

Ing. Agr. (Esp) Rubén E. Toledo rtoledo@agro.unc.edu.ar
 Cereales y Oleaginosas, FCA-UNC

SITIO WEB: Soja: Su ecofisiología y manejo.

<http://toledoruben.wixsite.com/cultivodesoja>

 [@sojaenmultimedia](#)

INTRODUCCION

La soja no es indiferente a la necesidad de absorber una importante cantidad de nutrientes para su crecimiento y definición de rendimiento; los elementos de mayor importancia son el **Nitrógeno (N)** el **Fósforo (P)**, el **Azufre (S)** y el **Calcio (Ca)**, en menor medida el **Magnesio (Mg)** y el **Boro (B)**. En la Tabla 1 se observan los requerimientos de absorción y extracción, tanto en base seca y corregida a base húmeda. El cultivo tiene un comportamiento peculiar desde el punto de vista nutricional, por un lado, es capaz de mantener rendimientos relativamente elevados en condiciones de baja fertilidad, y por el otro presenta requerimientos nutricionales similares o superiores a, por ejemplo, el trigo o el maíz que son de alto potencial productivo.

Tabla 1: Absorción, extracción e índice de cosecha (relación extraído/absorbido), para los principales nutrientes de soja. Las unidades se encuentran expresadas en base seca y en base húmeda (H^o comercial 13,5%) (Fuente: Ciampitti y Garcia, 2007)

| Nutriente (expresado en base seca) | Absorción total | Extracción de granos | Índice de cosecha | Nutriente (expresado en base húmeda) (13,5%) | Absorción total | Extracción de granos |
|--|--------------------------------|-------------------------|----------------------|---|--------------------------------|-------------------------|
| | Kg ton ⁻¹ de granos | | % | | Kg ton ⁻¹ de granos | |
| Nitrógeno (N) | 75,0 | 55,0 | 73 | Nitrógeno (N) | 66,4 | 48,7 |
| Fósforo (P) | 6,9 | 6,1 | 89 | Fósforo (P) | 6,1 | 5,4 |
| Potasio (K) | 39,0 | 19,1 | 49 | Potasio (K) | 34,5 | 16,9 |
| Calcio (Ca) | 16,0 | 3,0 | 19 | Calcio (Ca) | 14,2 | 2,7 |
| Magnesio (Mg) | 9,0 | 3,5 | 39 | Magnesio (Mg) | 8,0 | 3,1 |
| Azufre (S) | 4,5 | 3,2 | 72 | Azufre (S) | 4,0 | 2,8 |

MACRONUTRIENTES

Nitrógeno

El grano tiene un alto contenido de proteína, razón por la cual es altamente demandante de N, y lo acumula sostenidamente desde emergencia hasta finales de llenado de granos, dónde en R5 se observa las máximas tasas de absorción del nutriente. Las **deficiencias nitrogenadas** se manifiestan por marcadas **reducciones en el crecimiento**, y por el **amarillamiento de las plantas**, con la aparición de los primeros síntomas en las **hojas inferiores** (hojas viejas). Al tratarse de una oleaginosa, la planta se nutre del N que

obtiene a través de dos mecanismos, ya sea por absorción del suelo o por FBN donde las bacterias fijadoras de N atmosférico (N_2) (*Bradyrhizobium japonicum*) convierten el N en amonio mediante la acción de la enzima nitrogenasa, y que luego la soja fija el N_2 a través de su simbiosis con las bacterias.

En el proceso de FBN los rizobios presentes en el suelo (o los provenientes del inoculante) infectan los pelos absorbentes del sistema radicular y van formando unidades denominadas nódulos, dentro de los cuales tiene lugar la transformación del N atmosférico en formas disponibles por las plantas. Desde el punto de vista energético, todo este mecanismo implica un gasto de energía (ATP) para la planta, mientras que los rizobios se benefician aprovechando biomoléculas generadas por la planta. La enzima que efectúa este proceso bioquímico es la nitrogenasa. Como se mencionó dicho gasto es energéticamente costoso para la planta: por FBN necesita 2,9 – 6,1 g C/g N, y por absorción y asimilación de nitratos del suelo necesita 0,8 – 2,4 g C/g N. Debido a este gasto energético para asimilar N_2 atmosférico, las plantas desarrollaron mecanismos que le permiten regular el número de nódulos que pueden mantener en sus raíces y su eficiencia relativa. Cuando hay suficiente disponibilidad de N en el suelo, la planta por razones de economía energética privilegia la incorporación del N edáfico por sobre el N atmosférico. Opera por lo tanto un balance global en la planta, la cual le resulta más barato energéticamente absorber N del suelo que fijarlo. Es importante comprender que los rizobios en los nódulos actúan como simples bacterias productoras de amonio (NH_4^+), dejando a la planta el costo energético de la asimilación.

