

LA CANTIDAD DE NITRÓGENO DERIVADO DE LA RIZODEPOSICIÓN ES CLAVE PARA LA FERTILIDAD DEL SUELO

Influencia del sistema de laboreo en la rizodeposición de nitrógeno de habas y garbanzos

El objetivo de este estudio fue evaluar, en el seno de un experimento de larga duración iniciado en 1986, los efectos del método de laboreo en la rizodeposición de nitrógeno y cuantificar el N que de ésta se deriva y el N total del suelo procedente de las raíces de habas y garbanzos, cultivados en rotación con trigo en un Vertisol de secano mediterráneo utilizando el método de marcado con ^{15}N *in situ*.

Luis López Bellido, Jorge Benítez-Vega,
Purificación Fernández y
Rafael J. López-Bellido.

Departamento de Ciencias y Recursos Agrícolas y Forestales.
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y Montes.
Universidad de Córdoba.

El N derivado de la fijación biológica por las leguminosas constituye la principal fuente de N sostenible en los agroecosistemas de secano mediterráneos.

En las rotaciones de cultivo, las leguminosas mejoran significativamente el rendimiento y la calidad especialmente de los cereales. La contribución del nitrógeno de las leguminosas al suelo

más importante es la proveniente de las raíces, nódulos y exudados radiculares. Sin embargo, la cantidad de nitrógeno derivado de la biomasa radicular es subestimada si solo se tienen en cuenta las raíces recuperables, las cuales a menudo no representan más del 5% de dicho nitrógeno. La rizodeposición es el proceso de liberación de numerosos compuestos orgánicos e inorgánicos por las raíces de las plantas vivas, que incluyen iones y compuestos volátiles. La rizodeposición de nitrógeno es la liberación neta por los exudados radiculares de compuestos nitrogenados, que incluyen los iones amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-) y componentes orgánicos de nitrógeno.

La rizodeposición es un proceso altamente variable, influenciado tanto en su cantidad como calidad por factores abióticos, tales como la sequía y la textura y estructura del suelo y las



Foto 1. Plantas de habas en el interior de un marco de acero, que serán marcadas con el isótopo ^{15}N .

Foto 2. Plantas de garbanzo alimentadas con una solución de urea enriquecida con ^{15}N a través de viales.

condiciones anaerobias del mismo. También se ha observado que la fijación de N_2 en las leguminosas afecta a la rizodeposición, dado que la temperatura y el contenido de humedad del suelo son críticas para la nodulación y los procesos de fijación del N_2 .

Los suelos sometidos al sistema de no laboreo ofrecen condiciones muy favorables para el proceso de simbiosis de las leguminosas, pues presentan mejor temperatura y mayor retención de agua que el laboreo. También los sistemas de no laboreo conllevan una reducción del N disponible que, junto a una mayor humedad del suelo, tienen el potencial para incrementar la fijación biológica de N frente a los sistemas de laboreo convencional.

El crecimiento radicular es influenciado por las condiciones físicas del suelo, donde el volumen y tamaño de los poros, el contenido de agua y la temperatura del suelo y el suministro de oxígeno y nutrientes constituyen los factores más importantes en el desarrollo radicular. El sistema de laboreo puede modificar algunos de estos factores, tales como la resistencia a la penetración de la raíz o la continuidad de poros, asociándose el no laboreo con una mayor densidad radicular en las capas más altas de suelo (Muñoz-Romero, *et al.*, 2010). De esta manera, las condiciones particulares del suelo bajo el método de no laboreo pueden influir en la rizodeposición de nitrógeno por los cultivos.

