

## Algunos conceptos sobre agua y nutrientes en soja (*Glycine max*)

Ing. Agr. (Esp) Rubén Toledo.  
Cereales y Oleaginosas, FCA, UNC



@sojaenmultimedia

### DISPONIBILIDAD DE AGUA

Las precipitaciones es el factor climático de mayor influencia sobre la producción de grano del cultivo. Podemos mencionar que el déficit de lluvias aumenta en general su intensidad de este a oeste de nuestro país, debido a la reducción de las precipitaciones y de la capacidad de almacenar agua de los suelos, que presentan texturas cada vez más gruesas. En Argentina el 25% de la superficie pertenece a una región húmeda, el 15 % a una semiárida y el 60% a una árida. La primera posee promedios anuales de precipitaciones entre los 700 y 1100 mm, concentradas en primavera, verano y otoño. La combinación de los factores de suelo y clima, la ha constituido en una de las áreas más propicias del mundo para la producción de granos y carnes en condiciones de secano. (Bacigaluppo y Salvagiotti, 2018)

La única fuente de agua en secano no solo es la lluvia, también hay que considerar el riego y la presencia de napas freáticas, siempre y cuando estas se encuentren a una profundidad tal que permita la implantación del cultivo, no limite la normal aireación de las raíces y el ascenso capilar desde dicha napa alcance el área de exploración radicular, lo que depende de la textura y características físicas del suelo. En tales situaciones el cultivo se independiza de las precipitaciones y puede alcanzar altos rendimientos, aún en campañas con escasas precipitaciones, cuando el vuelco y las enfermedades no son limitantes. (Baigorri, 2004)

Se puede mencionar que, en función del agua, el **rendimiento (RTO)** se define por la ecuación:

$$\text{RTO} = \text{evapotranspiración del cultivo (ET}_c\text{)} \times \text{eficiencia de uso del agua (EUAr)}$$

Dónde la  $ET_c$  depende de las características del ambiente (temperatura, radiación, viento, déficit de presión de vapor) y  $EUAr$  depende del cultivo (IAF, altura), con respecto a esto último, registra valores entre  $5$  y  $11 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  (Della Maggiora et al., 2000), del cual se puede mencionar que la **EUAr promedio** es de  $8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ . El consumo va variando de un mínimo en las primeras etapas de desarrollo (promedio de  $1 \text{ mm dia}^{-1}$ ), aumenta a mayor velocidad a partir de R1 y llega a un máximo en R5 (promedio de  $8 \text{ mm dia}^{-1}$ ), para luego reducir el consumo hacia la madurez del cultivo.

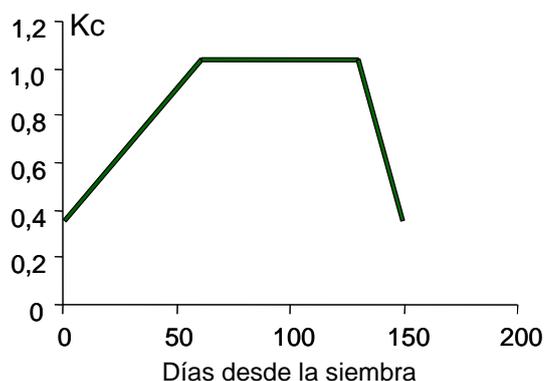
Con respecto a la  $ET_c$  se define:

$$\text{ET}_c = \text{ET}_0 \text{ (evapotranspiración de referencia)} \times \text{K}_c \text{ (coeficiente del cultivo)}$$

Con respecto a la  $ET_0$  se puede estimar a través de un método semiempírico. que en general presenta buen comportamiento para distintas regiones climáticas, y combina los principales factores que gobiernan la pérdida de agua, como la radiación solar, la temperatura, la humedad del aire y velocidad del viento. (Della Maggiora et al., 2000) Se

han desarrollado varios procedimientos para determinar la evapotranspiración a partir de estos parámetros, sin embargo, la Food and Agriculture Organization (FAO) recomienda el método de Penman-Monteith como el único para la determinación de la  $ET_0$  con parámetros climáticos (Allen, 2006).

