

## El uso de **biofertilizantes** en la fertilización nitrogenada de los cultivos hortícolas

L. Rincón\*  
A. Pérez\*  
A. Abadía\*  
C. Pellicer\*  
A.L. Valero\*\*

### Introducción

Se ha comprobado en numerosos estudios que la aplicación de nitrógeno en fertirrigación localizada incrementa su eficiencia en relación con los métodos convencionales. La fertirrigación nitrogenada y su relación con el medio ambiente es uno de los objetivos a tener en cuenta en el contexto económico y social actual. El conocimiento de la lixiviación de nitratos, su dinámica en el suelo y factores de influencia, son datos a conocer y a tener en cuenta para tomar las medidas oportunas al efecto de minimizar la contaminación de suelos y acuíferos subterráneos.

En el número 872 correspondiente al mes de marzo de esta revista, se expusieron la pautas a seguir en la eficaz utilización del nitrógeno en fertirrigación (Rincón, 2005), haciéndose mención al uso de bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico como biofertilizantes, práctica a utilizar para disminuir el aporte de nitrógeno mineral a los cultivos hortícolas de alto rendimiento, y de esta forma reducir la contaminación acuíferos subterráneos y aguas superficiales.

Las bacterias fijadoras de nitrógeno más utilizadas como biofertilizantes han sido los géneros *Azotobacter*, *Rhizobiun*, *Azospirillum*, *Azobacter* y *Herbaspirillum*, con resultados positivos en la mayoría de las experiencias realizadas sobre cultivos de cereales, habiéndose relacionado la fijación biológica del nitrógeno atmosférico en gramíneas con la mejor utilización del agua por estos cultivos en comparación



Plantación a los 150 días después del trasplante

con otras especies de leguminosas, y también, por presentar mejor comportamiento fotosintético en la mayoría de las especies inoculadas (Reis y cols., 2000; Summer 1990). No obstante, la bibliografía existente sobre las respuesta de los cereales a la inoculación de bacterias fijadoras de nitrógeno muestra resultados poco coincidentes, desprendiéndose que la fijación de nitrógeno por las bacterias se ve restringida cuando se aumenta la cantidad de nitrógeno mineral aportado en la fertilización, al descartarse la fijación de N como la causa en el aumento del rendimiento de los cultivos y si a las sustancias estimuladoras del crecimiento como son las fitohormonas, micorrización, etc (Hernández et al., 2005).

Los mecanismos a través de los que estas bacterias actúan son diversos: pueden fijar el N atmosférico y suministrarlo a la planta; sintetizan diversas fitohormonas que mejoran el crecimiento vegetal; solubilizan minerales de P poniéndolo a disposición de la planta y sintetizan diversos compuestos de bajo peso molecular o enzimas que intervienen en el crecimiento y desarrollo vegetal.

Las bacterias del género *Azospirillum*, forman diferentes tipos de asociación en distintas especies vegetales, colonizando a la planta y supliendo el nitrógeno con mayor eficiencia (James, 2000), teniendo además otros efectos como son el mayor desarrollo del sistema radicular de la planta, inducido por la capacidad de generar sustancias que promueven el crecimiento. Como consecuencia aumenta el área de exploración del suelo elevándose la eficacia en la absorción de agua y nutrientes.

Referente a la eficacia de las bacterias fijadoras de nitrógeno en la productividad de los cultivos, los resultados obtenidos en gran número de experiencias realizadas no son concluyentes, dependiendo de la especie cultivada, dosis y cepa de los microorganismos empleados así como de las condiciones en que se aplica la inoculación (suelo, método de riego, condiciones ambientales, fertilización nitrogenada etc.), lo que exige experimentar para cada especie y condiciones en que se desarrolla el cultivo.

La presente experiencia ha tenido como objetivo estudiar la eficacia de un biofertilizante comercial "AZOBAC" compuesto

\* IMIDA (Murcia)  
\*\* AGRIMOR, S.A

de una mezcla de bacterias *Azotobacter* y *Azospirillum* ( $10^8$  UCF/ml), como sustituto parcial de la cantidad de nitrógeno inorgánico aplicado en la fertilización nitrogenada de un cultivo de pimiento grueso de invernadero.

