

## FERTILIZACION DEL CULTIVO DE SOJA

Ing. Agr. (M.Sc.) Gustavo Néstor Ferraris

Desarrollo Rural INTA EEA Pergamino

[nferraris@pergamino.inta.gov.ar](mailto:nferraris@pergamino.inta.gov.ar)

Los suelos de la región pampeana se caracterizan por su fertilidad natural, que los hace sumamente aptos para la siembra y obtención de cultivos de cosecha. Sin embargo, aun cuando en los últimos años se ha incrementado la utilización de fertilizantes, las cantidades aportadas no son suficientes para reponer la extracción realizada a través de las cosechas, y el proceso de deterioro en la fertilidad de los suelos continúa, aunque ha sido disimulado durante mucho tiempo por la gran plasticidad de la Soja, que es el cultivo predominante en la rotación. Dicho cultivo es capaz de obtener altos rendimientos con baja disponibilidad de nutrientes en el suelo (Hanway and Olsen, 1980; Gutiérrez Boem et al., 1999).

### Necesidades nutricionales del cultivo de Soja

La Soja presenta un comportamiento muy peculiar desde el punto de vista nutricional. Si bien es capaz mantener rendimientos relativamente altos en condiciones de baja fertilidad, por otra parte presenta mayores requerimientos de nutrientes por tonelada de grano cosechado que los demás cultivos extensivos sembrados en la región pampeana (García, 2000). En la Tabla 2 se presentan los requerimientos de macro y micronutrientes esenciales para trigo, maíz y soja.

**Tabla 2:** Requerimientos nutricionales y fracción exportada en los granos de Soja, Maíz y Trigo. (adaptado de García, 2000)

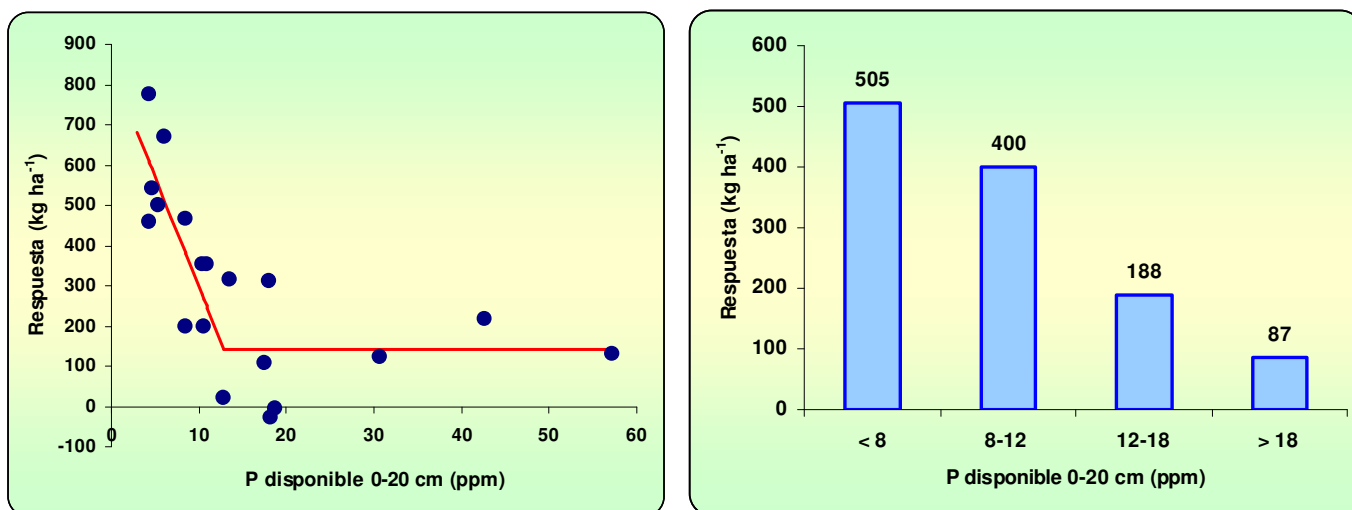
Nutriente	Soja		Maíz		Trigo	
	Requerimientos	Índice cosecha	Requerimientos	Índice cosecha	Requerimientos	Índice cosecha
Nitrógeno	80	0,75	22	0,66	30	0,66
Fósforo	8	0,83	4	0,75	5	0,75
Potasio	33	0,59	19	0,21	19	0,17
Azufre	7	0,80	4	0,45	4,5	0,25
Calcio	9	0,30	3	0,07	3	0,14
Magnesio	7	0,66	3	0,27	3	0,50
Boro	0,025		0,02	0,25	0,025	
Cobre	0,025	0,53	0,013	0,29	0,010	0,75
Zinc	0,182	0,44	0,053	0,50	0,052	0,44
Hierro	0,900		0,125	0,36	0,137	
Manganeso	0,450	0,33	0,011	0,17	0,070	0,36

La soja se caracteriza también por exportar una fracción mayor de los nutrientes absorbidos con relación a otros cultivos. Esta característica se presenta de manera notable en el caso de azufre (S) y del potasio (K). Para el caso particular de S, el índice de cosecha ( $\text{kg de S en grano} : \text{kg de S absorbido}^{-1}$ ) es de 0,25; 0,45 y 0,80 para trigo, maíz y soja, respectivamente (Tabla 2). Esto determinó que las áreas en las que el cultivo se difundió rápidamente, fueran las primeras en expresar deficiencias del nutriente (i.e. centro –sur de Santa Fe). Se han mencionado mecanismos de transporte facilitado dentro de la planta que le permiten a la soja acumular grandes cantidades de nutrientes en los granos (Marschner, 1995). Así por ejemplo, Sunarpi y Anderson (1998) demostraron para el transporte de S en forma de sulfatos –forma química móvil- hasta los granos, y la posterior reducción en el destino final para constituir las proteínas del grano.

### Respuesta al agregado de fósforo (P)

El P es un nutriente poco móvil, y se cuenta con una metodología precisa para su cuantificación en suelos neutros a ligeramente ácidos como el método Bray y Kurtz N°1 (Bray y Kurtz, 1945). Para la

región del centro-norte de Buenos Aires y sur de Santa Fe, se ha determinado que la respuesta se incrementa cuando la disponibilidad de P en la capa superficial del suelo (0-20 cm) se reduce por debajo de 13 ppm. De este modo, el nivel crítico sería de 12 ppm de P, donde es esperable obtener una respuesta del orden de los 200 kg ha<sup>-1</sup>, que permitiría pagar el costo de 20 kg ha<sup>-1</sup> de P, dosis con la que fueron fertilizados los ensayos que originaron estos umbrales. Si se hace una división por Tipo de suelo, se observa que la respuesta fue ligeramente superior en suelos Hapludoles franco-arenosos respecto de los Argiudoles francos o franco-limosos. Esto se debería a la menor capacidad de los suelos Hapludoles para liberar fosfatos ante la demanda del cultivo en una situación de baja disponibilidad del nutriente en el suelo.



**Figura 1:** Respuesta media del cultivo de soja al agregado de 100 kg ha<sup>-1</sup> de Superfosfato triple (0-20-0) incorporado a la siembra en el centro-norte de Buenos Aires y Sur de Santa Fe, en función de la disponibilidad de P en los primeros 20 cm de suelo. En base a 22 ensayos entre las campañas 2000/01 y 2004/05.

En situaciones de deficiencia del nutriente, aplicaciones localizadas de P han demostrado mayor respuesta y eficiencia agronómica de uso del nutriente (kg grano/kg P) (Figura 2).

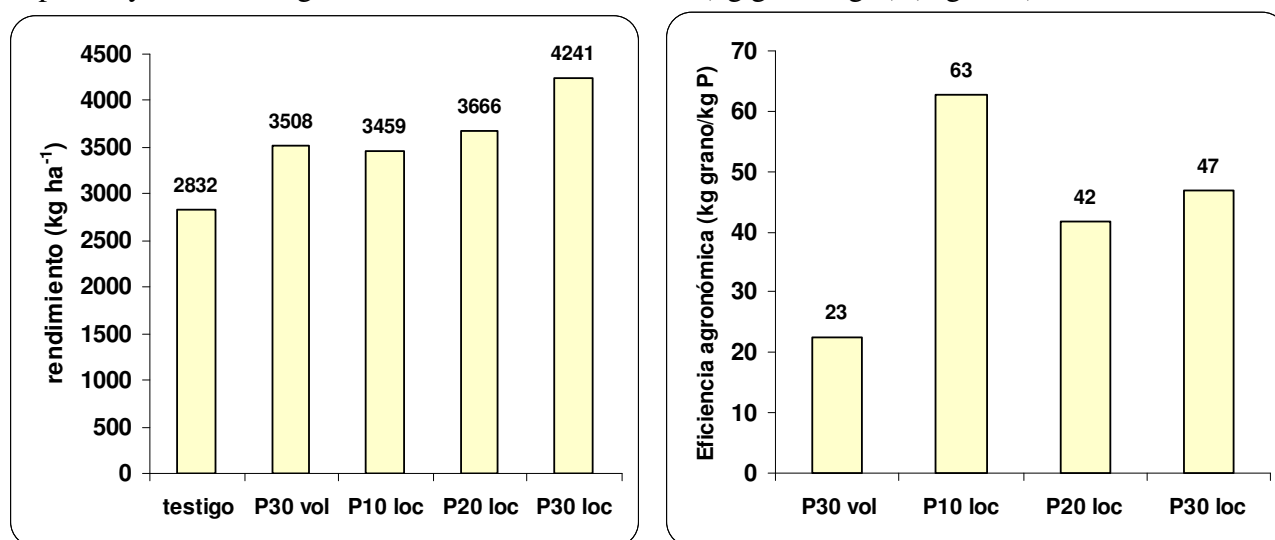
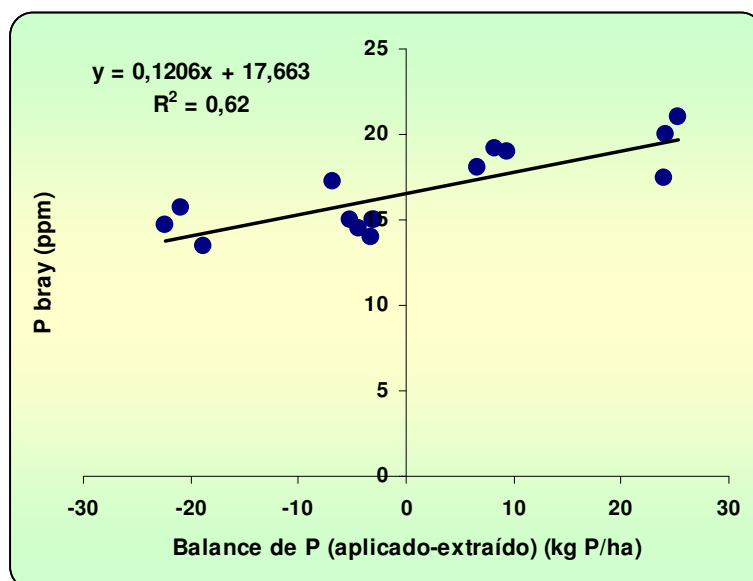