Diferentes estudios experimentales reportados en la literatura técnica y científica sobre nutrición y fertilización indican que para lograr altas eficiencias en la FBN es necesario que el cultivo no tenga limitaciones nutricionales severas en una serie de nutrientes esenciales que participan en el crecimiento y desarrollo de estructuras radiculares y nodulares: **fósforo, calcio, magnesio, cobalto, molibdeno, cobre**. Los suelos agrícolas con antecesor soja, si bien presentan poblaciones de rizobios; muchas veces las cepas presentes poseen bajas eficiencias de FBN pero sí gran habilidad competitiva para sobrevivir en el ambiente edáfico.

Estas bacterias pueden infectar las raíces y formar nódulos, pero los mismos presentan escasa o nula FBN y por ende representa un costo energético para el cultivo sin ningún rédito nutricional. Por ello es necesario efectuar **inoculaciones anuales para aportar cepas de rizobios** con alta eficiencia en FBN y que permiten formar nódulos efectivos. La cantidad de N que puede aportar la FBN es variable y depende de los siguientes factores:

Cultivo: Disponibilidad de fotosintatos (carbohidratos), ritmo de crecimiento, estado hídrico y nutricional, estado sanitario.

Sistema suelo-planta: Temperatura y pH del suelo, relación C/N del suelo, disponibilidad de MO lábil (o joven), estabilidad de agregados, presencia de capas compactadas superficiales, variaciones térmicas en el suelo, etc.

Cepas de Rizobios: Eficiencia de FBN, cantidad de bacterias en inoculante, infectividad.

En la Figura 1 se observa el esquema del proceso de inoculación y fijación, donde la Etapa 1: Las semillas con los rizobios adheridos se siembran en un suelo. Etapa 2: luego de la inoculación y la siembra ocurre mortalidad entre los rizobios inoculados. Etapa 3: dependiendo del grado de adhesión irreversible alcanzado, algunos rizobios se desprenden de las superficies seminales mientras que otros quedan adheridos a los tegumentos. Las semillas germinan y los cotiledones emergen del suelo llevando unidos los rizobios adheridos irreversiblemente a los tegumentos; además, puede ocurrir mortalidad de los rizobios liberados al suelo. Etapa 4: parte de los rizobios sobrevivientes pueden trasladarse por movimientos activos o pasivos hasta las zonas infectables de las raíces en crecimiento.

Las bacterias demoran de 5 a 10 horas para penetrar a través de los pelos radiculares a la planta, y unos 20 días luego de emergido el cultivo, los nódulos se hacen visibles para alcanzar su máximo tamaño en R6; la FBN comienza unos **30 días después de la emergencia** y la tasa de FBN se va incrementando hasta un **valor máximo en R5** para luego disminuir. Hasta floración las necesidades de N son cubiertas mayormente por la oferta edáfica mientras que los aportes por FBN son muy importantes luego de la floración y durante el llenado de los granos.

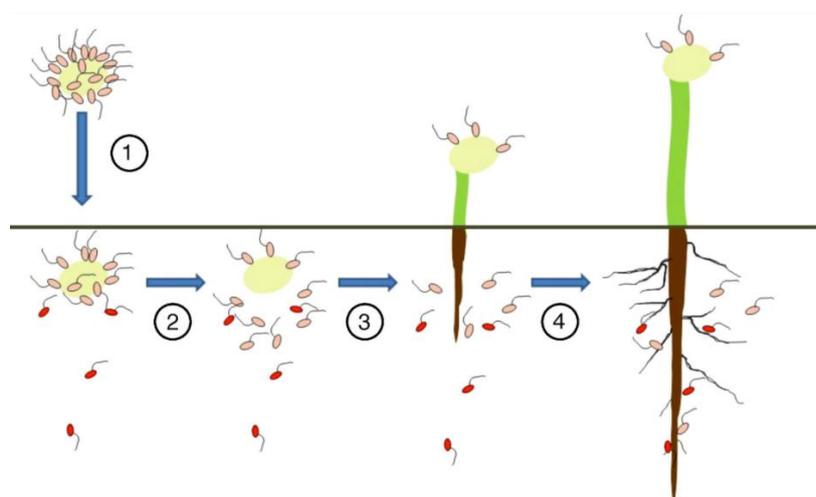


Figura 1: Etapas en el proceso de infestación con inóculos.

