnitud de dicha variable.
- ❖ Analizando el peso de las semillas, los resultados manifiestan que el aporte de micronutrientes no generó en este caso diferencias significativas.
- ❖ Estos resultados pueden explicarse por la suficiente disponibilidad de micronutrientes en la solución del suelo al momento de la experiencia, que se mantuvo a lo largo del período de crecimiento del cultivo.

CONSIDERACIONES FINALES

- Se propone el uso de modelos estadísticos más sensibles, que permitan exponer variaciones de menor cuantía.
- En el caso de no contar con grandes deficiencias de micronutrientes en el medio edáfico, no se esperan, -con la aplicación de micronutrientes-, un gran incremento de rendimiento. De todas maneras estos pequeños incrementos pueden resultar económicamente rentables y en consecuencia conveniente su utilización.
- Justificar una fertilización foliar desde el punto de vista económico es difícil, ya que a pesar de que su costo es relativamente bajo, los aumentos esperados no son altos.
- La fertilización foliar ha sido considerada una de las estrategias más eficientes de aplicación de nutrientes esenciales a las plantas. Sin embargo, los resultados reportados por la bibliografía son inconsistentes y muy diversos. Así, se han encontrado situaciones con importantes aumentos de rendimiento, efectos nulos y en ciertas circunstancias se hallaron pérdidas de producción por daños en hojas.
- Gran parte de la variabilidad de los resultados obtenidos en la literatura es atribuida a factores ambientales; diferencia de genotipos y de fertilidad de suelos. Por lo tanto, la

aplicación foliar de nutrientes debe considerarse como una herramienta tecnológica más a ser considerada dentro del manejo nutricional del cultivo de soja.

- Las concepciones más modernas en el manejo de nutrientes consideran a la fertilización foliar como una estrategia complementaria de agregado de nutrientes esenciales. Por ello no debería reemplazar al manejo tradicional de los fertilizantes sino potenciar y mejorar su eficiencia.

BIBLIOGRAFÍA

- ANDRADE, F. H., H. E. ECHEVERRÍA, N. S. GONZALEZ y S.A. UHART. 2000. Requerimientos de nutrientes minerales. En: Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Andrade, F. H. y V. O. Sadras. (eds). Editorial Médica Panamericana S.A. Buenos Aires. p. 211-232
- BARBER, S. 1984. Modeling nutrient uptake by plant roots growing in soils. En: Soil nutrient bioavailability. A mechanistic Approach. John Wiley & Sons, Eds. New York. USA. pp. 114-136.
- BERTOIA, L. 2004. Soja. Fertilización foliar con fertilizantes. Compo. 5 pp.
- BURTON, W.G. 1989. The Potato. 3rd Ed. Longman Scientific & Technical, Harlow, UK.
- COIC, Y. y M. COPPENET. 1993 Los oligoelementos en la agricultura y ganadería. Editorial Hemisferio Sur.
- DARWICH, N. y col. 2000. Inédito En:
<http://www.fertilizando.com/articulos/UsodeMicronutrientesenCultivosdeGruesa.asp>
- DE DATTA, S.1989. II. Cereal Crops: 4. Rice p. 40-56. In: Plucknett, D. y H. Sprague (eds.). Detecting mineral nutrient deficiencies in tropical and temperate crops. Westview Press Inc.
- FEHR, W. R. y C. E. CANIVESS. 1977. Stage of soybean development. Ames. En: Agriculture and home economic experiment station and cooperative extension service, Iowa State University. Special report 80. 11 p.
- FERRARIS, G. N. 2001. Nutrición: La cosecha que se lleva el carretón del lote. Revista Fertilizar, VI (24):28-29.
- FERRARIS, G., F. GUTIÉRREZ BOEM y H. ECHEVERRÍA. 2002. Respuesta a la fertilización en el cultivo de soja de primera. IDIA XXI, II (3): 52-58.
- FERRARIS, G.; F. GUTIÉRREZ BOEM, F. SALVAGIOTTI y P. PRYSTUPA. 2003. Fertilización azufrada en soja. Validación de herramientas de diagnóstico y elaboración de estrategias de recomendación. Informe módulo de investigación del Proyecto Fertilizar. 20 pp. Web site www.fertilizar.org

