

2° NUTRICIÓN DE CULTIVOS Y PASTURAS

Elaborado por Angel Berardo y Nahuel Reussi Calvo

PAUTAS PARA EL MANEJO DE LA FERTILIZACIÓN EN SOJA

Introducción:

La soja es el cultivo más importante de los sistemas productivos de la Argentina con una superficie sembrada en 2008 que alcanzó los 17 millones de hectáreas y una producción aproximada de 41 millones de toneladas (SAGPyA, 2009). Esto implica que gran parte del área sembrada cada año en el país se encuentra bajo monocultivo de soja o en rotaciones donde la soja cumple un papel preponderante. Considerando los elevados requerimientos de nutrientes por el cultivo (Tabla 1), resulta imprescindible un manejo adecuado de la nutrición para evitar balances negativos y/o atenuar los procesos de degradación de los suelos por el bajo aporte de residuos, y de rápida descomposición. Los nutrientes que generalmente limitan la producción del cultivo en las diferentes Regiones sojeras Argentinas son el nitrógeno (N), el fósforo (P) y en menor magnitud el azufre (S). No obstante, en los últimos años se han observado, para algunas zonas, deficiencias de nutrientes secundarios y micronutrientes, consecuencia del proceso de intensificación de la agricultura. En la Tabla 1 se indican los requerimientos nutricionales del cultivo para producir una tonelada de grano, siendo los de P y S de aproximadamente 6-7 kg ton⁻¹, mientras que los de N son aproximadamente 10 veces superiores (70-80 kg N tn⁻¹). Es válido mencionar que la soja posee un mayor índice de cosecha de nutrientes comparado con los demás cultivos tradicionales (trigo, maíz, girasol), debido a la alta removilización de los mismos desde estructuras vegetativas al grano (Cregan y Van Berkum, 1984). Por lo tanto, a igual rendimiento y por los altos requerimientos, la soja produce una mayor exportación de nutrientes del sistema. Para la cosecha 2009/10 se estima una producción superior a los 50 millones de toneladas, por lo que la remoción de N y K sería de aproximadamente 1.5 y 1.0 millones de toneladas, mientras que la de P y S sería de 250 y 125 mil toneladas, respectivamente.

Tabla 1. Requerimientos nutricionales (kg de nutriente para producir una tonelada de grano), extracción (kg de nutriente en una tonelada de grano) e índice de cosecha de nutriente (proporción del total de nutriente absorbido que está presente en el grano) para el cultivo de soja.

Nutriente	Requerimiento (kg ton ⁻¹)	Índice de cosecha	Extracción (kg ton ⁻¹)
Nitrógeno	70-80	0.75	30*
Fósforo	6-7	0.80	5.5
Azufre	5-6	0.55	2.5
Potasio	29-39	0.45	20
Calcio	15-20	0.20	3
Magnesio	7-15	0.40	3
	g ton ⁻¹		g ton ⁻¹
Boro	25	0.30	7.5
Cobre	25	0.50	12
Hierro	300	0.25	75
Manganeso	150	0.30	45
Zinc	60	0.70	42

Fuente: FERTILAB. *Asumiendo que el 50% del nitrógeno proviene de FBN.

Para condiciones en las cuales no existen limitaciones hídricas ni de nutrientes, la acumulación de N, P y S se anticipa a la acumulación de materia seca (MS) en el cultivo de soja (Figura 1). La tasa de acumulación de N es elevada a partir de los 25-30 días después de la emergencia, mientras que para P comienzan después de los 40 días, siendo para sojas de 4500 kg ha⁻¹ de aproximadamente 3.7 kg de N y 0.37 kg de P ha⁻¹ día⁻¹, respectivamente (Andrade et al., 1996). Esta demora en alcanzar la máxima tasa de acumulación de P respecto a N, se podría explicar porque el mecanismo de llegada de este nutriente a la raíz es por difusión. Por lo tanto, es necesario un adecuado desarrollo radicular y una mayor temperatura del suelo para maximizar la absorción de P (Barber, 1984). Para S, la acumulación hasta R₂ representa el 30-40% del total absorbido a madurez fisiológica (Figura 2). Por otra parte, la máxima tasa de acumulación de MS recién se obtiene a los 50 días después de la emergencia (Andrade et al., 1996). Lo mencionado, evidencia la necesidad de garantizar un adecuado suministro de N y P desde el comienzo del ciclo del cultivo siendo mayor la flexibilidad respecto al momento de aplicación de S. Sin embargo, es válido mencionar que este nutriente cumple un rol importante en la formación de los nódulos, y por lo tanto, su aplicación debería realizarse junto con el P al momento de la siembra. Para soja de segunda, la mayor disponibilidad temprana de S y P suele estar garantizada por la aplicación de ambos nutrientes a la siembra del cultivo antecesor (ej. Trigo).