El  $K_c$  es un valor que es llamado así porque las diferencias entre el cultivo y el pasto de referencia se combinan dentro de un coeficiente sencillo. El  $K_c$  relaciona la  $ET_0$  con el crecimiento y desarrollo del área foliar de un cultivo, y se obtiene al dividir la  $ET_c$  por la  $ET_0$ . Casi toda el agua transpirada por un cultivo pasa a través de la superficie de sus hojas. De ahí la importancia que tiene el área foliar en la determinación del  $K_c$ , generalmente expresada como índice de área foliar (IAF) (Andriani, 2016) Es decir que el  $K_c$  varía en función de la etapa de desarrollo del cultivo, por ello habrá varios valores de  $K_c$  durante su ciclo evolutivo (Andreani, 1997) Para soja el valor de  $K_c$  máximo es de **1,04**, y lo alcanza durante el **período crítico** de definición de rendimiento (R4-R6) para luego disminuir a un  $K_c$  final de 0,5. Fig. 1.



**Figura 1:** Variación del  $K_c$  durante el ciclo del cultivo de soja.

El consumo de agua del cultivo va a depender de:

- La demanda atmosférica:** a mayor demanda atmosférica la planta evapotranspira más, hasta un límite fijado por el potencial agua de sus hojas, y depende de: la radiación incidente, la temperatura, la humedad relativa del aire y del viento.
- La duración del ciclo del cultivo:** mayor largo del ciclo del cultivar, mayor es la cantidad de agua consumida.
- El área foliar desarrollada:** Casi toda el agua transpirada pasa a través de estomas ubicados en la superficie de las hojas. De manera que a medida que aumenta el área foliar aumenta linealmente el consumo de agua del cultivo.

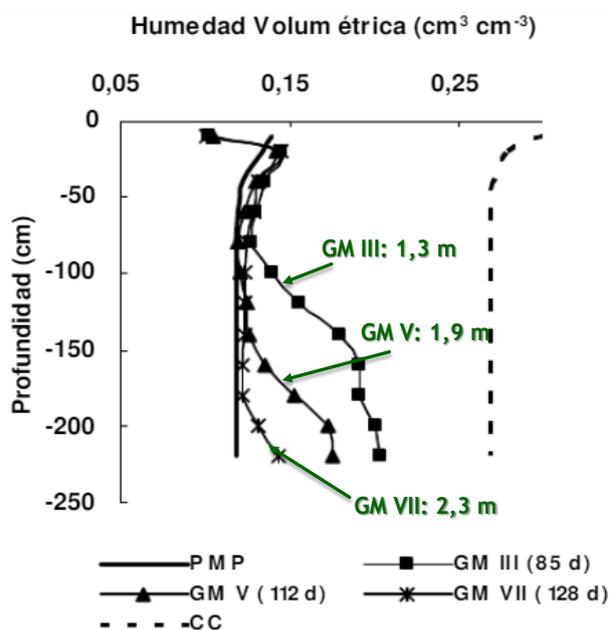
En condiciones de secano es muy frecuente que las necesidades de agua del cultivo no sean satisfechas, en estas condiciones la disponibilidad de agua va a depender de:

- Las **precipitaciones** que llegan a la superficie del suelo se dividen en dos componentes:
  - La precipitación efectiva: agua que infiltra y llega a la zona radical del cultivo.
  - La precipitación escurrida: agua que no ingresa al sistema y escurre superficialmente y que aumentará cuando mayor sea: a) La intensidad de la lluvia, b) La pendiente del suelo, c) La humedad del horizonte superficial y d) La falta de cobertura en la superficie del suelo.
- El **crecimiento y exploración de las raíces** cesa aproximadamente en el estado **R5**. La producción del cultivo está íntimamente ligada a la transpiración, por ello la importancia de un buen sistema de raíces para cubrir los requerimientos transpiratorios del cultivo, y se debe considerar factores edáficos, biológicos y climáticos, pero básicamente el aporte de agua y la posibilidad de satisfacer su requerimiento, y depende de: a) almacenaje de agua dentro del suelo; b) capacidad

de las raíces de extraerla; c) capacidad del tejido vegetal de transmitirla a la parte aérea; y d) capacidad de las raíces de explorar nuevos volúmenes de suelo. (Gil, 2005)

Recordemos que la planta tiene un patrón de desarrollo del **sistema radical** que va evolucionando a lo largo del ciclo del cultivo, y que junto con la **parte aérea** llega a su **máxima expresión alrededor de R5**.