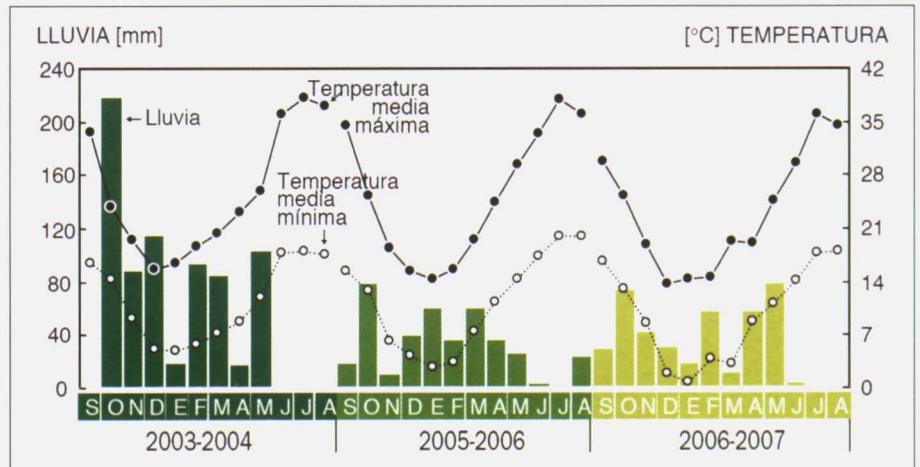
El desarrollo de métodos basados en el uso del isótopo estable de nitrógeno ^{15}N ha posibilitado el estudio de la rizodeposición de N *in situ*. La mayoría de los experimentos de rizodeposición de N han sido realizados bajo condiciones controladas de laboratorio o en condiciones de invernadero con suelo de sustratos. Muy pocos experimentos han sido llevados a cabo en condiciones de campo, debido a los problemas metodológicos y a la cantidad de trabajo que supone el marcado con ^{15}N *in situ*.

Metodología

Los experimentos de campo fueron realizados en Córdoba, en un típico suelo Vertisol, durante un período de tres años (2003-2004, 2005-2006 y 2006-2007), en el marco del experimento de larga duración Malagón, iniciado en 1986, donde se estudian dos sistemas de laboreo: no laboreo y laboreo convencional.

En el suelo de cada parcela experimental de habas y garbanzos se insertaron, al inicio del cul-

FIGURA 1.
Lluvia mensual y temperaturas medias de máximas y mínimas en los tres años de estudio (Córdoba).



Las raíces vivas de las plantas producen exudados que contienen numerosos compuestos orgánicos e inorgánicos, entre ellos diferentes formas de nitrógeno. A este fenómeno se le denomina rizodeposición

tivo, marcos de acero de 0,7 x 0,7 m (0,5 m²) hasta una profundidad de 30 cm (**foto 1**). Las plantas de habas y garbanzos del interior de los marcos fueron marcadas con solución de urea del 99% de riqueza del isótopo ^{15}N . A cada una de las plantas de habas se aplicó 1 ml de una solución 0,45 M de la urea enriquecida, inyectándolo a mitad de la floración en el tallo hueco mediante una jeringa y una aguja. A las plantas de garbanzo se les aplicó tres veces 1 ml de una solución de urea 0,15 M, en tres semanas sucesivas, a través de un vial de plástico de 2 ml conectado a un peciolo en el que se cortó un foliolo (**foto 2**) (López-Bellido, *et al.*, 2010).

Las plantas de interior de los marcos fueron recolectadas en la maduración, separándose la parte aérea y las raíces. Después de la recolección, se tomaron muestras de suelo en el interior de los marcos a 0-30, 30-60, 60-90 cm de profundidad, con una sonda de 50 mm de diámetro. La parte aérea de las plantas, el material radicular y el suelo fueron analizados para determinar el ^{15}N y la concentración total de N.

El ^{15}N recuperado en el material vegetal se calculó como la suma de los contenidos de ^{15}N

en tallos y hojas (incluyendo las hojas que fueron recogidas del suelo), grano, macrorraíces y rizodeposición. A partir de estos datos se estimó el porcentaje de N derivado de la rizodeposición (NdR) presente en el suelo y la cantidad total de N rizodepositado en función del contenido de N total del suelo (López-Bellido, *et al.*, 2010).