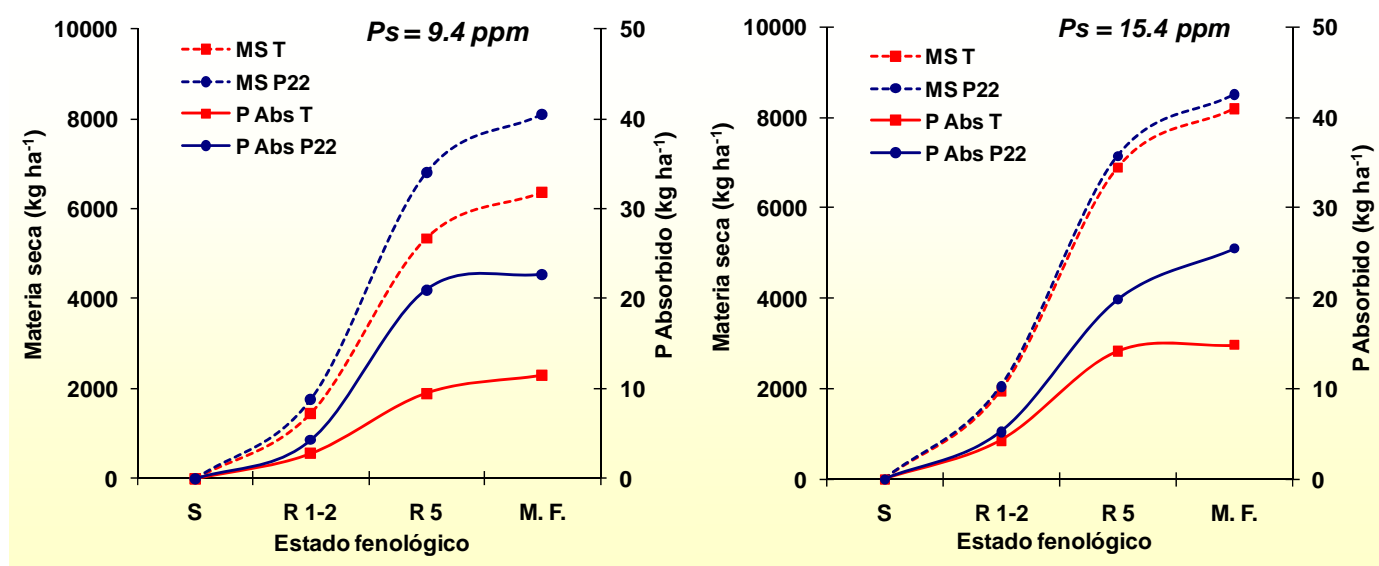


Figura 1. Acumulación de materia seca y de fósforo (P) en el cultivo de soja en suelos con diferente disponibilidad de P Bray y niveles de fertilización fosfatada (Adaptado: Berardo et al., 2003).