Figura 2.a

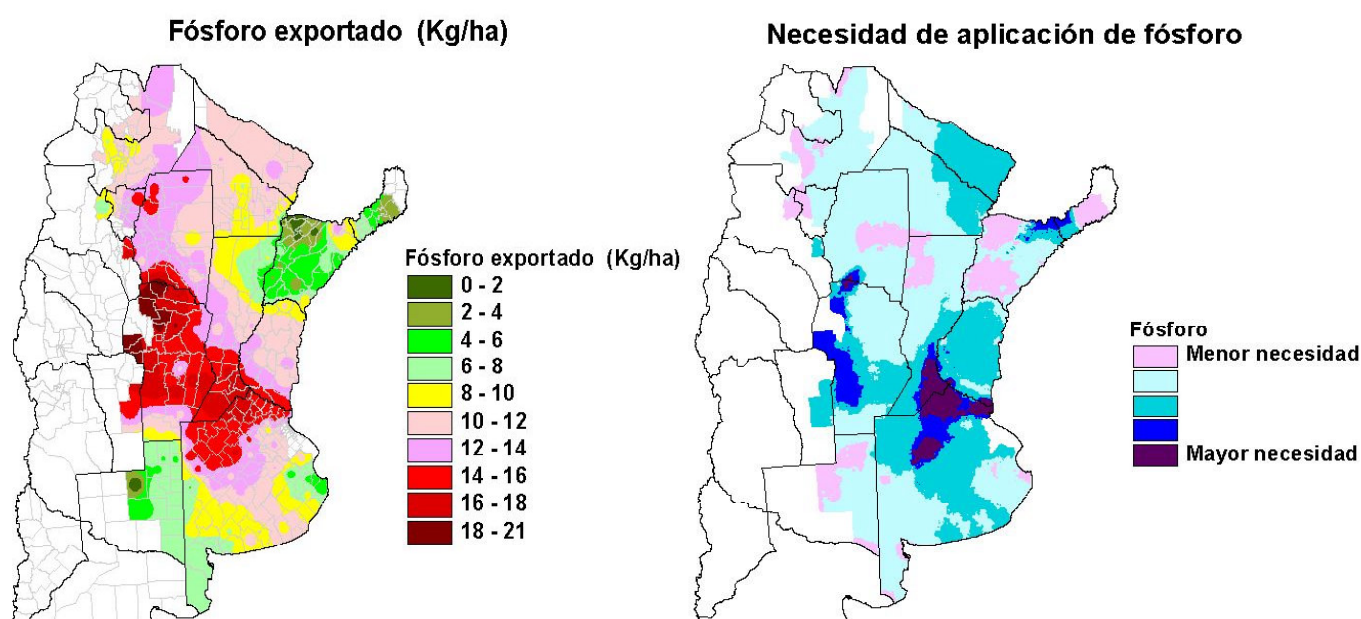
Figura 2.b

**Figura 2:** Rendimientos (2.a) y eficiencia agronómica (2.b) como resultado del agregado de dosis crecientes de fósforo localizado a la siembra del cultivo (loc), o al voleo anticipado (vol) en Wheelwright, General López, Santa Fe. P disponible a la siembra 11 ppm (0-20 cm). Campaña 2003/04.



**Figura 3:** Cambios en la disponibilidad de fósforo luego de un cultivo de soja en función del balance del nutriente en el suelo (aplicado – extraído). La inversa de la pendiente de la recta  $-42 \text{ kg ha}^{-1}$  representa la dosis de Superfosfato Triple de Calcio necesaria para incrementar la disponibilidad del nutriente en 1 ppm.

El P es un nutriente de baja movilidad y prolongada residualidad, gracias a que una vez en el suelo, es adsorbido por el complejo coloidal. Por esta razón, con este nutriente tiene singular importancia el mantenimiento de estrategias de largo plazo que contemplen la restitución de la fracción que es exportada con los granos. En la región norte de Buenos Aires y sur de Santa Fe la utilización de estrategias de suficiencia basadas en umbrales críticos y respuesta económica ha causado un continuo devenir en la disponibilidad de fósforo, llegando frecuentemente a niveles por debajo de 10 ppm, considerados muy bajos. Elevar el nivel de fósforo implica agregar dosis del nutriente por encima de la extracción de los granos. Para un suelo Argiudol típico serie Rojas del partido de General Arenales, se determinó que es necesario agregar  $8,2 \text{ kgP ha}^{-1}$ , equivalente a  $42 \text{ kg P ha}^{-1}$  de Superfosfato triple de Calcio para elevar la disponibilidad de P en el suelo en 1 ppm.



**Figura 4:** Exportación anual de P y su necesidad de aplicación para las diferentes regiones productivas. (Cruzate y Casas, 2003).

Sobre la base de lo expuesto, en la Figura 5 se plantea un sistema de recomendación a partir del análisis en capa superficial de suelo. La dosis elegida y la decisión de fertilizar en suelos bien provistos dependerá de que el productor adopte una filosofía de suficiencia o reposición.

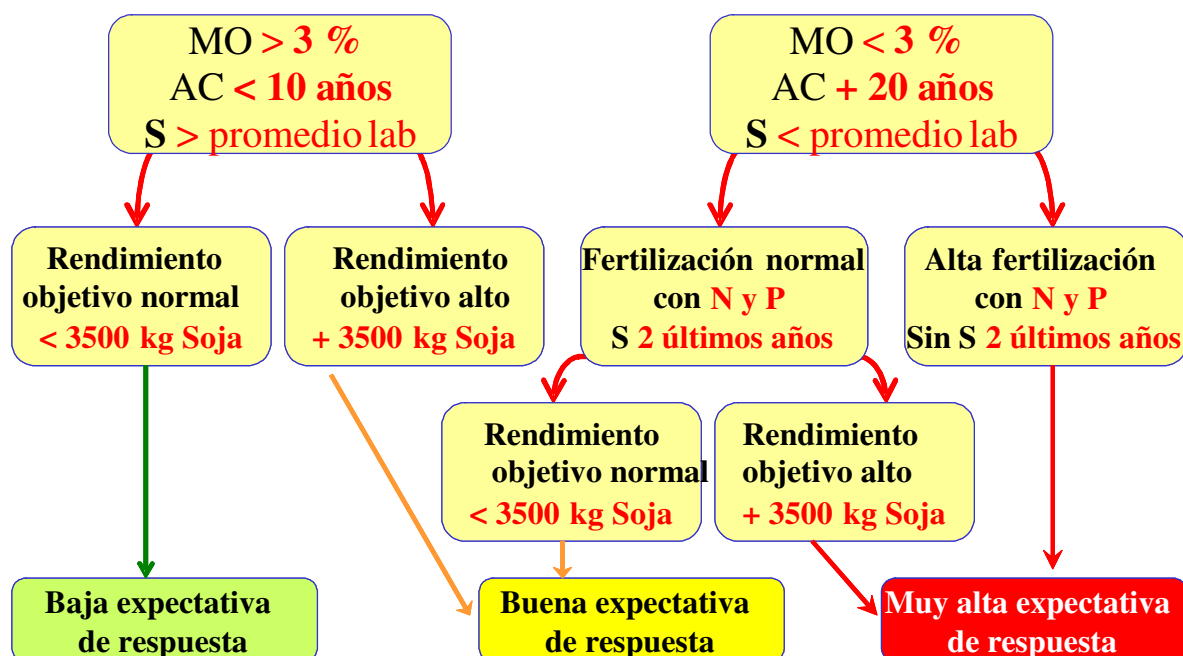


**Figura 5:** Esquema de decisión para la fertilización fosforada del cultivo de Soja, en base a la disponibilidad del nutriente, la tenencia de la tierra y la filosofía de fertilización utilizada por el productor.

