



Todo lo que hay que saber sobre inoculación de soja

Aporte de Nitrógeno y rendimiento en soja Importancia de la Fijación Biológica de Nitrógeno (FBN)

- Para obtener **1.000 kg de granos** se necesitan **80 kg de Nitrógeno**

Luego, para obtener:

2.000 kg/ha → **160 kg** de Nitrógeno

3.000 kg/ha → **240 kg** de Nitrógeno

4.000 kg/ha → **320 kg** de Nitrógeno

2.250 kg/ha

- En la Región Pampeana, los suelos pueden aportar entre 70 y **180 kg** de Nitrógeno/ha. Entonces, cuántos kg de soja/ha podemos obtener ?

- Las leguminosas pueden absorber Nitrógeno del aire gracias a un proceso denominado *Fijación Biológica de Nitrógeno (FBN)*.

Necesidad de nitrógeno por el cultivo de soja

Como vemos, se necesitan 80 kilogramos de Nitrógeno por tonelada de soja a cosechar. El promedio nacional de rendimiento de soja es de alrededor de 3000 kg./ha. Por tanto la soja necesita incorporar 240 kg. de N para ese rendimiento. Los suelos argentinos, en general, no tienen esa disponibilidad de N.

¿Cómo obtiene la soja el resto del nitrógeno que incorpora?

Esta especie vegetal, como todas las leguminosas, tiene la capacidad de fijar N (gas N₂) de la atmósfera que nos rodea. La atmósfera contiene aproximadamente 79% de este gas que los seres superiores (plantas y animales) no pueden utilizar. Muchos microorganismos unicelulares inferiores (bacterias) tienen la capacidad de reducir este gas a amoníaco (NH₃) que luego es incorporado a las proteínas de los mismos. Algunas de estas bacterias tienen, además, la capacidad de asociarse con las leguminosas (simbiosis). Como producto de esta asociación se forma, sobre la raíz de la planta, un cuerpo denominado nódulo. En el interior de los nódulos viven las bacterias (genéricamente "rizobios"). La planta las protege del ambiente exterior y la provee con "comida" (azúcares) y los rizobios, como contraparte, fijan N₂ y aportan NH₃ a la planta para que la misma "fabrique" proteínas.

Este proceso, denominado FBN (Fijación Biológica de Nitrógeno), puede aportarle a la soja entre un 30 y un 80% de sus necesidades por este nutriente. La cantidad aportada depende de muchas condiciones: ambientales (temperatura, humedad, fotoperíodo, luminosidad, etc), varietales, edáficas



(tipo y calidad de suelos) y, fundamentalmente, de la calidad de establecimiento del vínculo simbiótico (nodulación).

**Balance de Nitrógeno
para distintos niveles de FBN**
(Cálculos para obtener 3.000 kg de soja)

FBN	N Total (kg)	N en semilla (kg)	N de la FBN (kg)	Balance de N (kg)
0 %	240	180	0	-180
40 %	240	180	96	- 84
50 %	240	180	120	- 60
60 %	240	180	144	- 36
70 %	240	180	168	-12
75 %	240	180	180	0
80 %	240	180	192	12

En la tabla vemos un balance de Nitrógeno de los suelos dependiendo de cuál sea el aporte de la FBN. Como vemos, para un 75% de aporte de este nutriente por esta vía el balance final indica que todo el N que “se llevan” los granos de soja proviene de la FBN y el suelo no se ve empobrecido en el contenido del mismo.

Los resultados de INTA muestran cual es el aporte de la FBN a la soja en diferentes zonas del país:

**Nitrógeno aportado por la FBN en distintas
regiones cultivadas con soja**

Fuente: Ings. Agrs. A. Peticari, C. Piccinetti, M. Puente, J. García y E. Rubio
(IMYZA – INTA Castelar)

Regiones cultivadas con soja	N aportado por la FBN (%) (Parte aérea)
NOA	68 (3)
NEA	37 (1)
Centro-Norte de Santa Fe	58 (1)
Centro-Norte de Córdoba	53 (1)
Centro-Sur de Córdoba	67 (1)
Núcleo Norte	64 (8)
Núcleo Sur	62 (6)
N-La Pampa / O-Buenos Aires	49 (6)
Entre Ríos	64 (2)
SO-Buenos Aires	31 (1)
SE-Buenos Aires	48 (1)



Inoculación

Para obtener el mayor aporte de Nitrógeno por la FBN es necesario que se establezca una muy

buena asociación simbiótica (nodulación). Para ello deben estar presentes los dos socios de la misma: la planta y los rizobios. Estos últimos se proveen realizando la inoculación. La inoculación es el procedimiento de incorporación artificial a las semillas, o al suelo, de rizobios seleccionados en leguminosas cultivadas. Esta se realiza utilizando inoculantes (producto tecnológico que contiene rizobios vivos en calidad y cantidad suficiente para lograr un adecuado establecimiento de nódulos en la raíz de las plantas).