El **aporte de N por FBN** tiene un rol fundamental en la producción del cultivo; estimaciones para la región productora del centro y norte del país indican **un promedio de 50%** aportado por la FBN, la magnitud de esta se verá

seriamente afectada por la aplicación de **fertilizantes nitrogenados**, es decir mayor disponibilidad de N en el sistema ejerce un **efecto antagónico** sobre la FBN. La fertilización con N a la siembra no ha mostrado respuestas en rendimiento, mientras que aplicaciones en estados reproductivos avanzados los resultados son variables; por esta razón y para evitar afectar la FBN, no se recomienda la fertilización nitrogenada de soja.

El *Bradyrhizobium japonicum* al no ser una cepa nativa es necesario incorporarla a nuestros sistemas a través de la inoculación para que la simbiosis sea efectiva. Según la resolución SENASA N°310/1994 los inoculantes deben contener no menos de 1000 millones de rizobios por g o ml de producto a la fecha de elaboración, y no menos de 100 millones por g o ml a la fecha de vencimiento. Por la inoculación se deben incorporar **80 mil rizobios por semilla**. Un inoculante apto debe permitir que más del 80% de las plántulas de soja, colocadas en vermiculita, tengan 3 o más nódulos en la parte superior de las raíces luego de 14 días de emergidas. En el envase debe constar obligatoriamente la fecha de vencimiento y el número de lote. Esta marca debe ser realizada de manera tal que no permita su adulteración. Los productos disponibles en el mercado se dividen en soportes **líquidos** y **pulverulentos**. Entre los líquidos encontramos **acuosos** y **oleosos**. Entre los pulverulentos están los de soporte **turba** y **dolomita**.

*Al inocular, la bacteria se naturaliza en los suelos y puede permanecer más de 10 años, pero al cabo de **4 a 5 años de introducida**, la cepa es prácticamente **diferente** de la original.*

Para la mayoría de las situaciones de almacenamiento, es indispensable no exponer los productos al sol, y **evitar a temperaturas superiores a 25° C**; es sumamente riesgoso almacenarlo en contacto con productos químicos que puedan dañarlo. Sin embargo, debe mencionarse que no siempre en los centros de distribución, los productos están almacenados correctamente, y en muchos casos conspira contra la concentración de rizobios disponibles en el inoculante. Como una importante cantidad de bacterias muere al momento de inoculación es conveniente efectuar la siembra lo más rápido posible, en lo posible antes de las de 12 hs de aplicado el producto. Si el proceso incluye el curado con funguicidas o insecticidas los tiempos se acortan y se recomienda no superar las 4 hs. La inoculación en la sembradora no es aconsejable bajo ningún concepto, ya que nunca se logra una distribución apropiada del inoculante quedando muchas semillas sin inocular.

Los factores limitantes para la FBN son de tres órdenes:

- Los relacionados con la calidad del inoculante y las técnicas de inoculación, incluyendo el uso de biocidas asociado a la bacterización de la semilla.

- Factores climáticos o ambientales, entre los que se destacan: estrés hídrico, estrés por altas temperaturas, la interacción entre ambos y estrés salino.
- Desbalances nutricionales, entre los cuales los más frecuentes son deficiencia de P y S, aunque en algunas regiones del país, aparecen respuestas de magnitud variable al agregado de algunos micronutrientes, en especial Co y Mo.