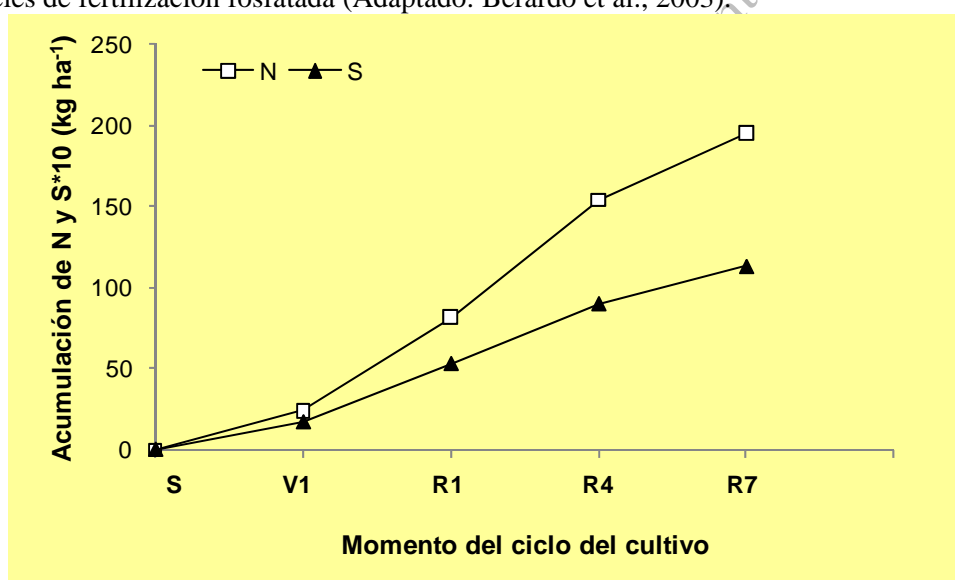


Figura 2. Acumulación de nitrógeno (N) y de azufre (S) en un cultivo de soja de 3200-3500 kg ha⁻¹ a lo largo del ciclo cultivo (Adaptado: Cicore, 2004).

Manejo de fósforo:

Para evaluar la disponibilidad de P en soja se recomienda el muestreo de suelo en superficie (0-20cm) en pre-siembra, siendo importante tomar un número elevado de submuestras (20-30) particularmente en planteos bajo siembra directa. El contenido de P disponible junto con el rendimiento objetivo del cultivo son utilizados para realizar la recomendación de la fertilización fosfatada del cultivo (Tabla 2). No obstante, otras características del sitio deben ser consideradas para mejorar la precisión de la recomendación, como son el contenido de materia orgánica, la presencia de capas compactadas, la textura, la historia de fertilización con P, etc. Se han realizado diferentes trabajos en la Región Pampeana y Extra Pampeana los cuales han evaluado la respuesta a P en relación a la disponibilidad de este nutriente en el suelo. En el sudeste bonaerense, Echeverría y García, (1998) indican como disponibilidad media de P Bray niveles entre 8-11 ppm, mientras para Tucumán, Sánchez y Lizondo (1999) determinaron respuestas positivas a la fertilización

fosfatada en suelos con disponibilidades inferiores a 13 ppm. Por otra parte, Echeverría et al., (2002) obtuvieron respuestas en rendimiento por la aplicación de 20 kg P ha⁻¹ de 200 y 300 kg ha⁻¹ cuando la disponibilidad de P del suelo fue inferior a 12 y 10 ppm, respectivamente. Además, otros autores han cuantificado la relación entre el nivel de P Bray y la respuesta del cultivo al agregado de P, siendo los valores de 49 y 65-70 kg ha⁻¹ por cada unidad de P por debajo de 16 ppm de P Bray según Gutiérrez Boem et al. (2006a) y Berardo et al. (2003), respectivamente.

La aplicación del fertilizante en la línea a la siembra del cultivo es la forma comúnmente empleada. En general, estas aplicaciones son más eficientes que las realizadas al voleo en forma anticipada, particularmente en suelos con baja disponibilidad de P y de textura fina. Respecto a la aplicación en la línea, es recomendable evitar la colocación del fertilizante junto a la semilla debido al efecto fitotóxico del mismo sobre la soja y también sobre las bacterias fijadoras del N. Los efectos del fertilizante van a depender de la textura, el contenido de materia orgánica y de la humedad del suelo, como así también del tipo de fertilizante y de la dosis, **siendo mayores los daños en suelos arenosos y con bajo contenido de humedad**. A modo de ejemplo, una pérdida del 20 % del stand de plántulas se puede producir con dosis desde 20 y hasta 80 kg ha⁻¹ de superfosfato simple según el tipo de suelo y el contenido de humedad (Ciampitti et al., 2006). Para minimizar dichos efectos se debería colocar el fertilizante a unos 4-5 cm de la línea de siembra. Por otra parte, debido a la alta residualidad de este nutriente en los suelos de la Región Pampeana, en el doble cultivo trigo-soja la aplicación de P para la soja de segunda suele realizarse con la fertilización fosfatada del trigo u otro cultivo de invierno. En general, la dosis de P se define en función de la respuesta y de los requerimientos de ambos cultivos.

Tabla 2. Recomendaciones de fertilización fosfatada para soja según nivel de P Bray y rendimiento esperado (Fuente: FERTILAB, 2009).