La soja es un cultivo exótico en nuestro país. Por tanto, no hay presencia en nuestros suelos de rizobios naturales específicos para esta leguminosa. Entonces, en suelos sin historia de cultivo de soja previo es imprescindible realizar la inoculación de las semillas.

En las siguientes imágenes vemos las diferencias notorias que se obtienen entre soja inoculada y no inoculada en suelos vírgenes de rizobios.

La franja de soja no inoculada presenta plantas sin nódulos que se traduce en un cultivo amarillento por déficit de Nitrógeno.

**Diferencias entre soja
inoculada y no inoculada**
(lote sin historia sojera)



¿Siempre hay que inocular?

Una vez que se sembró soja inoculada en un lote, los rizobios del inoculante colonizan el suelo. Entonces, cuando se siembra soja nuevamente estos rizobios producen nódulos en el nuevo cultivo. Es esta nodulación suficiente para lograr una adecuada FBN? Esta pregunta tardó muchos años en ser respondida. Muchos productores dejaron de inocular la soja dado que con-



sideraban que con los nódulos producidos por la población de rizobios de los suelos lograban el suministro de Nitrógeno requerido por este cultivo.

Luego de muchos años de opiniones en pro y contra de la necesidad de la inoculación anual de soja, y de experimentos también controversiales, el INTA desarrolló el proyecto INOCULAR. Esta iniciativa, apoyada y financiada por muchas empresas, realiza desde hace más de 10 años experimentación en todas las regiones productoras de soja del país.

Resultados de más de 300 ensayos muestran que la reinoculación anual de soja se traduce en un incremento promedio de aproximadamente 300 kg./ha. Esta repuesta a la inoculación en suelos con población naturalizada de rizobios es dependiente de muchos factores. En la Figura 5b se muestran los resultados obtenidos en diferentes regiones del país.

Como vemos, en todas las regiones la inoculación anual de soja se traduce en mayores rendimientos pero la magnitud del incremento está notablemente influenciada por las condiciones edafoclimáticas.

Por lo antes expuesto podemos concluir que:

- *En ambientes nuevos para soja, la inoculación es imprescindible para alcanzar altos rendimientos.*
- *En suelos previamente cultivados con soja la inoculación es indispensable para sostener altos rendimientos.*

Inoculantes

¿Qué características debe tener un buen inoculante? Un buen inoculante debe reunir algunas condiciones mínimas de calidad para que los beneficios de la inoculación anual antes descripta puedan tener lugar. Un inoculante debe contener una concentración de rizobios, eficientes e infectivos para todas las variedades de soja, suficiente como para agregar un mínimo de 200.000 rizobios vivos por cada semilla tratada. Este estándar de calidad es considerado por referentes de INTA como suficiente para el establecimiento una adecuada simbiosis. Otros técnicos sostienen que un buen inoculante debe proveer un mínimo de 600.000 bacterias por semilla. Otra condición a cumplir por un buen inoculante es que la cantidad utilizada por dosis de producto sea suficiente para distribuirse uniformemente sobre las semillas. Por ejemplo, si usamos un inoculantes cuya dosis recomendada sea de 50 cm³/50 kg de semillas, probablemente podamos tener una concentración de bacterias que nos permita inocular más de 600.000 rizobios/semilla pero, con ese volumen, no podremos distribuir el producto uniformemente. Entonces será necesario diluir convenientemente el inoculante, con agua de pozo u otro solvente acuoso, para poder "mojar" todas las semillas. Además, un buen inoculante debe estar



formulado de forma tal que permita que los rizobios sobrevivan sobre las semillas desde el momento de la inoculación hasta la siembra.