Resultados

Producción de biomasa y extracción de nitrógeno

La **figura 1** muestra la distribución mensual de la lluvia y las temperaturas medias máximas y mínimas durante los tres años de estudio. La lluvia total anual fue 748, 402 y 414 mm en 2003-04, 2005-06 y 2006-07, respectivamente. La mayor cantidad de precipitación se registró siempre en el período de octubre a marzo, siendo el 83% en 2003-04, 72% en 2005-06 y 58% en 2006-07.

El año afectó significativamente al rendimiento de grano y paja y a la materia seca total de las habas y garbanzos y sólo a la biomasa radicular de las habas. Para ambos cultivos, el

CUADRO I.

Influencia del año y del sistema de laboreo en la biomasa y extracción de nitrógeno en habas y garbanzos.

| Cultivo y tratamiento | Biomasa (kg/ha) | | | | Extracción de N (kg/ha) | | | | |
|-----------------------|---------------------|---------|--------|--------|-------------------------|------|--------|------|-------|
| | Grano | Paja | Raíces | Total | Grano | Paja | Raíces | NdR | Total |
| Habas | | | | | | | | | |
| Año | | | | | | | | | |
| 2003-04 | 1.413a ^a | 2.718a | 227b | 4.358a | 56a | 45a | 7a | 110a | 219a |
| 2005-06 | 428b | 919b | 402a | 1749b | 16b | 15b | 10a | 162a | 203a |
| 2006-07 | 1.649a | 2.023a | 301ab | 3.973a | 78a | 21a | 9a | 33b | 141b |
| Sistema de laboreo | | | | | | | | | |
| NL | 1.502a | 1.897a | 397a | 3.796a | 66a | 26a | 11a | 135a | 238a |
| LC | 824b | 1876a | 224b | 2.924b | 35b | 28a | 6b | 68b | 137b |
| Garbanzos | | | | | | | | | |
| Año | | | | | | | | | |
| 2003-04 | 1.223a | 1.344ab | 404a | 2.972a | 46b | 16a | 12a | 62b | 135b |
| 2005-06 | 648b | 929b | 311a | 1888b | 22c | 16a | 8a | 174a | 220a |
| 2006-07 | 1.632a | 1.639a | 322a | 3.593a | 64a | 10a | 8a | 83b | 165b |
| Sistema de laboreo | | | | | | | | | |
| NL | 1.157a | 1.295a | 340a | 2.792a | 43a | 15a | 9a | 115a | 182a |
| LC | 1.178a | 1.313a | 351a | 2.843a | 45a | 13a | 9a | 97b | 164a |

^a Para cada tratamiento y cultivo, letras diferentes indican diferencias significativas al 95% según la MDS. NL: no laboreo; LC: laboreo; NdR: nitrógeno derivado de la rizodeposición.

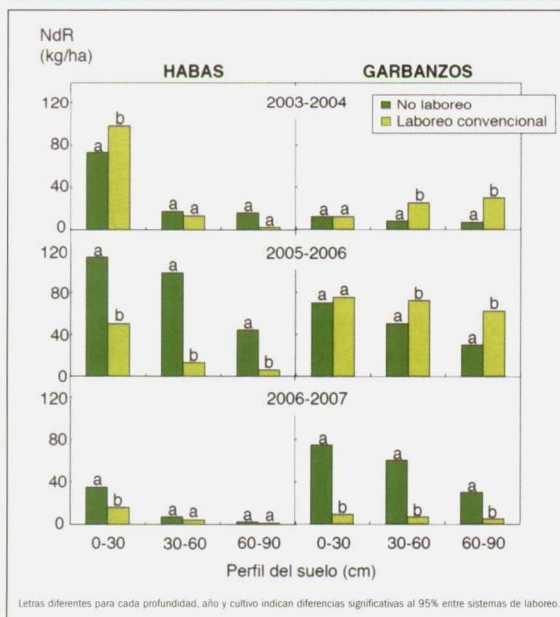
rendimiento más alto de grano y materia seca total se registró en 2003-04 y 2006-07 (**cuadro I**). La biomasa radicular de las habas, en el perfil de suelo 0-90 cm, fue mayor en 2005-2006 (**cuadro I**). Las excesivas lluvias de otoño-invierno en el año 2003 tuvieron un efecto negativo en el rendimiento de las habas, al producir condiciones de encharcamiento que dificultaron el buen establecimiento del cultivo. Las diferencias en el rendimiento y producción de biomasa de habas entre los años 2005-06 y 2006-07 pueden atribuirse a la primavera más seca de 2005-06 y especialmente a un ataque más intenso de Jopo, particularmente en el laboreo convencional. Tales condiciones de estrés indujeron un incremento significativo de la biomasa radicular de las habas (**cuadro I**). Las diferencias del rendimiento del garbanzo entre 2005-06 y 2006-07 fueron debidas a un intenso ataque de raba (*Ascochyta rabiei*) (**cuadro I**).