Rendimiento ton ha ⁻¹	Concentración de P disponible en el suelo (mg kg ⁻¹)				
	Menos 5	10	15	20	>25
	----- kg P ha ⁻¹ -----				
2	12	10	0	0	0
3	16	13	10	0	0
4	20	16	15	10	0
5	25	22	20	15	10

Manejo de nitrógeno:

El cultivo de soja presenta altos requerimientos de N (70-80 kg N ton⁻¹ de grano), sin embargo, una gran parte de los mismos son cubiertos por la fijación biológica del nitrógeno (FBN). A modo de ejemplo, Unkovich y Pate (2000) observaron aportes de N por FBN de 175 kg N ha⁻¹ para cultivos bajo riego y de 100 kg N ha⁻¹ en secano, lo que representa el 50% del N asimilado por la soja. En la región pampeana, González (1996) determinó aportes de N por FBN del orden del 30-70% de las necesidades totales de N del cultivo, el cual va depender de la disponibilidad de N del suelo y de las características climáticas de la estación de crecimiento. En la Figura 3 se muestra el aporte de N por FBN considerando la acumulación de N total de una soja inoculada y un control sin nodulación, para rendimientos de 5060 y 4222 kg ha⁻¹, respectivamente. Es válido mencionar que la FBN esta estrechamente relacionada con el crecimiento del cultivo, debido a que la fotosíntesis provee de los asimilados para sostener la fijación, y por lo tanto, cualquier factor que afecte el crecimiento del cultivo va afectar la FBN y viceversa. En base a lo mencionado, surge que la inoculación de la semilla de soja es una práctica indispensable para lograr una adecuada provisión de N para el cultivo. Si bien en lotes con

historia de soja el efecto de la inoculación es menor (500 kg ha^{-1} en el NEA y de 150 kg h^{-1} en el Sur de Santa Fé, citado por Garcia y Ciampitti, 2009), se recomienda realizar la inoculación todos los años para contribuir a una mayor FBN y así reducir la demanda de N del suelo.

Por otra parte, la fertilización con N a la siembra del cultivo, en estadios vegetativos y/o reproductivos ha mostrado resultados muy variables. En la actualidad, existen trabajos que mencionan el uso de fertilizantes de liberación lenta a la siembra del cultivo para sojas de alto potencial de rendimiento (Salvagiotti, 2009). No obstante, no es recomendable la aplicación de fertilizantes nitrogenados en soja para evitar afectar la FBN; solo es esperable respuestas a la fertilización con N en lotes donde hay fallas en la nodulación. Es necesario realizar mayor investigación para evaluar la factibilidad del uso de fertilizaciones nitrogenadas complementarias en el cultivo de soja, sin dejar de considerar los altos requerimientos de N por el cultivo y los efectos negativos de estas sobre la nodulación.

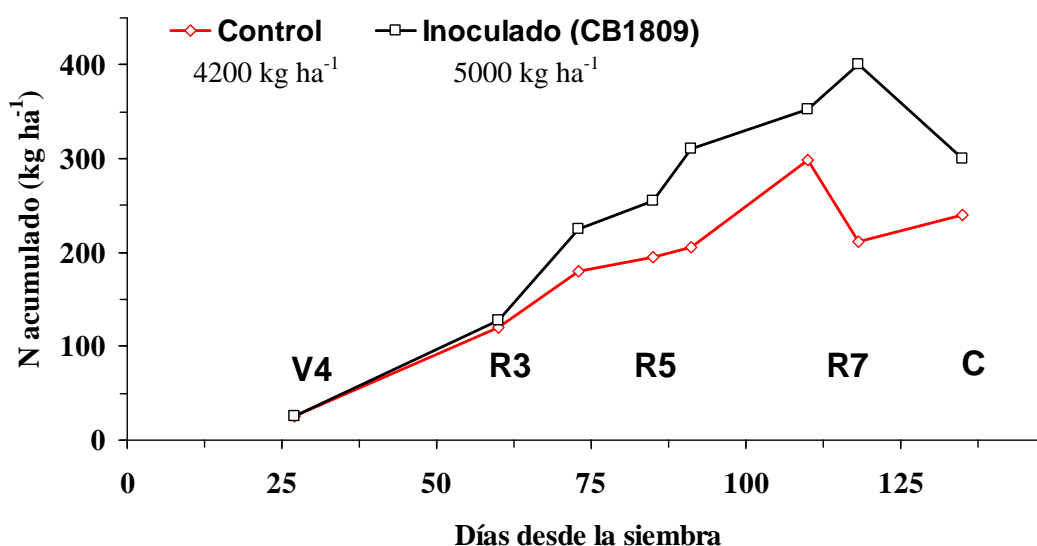


Figura 3. Acumulación de nitrógeno (N) en un cultivo de soja inoculado y sin inocular (Fuente: González, 1994).