Cuanto mayor es el GM, será mayor su capacidad para desarrollar estructura aérea y raíces; por ejemplo, la profundidad efectiva de las raíces obtenida en una experiencia en Manfredi (Córdoba) -suelo Haplustol éntico- medido en R4 el GM III registró 1,3m, el GM V 1,9m y el GM VII 2,3m de profundidad Fig. 2.



**Figura 2:** Capacidad explorativa de raíces según el GM. (Fuente: Dardanelli, 1997)

**c. La capacidad de almacenaje de agua** está directamente relacionada con la textura y porosidad del suelo. En el área sojera núcleo predominan los suelos franco-limosos, que son los de mayor capacidad de retención (Andriani, 1997). Según Salinas y Martellotto (2012) para determinar la capacidad que tengan los suelos de almacenar agua, y proveer a los cultivos, va a depender de las características físicas (textura y estructura) y de manejo (siembra directa, rotación, etc). En la Tabla 1 se observa los valores orientativos de agua disponible según la textura de suelo.

**Tabla 1:** Valores orientativos de agua útil  $\text{cm}^{-1}$  de profundidad (Salinas y Martellotto, 2012)

Texturas	Capacidad de agua disponible (mm/cm)
Arenas gruesas	0,20 – 0,62
Arenas finas	0,62 – 0,83
Arenas francas	0,91 – 1,00
Franco arenosos	1,04 – 1,17
Franco arenoso fino	1,25 – 1,67
Franco limoso	1,67 – 2,08
Franco limo arcilloso	1,50 – 1,67
Arcilla limosa	1,25 – 1,42
Arcilla	1,00 – 1,25

Según Andreani (2006) un estrés hídrico entre **VE-R1** afecta la estructura de la planta y el área foliar, así también como la eficiencia de conversión, y aumenta el aborto de estructuras reproductivas, y puede generar una merma del **10%** del RTO; los mecanismos de compensación (serán de mayor o menor magnitud según el momento de la etapa), así entonces el aborto puede ser compensado total o parcialmente por la fijación de nuevas vainas, más granos por vaina, y/o granos más pesados. Si el estrés ocurre entre **R1-R5** puede reducir un **20%** o más el RTO, provocado por el aborto de flores y vainas siendo en

parte compensado con el peso de los granos, si cesa la deficiencia hídrica luego de R5. Si la misma ocurre entre **R5-R7** disminuye simultáneamente el número de vainas, el número de granos por vainas y el peso de los granos, sin que haya probabilidad de compensación, y pueden producir pérdidas de RTO muy importantes (**40% o más**).

## DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES

La soja no es indiferente a la necesidad de absorber una importante cantidad de nutrientes para su crecimiento y definición de rendimiento, en la Tabla 2 se observan los requerimientos de absorción e índice de cosecha (IC) según el elemento.

**Tabla 2:** Absorción, extracción e índice de cosecha (relación extraído/absorbido), para los principales nutrientes de soja. Las unidades se encuentran expresadas en base seca (Fuente: [Ciampitti y Garcia, 2007](#))

Nutriente (expresado en base seca)	Requerimiento (kg/ton)	IC (%)	Nutriente (expresado en base seca)	Requerimiento (kg/ton)	IC (%)
Nitrógeno (N)	75	73	Cloro (Cl)	0,237	47
Fósforo (P)	7	89	Cobre (Cu)	0,025	53
Potasio (K)	39	49	Hierro (Fe)	0,300	25
Calcio (Ca)	16	19	Manganeso (Mn)	0,150	33
Magnesio (Mg)	9	39	Molibdeno (Mo)	0,005	85
Azufre (S)	4,5	72	Zinc (Zn)	0,060	70
Boro (Bo)	0.025	31			

### Nitrógeno (N)

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 (en R5 se observa las máximas tasas de absorción de N).

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 a través de dos mecanismos, ya sea por absorción del suelo o por fijación biológica nitrogenada (FBN) donde las bacterias fijadoras de N atmosférico (N<sub>2</sub>) (*Bradyrhizobium japonicum*) convierten el N en amonio mediante la acción de la enzima nitrogenasa, y que luego la soja fija el N<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 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 ( $\text{NH}_4^+$ ), dejando a la planta el costo energético de la asimilación.