El no laboreo mejoró el rendimiento de grano, la extracción de N del grano y la biomasa radicular de las habas (**cuadro I**). La marcada diferencia del rendimiento de grano en las habas entre ambos

sistemas de laboreo hay que atribuirla principalmente a la infestación causada por el Jopo en el

laboreo convencional, especialmente en el año 2005-06, como ya hemos constatado durante años en el mismo experimento (López-Bellido, *et al.*, 2009). En el garbanzo, el sistema de laboreo no afectó a los parámetros anteriores en el conjunto de los tres años de estudio (**cuadro I**). El no laboreo tiene un mejor comportamiento en los Vertisoles cuando la lluvia durante el período diciembre-febrero es menor de 200 mm; cuando excede esta cantidad el laboreo convencional es generalmente más productivo (López-Bellido *et al.*, 2004).

FIGURA 2.
Influencia del año, del sistema de laboreo y de la profundidad de suelo en el nitrógeno derivado de la rizodeposición (NdR) total en el perfil 0-90 cm.



Recuperación y distribución del isótopo ¹⁵N en habas y garbanzos

La recuperación de ¹⁵N por el grano, la paja y la rizodeposición, así como el total de ¹⁵N recuperado por las habas fueron influenciadas significativamente por el año. El año 2003-04 registró el porcentaje más alto de recuperación de ¹⁵N, difiriendo significativamente de los otros dos años del estudio, aunque el ¹⁵N recuperado por el grano fue más alto en 2006-07 (**cuadro II**). El sistema de laboreo no afectó a la recuperación de ¹⁵N por

las habas, que captaron un promedio del 65,2% del ^{15}N aplicado (**cuadro II**). En conjunto, la mayor cantidad de ^{15}N fue recuperada por la fracción de rizodeposición (29,6%), seguida por el grano (17,9%), la paja (15,8%) y las raíces (2,4%) (**cuadro II**). Esta recuperación de ^{15}N por las habas es mucho más baja que la obtenida en experimentos realizados en maceta bajo condiciones controladas, lo cual muestra que tales resultados no pueden ser extrapolados a las condiciones de campo.

También en garbanzo, la recuperación de ^{15}N por la paja, la rizodeposición y el total de ^{15}N recuperado fue significativamente influenciado por el año. El sistema de laboreo influyó en la recuperación de ^{15}N por el grano, la paja y la materia seca total del garbanzo, siendo siempre mayor en el laboreo convencional (**cuadro II**). La recuperación total de ^{15}N por el garbanzo fue el 51,6% (**cuadro II**); distribuyéndose de la siguiente forma: 19,3% rizodeposición, 20% grano y 10,5% paja. Sólo el 1,9% del ^{15}N recuperado por el garbanzo fue encontrado en las raíces (**cuadro II**). Globalmente, en la parte aérea de la planta de garbanzo (grano y paja) se localizó la mayor proporción de ^{15}N recuperado (59%) respecto al suelo y las raíces (41%).