Manejo de azufre:

Para S se recomienda el muestreo de suelo en los estratos superficiales (0-20 cm) y subsuperficiales (20-40 y 40-60 cm) antes de la siembra del cultivo. Los muestreos en los estratos inferiores son más importantes en suelos de texturas arenosas y/o regiones con abundantes precipitaciones debido a la movilidad de este nutriente. Además, en zonas con napas freáticas y/o tosca no muy profunda se recomienda el muestreo en profundidad debido a la probable presencia de sulfato en las napas y por encima de la tosca. Por otra parte, en la Figura 4 se observa, para una red de ensayos realizada por el CREA Sur de Santa Fé, la relación entre la respuesta en rendimiento a la fertilización azufrada y la disponibilidad de sulfato en suelo a la siembra del cultivo. La determinación del contenido de sulfatos en los primeros 20 cm como método de diagnóstico de deficiencia de S en soja de primera no mostró una adecuada capacidad predictiva, cuando se empleo el umbral de 10 ppm citado en la bibliografía. No obstante, la alta variabilidad de las condiciones de los ensayos, sumado a falta de cuantificación de los niveles de sulfato en profundidad podría ayudar a explicar estos resultados. Además, cuando solo se consideraron las determinaciones de sulfato realizadas a la siembra del cultivo trigo para la soja

de segunda, la precisión de la metodología mejoró de manera considerable (Figura 5). Sin embargo, es necesario realizar mayor investigación para validar estos resultados como así también los niveles críticos de sulfato en suelo. Por otra parte, otros autores han propuesto la determinación de la concentración de S total en grano como método de diagnóstico de la deficiencia de S que tuvo el cultivo (Hitsuda et al., 2004). Sin embargo, esta metodología no mostro adecuada precisión cuando fue validada en la Región Pampeana (Gutiérrez Boem et al., 2006b).

Respecto al momento de fertilización, en general las aplicaciones de azufre se realizan a la siembra del cultivo de soja de primera. Como se mencionó, en el doble cultivo trigo-soja de segunda la aplicación de S se realiza en el trigo considerando los requerimientos de ambos cultivos. Este planteo de fertilización es factible por el efecto residual del S, en parte consecuencia de su bajo índice de cosecha, principalmente en gramíneas (30-60% según especie).

Los fertilizantes azufrados disponibles en el mercado son: 1) el sulfato de amonio (21-0-0-24) que representan una forma de S rápidamente disponible para el cultivo. 2) el sulfato de calcio (18-20 % S), cuyo valor comercial depende de su solubilidad y grado de pretratamiento. Si bien la solubilidad de este fertilizante es menor que la del sulfato de amonio, trabajos realizados en la región pampeana no han mostrado diferencias significativas en rendimiento de soja entre dichas fuentes (Gutierrez Boem et al., 2007). 3) el S elemental (85-95 % de S), el cual debe oxidarse previamente para poder ser utilizado por los cultivos. Por lo tanto, este fertilizante debe aplicarse con anticipación y preferentemente en suelos con adecuado contenido de humedad y en formulaciones con pequeño tamaño de partícula (<4 mm). Además de las fuentes mencionadas, existen en el mercado formulaciones constituidas por fertilizantes azufrados y fosfatados como el superfosfato simple (0-21-0, 12 % de S) que son comúnmente utilizadas en el cultivo de soja.