- FERRARIS, G. N. y L. A. COURETOT. 2004. Evaluación de dos fertilizantes con agregados orgánicos en soja de primera. Proyecto regional agrícola, campaña 2003/2004. Desarrollo rural INTA. En:<http://www.inta.gov.ar/PERGAMINO/info/documentos/fertilización-foliar.pdf>
- FERRARIS, G. N. y L. A. COURETOT. 2005. Evaluación de fertilizantes foliares en Soja de Primera. Proyecto regional agrícola, campaña 2004/2005.
- GARCIA R. y J. HANWAY. 1976 Foliar fertilization of soybeans during the see filling period. Agr. Jr. 68: 653-57.
- GARCÍA, F. 2000. Requerimientos nutricionales de los cultivos. En: Jornada de actualización técnica para profesionales "Fertilidad 2000", pp. 40-43. INFOFOS, Rosario.
- GARCÍA, F., M. RUFO e I. DAVEDERE. 1999. Fertilización de pasturas y verdeos. Información agronómica del Cono Sur. 1:2-11.
- GONZALEZ, M., A. SAGAT y M. CONTI.1998. Reacción del suelo. pp 183-200 En: Conti M. (ed). Principios de edafología con énfasis en suelos Argentinos.1^{er} edición. Orientación gráfica editora, Buenos Aires. Argentina
- GUTIÉRREZ BOEM F. y J. SCHEINER. 2006. Soja. Pag 283-300. En: H. E. Echeverría y F. O. García (eds.). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina.
- KABATA-PENDÍAS, A. y H. PENÍAS 1992. Trace elements in soils and plants. 2nd Ed. CRC Press, Inc., Boca Raton. FL, USA.
- MADDONNI, G. A., S. URRICARIET, C. M. GHERSA y R. S. LAVADO. 1999. Assesing soil quality with soil propertiesand maize growth in de Rolling Pampa. Agron. J. 91:280-287.
- MALAVOLTA, E., G. VITTI y S. De OLIVIRA. 1997. Avaliacao do estado nutricional das plantas: Principios e aplicacón 2^{da} Ed. POTAFOS. Piracicaba, Sao Pablo, Brasil.
- MELGAR, R.J., J. LAVANDERA y CAMOZZI, M. 2002. Elemental Sulfur as Nutrient for Crops in the Pampean Mollisols of Argentina. XVI International Soil Science Congress. Bangkok, Thailand 2002

- MELGAR, R. 2005. Uso de micronutrientes en cultivos de gruesa. Proyecto Fertilizar INTA Pergamino. En: <http://www.elsitioagricola.com/articulos/melgar/UsodeMicronutrientesenCultivosdeGruesa.asp>
- MOUSEGNE, F. 2004. Aplicación de fertilizantes de base y foliares. Campaña: 2003-2004. En: Soja. Informe del Proyecto Regional Agrícola. 6 pp.
- REIS, A. 2002. DRIS norms universality in the corn crop. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 33:711-735.
- SMALL, H. y A. OHLROGGE. 1978. Plant analysis as an aid in fertilizing soybeans and peanuts. In: Walsh, L., L. Alsh and J. Beaton (eds.). Soil testing and plant analysis (revised edition). SSSA, Madison, WI, USA.
- SUMMER, M. E. 2000. Diagnóstico de los requerimientos de fertilización de cultivos extensivos. Congreso Argentino de Siembra Directa. Mar del Plata, 16-18 Agosto 2000. AAPRESID. Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina.
- TORRES DUGGAN, M. 2005. Fertilización foliar en soja. Proyecto Fertilizar INTA Pergamino. En: <http://www.fertilizando.com/articulos/FertilizacionFoliarenSoja2002.asp>
- TORRI, S. I.; S. URRICARIET y R. S. LAVADO. 2006. Micronutrientes y otros elementos traza. Pág. 189-205. En: H. E. Echeverría y F. O. García (eds.). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina.
- VASILAS, B.L., J.O. LEGG y D.C. WOLF. 1980. Foliar fertilization of Soybeans: Absorption and translocation of ¹⁵N labeled urea. Agr. Jr.. 72:271-275
- VENTIMIGLIA, L., H. CARTA, y S. RILLO. 2000. Soja: Mejorando el rendimiento con la estimulación. En: Experimentación en campos de productores. Cosecha gruesa, campaña 1999/00. UEEA 9 de Julio, INTA. pp. 114-121.
- WALWORTH, J., W. LETZSCH y M. SUMMER. 1986. Use of boundary lines in establishing norms. Soil Sci. Soc. Am. J. 50: 123-128.
- WICHMANN, W. (ed). 2000. World Fertilizer Use Manual IFA. BASF AG, Germany.