



9 de Julio

INOCULACIÓN EN SOJA: UN NUEVO SISTEMA QUE PERMITE MEJORAR LA CAPTURA DE NITRÓGENO

- **Ing. Agr. M. Sc. Luis A. Ventimiglia**
- **Ing. Agr. M. Sc. Héctor G. Carta**

La soja es un cultivo nitrógeno dependiente. Esto significa que cuanto más nitrógeno pueda incorporar en el rendimiento biológico, mayor será el rendimiento de grano. Esto concuerda con la investigación realizada por Ventura y Amaduccis, quienes indican que de no mediar ninguna carencia nutricional y las condiciones ambientales sean adecuadas para el desarrollo del cultivo, el rendimiento que la soja alcance será explicado en un 96%, por la cantidad de nitrógeno que la misma pueda incorporar.

Descontando entonces que el nitrógeno es importante para este cultivo, nos podemos preguntar ¿cuáles son las fuentes que de este nutriente pueden abastecer a la soja?.

En este sentido podemos considerar: 1) el nitrógeno derivado de la mineralización de la materia orgánica; 2) el nitrógeno proveniente de la fijación biológica; 3) el aportado por las descargas eléctricas y las lluvias; 4) el que integran las deyecciones sólidas y líquidas de los animales; 5) el nitrógeno que se pueda incorporar con los fertilizantes.

De las cinco fuentes, las dos primeras son las más importantes para el cultivo de soja y de estas dos, la fijación biológica de nitrógeno sería la que deberíamos tratar de privilegiar, al ser (el nitrógeno que este sistema aporta) muy económico para el productor agropecuario, abundante en la naturaleza y no contaminante de las napas freáticas, como podrían serlo otras fuentes nitrogenadas.

La fijación de nitrógeno se da a través de la simbiosis establecida entre bacterias específicas (*Bradyrhizobium japonicum*) y la propia planta de soja.

El *bradyrhizomium japonicum* no es nativo de nuestra zona, por lo cual hay que agregarlo a efectos de que esta simbiosis se pueda alcanzar. Las bacterias son adicionadas al sistema productivo mediante una técnica denominada inoculación.

La misma consiste en agregar estas bacterias específicas a la semilla

mediante una operación conocida como inoculación o preinoculación, siendo la diferencia entre estas dos alternativas, el producto utilizado y el tiempo transcurrido entre la aplicación del mismo y la siembra. En ambos casos el producto (inoculante), es adicionado a la semilla, la cual llevará en su exterior una carga bacteriana, la que debería ser no menor de 80.000 rizobios por semilla. Estas bacterias serán encargadas de: en primer lugar, infectar las raíces de soja y posteriormente, una vez alcanzado un desarrollo específico (bacterioide), en el interior de una estructura denominada nódulo, comenzar a fijar nitrógeno derivado del aire del suelo, el cual será utilizado por la soja para su crecimiento vegetativo y reproductivo.

Si bien los sistemas de inoculación y preinoculación han sido efectivos, los mismos pueden presentar, principalmente cuando las superficies a sembrar son considerables, algunas series de falencias, derivadas en general por el cansancio de la operación que repercute negativamente sobre la eficiencia del nitrógeno fijado.

Nueva alternativa de Inoculación

Desde hace más de tres años, la UEEA INTA 9 de Julio viene realizando experiencias con un sistema de inoculación diferente a los tradicionales. El mismo consiste en aplicar el inoculante líquido vehiculizado con agua, chorreado en el surco de siembra.

Es conocido que una buena carga bacteriana es imprescindible para lograr una buena infectividad en primer lugar y luego una buena efectividad. Esta condición es válida tanto para los lotes con o sin historia sojera.

La soja es una dicotiledonea, por lo tanto en el proceso de germinación por el cual la simiente se transforma en plántula, la semilla es elevada por una estructura llamada hipocotile, emergiendo a la superficie, en donde se divide en dos partes, los cotiledones. No cabe duda que con los sistemas clásicos de inoculación, la semilla en germinación en su ascenso, arrastra consigo una gran cantidad de bacteria, alejando a éstas del lugar donde deben ubicarse para poder

infectar las raicillas de soja. Lógicamente si el inoculante es colocado en el fondo del surco, en lo posible antes que sea depositada la semilla, esto se presenta totalmente minimizado, por lo que la cantidad de bacterias disponibles para infectar las raicillas de soja se encontrarán en un número mayor, teniendo de esta manera mejor posibilidad de cumplir con su cometido.