Diferentes estudios experimentales 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: **P, Ca, Mg, Co, Mo y Cu**. 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.

Resumidamente el proceso de **inoculación y fijación** consta de:

**Etapas 1:** Las semillas con los rizobios adheridos se siembran en un suelo.

**Etapas 2:** luego de la inoculación y la siembra ocurre mortandad entre los rizobios inoculados.

**Etapas 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 mortandad de los rizobios liberados al suelo.

**Etapas 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.

El sistema de FBN posee una capacidad potencial para cubrir el 75-80% de los requerimientos de N del cultivo, en Argentina la proporción de N derivado de la FBN representa el **58 % de la absorción total de N**. (Zorita et al., 2019) La FBN puede verse 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, salvo que los rendimientos esperados superen los 50 qq ha<sup>-1</sup>. (Salvagiotti, 2018)

El *Bradyrhizobium japonicum* al no ser una cepa nativa es necesario incorporarla 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. Las cepas son seleccionadas por:

- Su capacidad para formular nódulos (**infectividad**).
- Para fijar N (**efectividad**).
- La sobrevivencia en las semillas y en el suelo.
- La adaptación o tolerancia a situaciones de estrés, etc.

En el envase debe constar obligatoriamente la fecha de vencimiento y el número de lote. Los soportes disponibles en el mercado se dividen en **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**. 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 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:

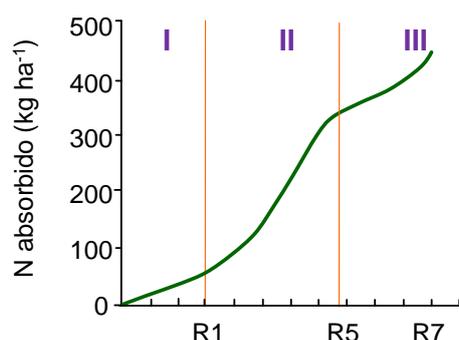
- Los suelos con moderada o alta disponibilidad de formas inorgánicas de N, y/o importantes tasas de mineralización durante el ciclo del cultivo, retardan el inicio de la nodulación y/o inhiben el funcionamiento.
- La simbiosis es sensible a condiciones de anegamiento con sólo 2 a 3 días de inundación 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.

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 FBN, 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 FBN se torna irrecuperable.

En síntesis si tuviéramos que mencionar algunos parámetros para definir una buena nodulación ([Ferraris, 2020](#)):

- Deben ser viables, infectivos y efectivos.
- Color interno de los nódulos: entre rojo-rosado.
- Tamaño de nódulos > a 4 a 6mm.
- Deben ubicarse en la raíz primaria.
- > del 20% en el cuello de la raíz.
- > 80% de las plantas noduladas.
- Más de 15 nódulos planta<sup>-1</sup>.
- Peso seco > 300mg planta<sup>-1</sup>.

En cuanto a la dinámica de absorción de N se puede mencionar 3 etapas: I) De VE a R1 - Los nódulos se desarrollan, pero con bajo aporte por FBN, en este momento es > la



dependencia de la planta del N del suelo. II) De R1 a R5 - Los nódulos están desarrollados, se hace máxima la tasa de FBN, y se reduce la dependencia del N del suelo. III) De R5 a madurez - Disminuye la tasa de FBN, se reduce el aporte de N del suelo, y aumenta la demanda de N del grano. (Fig. 3)

**Figura 3:** Dinámica de absorción de N durante el ciclo. Fuente: [Salvagiotti, 2009](#); [Salvagiotti, 2015](#)

En síntesis, como prácticas para manejo del N.

- **Acciones directas:** Inoculación del cultivo: La primera recomendación es la selección de un inoculante de calidad.
- **Acciones indirectas:** Además de la inoculación es importante generar las condiciones ambientales para sacar el mayor provecho de la FBN, por lo tanto, hay que considerar humedad de suelo, fertilización con otros nutrientes, pH cercano a la neutralidad, manejo de la condición física del suelo.