Rizodeposición de N en el suelo

La cantidad de nitrógeno derivado de la rizodeposición (NdR) depositada en el suelo por ambos cultivos durante su período de crecimiento fue significativamente influenciada por el año, el sistema de laboreo y las diferentes profundidades de suelo estudiadas (**cuadro I y figura 2**). En conjunto, el NdR varió en el perfil de suelo 0-90 cm de 33 kg N/ha (2006-07) a 162 kg N/ha (2005-06) en habas; y en garbanzo de 62 kg N/ha (2003-04) a 174 kg N/ha (2005-06). Asimismo, la cantidad de NdR fue significativa-

CUADRO II.

Influencia del año y del sistema de laboreo en la recuperación de ^{15}N en grano, paja, raíces y rizodeposición (NdR) en habas y garbanzos.

| Cultivo y tratamiento | Recuperación de ^{15}N marcado (%) | | | | Total |
|-----------------------|---|-------|--------|---------------|-------|
| | Grano | Paja | Raíces | Rizodepósitos | |
| Habas | | | | | |
| Año | | | | | |
| 2003-04 | 18,4ab* | 27,2a | 2,1a | 43,6 a | 91,4a |
| 2005-06 | 6,8b | 8,8b | 2,6a | 36,7ab | 54,9b |
| 2006-07 | 26,9a | 11,4b | 2,4a | 8,3b | 49,1b |
| Sistema de laboreo | | | | | |
| NL | 19,1a | 13,3a | 2,4a | 27,8a | 62,6a |
| LC | 15,6a | 18,3a | 2,4a | 31,3a | 67,7a |
| Garbanzos | | | | | |
| Año | | | | | |
| 2003-04 | 16,9a | 8,1b | 1,2b | 10,3b | 36,5b |
| 2005-06 | 13,1a | 12,4a | 3,6a | 44,0a | 73,5a |
| 2006-07 | 30,0a | 10,9a | 1,3b | 3,5b | 45,7b |
| Sistema de laboreo | | | | | |
| NL | 6,8b | 7,3b | 1,3a | 15,7b | 31,1b |
| LC | 33,2a | 13,6a | 2,4a | 22,9a | 72,1a |

a Para cada tratamiento y cultivo, letras diferentes indican diferencias significativas al 95% según la MDS.
NL: no laboreo; LC: laboreo; NdR: nitrógeno derivado de la rizodeposición.

mente influenciada por el sistema de laboreo en ambas leguminosas, siendo superior en el no laboreo frente al laboreo convencional (**cuadro I**).

En habas, las mayores diferencias en el NdR, según el sistema de laboreo, se registraron en 2005-06 (69 y 225 kg N/ha en laboreo convencional y no laboreo, respectivamente) (**figura 2**). También en dicho año existieron diferencias significativas entre los horizontes de suelo estudiados (0-30, 30-60 y 60-90 cm) (**figura 2**). En los otros dos años, el NdR en habas estuvo influenciado por el sistema de laboreo sólo en el horizonte de 0-30 cm (**figura 2**). En 2003-04, el laboreo convencional incrementó

el NdR frente al no laboreo (98 y 73 kg N/ha, respectivamente) (**figura 2**). En 2006-07, los valores de NdR (0-30 cm) fueron 35 y 16 kg N/ha en no laboreo y laboreo convencional, respectivamente (**figura 2**).

En garbanzo, el laboreo convencional registró valores más altos de NdR que el no laboreo en 2003-04 y 2005-06 en los horizontes de 30-60 y 60-90 cm. Estas diferencias entre sistemas de laboreo se incrementaron con la profundidad (**figura 2**). En 2006-07, el no laboreo mejoró el NdR con diferencias significativamente en todos los horizontes con respecto al laboreo convencional (**figura 2**).