### Respuesta al agregado de azufre (S)

Aun cuando se han reportado respuestas positivas al agregado de S en Soja a lo largo de toda la región pampeana, la frecuencia de respuesta varía zonalmente. El centro sur de Santa Fe es un área donde la deficiencia de S se ha manifestado de manera generalizada. Martínez y Cordone (1998) y Gentiletti y Gutiérrez Boem (2005) informaron resultados positivos en 8 de 11 y 13 de 19 sitios, respectivamente. En el norte de Bs As y sur de Santa Fe, Ferraris et al., (2004) informaron respuestas significativas en 4 de 6 sitios, y los grupos CREA del Sur de Santa Fe en 17 de 44 sitios del sur de Santa Fe y Sudeste de Córdoba. En una red que abarcó toda la región pampeana, Ferraris et al., (2002) informaron incrementos por el agregado de 15 kg ha<sup>-1</sup> de S en 10 de 47 sitios. En una amplia revisión de ensayos realizados en las provincias de Buenos Aires, Santa Fe y Córdoba, García (2005) informa respuestas significativas en 57 de 142 sitios (40 %). Aunque la respuesta al S en este cultivo se ha tornado frecuente, sin embargo resulta difícil de diagnosticar. Ferraris (2004) explicó la respuesta a S a partir del contenido de Materia orgánica (MO) del suelo ajustado por textura y la disponibilidad de S-sulfatos (0-60 cm). Sin embargo, estas relaciones demostraron escaso valor predictivo en experimentos posteriores. Los análisis de planta podrían prestar utilidad, pero requieren de una estricta estandarización que haría poco práctica su utilización en un cultivo que ocupa una superficie de cultivo tan grande (Ferraris, 2004). Hitsuda et al., (2004) asociaron la respuesta al contenido de S en grano, metodología que se está evaluando actualmente en la región pampeana. En ausencia de un método de diagnóstico

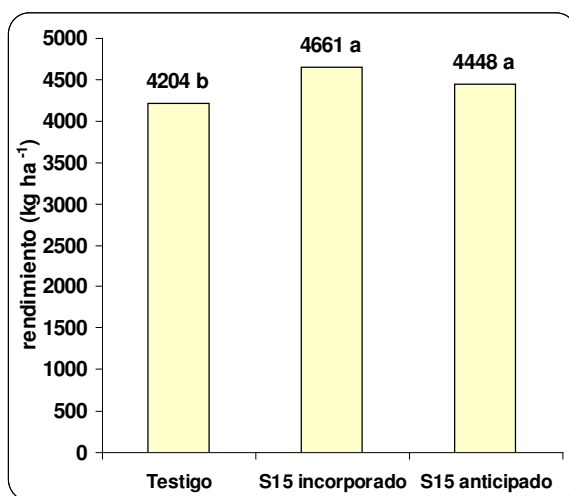
debidamente ajustado, se puede presentar un sistema de considerando la MO del suelo, los años de agricultura y las expectativas de rendimiento del cultivo (Figura 6). Respecto del análisis de S-sulfatos en suelo, debido a la variabilidad que ha presentado esta determinación, y a las diferencias observadas entre los valores informados por diferentes laboratorios, se sugiere comparar el resultado de la muestra con el promedio de la base de datos del laboratorio al cual se ha enviado la muestra. Futuras investigaciones permitirán ajustar y acotar mejor el sistema de recomendación propuesto.



**Figura 6:** Sistema de recomendación para diferenciar ambientes con diferente expectativa de respuesta a la fertilización azufrada en Soja

### Tecnología de fertilización azufrada

El S presenta mayor flexibilidad de aplicación que el P, debido a la movilidad del nutriente en el suelo (Tidalle et al., 1993). Ferraris y Couretot (2004) no observaron diferencias entre la aplicación de sulfato de calcio al voleo o localizada a la siembra (Figura 7).



**Figura 7:** Rendimiento de grano de diferentes formas de aplicación de sulfato de calcio en soja de primera. Wheelwright (Santa Fe), campaña 2003-04. (Ferraris y Couretot, 2004)

El cultivo de soja absorbe relativamente poco S hasta la floración (Figura 8), por lo que aún en este estado se podría corregir una eventual deficiencia.

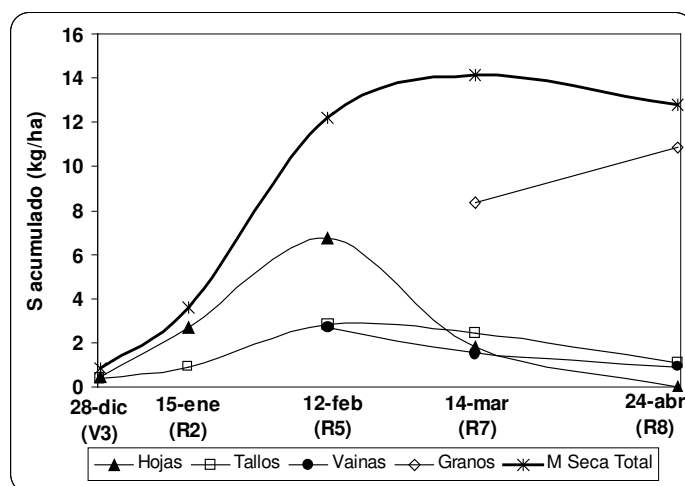
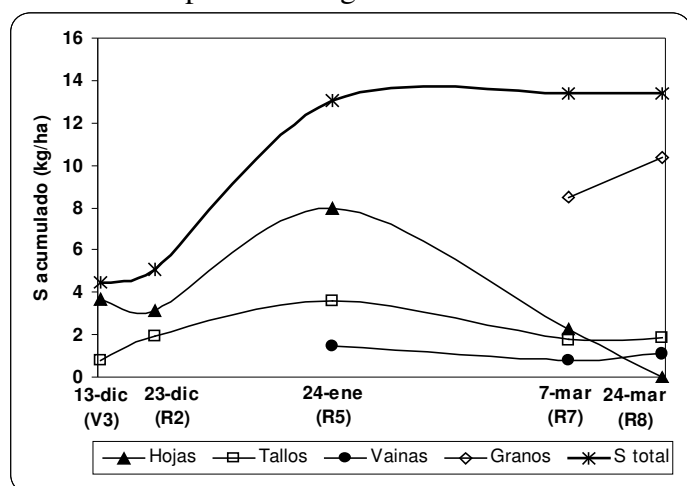
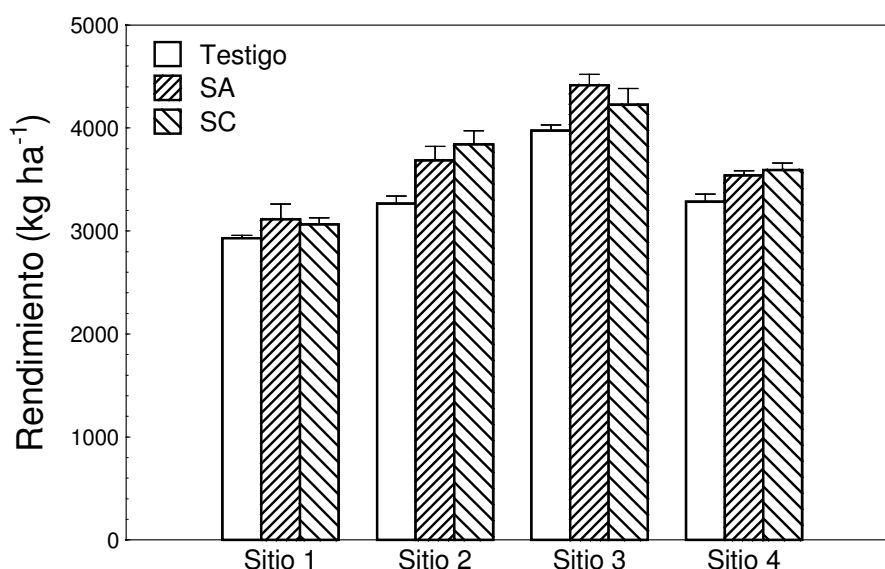


Figura 8.a

Figura 8.b

**Figura 8:** Acumulación de S en planta entera y en diferentes órganos del cultivo de Soja. Campaña 1999/00 (12.a) y 2001-02 (12.b). Ferraris (2004), Tesis MSc EPG- FAUBA.

Por otra parte, las diferentes fuentes que contienen S en forma de sulfatos poseen similar eficiencia, de acuerdo con lo observado por Gutiérrez Boem et al., (2004) en cuatro sitios del norte de Bs As (Figura 9). En caso de utilizarse sulfato de calcio, deberá considerarse el porcentaje de S del fertilizante, siendo 18 % de S el contenido ideal, y la ausencia de elementos indeseables p.e. sodio. El S en forma de sulfatos presenta mayor eficiencia en el plazo de una campaña agrícola, sin embargo el S elemental sería una alternativa en planteos de largo plazo, debido al menor riesgo de lixiviación de esta fuente fertilizante.