Resultados obtenidos

Con la técnica de la inoculación chorreada en el surco de siembra se comenzó a trabajar en la campaña 2002/2003. En ese año la experiencia se efectuó sobre un lote con una carga bacteriana de 1×10^3 rizobium por gramo de suelo. La experiencia consistió en probar 5 tratamientos dispuestos en bloques al azar totalmente aleatorizados, con 4 repeticiones.

Tratamientos

1. Sin inocular
2. Inoculado en semilla
3. Inoculado en el surco de siembra (1 l/ha)
4. Inoculado en el surco de siembra (2 l/ha)
5. Inoculado en el surco de siembra (3 l/ha)

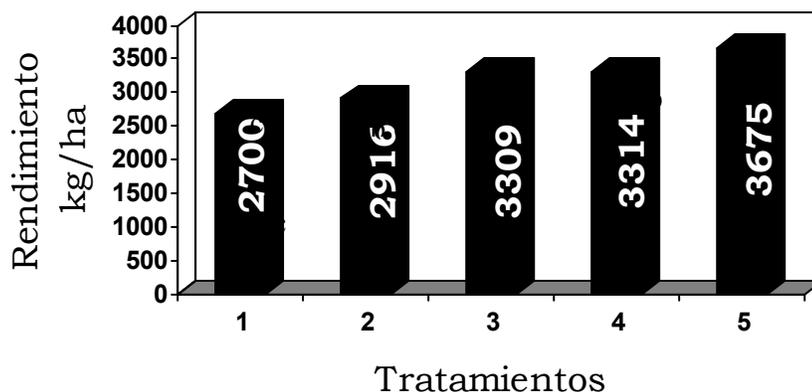
La inoculación de los tratamientos aplicados al surco de siembra (tratamientos 3 – 4 y 5), fueron efectuados abriendo previamente el surco de siembra e inmediatamente aplicado el producto, el cual fue diluido con agua de pozo, hasta alcanzar un volumen de 30 l/ha. En forma inmediata se distribuyó la semilla y se procedió a tapar la misma.

La inoculación en el tratamiento 2 se realizó previa a la siembra, distribuyendo el producto en la semilla hasta alcanzar una correcta homogenización del mismo con esta, procediéndose a sembrarla inmediatamente.

Se debe destacar que las dosis de los tratamientos en el cual el inoculante se aplicó chorreado, son 2; 3 y 4 veces superiores al método clásico de inoculación respectivamente. Los productos utilizados en esta experiencia pertenecían a la empresa Nitragin.

Los resultados logrados en este primer año fueron contundentes en favor del método de aplicación chorreado. Si bien todos los tratamientos lograron una muy buena infectividad (incluido el testigo), los tratamientos chorreados en el surco presentaron una nodulación más vigorosa. El rendimiento alcanzado en esta campaña se presenta en el gráfico 1.

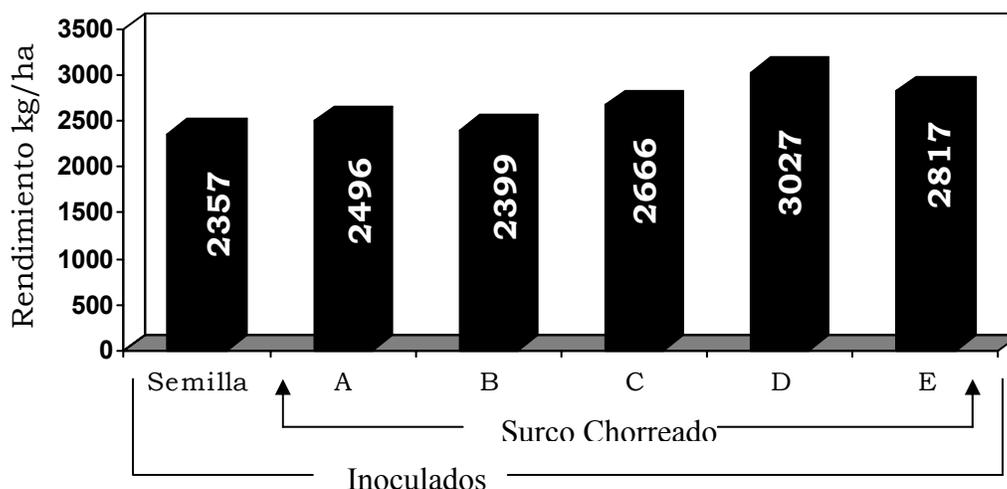
Gráfico 1: Rendimiento kg/ha campaña 2002/2003