Aquí surge la pregunta ¿Es necesario entonces fertilizar con N para lograr altos rendimientos? Y pensando el efecto “antagónico” sobre la eficiencia en la simbiosis, no habría una respuesta definitiva, pero hay que tener en cuenta:

- La soja cuanto más produce mayor es FBN.
- La fertilización con N estaría justificada en ciertas situaciones de alto rendimiento potencial (superior a 50 qq ha<sup>-1</sup>)
- Sojas de alto rendimiento se encuentran en un nivel de moderada deficiencia de N, ya que no existen respuestas mayores al 20% al agregar dosis altas de N como fertilizante.
- La aplicación de N en superficie NO brinda ventajas, ya que producirán un reemplazo del N derivado de la FBN.
- No hay certezas sobre la forma de proveer el N adicional.

## Fósforo (P)

La soja puede crecer y desarrollarse con niveles de P más bajos que los cereales, pero es importante su disponibilidad, ya que se trata del 2<sup>do</sup> elemento en importancia, luego del N, y es necesario para lograr un rápido crecimiento, y 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 manejar el P:

- **Conocer** el nivel de P Bray según análisis de suelo.  
A partir de esto:
- Fertilización para cubrir la demanda del cultivo. (**mantenimiento**)
- Fertilización de “suficiencia y construcción”: es decir mantener y/o mejorar el nivel de P Bray del suelo (**Reposición**)

La respuesta a la fertilización fosfatada depende del nivel de P disponible, factores propios 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 P Bray-1) en la capa de 0 a 20 cm de profundidad. Para que la planta tome el P existe un valor crítico por debajo del cual es aprovechado en el momento, por ejemplo, en la Fig. 4 se observa que para un suelo vertisol el umbral es menor (8ppm) comparado con los otros tipos de suelos (11ppm). Concretamente habrá respuesta en el ciclo con valores por debajo de **11ppm**.

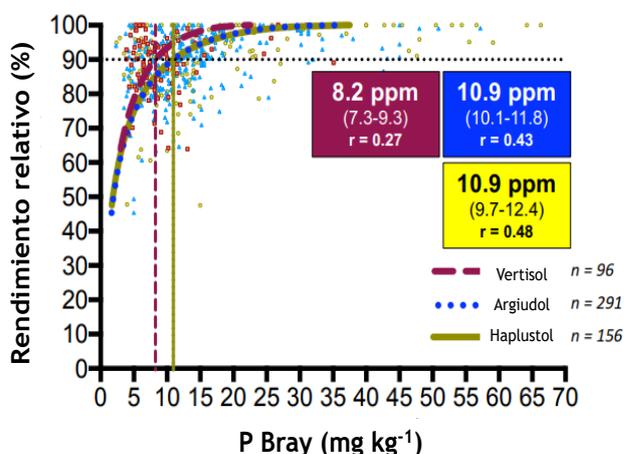


Figura 4: Nivel crítico de P según tipo de suelo. Fuente: Correndo et al., 2017

## Azufre (S)

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 **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

## MICRONUTRIENTES

Las deficiencias de micronutrientes son aún menos frecuentes que para el caso del N, del P y del S en la Región Pampeana Norte de Argentina ([Sainz Rosas, et al., 2019](#)) Hay ocho elementos considerados micronutrientes que son: Zinc (Zn), Boro (B), Molibdeno (Mo), Manganeso (Mn), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Cloro (Cl) y Níquel (Ni). Otro elemento es el Cobalto (Co) si bien no es esencial para las plantas, si lo es para el crecimiento de los microorganismos fijadores de N. En soja las respuestas se consiguieron fundamentalmente con fertilización con B, Zn y Co-Mo. ([Gudelj, 2019](#))

### Zinc (Zn)

El Zn se considera inmóvil tanto en las plantas como en el suelo, y es el micronutriente que se aplica con mayor frecuencia en la producción de maíz y soja. Es importante para las **proteínas**, la formación de **enzimas** y la integridad de la **pared celular** de las plantas ayudando a su **crecimiento**. Puede haber problemas de retención de Zn y no ser absorbido por las plantas con altos niveles de Ca en el suelo, similar situación puede ocurrir con altos niveles de P. Se debería fertilizar con valores de **< de 1ppm** de Zn en suelo.