Algunas limitaciones para la simbiosis:

- Los suelos con moderada o alta disponibilidad de formas inorgánicas de N, y/o importantes tasas de mineralización durante el ciclo del cultivo, retardan el inicio de la nodulación y/o inhiben el funcionamiento.
- La simbiosis es sensible a condiciones de anegamiento con sólo 2 a 3 días de inundación se puede provocar alta mortandad de nódulos.
- Condiciones de sequía en la siembra provocan mortandad de bacterias. En etapas tempranas retrasa la aparición de nódulos y en etapas reproductivas limita la FBN. Figura 2

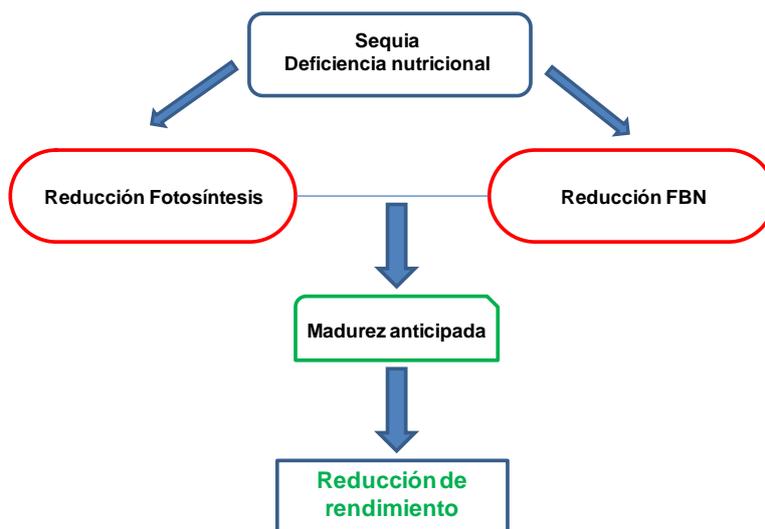


Figura 2: Esquema de los efectos directos e indirectos, de la sequía y/o deficiencia nutricional, sobre la FBN.

Cada vez que el agua útil disminuye por debajo del 60% (umbral crítico para la soja durante el llenado de granos) se compromete también la fijación de N, que es máxima en esta etapa. Normalmente las capacidades de fijación de los nódulos se restablecen si las condiciones de sequía no son tan severas o duran muchos días, no obstante, con menos del 10 % del agua útil, aunque los nódulos y el cultivo recuperen su humedad al llover o regarse, la capacidad de fijación se torna irrecuperable.

Fósforo

La soja posee la capacidad de crecer y desarrollarse con niveles de P más bajos que los cereales. Es importante la disponibilidad de este elemento

para lograr un rápido crecimiento, y un desarrollo adecuado de la parte aérea, de las raíces, de los nódulos (número, ubicación y tamaño) y de una eficiente FBN. En caso de **deficiencia** se refleja una marcada **disminución del crecimiento inicial**, con hojas **pequeñas de color verde oscuro y más gruesas**; deficiencias severas pueden retrasar la maduración del cultivo. El P se acumula sostenidamente a altas tasas con máxima acumulación durante el llenado de los granos, y decaen recién hacia la finalización de este periodo.

Los criterios para decidir la fertilización fosfatada son:

- **Suficiencia:** Aplicar el P estrictamente necesario para satisfacer las necesidades inmediatas, solamente con niveles de P extractable por debajo del umbral crítico.
- **Reposición:** Aplicar el P extraído por el cultivo reponiendo el P al suelo.
- **Reposición y construcción:** Aplicar el P extraído por el cultivo, más el P destinado a elevar el nivel del nutriente en el suelo.

La Tabla 2 muestra la recomendación de fertilización fosfatada de acuerdo al nivel de P Bray y rendimiento esperado. La respuesta a la fertilización fosfatada depende del nivel de P disponible en el suelo, pero también es afectada por factores del suelo (textura, temperatura, materia orgánica, pH), del cultivo (requerimientos y rendimiento) y de manejo del fertilizante. Se recomienda, para las diferentes áreas agrícolas de Argentina, la determinación del contenido de P extractable de los suelos (método de Bray Kurtz P-1) en la capa de 0 a 20 cm de profundidad; habrá **respuesta** a la fertilización cuando los valores sean inferiores a **14-17 ppm**.