Protectores y preinoculación

Una sola célula de rizobio es capaz, luego de colonizar la superficie de una raíz, de producir nódulos. Entonces, ¿por qué es necesario **inocular con cientos de miles de rizobios cada semilla**? Los rizobios son bacterias muy sensibles a diferentes condiciones ambientales. Una vez agregados sobre las semillas, y hasta que estas llegan al suelo y germinan (y aparecen las radículas), los rizobios se ven sometidos a diversas condiciones que pueden llevar a su muerte. Una de las principales causas de mortalidad de estas bacterias es la desecación. Estos organismos, cuando se someten a condiciones donde el agua que los rodea se evapora, pierden agua intracelular, aumenta la presión osmótica del ambiente, la membrana celular colapsa y la célula muere.



Desde que los rizobios son inoculados sobre las semillas y hasta que llegan al suelo húmedo, son sometidos a condiciones de desecación (y por tanto, mortalidad) en las máquinas inoculadoras, durante el traslado de las semillas, en los cajones de las sembradoras, etc. Y la desecación será mayor a mayor temperatura ambiente. Esta es la razón principal que da lugar a la recomendación de **“realizar la inoculación en ambientes frescos y a la sombra”** que aparece en todos los marbetes de inoculantes.

Hay otras causas de muerte de rizobios como la acción bactericida inespecífica de los curasemillas, la predación por otros organismos del suelo, etc.

Por tanto es necesario agregar cientos de miles de rizobios en la inoculación para asegurarnos que llegue viable (y activa) una concentración suficiente de ellos como para establecer una eficiente nodulación.

Por las razones arriba expuestas se recomienda realizar la inoculación inmediatamente antes de la siembra. Los rizobios inoculados sobre las semillas mueren por desecación en caso que no se creen condiciones de preservación de la viabilidad de los mismos.

Los aditivos-protectores fueron desarrollados con el fin de proteger a los rizobios inoculados. Estos productos protegen a los rizobios de la desecación. Están formulados con sustancias altamente higroscópicas y que presentan una elevada captación de moléculas de agua. Al ser, simultáneamente, nutrientes para los rizobios, estos incorporan estas moléculas en la parte externa de la membrana celular y mantienen (en ese ambiente) una adecuada actividad de agua que preserva la integridad de esta membrana (y por tanto la viabilidad de las bacterias). Esto ocurre a nivel celular, por lo que las semillas se muestran secas al tacto.



Utilizando protectores es posible realizar la inoculación varios días (y según dosis y procedimiento hasta meses) antes de la siembra. Esta tecnología es conocida como **preinoculación**.

Los resultados muestran que la preinoculación es una tecnología que brinda excelentes resultados, además de ser una herramienta muy útil para el productor ya que separa la inoculación de la siembra y permite realizar ambas prácticas de manera cuidadosa minimizando los errores causados por los habituales "apuros" en el momento de la siembra.



Protector y curasemillas

Los curasemillas (fungicidas), si bien son productos desarrollados para el control de hongos, en general presentan una actividad bactericida inespecífica. Por tanto, la aplicación conjunta de inoculantes y curasemillas, disminuye sensiblemente la población de rizobios inoculados. A continuación se muestra la compatibilidad de diferentes curasemillas con los rizobios de soja.

Efecto de diferentes curasemillas en la supervivencia de rizobios sobre semillas de soja

Fuente: Ing A. Peticari (INTA, Castelar)

Principio activo	Dosis / 100 kg de semillas	Concentración (%)	Efecto sobre rizobio a 7 h
Carbendazim + Thiram	300	10 + 10 18,75 + 18,75	Leve
Carbendazim + Thiram	200	15 + 35	Leve a moderado. Algún formulado resultó incompatible.
Carboxin + Thiram	250	20 + 20	Moderado
Carboxin + Thiram	200	37,5 + 37,5	Moderado
Metil tiofanato + Thiram	60 + 200	50 + 36	Moderado
Fludioxinil + Metalaxil	200	2,5 + 1	Leve a moderado
Metalaxil	50	35	Leve a moderado
Tolifluanid	100 - 150	50	Leve a moderado

Como se puede observar la mezcla Carbendazim+Tiram es la que menos perjuicio causa sobre la población inoculada. De cualquier forma, lo que se indica en dicha figura como efecto "leve", se traduce en una disminución más que significativa de los rizobios en 24 horas de contacto entre los productos. Pero, cuando el inoculante se mezcla previamente con el aditivo-protector,

Supervivencia de inoculantes ene-2 incubados con Curasemillas eneDos



Curasemillas eneDos (Carbendazim 18.75% + Thiram 18.75%)
Dosis utilizada= 30 g de c/u de principios activos/100 kg de semillas