### Metodología utilizada

La experiencia se llevó a cabo en la finca experimental Torreblanca del Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (IMIDA), situada en la comarca del Campo de Cartagena ( $37^{\circ}40' N - 0^{\circ}58' W$ ) en Murcia, principal zona productora de pimiento grueso bajo invernadero y al aire libre.

La experiencia se realizó en invernadero multicapilla cubierto con lámina de polietileno térmico de 800 galgas, equipado con ventilaciones lateral y cenital y pantalla de sombreo. La superficie del invernadero estaba dividida en 4 bloques de 200 m<sup>2</sup> cada uno con distintos niveles de materia orgánica en el suelo. El invernadero disponía de 12 lisímetros de drenaje de 5 m de longitud, 1 de anchura y 0,65 m de profundidad cada uno, impermeabilizados con lámina de PVC de 1,2 mm y evacuación independiente del agua drenada, controlándose separadamente en un foso general de evacuación.

El material utilizado fue pimiento (*Capsicum annuum* L.) variedad "Almudén", tolerante al virus del bronceado. Las plantas se obtuvieron en semillero aparte y se plantaron el 16 de diciembre del 2003, a

una densidad de plantación de 2,5 plantas por m<sup>2</sup> (1 m entre filas y 0,4 m entre las plantas de cada fila), cultivándose en producción integrada. El ciclo de cultivo tuvo una duración de 235 días después del trasplante finalizando el 8 de agosto de 2004.

con tres repeticiones: el tratamiento A en el que se aplicó el 50 % de la cantidad de nitrógeno requerida por el cultivo más biofertilizante Azobac y el tratamiento B en el que se incorporó el 100 % de nitrógeno requerido por el cultivo sin biofertilizante.

## Se ha comprobado en numerosos estudios que la aplicación de nitrógeno en fertirrigación localizada incrementa su eficiencia en relación con los métodos convencionales

El suelo, tenía las siguientes características en el perfil de 0- 40 cm: textura franca pedregosa; carbonatos totales 34,8 %; P (Olsen) 58,6 ppm; K (Ac-NH<sub>4</sub>) 146,2 ppm., conductividad eléctrica (extr. sat. 25° C) 3,86 dS/m y una densidad aparente de 1,55 g/cm<sup>3</sup>. La materia orgánica en cada bloque del invernadero al inicio de la experiencia fue del 0,9% en el bloque 1 (T1), del 1,5% en el bloque 2 (T2), del 1,9% en el bloque 3 (T3) y del 2,4% en el bloque 4 (T4).

En otros estudios relacionados con la desinfección del suelo del invernadero mediante biofumigación, se aportaron cantidades distintas de materia orgánica a cada bloque. Para la realización de esta experiencia, dentro de cada bloque se establecieron al azar dos tratamientos

La cantidad de biofertilizante aportado en los tratamientos A fue de 15 litros de Azobac/ha, distribuyéndose en cinco aportaciones a los 0, 30, 70, 120 y 170 días después del trasplante. El biofertilizante se incorporó en fertirrigación con el agua de riego sin abonos. La **Tabla 1** muestra los tratamientos ensayados y cantidades de materia orgánica, nitrógeno inorgánico y biofertilizante aportados a cada uno de ellos. En cada bloque y tratamiento se asignó un lisímetro para el control del agua de drenaje y lixiviación del nitrógeno producido.

El agua de riego utilizada procedía del Trasvase Tajo-Segura, con una conductividad eléctrica de 1,06 dS/m, no presentando restricciones para el normal desarrollo del cultivo.

En el sistema de riego por goteo se instaló una tubería emisora por cada fila de plantas con emisores de 2,3 l/h de descarga unitaria situados cada 40 cm.