DMS 5% = 527 kg/ha
CV % = 10

Durante la campaña 2003/2004 se realizaron nuevas experiencias, utilizándose una metodología similar a la descrita anteriormente. En este año la dosificación en la semilla fue de 480 cc/ha de inoculante, en tanto que, en el caso de los inoculantes líquidos, se usaron a una dosis de 1.600 cc/ha, diluidos en 40 l/ha de agua de pozo. De este ensayo participaron 5 inoculante líquidos que se encuentran en el comercio pertenecientes a las empresas, Nitrap, Nitragin, Palaversich y FPC. Los resultados alcanzados se presentan en el gráfico 2.

Gráfico 2: Rendimiento de soja kg/ha campaña 2003/2004.



Comparando los tratamientos chorreados con la inoculación en la semilla, los primeros aventajaron en promedio a la inoculación clásica por 324 kg.

Debemos destacar que todos los tratamientos chorreados superaron a la inoculación en semilla entre 42 kg/ha y 470 kg/ha, valor mínimo y máximo respectivamente.

Experiencias en la Campaña 2004/2005

Durante esta temporada los ensayos se efectuaron mecánicamente. Una empresa Nuevejuliense (JOG AGRO Ingeniería), desarrolló conjuntamente con el INTA 9 de Julio un sistema mecánico de inoculación aplicable a cualquier máquina sembradora, que dieron en llamar EPID (Equipos para la aplicación de inoculantes diluidos en agua).

El equipo consta de un tanque plástico de alto impacto con capacidad hasta 1000 litros. El mismo se encuentra recubierto con doble protección, la cual logra una muy buena aislación térmica. De este modo la temperatura de caldo a aplicar no varía más de 2 °C desde la carga del tanque hasta su utilización total. La agitación del producto se consigue mediante un generoso retorno que brinda una bomba a pistón membrana, la cual se encuentra revestida en poliéster, necesitando para trabajar energía eléctrica (12 v). Los picos aplicadores son discos

perforados a la décima de milímetros, los cuales permiten aplicar cantidades variables del caldo por hectárea. Los mismos poseen válvula antigoteo y todos los engarces son de acople rápido. La bomba puede succionar del tanque, previo pasaje por un filtro autolimpiante, desde pequeñas cantidades hasta más de 200 l/ha trabajando el tractor a 7/km/h. Esta particularidad la hace también apropiada para poder utilizar el equipo como multifunción, es decir, podría aplicar, realizando pequeñas modificaciones, herbicidas, insecticidas, fertilizantes líquidos, etc.

La electrónica también fue aplicada, lo cual le da una gran tranquilidad al operario dado que el mismo desde el tablero, ubicado en la cabina del tractor, puede conocer diferentes detalles de la aplicación que está realizando.

Resultados obtenidos en la campaña 2004/2005

En esta temporada se pudieron realizar algunas experiencias sobre fin de campaña de siembra de soja de 2da, momento en el cual estuvo lista la máquina aplicadora.

Todas las pruebas fueron realizadas sobre un lote el cual tiene una alta carga bacteriana naturalizada (1×10^5 rizobium/gramo de suelo). La siembra se efectuó el 26/12/04, utilizándose la variedad DM 4800, a razón de 24 semillas/metro lineal, sembrándose a 52,5 cm entre hileras, con una máquina Hilcor HJ2, la cual permitió sembrar grano por grano. Cada parcela tuvo 14 surcos de ancho por 150 metros de largo. La máquina sembradora fue traccionada por un tractor Deutz Fahr AX5. 125; se lo condujo en 3ra marcha en baja a 2.000 rpm. El equipo aplicador de inoculante trabajó sin presión, solamente el manómetro registró 200 gramos que es lo que el propio sistema generó naturalmente.

