

Algunos elementos de juicio para interpretar el fenómeno de la nodulación en soja

Norma González

Marzo 2003 - INTA Balcarce

Cuando la soja ingresa al sistema de rotaciones de cultivos de una región, surge inmediatamente entre los productores preocupación sobre el fenómeno de la **nodulación**. Esta preocupación es justificada, ya que los nódulos son los órganos en los cuales, merced a la coparticipación entre la planta de soja y la bacteria *Bradyrhizobium japonicum* u otras relacionadas a ella, se produce la **fijación de nitrógeno**.

Por qué interesa tanto la fijación de nitrógeno en la soja? Las razones son concluyentes: la soja está genéticamente diseñada para acumular proteínas en sus granos, alrededor de 38-40%; si no satisface un determinado nivel de acumulación de proteínas, sacrifica rendimiento. Las proteínas de soja tienen un 5,75 % de nitrógeno en su composición, por lo cual el cultivo debe acumular alrededor de 80 kg de este nutriente en su biomasa vegetal para producir cada tonelada de grano.

No todo el **nitrógeno** acumulado por el cultivo de la soja proviene de la fijación biológica. En primera instancia, mientras se genera el sistema nodular, la planta utiliza nitrógeno del suelo, que le resulta ligeramente más barato, en términos de energía gastada. Si hay mucho nitrógeno en el ambiente de la raíz, derivado de un suelo naturalmente rico, o del agregado de fertilizante nitrogenado, la planta "dará órdenes" para que el número de nódulos formados sea menor. Esta es una de las razones de la falta de nodulación, aunque nuestra experiencia en Balcarce indica que la fertilidad natural de los Argiudoles nunca llega a ser tan alta que inhiba la nodulación. La fertilización plantea un problema distinto y la inhibición nodular depende de la dosis y de la localización del fertilizante nitrogenado. Se acepta que alrededor de 40 kg ha⁻¹ de de 18-46-0, lo cual equivale a 7,2 kg ha⁻¹ de N, no inhiben la nodulación, pero dosis mayores son peligrosas porque invitan a la planta a no formar un sistema nodular, que después será necesario para aportar nitrógeno a alta tasa, durante la etapa de llenado de grano.

Solamente la complementación de las dos fuentes de nitrógeno, el suelo y la fijación, son capaces de generar los rendimientos potenciales que prometen los cultivares actuales, asociados a las técnicas de manejo precisas que hoy se conocen. Por lo tanto, hay que generar las condiciones para el logro de un buen sistema nodular.

Otra razón importante de falta de nodulación es la calidad de los inoculantes, en interacción con la técnica de inoculación. Cuando se habla de calidad, se considera básicamente el número de bacterias viables por unidad de soporte y la o las cepas de *Bradyrhizobium japonicum* utilizadas. La calidad de las cepas, si bien es un tema central de investigación, no debiera serlo a nivel de los inoculantes comerciales, ya que los fabricantes normalmente utilizan cepas conocidas y debidamente probadas.

El número de bacterias está reglamentado por SENASA en nuestro país y es del orden de los 1000 millones por gramo o mililitro de soporte, durante el período de aptitud de uso del producto y 100 millones en el momento en que el producto expira. Se logran esos números en la práctica? Habitualmente sí, en los productos que ya tienen un espacio ganado en el mercado argentino. Se logran más fácilmente en los soportes estériles, cual es el caso de los inoculantes de base líquida, que dominan el mercado argentino. Sin embargo, el hecho de que en la bolsa de inoculante se respete el número de bacterias es sólo el principio de la historia.

A partir de la inoculación, hay una pérdida de viabilidad sobre la semilla, que es natural. De modo que, cuantas más bacterias se inoculen a la semilla, mayor será la probabilidad de que queden algunas, para esperar el momento en que la semilla germine, emita su radícula y comiencen los eventos de intercambio bioquímico y genético que dan lugar a la nodulación.

El objetivo de la inoculación es asegurar la mayor cantidad posible de bacterias sobre la semilla.

El soporte también es importante. Cada uno de ellos tiene sus ventajas y desventajas. A favor de la turba juega su efecto protector sobre la supervivencia del rizobio en el suelo, porque su matriz, con alta superficie específica y alta higroscopicidad ofrece un nicho especial, protegido y húmedo para la bacteria. En su contra juegan la mayor dificultad de lograrla totalmente estéril y la mayor dificultad de la técnica de inoculación, que exige el pegado de las bacterias con adhesivos para asegurar 10⁵ o 10⁶ por semilla.