Las necesidades hídricas del cultivo se evaluaron semanalmente multiplicando la evapotranspiración de referencia de la semana anterior por los coeficientes de cultivo (Rincón, 2003), variando la frecuencia de riego durante el ciclo de cultivo en función de las necesidades hídricas y la dosis de riego ajustada al tipo de suelo (2,6mm). La evapotranspiración calculada del cultivo se incrementó en un 20% para producir drenaje y de esta forma evaluar la lixiviación de nitrógeno.

Se midió el contenido de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> del suelo

**Tabla 1.** Tratamientos ensayados

Tratamientos	M.O. aportada al suelo	Fertilización nitrogenada
T1-A	Sin estiércol	50 % de N mineral (188 kg/ha) + Biofertilizante (15 l/ha de Azobac)
T1-B	Sin estiércol	100 % de N mineral (377 kg/ha)
T2-A	3,2 kg/m <sup>2</sup> de estiércol	50 % de N mineral (188 kg/ha) + Biofertilizante (15 l/ha de Azobac)
T2-B	3,2 kg/m <sup>2</sup> de estiércol	100 % de N mineral (377 kg/ha)
T3-A	6,5 kg/m <sup>2</sup> de estiércol	50 % de N mineral (188 kg/ha) + Biofertilizante (15 l/ha de Azobac)
T3-B	6,5 kg/m <sup>2</sup> de estiércol	100 % de N mineral (377 kg/ha)
T4-A	9,5 kg/m <sup>2</sup> de estiércol	50 % de N mineral (188 kg/ha) + Biofertilizante (15 l/ha de Azobac)
T4-B	9,5 kg/m <sup>2</sup> de estiércol	100 % de N mineral (377 kg/ha)

en los tratamientos T3-A y T3-B para comparar la concentración en la disolución del suelo según tratamiento ensayado. El muestreo se realizó en cada tratamiento en el perfil entre 0 y 20 cm., tomando 6 muestras en cada fecha de muestreo. El análisis del N se realizó en el extracto 1:5 del suelo y se midió la concentración de nitratos mediante electroforesis capilar.

Los fertilizantes utilizados en la fertirrigación del cultivo fueron: nitrato amónico, nitrato cálcico, fosfato monopotásico, nitrato potásico y sulfato de magnesio.

Las plagas se controlaron mediante lucha biológica, utilizando: *Orius ssp* y *Ambliseyus cucumeris* para trips, *Diglifus isafa* para minador de la hoja, *Ambliseyus californicus* para ácaros, *Macrolophus caliginosus* y *Eretmocerus eremicus* para mosca blanca y *Aphidius colemani* para pulgones. Las enfermedades se controlaron con productos permitidos en la directriz de la Producción Integrada y respetuosos con los insectos auxiliares.

La producción del cultivo, se controló en cada recolección, evaluándose los siguientes parámetros:

- Producción total (Pt) en kg/m<sup>2</sup>.
- Producción comercial (Pc) en kg/m<sup>2</sup>.
- Destrío (D) en kg/m<sup>2</sup> = frutos no comerciales.

Tabla 2. Producciones total y comercial

Tratamientos	Producción comercial		
	kg/m <sup>2</sup>	nº f/m <sup>2</sup>	g/f
T1-A	12,3±0,9	59,6±6,8	206±19
T1-B	13,6±1,1	60,3±7,1	217±21
T2-A	14,7±1,4	67,8±4,7	217±25
T2-B	14,8±1,4	65,6±5,8	225±23
T3-A	15,2±1,1	69,5±6,4	219±19
T3-B	15,5±1,0	72,5±5,9	214±18
T4-A	15,6±1,2	64,1±7,1	243±21
T4-B	15,7±1,1	68,5±6,7	229±25
LSD0,05	1,3	4,8	18,7

• Número de frutos totales (Nft), comerciales (Nfc), y destriados (Nfd).

• Peso de fruto total (Pft), comercial (Pfc) y destriado (Pfd) en g.