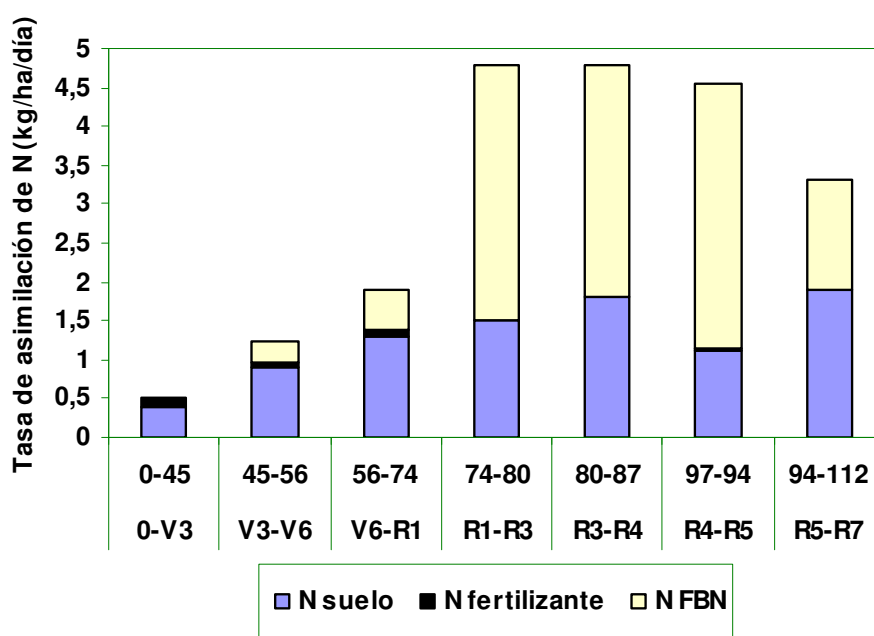


**Figura 9:** Rendimiento en grano en los 4 sitios experimentales del norte de Buenos Aires. SA: sulfato de amonio, SC: sulfato de calcio dihidratado. Las líneas verticales representan los errores standard de las medias.(Gutiérrez Boem et al., 2004)

### Nutrición Nitrogenada:

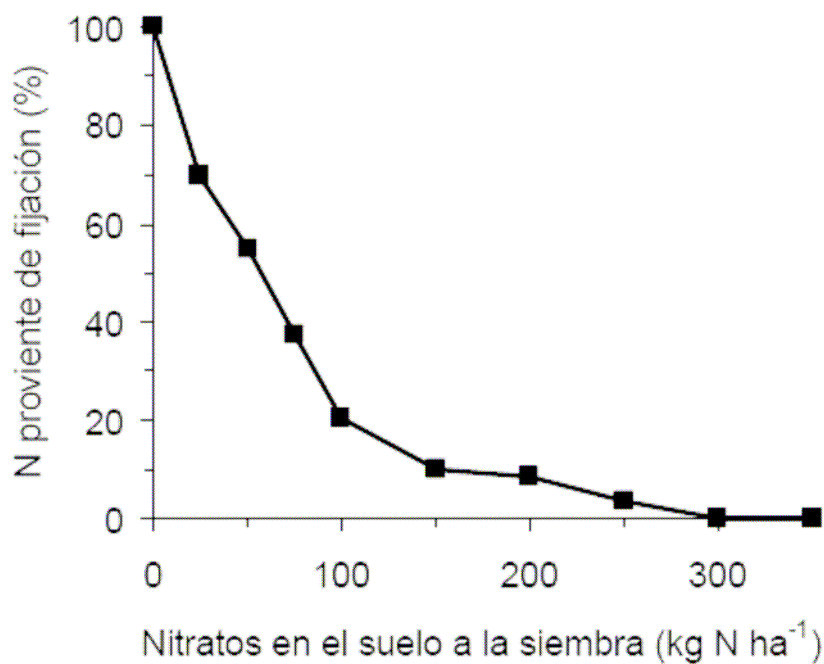
La soja, un cultivo proteico por excelencia, absorbe grandes cantidades de N para su normal crecimiento. La bibliografía menciona requerimientos que oscilan entre 60 y 80 kg N ha<sup>-1</sup> (Andrade et al., 1996; EMBRAPA, 1993; Ferraris, 2001; García, 2000; González, 2000; Meissinger, 1984; Scheiner et al., 2000). Para cubrir tal demanda, además de la absorción del nutriente desde el suelo, esta y otras especies de la familia de las Leguminosas han desarrollado el mecanismo de la fijación biológica de N (FBN), a partir de la asociación con bacterias del suelo pertenecientes a la familia de las Rhizobiáceas (Racca, 2002), en el caso de la Soja *Bradyrhizobium japonicum*.

Además de la FBN, la soja absorbe nitrógeno inorgánico del suelo. La importancia relativa de ambas fuentes depende del estadio de desarrollo y de la abundancia de N inorgánico disponible en el suelo, mineralizado durante la estación de cultivo o suministrado por fertilización. El N mineral disponible en el suelo es la fuente más importante durante las primeras etapas del ciclo, ya que la FBN no se establece hasta alrededor de los 30 días desde la emergencia (Zapata et al., 1987). Sin embargo, el N proveniente de la FBN cubre la mayor parte de los requerimientos durante el período reproductivo, fase crítica para la definición de los rendimientos. Precisamente, las tasas máximas de absorción se dan durante esta fase, alcanzando valores de hasta 5,5 kg ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> (González, 1994). En la mayor parte de los casos, las cantidades de N aportadas por los fertilizantes son despreciables con relación a la demanda total del nutriente (Figura 10).



**Figura 10:** Nitrógeno proveniente del suelo, los fertilizantes y por FBN. Nótese que a partir del periodo reproductivo la FBN cubre la mayor parte de los requerimientos del cultivo (Adaptado de Zapata et al., 2003).

La FBN es una adaptación de las plantas a una situación de carencia de N (Racca, 2002). A causa del elevado costo energético que demanda este proceso, que alcanza de 16 a 18 moles de ATP por molécula de N reducida, la Soja prioriza otras fuentes de suministro en caso de tenerlas disponibles. La disponibilidad elevada de N en el suelo afecta drásticamente la FBN, disminuyéndola o anulándola (Racca y Collino, 2005). Por este motivo, la disponibilidad inicial de N inorgánico en el suelo y la capacidad para mineralizarlo durante la estación de crecimiento regulan la magnitud de la FBN. (Figura 11)



**Figura 11:** Relación entre el N proveniente de la FBN y la disponibilidad inicial de nitratos en suelo. (Herridge et al., 2001).

De la misma manera, la adición de fertilizantes nitrogenados ha demostrado ser antagónica con la FBN. Diversos ensayos de fertilización nitrogenada muestran una sustitución del N fijado por el aportado por el fertilizante, sin un aumento neto en la asimilación del nutriente (Deibert et al., 1979; Ghelfi et al., 1984). Esto significa que al aumentar la cantidad de N absorbido del fertilizante, paralelamente disminuye la cantidad de N fijado. En consecuencia, no se ha observado que la aplicación de N a la siembra incremente los rendimientos del cultivo (Touchon and Rickerl, 1986; Barbagelata et al., 2001; Mendes et al., 2003; Ferraris y Couretot, 2004 b, Gutiérrez-Boem et al., 2002; 2004; Ventimiglia et al., 2004), a excepción de cultivos sin historia de cultivos de soja previos (Ventimiglia et al., 2001). Ferraris y Couretot (2004 b), evaluaron aplicaciones de N al suelo a partir de V2, cuando ya se había establecido la nodulación, observando solo leves incrementos no significativos en la intercepción de la radiación, la producción de biomasa y los rendimientos. Sin embargo, la eficiencia agronómica de uso del N (kg grano : kg N apliado) fue entre tres y cuatro veces inferior a la observada en los cereales.

La FBN cae durante el llenado de los granos (Zapata et al., 1987, Figura 10) por competencia por los asimilados entre los nódulos y los granos en crecimiento. Sin embargo, sólo se han observado respuestas al agregado de N durante el periodo reproductivo bajo condiciones ambientales adversas que provocaron mortandad de nódulos (Echeverría et al., 2002) o en ambientes bajo riego de muy alta productividad (Wesley et al., 1998).

Resulta claro entonces que la FBN es la forma más económica de suministro de N a las leguminosas.

La cantidad de nitrógeno fijado a partir de la atmósfera oscilan en un amplio rango, entre 0 en cultivos no inoculados en suelos libres de Bradyrhizobium, hasta cerca del 90% en suelos con muy poco nitrógeno, como pueden ser suelos arenosos con muy bajos niveles de materia orgánica. Los valores más comunes son de alrededor de 175 kg N ha<sup>-1</sup> para cultivos con rendimientos cercano al potencial y 100 kg N ha<sup>-1</sup> para cultivos de rendimiento normal, representando un 50% del nitrógeno asimilado por el cultivo (Unkovich y Pate, 2000), aunque no es raro encontrar valores de FBN en una rango que represente un 30-80% del nitrógeno requerido por la planta. La textura, el contenido de MO de los suelos y su tasa de mineralización afectan la importancia relativa de la FBN. Así, para la región pampeana, se estima que en suelos Argiudoles del SE de la Pcia. de Bs As sólo alrededor del 30% del nitrógeno acumulado proviene de



la FBN. Algo similar sucedería en nuevas áreas de cultivo del Norte de nuestro país, cuyas elevadas temperaturas provocarían altas tasas de mineralización del nutriente. Los más altos valores de FBN se registrarían en cambio, en suelos arenosos o con larga historia agrícola cuando son capaces de sostener elevados niveles de productividad.

Por último, existen factores de cultivo que determinan la magnitud de la FBN. Así por ejemplo, es importante la presencia de un suelo bien estructurado, que permita un adecuado intercambio gaseoso, particularmente de oxígeno (O). El O es necesario para el funcionamiento de la nitrogenasa, enzima encargada del desdoblamiento del triple enlace que liga al N atmosférico ( $N \equiv N$ ). Esta enzima tiene como cofactores al Cobalto y al Molibdeno, micronutrientes que son esenciales para el proceso (Marschner, 1995, Martínez Lalis, 1999). Como la FBN requiere de un gran gasto de energía por parte de la planta, se necesita de un cultivo creciendo vigorosamente, además de buena humedad y una adecuada disponibilidad de los restantes nutrientes (Racca, 2002), en especial Fósforo (Marschner, 1995). Trabajando en el norte de Buenos Aires, Ferraris et al, (2000; 2001) observaron incrementos en el peso y número de nódulos como consecuencia de la fertilización con Fósforo y Azufre (Figura 12).