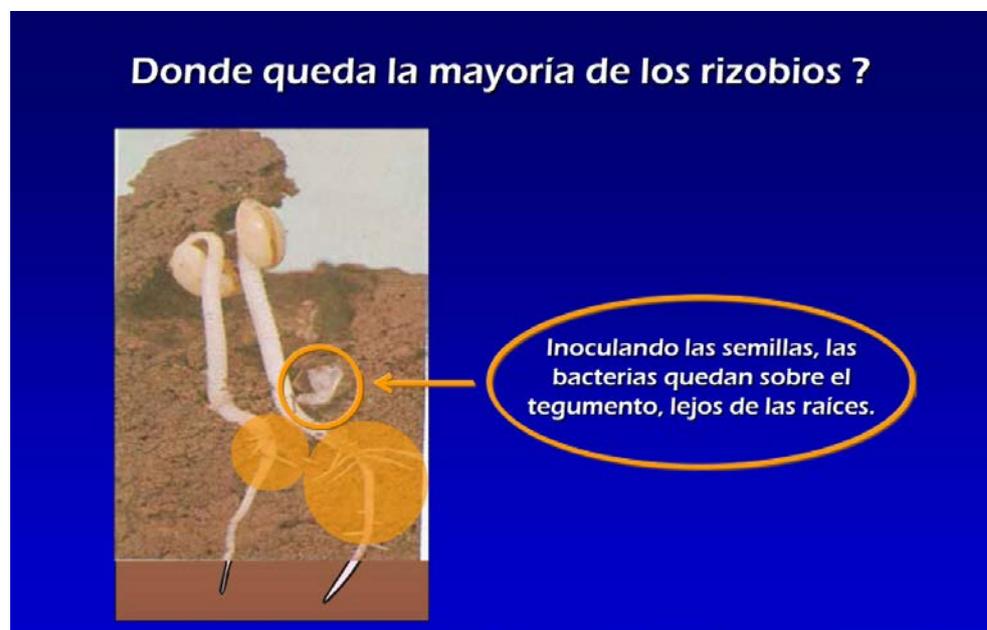
el efecto nocivo del curasemillas disminuye notablemente. Como vemos, el aditivo protector incorporado por las células de rizobios protege a éstos de la acción bactericida de los fungicidas.

La utilización de protectores es recomendable en todos los casos de inoculación, no sólo cuando se desee preinocular las semillas. Esta conclusión se basa en las características de los protectores que podemos resumir en:

1. Protegen a los rizobios de la desecación (sin duda la principal causa de muerte de los rizobios)
2. Protegen a los rizobios de la acción bactericida inespecífica de los curasemillas
3. Proveen a los rizobios (una vez sembradas las semillas inoculadas) de nutrientes de fácil y rápida asimilación para iniciar la colonización de los suelos y radículas
4. Adhieren el inoculante a las semillas eficientemente logrando un excelente aprovechamiento del producto

Inoculación en surco

Cuando las semillas son inoculadas las bacterias quedan adheridas al tegumento. Una vez en el suelo, y cuando comienza la germinación, el tegumento se desprende y la mayoría de las bacterias inoculadas queda lejos de la radícula que debe colonizar para luego formar nódulos.





Esta es otra de las causas por las cuales se deben inocular cientos de miles de rizobios por semilla: solo algunas de las sobrevivientes estará ubicada en el área superficial de las semillas por donde ocurre la emergencia de las radículas.