## Resultados

La **Tabla 2** muestra los parámetros de producción comercial del cultivo (coincidente con la total, al no generarse destrío) para cada tratamiento ensayado. Como puede observarse, el análisis de

varianza nos muestra diferencias significativas producidas entre los tratamientos T1 (de menor contenido de materia orgánica en el suelo y sin aporte de materia orgánica) respecto a los tratamientos T2, T3 y T4 (de niveles medio altos de materia orgánica y aporte de materia orgánica), sin que entre estos se encontraran diferencias en los parámetros productivos analizados. La mayor producción alcanzada fue de 15,7 kg/m<sup>2</sup>

en la parcela donde se incorporaron un total de 9,5 kg/m<sup>2</sup> de estiércol (T4) y la menor de 12,3 kg/m<sup>2</sup> en la que no se aportó estiércol (T1), debiéndose el descenso al menor número de frutos recolectados y peso unitario de los mismos.

Si comparamos los tratamientos con y sin aporte de biofertilizantes, se comprueba, que en el suelo donde no se incorporó materia orgánica la producción se redujo significativamente en el tratamiento donde se aportó el 50 % del nitrógeno requerido

## Las bacterias fijadoras de nitrógeno más utilizadas como biofertilizantes son de los géneros *Azotobacter*, *Rhizobium*, *Azospirillum*, *Azobacter* y *Herbaspirillum*



Plantación al final del ciclo de cultivo

por el cultivo más biofertilizante (T1-A), deduciéndose que en condiciones de suelo con bajo nivel de materia orgánica, las bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico mostraron baja eficacia, reduciéndose considerablemente el efecto del biofertilizante.

En los tratamientos donde se aportó estiércol y el contenido de materia orgánica en el suelo era medio-alto, no se encontraron diferencias significativas en el rendimiento entre los tratamientos donde se incorporó del 50% de nitrógeno más biofertilizante y en los que se aportó el 100% de nitrógeno, comprobándose en estas condiciones una elevada eficacia del biofertilizante al reducirse en un 50% el nitrógeno mineral en la fertilización nitrogena-

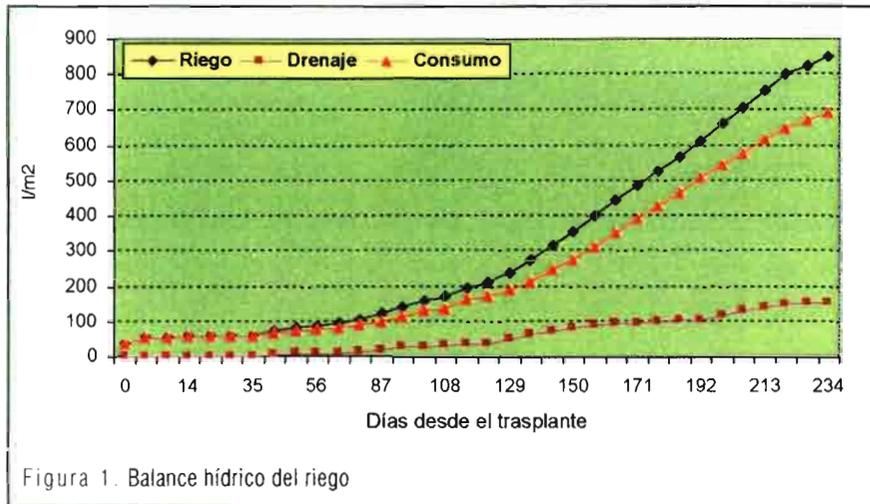


Figura 1. Balance hídrico del riego

da. Las producciones más elevadas se consiguieron en aquellos tratamientos con un contenido alto de materia orgánica (T3,4-A-B).

Los mayores rendimientos observados en las parcelas tratadas con biofertilizante Azobac junto con el 50% de los requerimientos de nitrógeno del cultivo, podrían ser atribuidos a la fijación de nitrógeno por las bacterias *Azotobacter* y *Azospirillum* inoculadas.