La aplicación surco por surco del inoculante fue realizada con un volumen total de 40 l/ha, a tal efecto se utilizó para diluir el inoculante agua de pozo. El producto fue aplicado inmediatamente luego que los órganos abridores procediera

a la apertura del surco, posteriormente fue depositada la semilla y tapado todo inmediatamente por los elementos tapadores de surco.

Los inoculantes utilizados en esta campaña fueron provistos por la empresa FPC, los cuales presentaron concentraciones bacterianas de 1×10^{10} bacterias/mililitros de inoculante.

Resultados obtenidos

En el cuadro 1 se presentan los resultados logrados con igual dosis de producto aplicado en semilla y chorreado en el surco.

Cuadro 1: Comparación de sistemas de aplicación. Campaña 2004/2005

Tratamientos	Rendimiento kg/ha	Diferencia kg/ha
Testigo	2.726	----
Líquido 1 dosis	2.913	205
Semilla 1 dosis	2.823	97

Se debe destacar los buenos rendimientos alcanzados y los excelentes incrementos de rendimiento, en un lote como el utilizado el cual presentó una altísima carga bacteriana naturalizada. Esto nos indica, como ya fuera confirmado en otros trabajos, que es imprescindible inocular la soja en cualquier situación que nos encontremos.

Si bien la inoculación en la semilla logró incrementar el rendimiento en casi 100 kg/ha, el chorreado del inoculante permitió doblar ese incremento de rendimiento. Una cosa interesante a destacar, es que la aplicación en la semilla del inoculante está en ventajas respecto a las aplicaciones que se realizan en los lotes de producción, dado que en este ensayo desde la inoculación hasta la terminación de la siembra no pasaron más de 30 minutos, lo que permitió mantener una alta viabilidad de las bacterias aplicadas.

Muy diferente ocurre cuando la semilla está varias horas en tolvas sembradoras, normalmente en la época en la cual se siembra la soja, la temperatura ambiente

es elevada, más aún es la temperatura que adquieren las tolvas sembradoras. Las chapas laterales y del techo transmiten por conducción esa temperatura a la masa de grano en contacto con ellas, en estas situaciones, la mortandad de aquellas bacterias que están adheridas a la semilla y que quedan en contacto con la chapa es muy elevada.

Las condiciones en el lote de siembra muchas veces distan de ser el ideal para encarar este tipo de trabajo. A pesar de tratar de buscar una sombra para efectuar este delicado proceso, a lo largo del día al ir rotando la tierra, el sol cambia de posición. Es muy común que las bolsas y hasta la misma máquina utilizada queden expuestas varias horas a los rayos solares, con el concerniente deterioro de la carga bacteriana. Lógicamente estas situaciones tan perjudiciales (altas temperaturas, acción bactericidas de los rayos solares, desecación) para las bacterias, no ocurren con el método de inoculación chorreada en el surco de siembra. Es más, al aplicar el inoculante vehiculizado con agua, sobre un suelo húmedo y sellado rápidamente luego de ser depositada la semilla, le permite a la bacteria encontrar un medio muy apto para asegurar su viabilidad.

Otras de las experiencias realizadas apuntaron a trabajar con diferente concentración bacteriana aplicada por hectárea. Cuadro 2.

Cuadro 2: Rendimiento de soja con diferente dosis de inoculante con aplicación chorreado en el surco. Campaña 2004/2005

Tratamiento	Rendimiento kg/ha	Diferencia s/testigo kg/ha	Diferencia por dosis kg/ha
Testigo	2.726	---	----
Líquido 1 dosis	2.931	205	----
Líquido 2 dosis	3.025	297	92
Líquido 4 dosis	3.145	419	122
Líquido 6 dosis	3.245	519	100

Como se puede apreciar a medida que la dosis del inoculante se incrementó, también lo hizo el rendimiento, esto se puede deber al aporte mayor de bacterias las cuales tienen, de esta manera, mayor chance de lograr infecciones en las raicillas en comparación con las bacterias naturalizadas, microorganismos estos

últimos que generalmente tienen altas infectividades, pero menores efectividades a la hora de fijar nitrógeno, que aquellas bacterias que se aplican anualmente con los inoculantes.