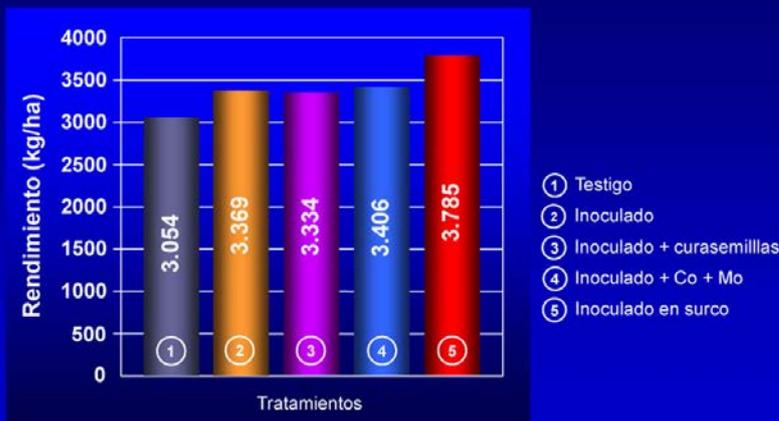
Una alternativa de inoculación que ubica los rizobios del inoculante en un sitio donde indefectiblemente tendrán contacto con la raíz en crecimiento (y podrán colonizarla) es la denominada **inoculación en surco ó inoculación en la línea de siembra**. Este método de inoculación consiste en liberar el inoculante, en el momento de la siembra, por "chorreado" sobre el surco abierto, debajo de las semillas. De esta forma las bacterias colonizan el suelo en el área circundante a las semillas y, cuando las raíces en su crecimiento atraviesen la zona inoculada serán colonizadas por los rizobios. Para la aplicación de inoculante en surco es necesario adaptar en la máquina sembradora un dispositivo que consiste en: un tanque (aprox. 200 litros), una bomba, un sistema de conducción con mangueras que van desde el tanque hasta cada uno de los discos de la sembradora y una serie de accesorios. El inoculante se mezcla con agua en el tambor y se regula la aplicación de acuerdo al caudal de la bomba y a la velocidad del tractor de modo de aplicar aprox. 40 litros de solución de trabajo por hectárea. La dosis de producto a aplicar depende de cada fabricante. En el caso de Laboratorios ARBO SRL recomendamos aplicar 450 cm³ de producto por hectárea.

Los resultados obtenidos por diferentes investigadores muestran que este método brinda excelentes resultados, en muchos casos superiores a los que se obtienen inoculando las semillas por métodos tradicionales.

Respuesta a diferentes técnicas de inoculación en suelos con historia sojera

Campanas 2000 - 2006

Fuente: Ing. Agr. Norma Arias – INTA - EEA Concepción del Uruguay



Inoculación de las semillas y en surco Rendimientos en grano (kg/ha)

Fuente: Christensen, M. AAPRESID, Regional Tres Arroyos y Zamora, M. EEA INTA Barrow

Tratamientos	Lote "a" con historia sojera	Lote "b" con historia sojera
Testigo	3.360	3.385
Inoculación de la semilla	3.475	3.490
Inoculación en el surco	3.575	3.760

Todos los tratamientos recibieron 50 kg de FDA/ha a la siembra de la soja



Esta metodología presenta varias ventajas muy significativas. Algunas de ellas son:

- Las bacterias, al estar en todo momento en un ambiente acuoso, no se ven sometidas a desecación
- Por la misma causa en ningún momento la temperatura de la solución de trabajo se eleva a valores inconvenientes
- Agrega una muy alta carga microbiana en una región donde se garantiza la colonización de las raíces.
- Menor daño mecánico de las semillas ya que no hay necesidad de un pasaje por máquinas para inocular
- Facilidad de aplicación y menor tiempo operativo
- Se pueden agregar otros productos a la solución de trabajo como micronutrientes, fertilizantes líquidos, otros microorganismos PGPR (*Azospirillum* sp., *Pseudomonas* sp.)

Pero también presenta algunas desventajas:

- Doble operación en caso que se deban aplicar curasemillas.
- Necesidad de adaptar la máquina inoculadora a la sembradora
- Necesidad de disponer de una fuente de agua confiable (libre de cloro, limpia) para llenar el tambor cada aprox. 20 has.

Dosis de inoculante a aplicar

Una recomendación habitual de diferentes fabricantes de inoculantes es la de usar doble dosis de producto en suelos sin historia de cultivo de soja previo. Esto es para garantizar una carga de rizobios saturante en un ambiente donde no hay población naturalizada. Pero, qué hacer en suelos donde se haya sembrado soja previamente y que presentan una elevada población de rizobios naturalizados? Habitualmente en estos casos se recomienda usar dosis simple de inoculantes. Pero, ensayos llevados a cabo por diferentes investigadores muestran que es habitual observar un sistemático aumento de rendimientos con aplicaciones de doble dosis de inoculante, aunque se trate de productos de excelente calidad. En la Figura 13 se muestran, a modo de ejemplo, resultados de INTA en la campaña 2007-2008, pero se han realizado muchos otros ensayos con resultados similares.



Efecto de la dosis de inoculante sobre el rendimiento en soja

Campaña 2007 - 2008

Fuente: Ings. Agrs. A. Peticari, C. Piccinetti, M. Puente, J. García y E. Rubio
(IMYZA – INTA Castelar)