La evolución de las cantidades acumuladas de agua aportada, agua drenada y consumida por el cultivo (ETc) durante su ciclo se muestran en la **Figura 1**. La cantidad de agua aplicada en el riego de plantación (suelo seco) fue de 36 mm y de 16 mm en el riego de arraigue, cantidades que humedecieron suficientemente todas las plántulas para su establecimiento definitivo en el suelo, no generándose pérdidas por drenaje. Después del riego de arraigue y durante 46 días se suprimieron los riegos, generándose un déficit hídrico en el suelo para forzar el desarrollo de las raíces de la planta, iniciándose posteriormente la programación de los riegos. A los 30 días después del trasplante se aportó un riego de 1,5 mm a los tratamientos T1,2,3,4-A para aportar el biofertilizante Azobac según programación establecida. El agua total aportada entre el día 46 y el 235 después del trasplante fue de 828 mm y el drenaje medio total de 155 mm, equivalente al 17,8% del agua aportada. Teniendo en cuenta el agua total aportada al cultivo (880 mm, incluidos los riegos de plantación y arraigue), se dedujo una eficiencia máxima del uso del agua de 17,8

kg/m<sup>3</sup> en los tratamientos donde se aportó mayor cantidad de materia orgánica (T4-A y T4-B) y mínima de 14,0 kg/m<sup>3</sup> en el tratamiento donde no se incorporó materia orgánica y el 50% de la cantidad de nitrógeno requerido por el cultivo más biofertilizante (T1-A).

La **Tabla 3** presenta el balance de agua y nitrógeno para cada tratamiento ensayado, generándose entre ellos pequeñas

diferencias entre el agua aportada y drenada. En los tratamientos donde no se aportó materia orgánica se redujo el agua drenada, debido a una humectación más extensa de la superficie del suelo lo que presumiblemente produjo mayor evaporación a partir del suelo (Rincón et al., 2005).

En los tratamientos donde se aportó el 50% de la cantidad de nitrógeno requerido por el cultivo más biofertilizante (T1,2,3,4-A), el nitrógeno lixiviado y el gastado fueron significativamente más bajos que el lixiviado y gastado en los tratamientos donde se aportó el 100% del nitrógeno requerido por el cultivo (T1,2,3,4-B), significando reducciones medias del 61 % en el nitrógeno lixiviado y del 48 % en el N gastado (consumido por el cultivo más el retenido en el suelo). La reducción de la lixiviación de nitrógeno se ratifica en la **Figura 2** donde se muestran los contenidos de NO<sub>3</sub>- en el suelo a máxima densidad radicular (0-20 cm), comprobándose que donde

Tabla 3. Balances de agua y nitrógeno

	Agua (mm)	N (kg/ha)
<b>Agua de riego y N-NO<sub>3</sub>- aportado</b>	880	0
<b>Nitrógeno mineral aportado T-A</b>	-	188
<b>Nitrógeno mineral aportado T-B</b>	-	376

Tratamientos	Balance		
T1-A	Drenado	155	25
50 % N mineral + Biof	Gastado*	725	163
T1-B	Drenado	162	52
100 % N mineral	Gastado*	718	324
T2-A	Drenado	189	23
50 % N mineral + Biof.	Gastado*	691	165
T2-B	Drenado	202	69
100 % N mineral	Gastado*	678	307
T3-A	Drenado	176	21
50 % N mineral + Biof.	Gastado*	704	167
T3-B	Drenado	198	72
100 % N mineral B	Gastado*	682	306
T4-A	Drenado	201	24
50 % N mineral + Biof.	Gastado*	679	164
T4-B	Drenado	186	52
100 % N mineral	Gastado*	694	326

\*Gastado = Consumido por el cultivo + Retenido en el suelo

se aportó el 50% de la cantidad de nitrógeno requerido en la fertilización nitrogenada del cultivo más biofertilizante, la concentración de  $\text{NO}_3^-$  en la disolución del suelo fue inferior a la obtenida donde se aportó el 100% del nitrógeno correspondiente a la fertilización nitrogenada.

## Conclusiones

En esta experiencia, se ha comprobado que la utilización del biofertilizante Azobac a dosis de 15 l/ha, junto con una fertilización nitrogenada equivalente al 50% del nitrógeno requerido por un cultivo de pimiento grueso de invernadero, ha resultado ser eficaz, consiguiéndose la misma producción y calidad de fruto que en los tratamientos donde se incorporó el 100% del nitrógeno en forma mineral requerido por el cultivo. Los rendimientos más elevados se consiguieron en condiciones de suelo con nivel medio-alto de materia orgánica y aportaciones de estiércol de 6,5 kg/m<sup>2</sup> y superiores.