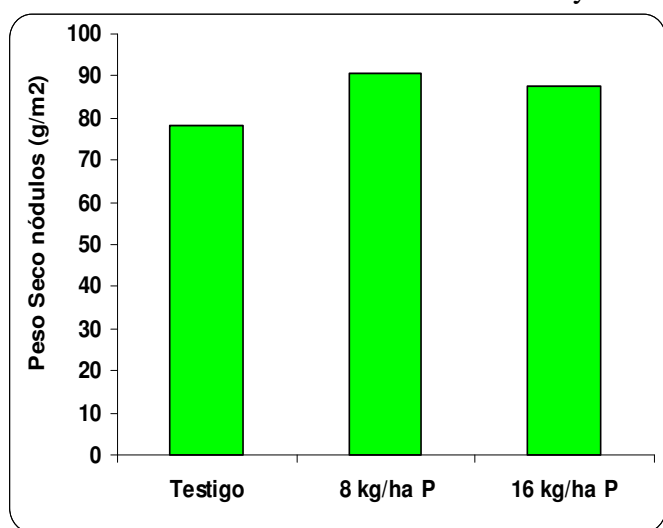


Figura 12.a

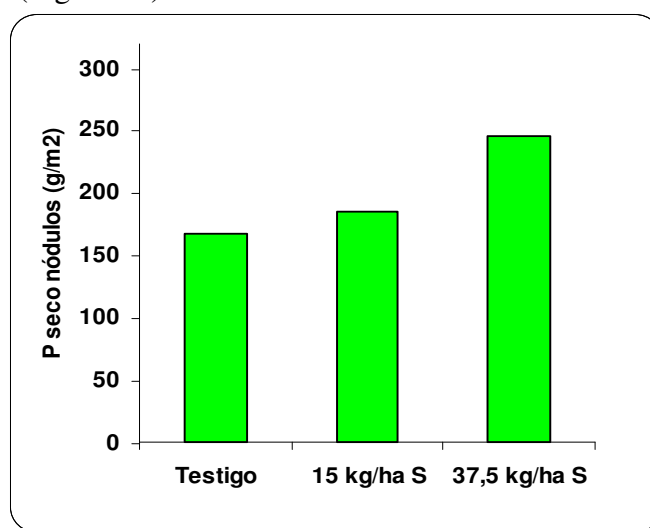
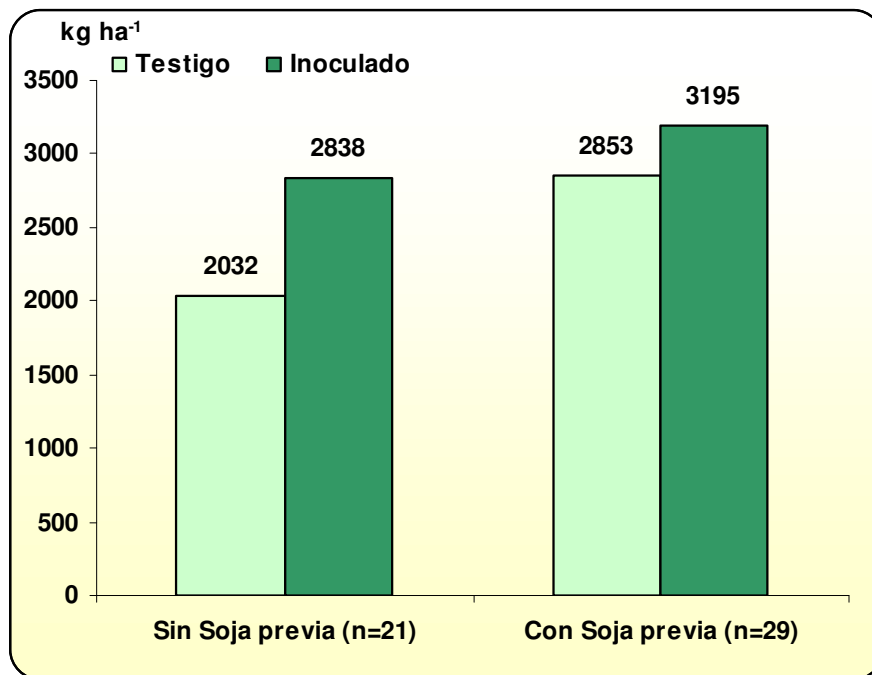


Figura 12.b

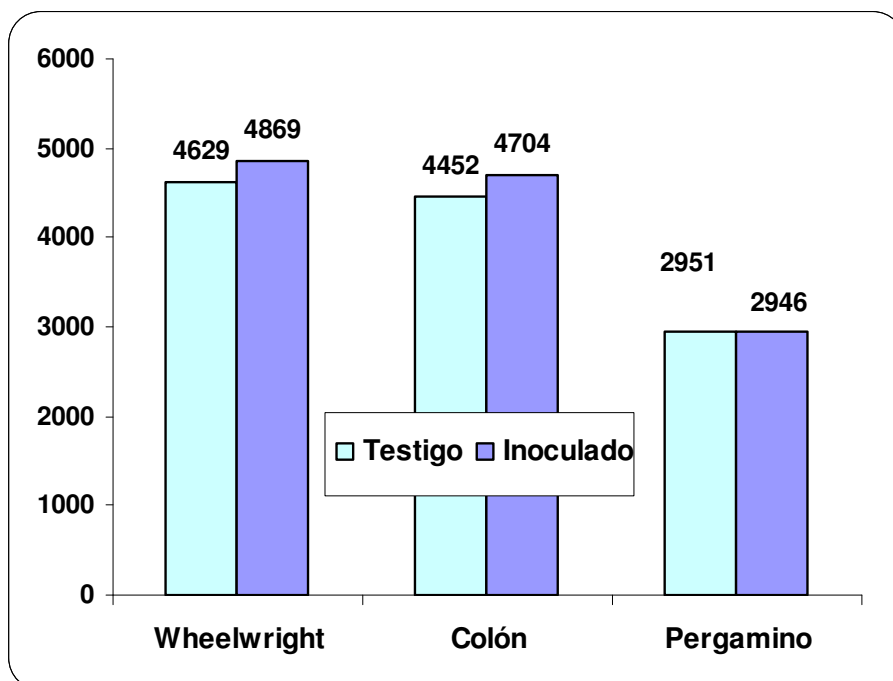
**Figura 12:** *Peso seco de nódulos en raíz principal + secundaria como resultado de la aplicación de dosis crecientes de fósforo y azufre (Ferraris et al., 2000; 2001).*

Restricciones en el crecimiento y en la fotosíntesis, provocan reducciones en la FBN que a su vez restringen más el crecimiento, afectándose así el rendimiento de los cultivos. Por otra parte, la disponibilidad de agua afecta el establecimiento de los nódulos. Si la emergencia se retarda por escasez de humedad, la zona de infección se desplaza hacia los extremos de la raíz principal y las raíces laterales. Estos nódulos, al disponer de menor flujo de carbohidratos provenientes de la fotosíntesis, son poco eficientes en fijar N. Por último, períodos prolongados de sequía durante la etapa reproductiva pueden provocar un cese temporario o permanente de la actividad fijadora de los nódulos (Racca y Collino, 2005).

La práctica más recomendable para lograr que la fijación de nitrógeno sea una fuente importante de N para el cultivo es la inoculación de la semilla con cepas de *Bradyrhizobium japonicum* incorporadas por medio de inoculantes de alta calidad. La respuesta a la inoculación es mayor cuando los lotes no cuentan con antecedentes de Soja. No obstante, también se ha observado respuesta a la reinoculación en lotes con historia sojera previa (Figura 13, Diaz Zorita et al., 2004). En coincidencia con estos resultados, Ferraris y Couretot (Figura 14, inédito) observaron incrementos de rendimiento por reinoculación de entre 0 y 252 kg ha<sup>-1</sup>.



**Figura 13:** Respuesta a la reinoculación en lotes con y sin antecedentes de Soja (Díaz Zorita et al., 2004).



**Figura 14:** Respuesta a la reinoculación en tres ensayos del norte de Buenos Aires (Ferraris y Couretot, Campaña 2004/05, inédito)

#### Respuesta al agregado de otros nutrientes:

El módulo de investigación del Proyecto Fertilizar durante dos campañas realizó una red de ensayos en la que se evaluó la respuesta a Zinc (Zn), Cobre (Cu) y Boro (B), además de los macroelementos Potasio (K) y Magnesio (Mg) (Echeverría et al., 2002) En ninguno de los 53 sitios experimentales que comprendió la red se observaron respuestas a la aplicación de estos nutrientes, agregados al suelo en el momento de la siembra. Si se coteja la disponibilidad de estos nutrientes en los suelos con los niveles críticos mencionados por la bibliografía internacional, solamente Zn y B

parecerían estar en cantidades insuficientes en nuestros suelos. Sin embargo, la falta de respuesta a su agregado pone en duda la validez de estos niveles críticos para la región pampeana.

Una probable causa de la erraticidad de la respuesta a la fertilización con micronutrientes ha sido la forma de aplicación. La mayor parte de los microelementos son fuertemente retenidos cuando se los aplica al suelo, quedando una pequeña parte disponible para ser absorbida por el cultivo. En cambio, la fertilización foliar parece ser la vía más recomendable para incorporar estos elementos por su rápida y eficiente asimilación. Las láminas foliares representan una superficie de absorción muy pequeña como para satisfacer la absorción de macroelementos, pero suficiente para los elementos menores debido a que éstos se requieren en muy bajas cantidades. Existe una amplia gama de productos comerciales en cuya elección deberían considerarse fundamentalmente tres aspectos:

- Concentración de nutrientes.
- Calidad de la materia prima a partir de la cual se formulan.
- Grado de complejización y quelatado de los productos.

Diversos ensayos realizados en el norte de Buenos Aires muestran incrementos promisorios en los rendimientos por la utilización de fertilizantes de aplicación foliar, compuestos por uno o más nutrientes. Los incrementos de rendimiento observados alcanzaron un rango de 0-20 %, siendo en la mayor parte de los casos estadísticamente significativos. En cuanto a nutrientes individuales, los efectos más estacados correspondieron a la aplicación de B, un nutriente asociado a la dinámica de la materia orgánica de los suelos, y como consecuencia, que ve reducida su disponibilidad en suelos degradados. La respuesta a la aplicación de fertilizantes foliares se ha incrementado cuando se incorporó de manera conjunta un coadyuvante, lo que podría estar relacionado a una menor evaporación del producto y al aumento de la superficie de mojado, al reducir la tensión superficial de las gotas.