Otro tema a considerar a futuro, considerando el costo de los inoculantes y el precio de la soja, es la posibilidad de utilizar más de una dosis de inoculante por hectárea, a la luz de éstos (cuadro 2) y otros resultados logrados con anterioridad, posicionaría a esta opción como muy rentable.

También durante esta campaña se realizaron pruebas con diferentes cantidades de agua aplicada por hectáreas. En este caso se trabajó con 20 – 40 y 60 l/ha de agua. Los resultados obtenidos fueron similares en rendimiento, lo que nos indica, que al menos con 20 l/ha, estaríamos realizando una correcta aplicación. Esto es importante sobre todo para aplicar este método en máquinas sembradoras de gran autonomía, pensando siempre en utilizar tanques contenedores del caldo, ubicados sobre la estructura de la máquina. Para aquellas máquinas mayores con autonomías de trabajo de 20 has por ejemplo, significaría adicionarle un peso extra sobre su estructura de aproximadamente 500 kg.

Algunas ventajas de la inoculación en la línea de siembra

El sistema propuesto presenta una gran cantidad de ventajas y muy pocas desventajas, dentro de las primeras podemos mencionar:

- Menor necesidad de mano de obra
- Menor tiempo operativo
- Mayor facilidad para aplicar el inoculante
- Mayor homogeneidad en la distribución del inoculante
- Menor mortandad de bacterias durante la inoculación y en la aplicación del producto.
- Mayor carga bacteriana para colonizar raíces.
- Menor desecación de las bacterias, con lo cual aumenta su supervivencia
- Bacterias expuestas a menor temperatura, lo cual genera mayor supervivencia.

- Menor daño mecánico de la semilla, al no tener que pasar por otras máquinas para lograr la inoculación.

Como sistemas adicionales la máquina aplicadora de inoculantes tendría otros posibles usos, tanto en soja como en otros cultivos, con pequeñas modificaciones en la misma, lo que le da mayor versatilidad al sistema, entre otras podríamos mencionar:

- Aplicación de insecticidas en el surco de siembra
- Aplicación de micronutrientes
- Aplicación de herbicidas
- Aplicación de fertilizantes líquidos
- Aplicación de otro tipo de microorganismos tales como Azospirillum sp, Micorrizas, etc.

Dentro de lo que podríamos considerar desventajas podemos mencionar:

- Doble operación si debemos curar la semilla con fungicida, en este caso se debe curar primero, utilizándose los métodos tradicionales y luego inocular como se describió anteriormente.
- Se necesita contar con cisterna con agua de pozo o una fuente de agua próxima (molino, tanque australiano, etc), a efectos de abastecer al equipo, dotado de una micro bomba para cargar con agua el tanque de la sembradora. Se destaca que la bomba no sería imprescindible dado que se puede utilizar para esta operación la misma bomba que tiene el equipo.

Comentarios finales

La metodología propuesta para introducir bacterias del género bradyrhizobium presentó ventajas sumamente importantes comparadas con la metodología clásica de inoculación. Estas ventajas van desde la mayor practicidad a la hora de realizar el trabajo, hasta una mayor eficiencia productiva alcanzada por el cultivo. Es posible que esta eficiencia se incremente cuando este tipo de sistemas de aplicación se compare con los

clásicos, realizados en grandes extensiones. No cabe duda que los beneficios que logra el sistema, se deben a una mayor cantidad de bacterias introducidas, que permiten fijar mayor cantidad de nitrógeno. Esta mayor captura de nitrógeno atmosférico es muy útil para la agricultura moderna, tan demandante de este nutriente esencial para la producción.

El sistema propuesto si bien presentó resultados muy interesantes será motivo de una gran cantidad de pruebas en las próximas campañas, que nos podría permitir mejorar más aún los resultados aquí presentados.

Agradecimiento: Los autores agradecen a los Sres Bueno y Scalice, propietarios del establecimiento “Dos Amigos” lugar donde se desarrollaron las experiencias. Al Ing. Jorge Guerriere titular de la empresa JOG Agro Ingeniería y a los Directivos de las empresas FPC Argentina S.A; Nitragin; Nitrap y Palaversich.

- Técnicos de la Unidad de Extensión y Experimentación Adaptativa INTA 9 de Julio. Av. Mitre 857 (6500) 9 de Julio. Bs.As. Tel/fax: (02317) 431840
E-mail: a9julio@internueve.com.ar