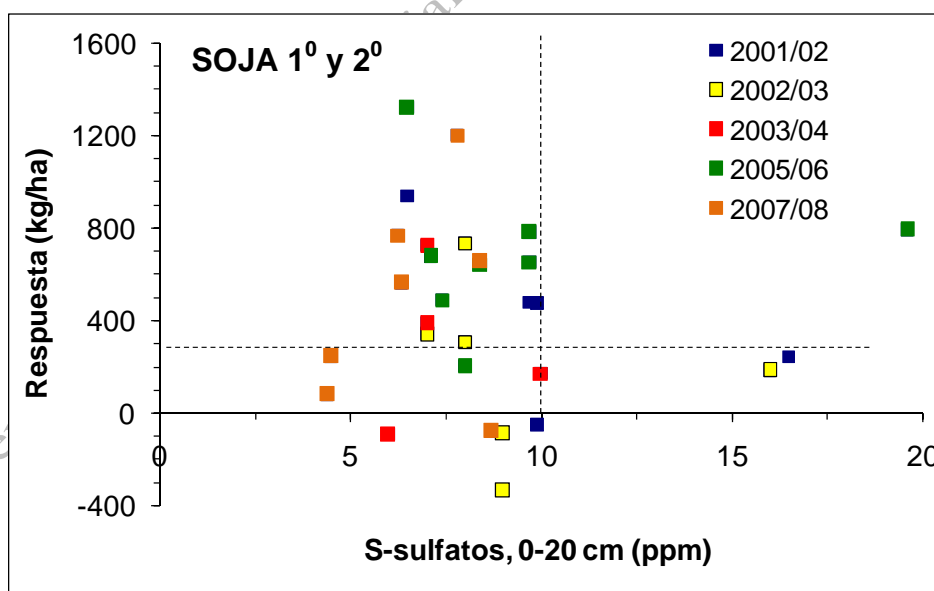


Figura 4. Respuesta en rendimiento de soja de primera y segunda a la fertilización azufrada en función del nivel de S-sulfatos en el estrato superficial a la siembra de trigo o soja de primera. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe.

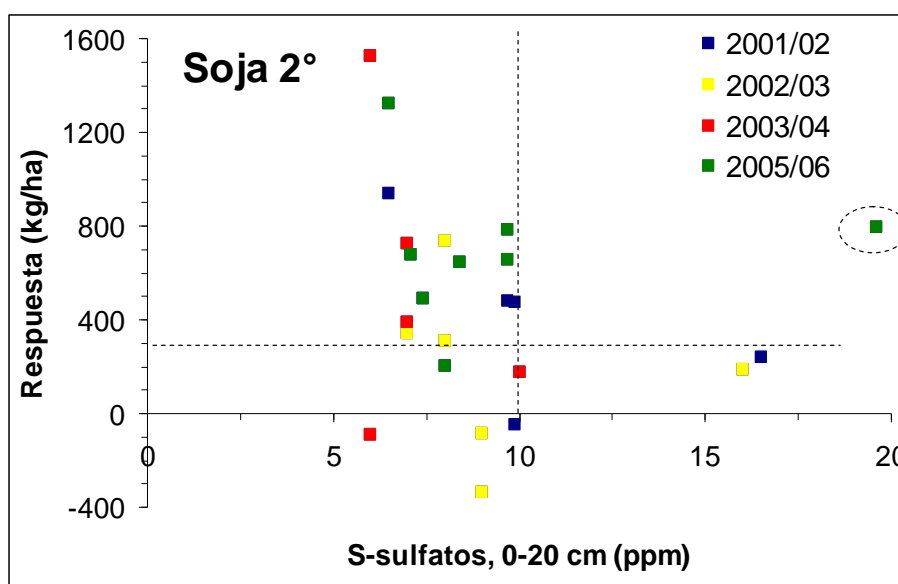


Figura 5. Respuesta en rendimiento de la soja de segunda a la fertilización azufrada en función del nivel de S-sulfatos en el estrato superficial a la siembra de trigo. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe.

Otros nutrientes:

En los últimos años se ha dado un proceso de intensificación de la actividad agrícola en toda la Región Pampeana el cual ha ocasionado una disminución del contenido de materia orgánica de los suelos, y por lo tanto, es factible que diferentes nutrientes secundarios y micronutrientes empiecen a limitar la producción del cultivo de soja. Este proceso de intensificación es particularmente evidente en los suelos degradados del Centro-Sur de Santa Fé y en suelos más arenosos. Los nutrientes que han demostrado mayores posibilidades de respuesta en soja son boro (B), calcio (Ca), magnesio (Mg), molibdeno (Mo) y cobre (Cu), sin embargo, en la actualidad existe muy poca información al respecto. No obstante, es válido mencionar que existen grupos de investigación de instituciones públicas y privadas abocados a esta temática.

Para finalizar, considerando la importancia del cultivo de soja en los sistemas productivos argentinos sumado a los altos requerimientos de nutrientes por el mismo, surge la necesidad de realizar una fertilización balanceada en el cultivo o dentro de la rotación en pos de maximizar no solo la producción sino también **conservar la sustentabilidad del recurso suelo.**

Efecto de la deficiencia de P y S:



Deficiencia de P: Marcada disminución del crecimiento inicial. Hojas chicas, de color verde oscuro y más gruesas.