También se ha puesto de relieve que la utilización de Azobac disminuye en un 48% el consumo de nitrógeno por el cultivo y en un 61% la lixiviación. La menor lixiviación es debida a la concentración más baja de nitrógeno en la disolución del suelo y el menor consumo de nitrógeno por el cultivo a la fijación del nitrógeno atmosférico por las bacterias (Azotobacter y Azospirillum) inoculadas con el biofertilizante Azobac, teniendo esta respuesta un elevado significado medioambiental

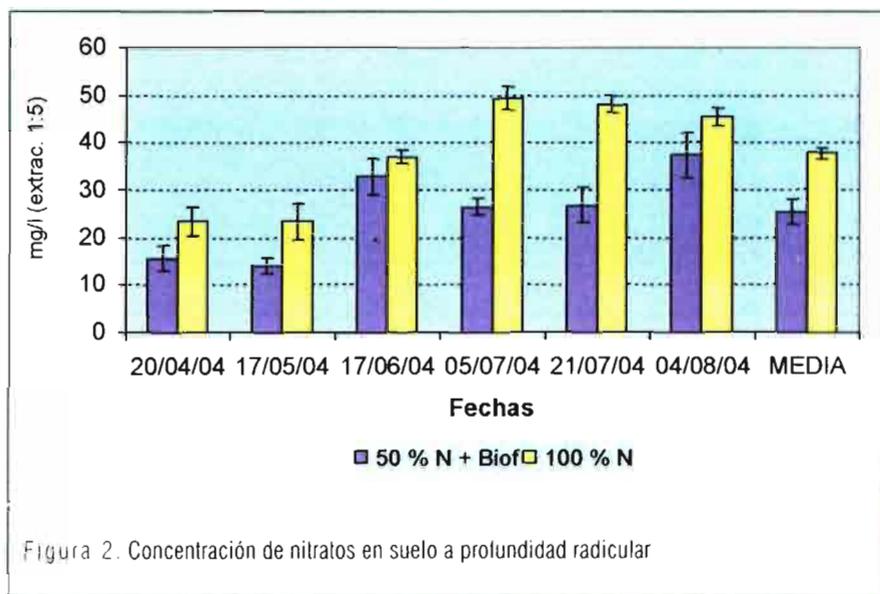


Figura 2. Concentración de nitratos en suelo a profundidad radicular

## La presente experiencia ha tenido como objetivo estudiar la eficacia de un biofertilizante comercial como sustituto parcial de la cantidad de nitrógeno inorgánico aplicado, en un cultivo de pimiento grueso de invernadero

### Bibliografía

- Hernández T.C., García C, Pascual J.A, Hernandez M.M. 2005). El uso de bacterias fijadoras de nitrógeno en Agricultura Ecológica. Agricultura 872, 184-187.
- James E.K. 2000. Nitrogen fixation in endophytic and associative symbiosis. Field Crop Res., 65, 197-209.
- Reis V.M., Baldani J.I., Baldani V.L.D., Döbereiner. 2000. Biological dinitrogen fixation in gramineae and palm trees. Plant Science, 19, 227-274.
- Rincón 2003. Planificación del riego del tomate y del pimiento grueso. Vida Rural 164, 48-52
- Rincón L. 2005. Fertirrigación localizada en suelo para cultivos hortícolas. Pautas para el uso eficiente del nitrógeno. Agricultura 872, 204-209.
- Rincón L., Pérez A., Abadía A., Sáez J., Pellicer C. 2005. Fertirrigación localizada en un cultivo de pimiento grueso de invernadero en producción integrada. II Lixiviación de nutrientes. Agrícola Vergel (en prensa).
- Summer M.E. 1990. Crop responses to Azospirillum inoculation. In Stewart B.A (Ed.) Advances in soil Science. New Ork: Springer-Verlag. pp. 52-123.