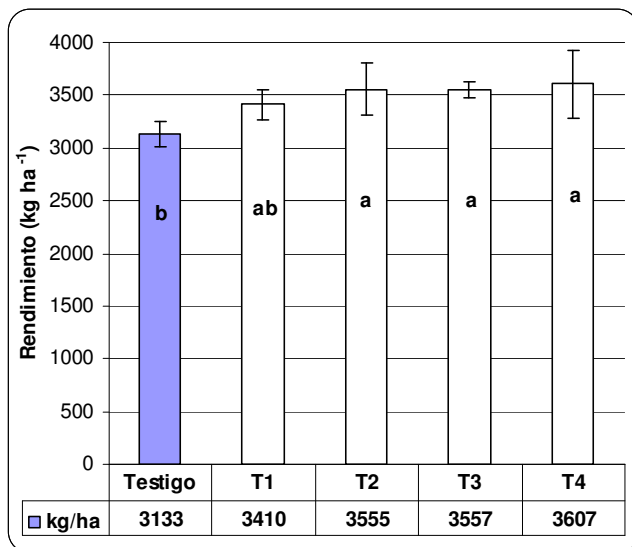


Figura 15.a

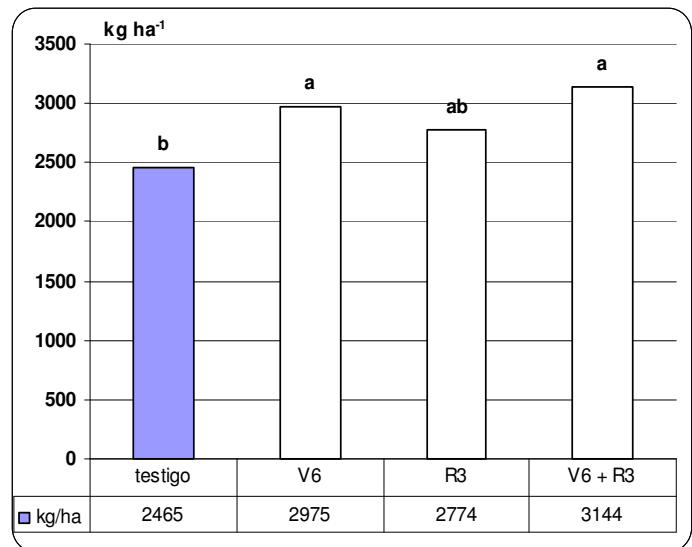


Figura 15.b

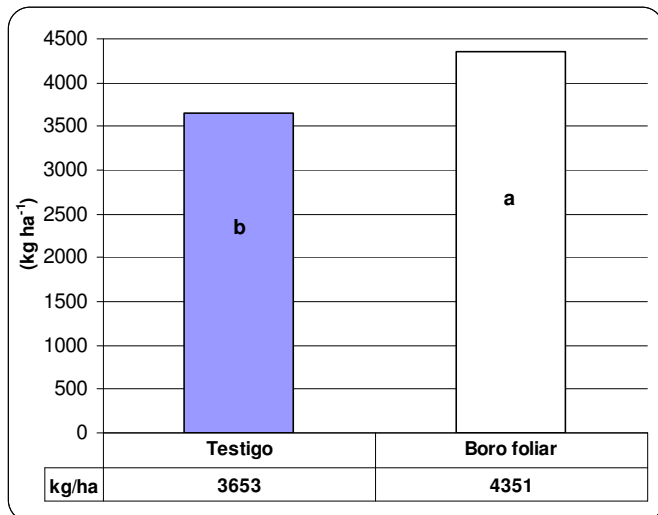


Figura 15.c

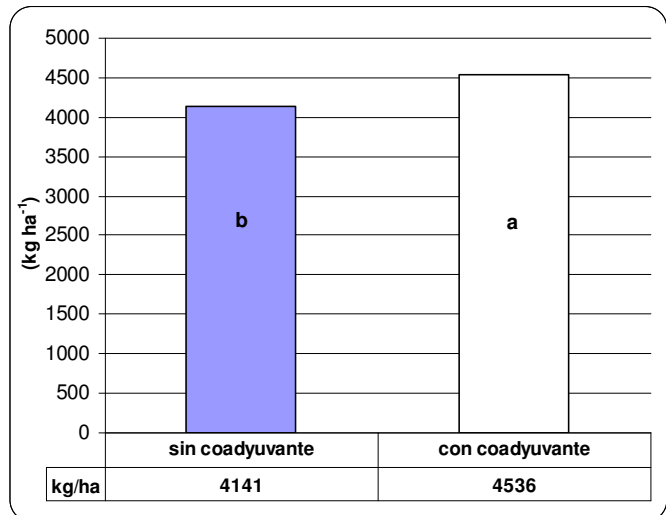
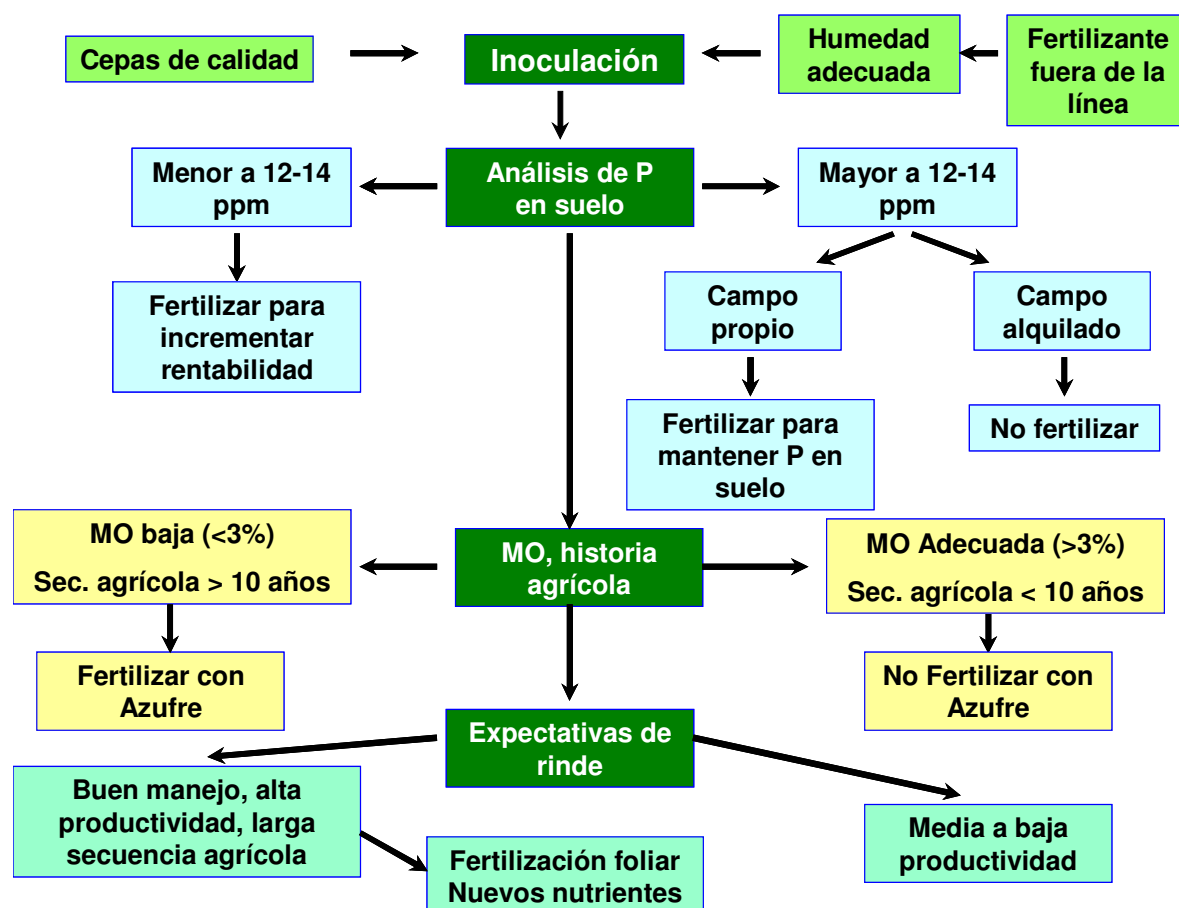


Figura 15.d

**Figura 15:** Respuesta a la aplicación de a) Diferentes combinaciones de fertilizantes foliares en el estado reproductivo, campaña 2004/05, b) Fertilizantes foliares con agregados orgánicos, campaña 2003/04, c) Boro foliar el prefloración, campaña 2004/05 d) Uso de un coadyuvante como acompañante del fertilizante foliar, campaña 2004/05.