Tabla 2. Recomendaciones de fósforo para soja según el contenido de P Bray en el suelo y el rendimiento esperado

| Rendimiento ton/ha | Concentración de P Bray en el suelo (mg/kg) | | | | |
|-----------------------|---|-----|-----|------|-------|
| | Menos 4 | 4-6 | 6-8 | 8-11 | 11-16 |
| | kg P/ha | | | | |
| 2 | 19 | 14 | 12 | 10 | |
| 2.5 | 21 | 17 | 15 | 13 | |
| 3 | 24 | 20 | 17 | 16 | 11 |
| 3.5 | 27 | 22 | 20 | 18 | 14 |
| 4 | 29 | 25 | 23 | 21 | 16 |
| 4.5 | 32 | 28 | 25 | 24 | 19 |

MESONUTRIENTES

Azufre

La dinámica de absorción del S sigue un ritmo muy similar a la del N, y también está asociada a la expansión foliar y el crecimiento vegetativo de la planta. Se acumula a elevadas tasas alrededor de R3, decayendo el ritmo de absorción en etapas posteriores. Los síntomas de **deficiencia** son **similares a**

los de N (hojas amarillentas) pero se dan **en las hojas superiores** (más jóvenes). Generalmente presenta una clorosis general incluyendo nervaduras, y los tallos se tornan finos, duros y elongados. Debido a la participación en proteínas estructurales de la planta, es que su disponibilidad debe ser adecuada desde la germinación misma. La deficiencia de S puede reducir la síntesis de las enzimas que forman parte del aparato fotosintético. Se considera también que debido a la estrecha relación entre el metabolismo del S y del N, las deficiencias del primero afectan la asimilación y concentración del segundo en las hojas.

Debido a la alta movilidad de los iones sulfato en el suelo, la determinación de S-sulfato a la siembra es solamente orientativa, se indican umbrales de **8-10 ppm** como **nivel crítico**, por debajo de los cuales puede encontrarse respuesta a la fertilización.

Otros indicadores que pueden utilizarse para determinar la necesidad de S son:

- Suelos arenosos de baja materia orgánica (<2%).
- Suelos degradados (sistemas intensivos) con reducciones marcadas de materia orgánica.
- Cultivos de alto rendimiento fertilizados con N y P.
- Relaciones N:S en suelo mayores de 5-7:1.
- Relaciones N:S en tejido vegetal superiores a 15:1

En la Figura 3 se observa un diagrama orientativo para el manejo nutricional del cultivo, dónde se plantea la inoculación, y si se detectara alguna falla en la misma sería conveniente, pero poco practicable, una fertilización nitrogenada. Cuando el nivel de fósforo está por debajo de las 20 ppm estará a criterio del técnico fertilizar con P, basado en que no habrá respuesta por parte del cultivo, pero sirve para mantener los niveles de P en el suelo, si el mismo está por debajo de 15 ppm, se debería fertilizar (suficiencia), o sino el criterio tendría como objetivo la reposición del elemento. Si el contenido de materia orgánica estuviera por debajo del 2% y los niveles de sulfato menores a 10 ppm, se recomendaría emplear fuentes azufradas directamente, o en los cultivos previos que integran las rotaciones dada su residualidad.