### Boro (B)

El B ayuda a la formación de la **pared celular** y regula el **metabolismo de las plantas**; es un elemento móvil y se puede lixiviar con la lluvia, pero se inmoviliza una vez

que se introduce en las plantas. Las deficiencias de B pueden ser identificadas por hojas jóvenes malformadas y decoloradas y **plantas atrofiadas**. Se debería fertilizar con valores de **< de 0,5 ppm** de B en suelo.

### **Molibdeno (Mo)**

El Mo es requerido para que ocurra adecuadamente el **proceso de FBN**. Los síntomas de deficiencia de Mo tienden a imitar a la escasez de N. Las plantas deficientes en Mo presentan relativamente mayor acumulación de nitratos y menor acumulación de compuestos amino soluble. Como la función más importante del Mo en el metabolismo de la planta es la **reducción del nitrato**; existe similitud en los síntomas visuales de deficiencia de N, que se muestra como una **clorosis inicial** en las hojas más maduras, y al contrario de la deficiencia de N, la de Mo presenta posteriormente **necrosis en las márgenes** de las hojas (Melgar, 2011)

### **Cobalto (Co)**

El Co también es **esencial para la FBN** y el crecimiento de los rizobios. Su deficiencia inhibe la síntesis de leghemoglobina, y como consecuencia, la eficiencia del proceso simbiótico. Suele ser deficiente en suelos arenosos, ácidos o excesivamente cultivados. La mayor disponibilidad de Co no solo provoca un aumento del tamaño de los nódulos, sino también el contenido de Co en los nódulos y el número de bacteroides por nódulo. (Melgar, 2011)

### **Calcio (Ca), Magnesio (Mg)**

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**. 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.

### **Hierro (Fe)**

El Fe es un nutriente inmóvil. Juega un papel vital en la **fotosíntesis y en la respiración** de las plantas, y también es necesario para la FBN. Los síntomas de deficiencia de Fe incluyen la clorosis intervenal de las hojas, y generalmente se encuentra

en suelos de pH alto de 7.5 a 8.3. En casos severos de clorosis de Fe, puede ocurrir la muerte de la planta.

### **Manganeso (Mn)**

El Mn es móvil en el suelo, pero inmóvil dentro del tejido vegetal. La función principal del Mn es ser un activador de las enzimas de **crecimiento de las plantas** y también ayuda en la **formación de clorofila**. Los síntomas de deficiencia de Mn a menudo se pueden confundir con clorosis de Fe.

### **Cloro (Cl)**

El Cl es un elemento muy móvil cuya función es regular la ósmosis y el movimiento de cationes, átomos y pequeñas moléculas dentro y fuera de las células vegetales como parte de la actividad celular normal. Si bien los requisitos de Cl son pequeños para mantener el **crecimiento** adecuado de las plantas, las concentraciones dentro de las plantas son altas, similares a las concentraciones de macronutrientes. En general, es posible que tenga más problemas de toxicidad debido al exceso de Cl en lugar de una deficiencia; los síntomas incluyen **hojas bronceadas** seguidas de marchitamiento y clorosis.

### **Cobre (Cu)**

El Cu es inmóvil tanto en el suelo como en las plantas. Ayuda a las plantas en la producción de **proteínas y enzimas** y rara vez escasea. Al igual que el Cl, debe tenerse cuidado con la posibilidad de toxicidad del Cu. Los síntomas de deficiencia de Cu son **hojas oscuras, azul verdosas y retraso en el crecimiento** de las plantas, seguido de la muerte de las plántulas jóvenes.

### **Estrategia orientativa para el manejo nutricional**

En la Fig. 5 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 es **> a 11 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 (mantenimiento); si es **< a 11 ppm** se debería fertilizar para reposición; si el contenido de materia orgánica (MO) fuera **< a 2%** y los niveles de sulfato **< a 10 ppm**, se recomendaría emplear fuentes azufradas directamente, o en los cultivos previos que integran las rotaciones dada la residualidad de dicho elemento. Con respecto a los micronutrientes, en muchos casos hay falta de información y experiencias al respecto, pero, por ejemplo, para el caso de B con valores **< de 0,5 ppm** sería necesario fertilizar con este micronutriente, lo mismo con respecto al Zn, en este caso con valores **< a 1,0 ppm**.