Por otra parte, existen otros nutrientes que no son esenciales para la planta de soja, pero sí para que el proceso de fijación ocurra en forma exitosa, como el molibdeno (Mo) y el cobalto (Co) (Marschner, 1995). La función del Mo está relacionada a la formación de enzimas responsables de la transferencia de electrones en las reacciones de formación de la nitrogenasa y nitrato reductasa, responsables de la ruptura del triple enlace  $N\equiv N$  y de la asimilación de este elemento en la planta durante la FBN, respectivamente (Campo y Hungría, 2002). El Mo puede ver reducida su disponibilidad debido a la acidificación que se ha producido en los suelos como consecuencia de la exportación calcio y magnesio a través de muchos años de agricultura continua (Tisdalle et al., 1992). Según Lindsay (1991), la disponibilidad de Mo se reduce 100 veces por cada unidad que desciende el pH en los suelos. La fertilización con azufre (S), un nutriente con el que habitualmente se suplementa la soja en la Argentina, si es agregado en altas dosis puede perjudicar la absorción de Mo (EMBRAPA, 1999). El Co también es esencial para la FBN. Es componente de la vitamina B12, la cual forma parte de la cobamida, coenzima precursora de la leghemoglobina. Una deficiencia de Co inhibe la síntesis leghemoglobina, y como consecuencia, la FBN (Marschner, 1995). Suele ser deficiente en suelos arenosos, ácidos o excesivamente cultivados (Tisdalle et al., 1992). En Brasil precisamente, donde los suelos alcanzan niveles importantes de acidez, es común observar respuestas positivas al agregado de fertilizantes que contienen Mo y Co (Campo et al., 1999; Campo y Hungría, 2000). En el norte de Buenos Aires, la aplicación de Co y Mo como tratamiento de semilla incrementó los rendimientos de manera significativa, en alrededor de un 10 % (Figura 16). La aplicación de estos elementos por vía foliar a los 20 días después de la emergencia no produjo los mismos resultados.



**Figura 16:** Esquema de decisión para el manejo de la nutrición en soja

### Consideraciones finales:

La nutrición de la Soja es una práctica de singular importancia para la obtención de altos rendimientos. Si bien diferentes áreas han mostrado deficiencias de nutrientes específicos, la misma debe abordarse de una manera integral, teniendo en cuenta que una nutrición balanceada permite maximizar el retorno a cada uno de los nutrientes en particular. Una estrategia de fertilización racional debería considerar un diagnóstico de fertilidad comenzando por aquellos nutrientes de mayor importancia, para nuestra región NPS, para luego explorar deficiencias de otros elementos menores, que tienen mayor chance de incrementar los rendimientos en buenos ambientes de producción, pero que han reducido su disponibilidad por una larga historia de extracción de nutrientes, potenciada en los últimos años por monocultivo de soja. Un esquema de los diferentes criterios a considerar para el manejo de la nutrición en soja se presenta en la Figura 16. Sin embargo, manejar adecuadamente los aspectos nutricionales del cultivo no significa un manejo adecuado de la fertilidad en su conjunto, ya que para ello implica actuar sobre parámetros más estables como las propiedades físicas y biológicas o el contenido de materia orgánica de los suelos. Estas variables, además de experimentar una tasa de cambio más lenta, requieren de la adopción de prácticas de manejo adicionales a la fertilización, como la siembra directa y la rotación con gramíneas que reintegren un elevado volumen de residuos al suelo.

### Literatura citada:

- ☞ Andrade, F., H. Echeverría, N. González, S. Uhart, y N. Darwich. 1996. Requerimientos de Nitrógeno y Fósforo de los cultivos de Maíz, Girasol y Soja. Boletín técnico N° 134. INTA EEA Balcarce, 17 p.
- ☞ Andriulo, A.; J. Galantini y F. Abrego. 1996. Exportación y balance edáfico de nutrientes después de 80 años de agricultura continua. Carpeta de Producción Vegetal. Información 147 Tomo XIV.





- Barbagelata, P., R. Melchiori y O. Paparotti. 2000. Fertilización fosfatada del cultivo de soja en suelos vertisoles de la provincia de Entre Ríos. INTA, EEA Paraná. Web site [www.inta.gov.ar/parana](http://www.inta.gov.ar/parana).
- Baumer, C; N. González, C. Devito, L. Giuffré, S. Ratto y C. Pascale. 2000. Distribución del Fósforo extractable y respuesta del trigo en siembra directa a la fertilización localizada al voleo. Revista de Tecnología Agropecuaria, EEA INTA Pergamino, V (13): 9-11.
- Berardo, A. 2003. Manejo del fósforo en los sistemas de producción pampeanos. En: Simposio "El Fósforo en la Agricultura Argentina". pp 38-44. Inpofos Cono Sur, Rosario, Argentina.
- Berardo, A., F. Grattone y G. Borrajo. 1999. Fertilización fosfatada de Trigo: Respuesta y forma de aplicación. Informaciones agronómicas del Cono Sur. 2: 1-3.
- Bianchini, A. 2003. Localización de fósforo en siembra directa. En: II Simposio de Fertilidad y Fertilización en Siembra Directa. XI Congreso Nacional de AAPRESID. Tomo 2. pp 309-314.
- Bodrero, M.; R. Martignone, F. Nakayama y L. Macor. 1985. Perspectivas de la fertilización nitrogenada en cultivos de soja. Revista de la Facultad de Agronomía UBA 6:39-44.
- Bodrero, M., F. Salvagiotti, J. Enrico, J. Mendez y N. Trentino. 2004. Fertilización nitrogenada en soja de primera. Efecto del momento y forma de aplicación del nitrógeno. En: Para mejorar la producción, Soja, 24: 121-123.
- Bray, R and Kurtz, L.1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils .Soil Sci 59: 39 - 45.
- Brennan, R.F., J.D. Armour, D.J. Reuter. 1993. Diagnosis of Zinc deficiency. En: A.D. Robson (ed.) Zinc in soils and plants. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 116-118.
- Buchholz, D.D., J.R. Brown, R.G. Hanson. 1993. Using your soil test results. University extension, University of Missouri-Columbia, G09111.
- Carta, H., L. Ventimiglia y S. Rillo. 2001. El futuro no es lo que era antes. Informaciones agronómicas del Cono Sur, 11: 1-4.
- Cuniberti, M. 1997. Uso en la alimentación humana y animal. Alimentación y nutrición humana. pp. 425-430. En: Giorda, L. y H. Baigorri. (eds.). El cultivo de Soja en Argentina. INTA Centro Regional Córdoba-Editor.
- Cruzate y Casas, 2003. Balance de nutrientes. Revista Fertilizar. Número especial Sostenibilidad, pp 7-13.
- Darwich, N. 1983. Niveles de fósforo asimilable en suelos pampéanos. IDIA N° 409/412: 1-5.
- Deibert, E.J., M. Bijeriego, y R.A. Olson. 1979. Utilization of 15N fertilizer by nodulating and non-nodulating soybean isolines. Agron. J. 71: 717-723.
- Echeverría, H., G. Ferraris, G. Gerster, F. Gutiérrez Boem y F. Salvagiotti (Ex aequo). 2002. Fertilización en Soja y Trigo-Soja: Respuesta a la fertilización en la región pampeana. Boletín técnico: Resultados de la red de ensayos del Proyecto Fertilizar-INTA. Campaña 2000/01 y 2001/02. INTA EEA Pergamino, 43 p.
- Echeverría, H. y F. García. 1998. Guía para la fertilización fosfatada de trigo, maíz, girasol y soja. Boletín técnico 149, INTA, EEA Balcarce.

- ☞ EMBRAPA. 1993. Centro Nacional de Pesquisa da Soja. Recomendações técnicas para a cultura da soja no Paraná. 1993/94. Londrina: OCEPAR/EMBRAPA - CNPSo, 128p. (Embrapa-CNPSo. Documentos, 62).
- ☞ Ericksen, J. 1997. Sulphur cycling in Danish agricultural soils: Turnover in organic S fractions. *Soil Biology and Biochemistry*, 29, 9/10: 1371-1377.
- ☞ Ferraris G., F. Salvagiotti, P. Prystupa y F.H. Gutiérrez Boem. 2004. Disponibilidad de azufre y respuesta de la soja de primera a la fertilización. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo: 144.
- ☞ Ferraris, G. 2004. Pautas para el diagnóstico de la fertilidad azufrada en soja. Tesis MSc. EPG-FAUBA. 176p.
- ☞ Ferraris, G. y J. Elisei. 2003. Fertilización en soja. Experiencias en Colón y Pergamino. Soja 2000/2003. Resultados en Unidades Demostrativas. pp 96-104.
- ☞ Ferraris, G. y L. Couretot. 2004 a. Fertilización fosforada en soja. Diagnóstico y tecnología de aplicación. *Revista de Tecnología Agropecuaria, EEA INTA Pergamino*, IX (26), 7p. (en prensa).
- ☞ Ferraris, G. y L. Couretot. 2004. Evaluación de dos formas alternativas de aplicación de sulfato de calcio pelletizado en soja. *Revista de Tecnología Agropecuaria, EEA INTA Pergamino*, IX (26), 5p.
- ☞ Ferraris, G. y L. Couretot. 2004 b. Evaluación de la fertilización química nitrogenada en soja como complemento de la inoculación. *Revista de Tecnología Agropecuaria, EEA INTA Pergamino*, IX (26), 5p.
- ☞ Ferraris, G. y L. Couretot. 2004 d. Evaluación de dos fertilizantes foliares con agregados orgánicos en soja de primera. *Revista de Tecnología Agropecuaria, EEA INTA Pergamino*, IX (26), 5p. (en prensa).
- ☞ Ferraris, G., M. Ferrari y J. Ostojic. 2001. Fertilización fosforada en soja: fitotoxicidad en aplicaciones localizadas a la siembra y efectos sobre el rendimiento. *Revista de Tecnología Agropecuaria, EEA INTA Pergamino*, VI(18):20-23 .
- ☞ 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.
- ☞ Galantini, J., M. Landriscini y R. Fernández. 2002. Azufre en suelos del sur bonaerense: disponibilidad y su relación con las fracciones orgánicas. pp 1-5. En: Jornada nacional sobre "Azufre, diagnóstico y fertilización". AACs- INPOFOS- TSI- Fertilizar, La Plata.
- ☞ Galarza, C., V. Gudelj, P. Vallone y B. Masiero. 2000. Fertilización y monitoreo de nutrientes en Soja. pp 28-30. En: Soja: Resultados de ensayos de la campaña 1999/2000. Información para extensión N° 63. INTA EEA Marcos Juárez.
- García, F. 2000. Requerimientos nutricionales de los cultivos. pp 40-43. En: Jornada de actualización técnica para profesionales "Fertilidad 2000", INPOFOS, Rosario.
- ☞ García, F. 2004. Fertilizers to sustain the production of 100 million tonnes of grain in Argentina. 6<sup>a</sup> Conference "Fertilizantes Cono Sur" British Sulphur Pub. – Punta del Este, Uruguay. 10 p
- ☞ Ghelfi, R.A., A. Bujan, M.C. Quitegui, y L.E.P. de Ghelfi. 1984. Determinación de N<sub>2</sub> atmosférico fijado por soja (*Glycine max L.*) mediante utilización de 15N en condiciones de campo. *Ciencia del Suelo* 2: 45-51.