Los inoculantes líquidos ofrecen ventajas y desventajas exactamente opuestas a las expresadas para la turba: mayor facilidad de aplicación y menor estabilidad en la supervivencia de las bacterias sobre semilla, durante períodos de estrés hídrico. Por eso no hay un mejor inoculante, sino un inoculante adecuado a cada caso. Cuando es seguro que hay humedad en el suelo, derivado de un sistema de labranza como la siembra directa, con mucho rastrojo, protector de las altas temperaturas y la desecación, los líquidos son excelentes. Lo mismo ocurre cuando existe la posibilidad de regar después de sembrar para ayudar a la rápida emergencia.

Por otro lado, cuando se trabaja en secano, con labranza convencional y/o se deba sembrar con una humedad reducida, aún cuando alcance bien para la germinación de la semilla, habría que considerar el uso de inoculantes a base de turba, que estabilizarán la supervivencia de los rizobios hasta la emergencia de raíces. Este fue el caso en la campaña 2000-2001 en Balcarce, en un experimento en labranza convencional, que sufrió una intensa sequía inmediatamente después de la implantación. En él se registraron en V7 un promedio de 24 nódulos por planta en los tratamientos inoculados con turba y 11 nódulos por planta en los inoculados con inoculante acuoso, ambos con la misma cepa.

Hay que recordar una vez más, que el uso de biocidas de cualquier índole, disminuirá el número de bacterias vivas sobre la semilla y comprometerá en cierta medida, la magnitud de la nodulación. Si hay razones agronómicas, probadas por eventos previos, que fundamentan el uso de fungicidas o insecticidas, habrá que utilizarlos, pero se propone la reflexión de no utilizarlos "por las dudas". Si se usaron biocidas y ocurre una sequía inmediatamente después de la siembra, que demora la emergencia, la nodulación se verá mucho más comprometida. Nuevamente, en Balcarce, durante la última campaña, la concentración de N en grano disminuyó de 5.95% a 5.55% por el uso de fungicida, lo que implicó 34 kg menos de N fijado por hectárea.

Asimismo, se puede considerar la preinoculación, que despierta desde hace un par de años mucho interés entre los productores, porque ofrece, potencialmente, la facilidad de inocular con anticipación toda la semilla que se utilizará, dinamizando la operatoria de la siembra y e incluso, ayudando a respetar las fechas óptimas de siembra, si se cultivaran muchas hectáreas. La técnica de preinoculación, tal como se la promociona, preconiza que esto puede hacerse con un mes de anticipación. Utiliza inoculantes en base turba o líquidos con recuentos excelentes en las cepas que los componen, son estériles, e incluye el uso de adhesivos y protectores para la supervivencia. Las empresa exhiben resultados favorables a la técnica en sus folletos de promoción y hay algunos resultados independientes que muestran que la preinoculación no se diferencia significativamente de otros inoculantes utilizados en la forma convencional.

Respecto del impacto de inocular sobre el rendimiento de la soja, en suelos en los que se la cultiva por primera vez, una inoculación exitosa debería generar incrementos en el rendimiento del orden de los 400 kg de grano ha⁻¹. Este valor disminuirá si el cultivo está sometido a estrés hídrico, durante el período de formación de nódulos y/o durante el período crítico de la soja en lo respecta a humedad, que es llenado de granos. En un año con una excelente disponibilidad de agua y buena distribución de las precipitaciones, se puede potenciar la diferencia hasta llegar a 900-1000 kg ha⁻¹ si no existen otras limitantes. En un suelo donde *Bradyrhizobium japonicum* ya se encuentra naturalizada, por haber sido incorporada en inoculaciones previas, las respuestas a la inoculación son menores, porque las bacterias presentes en el suelo hacen una parte de la tarea.

Sin embargo, a través de los años se encuentra una respuesta consistente del orden de 10-15% sobre los testigos y un incremento en la concentración de proteína, que justifican con creces el costo del inoculante.

Estos elementos de juicio servirán como marco general para interpretar la nodulación en sentido amplio y comprender su influencia sobre el rendimiento del cultivo. Sin embargo debe recordarse que el número de nódulos y su masa son solamente un aspecto a considerar. El otro, extremadamente importante, es la eficiencia, que se refiere a la cantidad de nitrógeno fijado por unidad nodular, expresada en peso. La magnitud de la eficiencia nodular es una función del funcionamiento general del cultivo.

Para optimizar la fijación de nitrógeno, es necesario optimizar el funcionamiento del cultivo en lo que hace a disponibilidad de agua, balance de otros nutrientes, captación máxima de la radiación, conversión eficiente de la misma en biomasa y posteriormente, adecuado llenado de granos