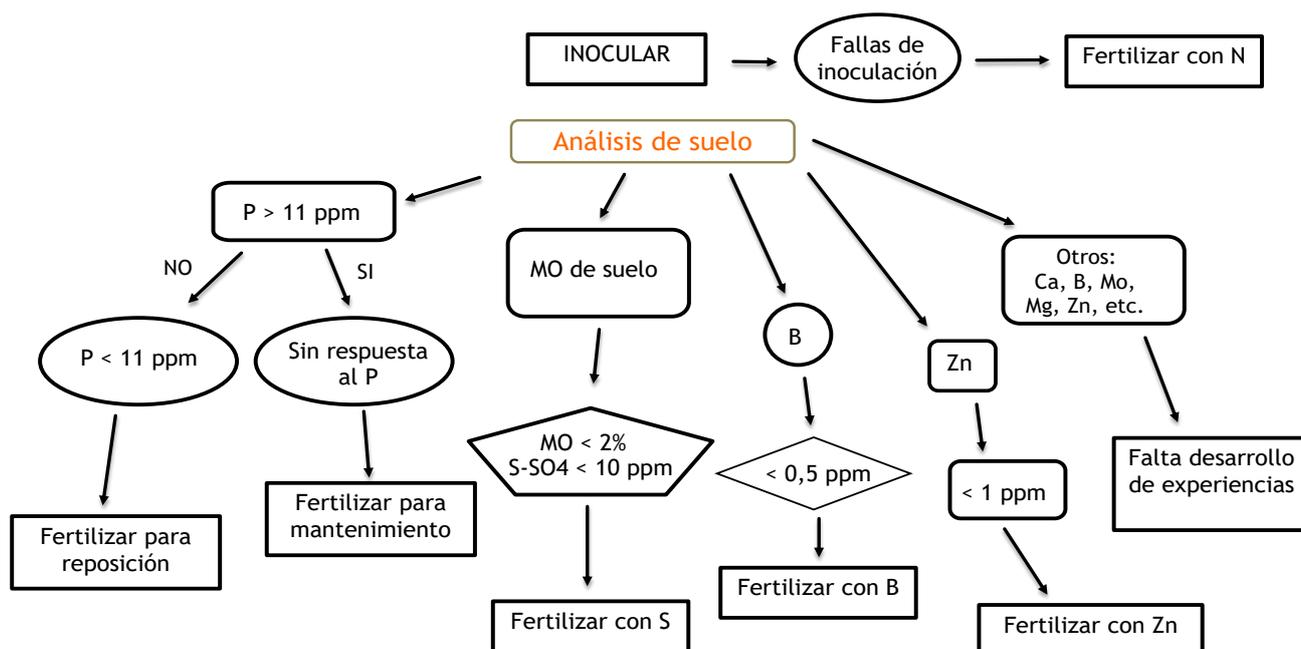


Figura 5: Diagrama para el manejo de la nutrición de soja.

## Bibliografía consultada

- Andriani, J. 2006. Dinámica del agua en el cultivo de soja. *Soja. Actualización 2006. Informe de Actualización técnica n° 3*, Marcos Juárez. pp 24-30.
- Ciampitti, I., García F. y Bianchini, A. (2012). La nutrición del cultivo de soja. *El Cultivo de soja en Argentina*. Buenos Aires. Baigorri H. y Salado Navarro (Eds). 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. <http://www.agrositio.com/vertext/vertext.php?id=68947&se=18>
- García, F. (1998). Azufre en la Región Pampeana. <http://www.proyector.com.ar/econoagro/images/stories/pdf/agricultura/CicloAzufre.pdf>
- García, F. (2004). Criterios para la fertilización de soja. [https://www.researchgate.net/publication/228686447\\_Soja\\_Criterios\\_para\\_la\\_fertilizacion\\_del\\_cultivo](https://www.researchgate.net/publication/228686447_Soja_Criterios_para_la_fertilizacion_del_cultivo)
- González, N. y Racca, R. (2012). Fijación biológica de nitrógeno en soja. *El Cultivo de soja en Argentina*. Buenos Aires. Baigorri H. y Salado Navarro (Eds). pp 105-119.
- Peticari, A., (2006). Impacto de la Fijación Biológica de Nitrógeno en la Producción de Soja. <http://www.fertilizando.com/articulos/Impacto%20Fijacion%20Biologica%20Nitrogeno%20en%20Produccion%20de%20Soja.asp>