- ☞ Gonzalez, N. ; A. Peticari ; B. Stegman y E. Rodríguez. Nutrición Nitrogenada, pp 188-198. En: Giorda, L. y H. Baigorri. (eds.). El cultivo de Soja en Argentina. INTA Centro Regional Córdoba-Editar.
- ☞ Gonzalez, N. 1994. Dinámica de la fijación de nitrógeno en Soja, en suelos con alta fertilidad nitrogenada. Tesis MSc. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata.
- ☞ González, N. 2000. Inoculación e inoculantes. *Fertilizar*, V (21): 18-21.
- ☞ Gutiérrez Boem, F. H.; J. D. Scheiner and R. S. Lavado. 1999. Identifying Fertilization Needs for Soybean in Argentina. *Better Crops International*, 13 (2): 6-7.
- ☞ Gutiérrez Boem, F.; J. Scheiner, L. Martín and R. Lavado. 2002. Respuesta del cultivo de soja a la fertilización fosforada y nitrogenada. XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del suelo: 16-19.
- ☞ Gutiérrez Boem, F; P. Prystupa y G. Ferraris. 2004. Fuentes de azufre en el cultivo de soja. Simposio "Fertilidad 2004". *Fertilidad de Suelos para una Agricultura Sustentable*. Posters, pp 54.
- ☞ Gutiérrez Boem, F., J. Scheiner, H. Rimsky-Korsakov and R. Lavado. 2004 b. Late season nitrogen fertilization of soybeans: effects on leaf senescence, yield and environment. *Nutrient cycling in agroecosystem* 68:109-115.
- ☞ Haby, V.A., M.P. Ruselle, E.O. Skogley. 1990. Testing soils for potassium, calcium, and magnesium. En: R.L. Westerman (ed.) *Soil testing and plant analysis*. SSSA, Madison, pp. 181-227.
- ☞ Hanway, J and R. Olsen, 1980. Phosphate nutrition of corn, sorghum, soybeans and small grains. In: *The role of phosphorus in agriculture*. F. Khasawneh et al. (ed.). ASA-CSSA-SSSA. Madison, Wisconsin, EEUU.
- ☞ Hitsuda K, Sfredo GJ y Klepker D. 2004. Diagnosis of sulfur deficiency in soybean using seeds. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68:1445-1451.
- ☞ Johnson, G.V. 1987. Sulfate: Sampling, testing and calibration. pp 89-96. In: J.R. Brown (ed.), *Soil testing: Sampling, correlation, calibration, and interpretation*, SSSA, Madison, USA.
- ☞ Johnson, G.V. and P.E. Fixen. 1990. Testing for Sulfur, Boron, Molybdenum and Chlorine. pp 265-273. In: R. Shibles (ed.). *Proceedings of the World Soybean Research Conference III*. Ames, Iowa. EEUU.
- ☞ Knudsen, D., K.D. Frank. 1974. Understand your soil test: Calcium, Magnesium, Boron, Copper, Chlorine, Molybdenum. Cooperative Extension, Institute of Agriculture and Natural resources, University of Nebraska-Lincoln, G74-165-A.
- ☞ Mallarino, A. 2001. Manejo de la fertilización con fósforo y potasio para maíz y soja en el centro-oeste de Estados Unidos. En: *Fertilidad 2001: Jornada de actualización técnica para profesionales*. INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires. 28 pp.
- ☞ Marschner, H.E. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Second edition. Academic Press, London/San Diego/New York/Boston/Sydney/Tokyo, 889 p
- ☞ Martens, D.C. y W.L. Lindsay. 1990. Testing soils for Copper, Iron, Manganese, and Zinc. En: R.L. Westerman (ed.) *Soil testing and plant analysis*. SSSA, Madison, pp. 229-264.
- ☞ Martínez, F. y G. Cordone. 1998. Resultados de ensayos de fertilización azufrada en Soja. En: *Para mejorar la producción en Soja, N°8, campaña 1997/98*. pp 53-60. EEA Oliveros, INTA.
- ☞ Martínez, F., G. Cordone, R. Abrate y M. Turinetto. 2004. Respuesta a la fertilización con Magnesio. Ensayos exploratorios en Soja de primera. En: *Para mejorar la producción, Soja*, 24: 121-123.



- ☞ Martínez Lalis, R. 1999. Nitrógeno, inoculación y fijación biológica. Revista Fertilizar,
- ☞ Mendes, I.; M. Hungria and M. Vargas. 2003. Soybean response to starter nitrogen and Bradyrhizobium inoculation on Cerrado oxisol under no-tillage and conventional tillage systems. Rev. Bras. Ciencia Solo 27:81-87.
- ☞ Meissinger, J. J. 1984. Evaluating plant-available nitrogen in soil-crop systems. In: R.D. Hauck et. al. (eds.) Nitrogen in crop production. Am. Soc. Agron., Madison, WI., EEUU. pp. 391-416.
- ☞ Pais, I, J. Benton Jones. 2000. The handbook of trace elements. St. Lucie Press, Boca Raton, 223 p.
- ☞ Penas, E.J. and R.A. Wiese. 1987. Fertilizer suggestions for soybeans. Cooperative Extension, Institute of Agriculture and Natural resources, University of Nebraska-Lincoln, G87-859-A.
- ☞ Racca, R. 2002. Fijación biológica del nitrógeno. En: Actas 1er Simposio de Fertilidad de Suelos y Fertilización en Siembra Directa. X Congreso Nacional de AAPRESID. pp 197-208.
- ☞ Rehm, G, M. Schmitt, R. Munter. 1994. Fertilizing soybeans in Minnesota. University of Minnesota Extension Service, FS-3813-GO.
- ☞ Scheiner, J.D., Gutiérrez Boem, F.H. y Lavado. 2000. Dinámica de la absorción y partición de nutrientes en Soja. Phytion 69: 77-84
- ☞ Scheiner, J., F. Gutiérrez Boem, J. Pirotta y R. Lavado. 2000. Respuesta del cultivo de soja a la aplicación de fertilizantes nitrogenados y fosforados en el norte de la provincia de Buenos Aires. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.
- ☞ Schnug E. and S. Haneklaus. 1998. Diagnosis of Sulphur nutrition. pp 1-40. In: Ewald Schung (ed.), Sulphur in Agroecosystems. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht/Boston/London.
- ☞ Sunarpi and J.W. Anderson. 1997. Allocation of S in generative growth of Soybean. Plant Physiology, 114: 687-693.
- ☞ Tisdale, S., W. Nelson, J. Beaton y J. Havlin. 1993. Soil Fertility and Fertilizers, fifth edition. Macmillan, New York, 634 p.
- ☞ Unkovich, M.J. y J.S. Pate. 2000. An appraisal of recent field measurements of symbiotic N<sub>2</sub> fixation by annual legumes. Field Crops Res. 65: 211-228.
- ☞ Touchon, J. and D. Rickerl. 1986. Soybean growth and yield responses to starter fertilizers. Soil Sci. Soc. Am. J. 50: 234-237.
- ☞ Vázquez, M. 2002. Balance y fertilidad fosforada en suelos productivos de la región pampeana. Informaciones agronómicas del Cono Sur. Edición especial sobre el simposio “Enfoque sistémico de la fertilización fosforada”, XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 16: 3-7.
- ☞ Ventimiglia, L., H. Carta, S. Rillo y P. Richmond. 2004. Efecto de la carga bacteriana sobre la nodulación y el rendimiento de soja. Revista de Tecnología Agropecuaria, EEA INTA Pergamino, VIII(23):16-17.
- ☞ Vitosh, M.L., J.W. Johnson, D.B. Mengel. 1995. Tri-state fertilizer recommendations for corn, soybeans, wheat and alfalfa. Extension Bulletin E-2567, Michigan State University, The Ohio State University, Purdue University.
- ☞ Vivas, H. y S. Seffino. 1999. Toxicidad del Superfosfato Triple y del Fosfato Diamónico sobre la emergencia de plantas de Soja. Campaña 1996/97. En: Información técnica para productores 1997-98, pp. 182-184. Publicación miscelánea N° 89. EEA Rafaela, INTA.

-  Voss, R.D., J.E. Sawyer, A.P. Mallarino, R. Killorn. 1999. General guide for crop nutrient recommendation in Iowa. University extension, Iowa State University, PM 1688.
-  Wesley, T.; R. Lamond; V. Martin and S. Duncan. 1998. Effects of late-season nitrogen fertilizer on irrigated soybean yield and composition. *J.Prod. Agric.* 11:331-336.
-  Whitney, D.A. 1997. Fertilization. En: Soybean production handbook. Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service, C-449.
-  Zapata, F., S. Danso, G. Hardarson y M. Fried. 1987. Time course of nitrogen fixation in field-grown soybean using nitrogen-15 methodology. *Agron. J.* 79: 173-176. Zapata, F., S. Danso, G. Hardarson y M. Fried. 1987. Time course of nitrogen fixation in field-grown soybean using nitrogen-15 methodology. *Agron. J.* 79: 173-176.