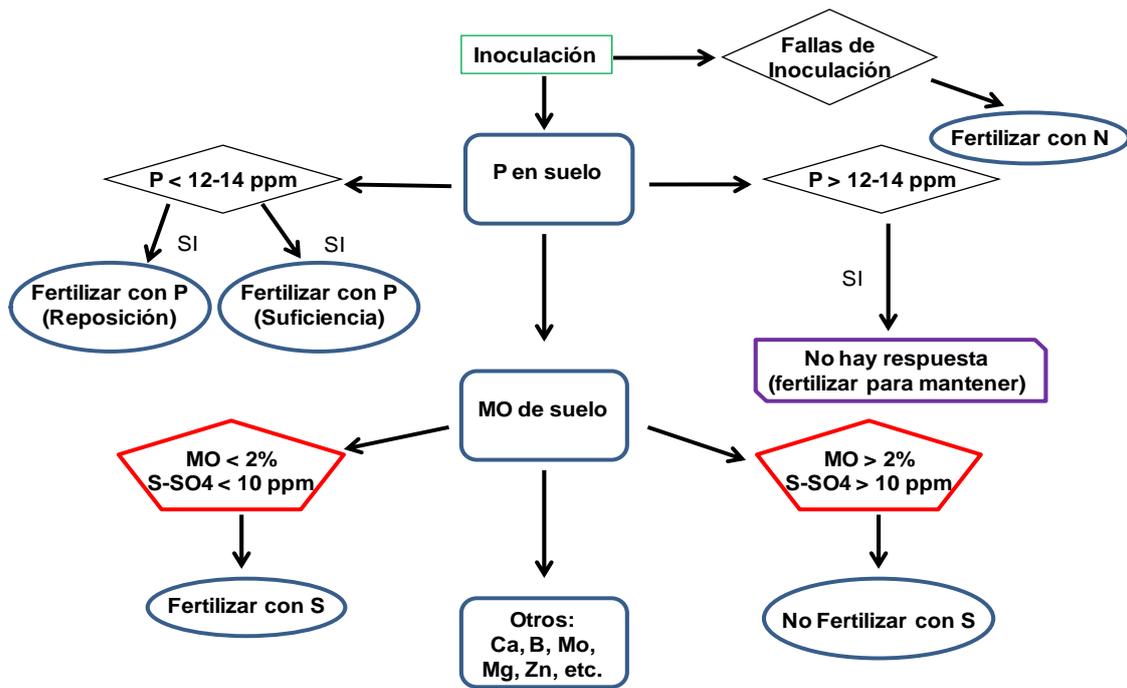


Figura 3: Diagrama para el manejo de la nutrición de soja.

Calcio, Magnesio

El **Ca** interviene en el sistema de asimilación de nutrientes, en la formación de la pared celular y está involucrado en la supervivencia y crecimiento de los rizobios. Es un elemento inmóvil a nivel de floema y no se redistribuye en la planta, por lo tanto, la **deficiencia nutricional** se presenta en las **hojas nuevas o más jóvenes**. Respecto a la influencia del Ca sobre la producción del cultivo de soja, la misma estaría dada por incrementar los niveles del nutriente disponible en el suelo y no tanto sobre la modificación del pH que podría efectuar. El **Mg** presenta movilidad dentro de la planta, trasladándose de órganos maduros a órganos de activos crecimiento, su **deficiencia** por lo tanto se ve en **hojas maduras**, y hay que tener en cuenta que:

- La absorción de Ca y Mg están limitadas a PH bajos.
- Aun aumentando el contenido de Ca en solución a PH bajo, no hay una correspondencia a nivel de absorción, lo cual demostraría la competencia directa por otros cationes o indirectamente a través del menor desarrollo radicular.
- Es difícil separar las deficiencias de Ca o Mg, respecto a la toxicidad de Al (aluminio) o Mn (manganeso) a PH muy bajo en el suelo.
- La infección por parte del *Bradyrhizobium* requiere niveles altos de Ca, y pueden agudizar la deficiencia.
- La deficiencia de Ca en general es de difícil observación, porque suelen presentarse previamente problemas de acidez.

MICRONUTRIENTES

Las deficiencias de micronutrientes son aún menos frecuentes que para en caso del N, del P y del S en la Región Pampeana Norte de Argentina, ya sea porque no están presentes en forma aguda en los suelos o porque debido a la falta de investigación no se las ha detectado e informado. En diferentes regiones del país mostraron resultados positivos para el caso del **Mo, B, Mn y Zn**.

No existen actualmente estudios sobre la determinación de los niveles críticos de diferentes micronutrientes, en distintas áreas productivas y menos aún de determinaciones de ellos en tejidos vegetales. Es necesario destacar que los micronutrientes han comenzado a estudiarse en las últimas campañas, y que para abordar en forma seria y responsable un estudio sobre los mismos se debería cumplir con las siguientes acciones:

- Conocer con seguridad los síntomas de deficiencia y monitorearlos durante los primeros estados de desarrollo.
- Conocer las condiciones de suelo donde las deficiencias son más probables de ocurrir.
- Realizar análisis de suelos y de tejidos vegetales y determinar los niveles críticos para cada micronutriente mediante estudios sistemáticos.
- Conocer los niveles de pH del suelo que pueden ocasionar "bloqueos" o "no disponibilidad" de micronutrientes.
- Realizar franjas exploratorias mediante ensayos simples y con pocos tratamientos.