Fuente: Gutiérrez Boem (FAUBA)



Deficiencia de S: Reducción del número de nódulos, tamaño de hojas jóvenes y clorosis de las mismas. Elongación del tallo.

Fuente: Fernando García (Ensayos IPNI-AAPRESID)

Bibliografía:

- Andrade F.H., Echeverría H.E., Gonzalez N.S., Uhart S. y Darwich N. 1996. Requerimientos de nitrógeno y fósforo de los cultivares de maíz, girasol y soja. Boletín técnico 134. INTA EEA Balcarce. 17 p.
- Barber, S.A. 1984. Chapter 21: Nutrient placement. In: Soil nutrient bioavailability. A mechanistic approach. Ed: John Wiley & Sons, Inc. 368-388.
- Berardo, A., Ehrst, S., Grattone, F. y M. Amigorena. 2003. Evaluación de la respuesta a fósforo de los cultivos estivales: maíz, girasol y soja. Informaciones Agronómicas del Cono Sur N°18.
- Ciampitti I.A., F.E. Micucci, H. Fontanero y F.O. García. 2006. Manejo y ubicación del fertilizante junto a la semilla: efectos fitotóxicos. Informaciones agronómicas del Cono Sur N° 31. Archivo agronómico 10: 1-8.
- Cicore, P. 2004. Rendimiento del cultivo de soja de primera bajo diferentes manejos en función de la disponibilidad de azufre. Tesis de Grado. Facultad de ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata.
- Cregan, P. B. and Van Berkum, P. 1984. Genetics of nitrogen metabolism and physiological/biochemical selection for increased grain crop productivity. Theoretical and App. Genetics 67:97-111.
- Echeverría H. y F. Garcia. 1998. Guía para la fertilización fosfatada de trigo, maíz, girasol y soja. Boletín Técnico No. 149. EEA INTA Balcarce.
- García, F y I. Ciampitti. 2009. La nutrición del cultivo de soja. En: F.O. García, I.A. Ciampitti y H.E. Baigorri (eds). Manual de manejo del cultivo de soja. pp. 33-76.
- González, N. 1994. Dinámica de la fijación de nitrógeno en soja en suelos con alta fertilidad nitrogenada. Tesis Magister Scientiae. Facultad de ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata. 62 pp
- González N. 1996. Fijación de nitrógeno. En Curso de Actualización "Dinámica de nutrientes en suelos agrícolas". EEA INTA Balcarce.
- Gutierrez Boem F.H., P. Prystupa y C.R. Alvarez. 2006a. Comparación de dos redes de ensayos de fertilización fosforada de soja en la región pampeana. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo - Salta-Jujuy, 19-22 de Septiembre de 2006.
- Gutierrez Boem F.H., F. Salvagiotti, G. Ferraris, A. Quiroga, M. Barraco, H. Vivas, P. Prystupa y H.E. Echeverría. 2006b. Identificación de sitios deficientes en azufre mediante el análisis de grano de soja. Mercosoja. 26-30 de junio, Rosario. 4 p.
- Gutierrez Boem, F.H.; Prystupa, P.; Ferraris, G. 2007. Seed number and yield determination in sulfur deficient soybean crops. Journal of Plant Nutrition 30: 93-104.
- Hitsuda K., G.J. Sfredo y D. Klepker. 2004. Diagnosis of sulfur deficiency in soybean using seeds. Soil Sci. Soc. Am. J. 68:1445-1451.
- Unkovich, M.J., Pate, J.S., 2000. An appraisal of recent field measurements of symbiotic N₂ fixation by annual legumes. Field Crops Res. 65, 211-228.
- SAGPyA, 2009. Soja. Disponible en <http://www.sagpya.mecon.gov.ar/>, verificado 28/05/2008.
- Salvagiotti, F., Specht, J.E., Cassman, K.G., Walters, D.T., Weiss, A., and A Dobermann. 2009. Growth and Nitrogen Fixation in High-Yielding Soybean: Impact of Nitrogen Fertilization. Agronomy Journal 101: 958-970.
- Sánchez H. y R. M. Lizondo. 1999. Respuesta de la soja a la fertilización fosfatada en el área de granos de la Provincia de Tucumán. Actas Mercosoja 99. CIASFAIANBA. Rosario, Santa Fe, Argentina.