Bibliografía consultada

- Ciampitti I. y Garcia F. (2007). Requerimientos nutricionales, absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. Recuperado de: <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1081>
- Ciampitti, I., Garcia F. y Bianchini A. (2012). La nutrición del cultivo de soja. En: El Cultivo de soja en Argentina. Buenos Aires. Eds: Baigorri H. (in memorian) y Salado Navarro. pp 189-204.
- Collino, D., De Luca M., Peticari A., Urquiaga Caballero S. y Racca R. (2007). Aporte de la FBN a la nutrición de la soja y factores que la limitan en diferentes regiones del país. Libros de Resúmenes XXIII Reunión Latinoamericana de Rizobiología, Córdoba.
- Ferraris, G. y Gonzalez Anta, G. (2014). Contribución del Nitrógeno Inorgánico y de la FBN a la Nutrición nitrogenada de Soja en Argentina. Recuperado de: <http://www.agrositio.com/vertext/vertext.php?id=68947&se=18>
- Fontanetto, H y Keller, O. (2006). Consideraciones sobre el manejo de la fertilización de la soja. Información técnica cultivos de verano. Campaña 2006. Publicación Miscelánea N° 10. EEA INTA Rafaela. Recuperado de <http://www.agrolluvia.com/wp-content/uploads/2009/09/r-consideraciones-manejo-fertilizacion-soja.pdf>
- Fontanetto, H., Keller, O. Sillon, M. Albrecht J., Giailevra D., Negro C. y Belotti L. (2011). Manejo de la Fertilización de la Soja en Regiones Templadas. Resumen de Ecofisiología y

Climatología del Quinto Congreso de la Soja del Mercosur y 1^{er} foro de la Soja Asia-Mercosur. Mercosoja 2011, Rosario. Recuperado de: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-manejo_de_la_fertilizacin_de_la_soja_en_regiones_tem.pdf

- Garcia, F. (1998). Azufre en la Region Pampeana. Recuperado de: <http://www.proyected.com.ar/econoagro/images/stories/pdf/agricultura/CicloAzufre.pdf>
- Garcia, F (2004). Criterios para la fertilización de soja. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/228686447_Soja_Criterios_para_la_fertilizacion_del_cultivo
- Garcia, F y Ciampitti I. (2009). La nutrición del cultivo de Soja. En: Manual de manejo del cultivo de Soja. 1ra edición. Ed: F. Garcia, I. Ciampitti y H. Baigorri. pp 33-56
- González, N. y Racca, R. (2012). Fijación biológica de nitrógeno en soja. En: El Cultivo de soja en Argentina. Buenos Aires. Eds: Baigorri H. (in memorian) y Salado Navarro. pp 105-119.
- Lodeiro, A. (2015). Interrogantes en la tecnología de la inoculación de semillas de soja con Bradyrhizobium spp. Recuperado de <http://www.elsevier.es/es-revista-revista-argentina-microbiologia-372-articulo-interrogantes-tecnologia-inoculacion-semillas-soja-S0325754115000899>
- Peticari, A., (2006). Impacto de la Fijación Biológica de Nitrógeno en la Producción de Soja. Recuperado de <http://www.fertilizando.com/articulos/Impacto%20Fijacion%20Biologica%20Nitrogeno%20en%20Produccion%20de%20Soja.asp>
- Racca W. (2002). Inoculación en soja: una herramienta fundamental para maximizar la productividad. Recuperado de: <http://agro.unc.edu.ar/~ceryol/documentos/soja/Inoculacion.pdf>
- Rotondaro, R. Nutrición del cultivo de soja. (2016). Recuperado de <http://portal.acabase.com.ar/suelofertil/Articulos%20de%20Inters/SOJA/Soja%20-%20Nutrici%C3%B3n%20del%20cultivo%201era%20parte.pdf>
- Salvagiotti F., Capurro J. y Enrico J. (2009). El manejo de la nutrición nitrogenada en soja. Para mejorar la producción 42. EEA INTA Oliveros. Buenos Aires. Recuperado de: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-nutricion_nitrogenada.pdf
- Zapata, F., Danso S., Hardarson, G. y Fried M. (1987). Time course of nitrogen fixation in field-grown soybean using nitrogen -15 methodology. Agron. J. 79: 173-176. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/223176621_Nitrogen_fixation_in_fababeans_as_affected_by_plant_population_density_in_sole_or_intercropped_systems_with_barley



Algunos aspectos nutricionales en Soja del Ing. Agr. (Esp) Toledo, Rubén se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 2.5 Argentina](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/arg/).