Aumente la potencia de su motor hasta un 20%
Adaptables a **CASE IH, FIAT, FORD, NEW HOLLAND, JOHN DEERE, LANDINI, MASSEY-FERGUSON, RENAULT, ETC.**



SOLUCIONES INTEGRALES EN TRACTORES Y MAQUINARIA AGRÍCOLA, CON EL MEJOR SERVICIO.

tenemos el kit de turbo que necesita !!

www.agrinava.com



Foto 3. Plantación de garbanzos en no laboreo. Foto 4. Plantación de haba en no laboreo.

Existe, por tanto, una clara influencia del sistema de laboreo en la rizodeposición de N. La distribución de la lluvia en el período del cultivo es crítica para su adecuado establecimiento y el desarrollo del sistema radicular. En función del sistema de laboreo, la humedad del suelo ha sido decisiva en la producción de biomasa radicular y en consecuencia ha sido un factor clave en la rizodeposición de N. En los años lluviosos, los Vertisoles tienden a acumular agua en las capas más profundas del perfil de suelo, con una infiltración lenta de la misma, que frecuentemente causa condiciones hidromórficas que limitan el crecimiento de la raíz (Muñoz Romero, *et al.*, 2010) y por lo tanto la rizodeposición. Por esta razón, en los años más secos (2005-06) el efecto del no laboreo fue más visible (figura 2).

La rizodeposición de las habas aportó el 95% del N al suelo no superando el contenido de N de las macrorraíces el 5% del N total de la planta. La mayor parte del NdR (70%) estuvo localizado en los primeros 30 cm de suelo (figura 2).

El NdR en el garbanzo fue el 61% del N total de la planta (cuadro I), contribuyendo la rizodeposición al 90% del N del suelo. Al igual que en las habas, el N de las raíces representó el 5%

del total de N de la planta. La distribución del NdR del garbanzo en el perfil del suelo no siguió un patrón definido y estuvo influenciado por el año. Sólo en 2006-07, el no laboreo mostró valores de NdR significativamente más altos respecto al laboreo convencional en el conjunto del perfil del suelo (figura 2). Los valores mayores de NdR en el laboreo convencional pueden atribuirse por un lado a las condiciones lluviosas del período 2003-04, y de otro a la intensa infestación de rabia en el no laboreo en 2005-06 (figura 2).

Conclusiones

Bajo las condiciones de un suelo Vertisol de seco, el nitrógeno derivado de la rizodeposición (NdR) fue el 54 y 61% del N total en habas y garbanzos, respectivamente, representando el 90% del N localizado en el suelo procedente de ambos cultivos. La cantidad de NdR estuvo fuertemente influenciada por las condiciones climáticas anuales, alcanzando los valores medios de 102 kg N/ha en habas y 106 kg N/ha en garbanzo.

El sistema de no laboreo indujo de forma consistente más NdR que el laboreo convencional (135 y 68 kg N/ha en habas y 115 y 97 kg

N/ha en garbanzo, respectivamente). Tales diferencias puede atribuirse a las condiciones de suelo más favorables para el crecimiento radicular producidas por el no laboreo, a una estructura del suelo más estable y al incremento de agua almacenada.

Nuestros resultados muestran que la cantidad de N derivado de la rizodeposición es importante para el balance de N (aunque es poco conocida y ha sido raramente cuantificada) y representa un factor clave para la fertilidad de los suelos en las condiciones de secano mediterráneas. ●

Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada por los proyectos del Plan Nacional de I+D+I AGL2003-03581 y AGL2006-02127/AGR. Nuestro agradecimiento a la empresa ABECERA, propietaria de la Finca Malagón donde se ubica el experimento, por toda la colaboración prestada. Además, un especial agradecimiento a Joaquín Muñoz, José Muñoz y Auxiliadora López-Bellido por su excelente ayuda en los trabajos de laboratorio y de campo.

Bibliografía ▼

- López-Bellido, L., López-Bellido, R.J., Castillo, J.E., y López-Bellido, F.J. 2004. Chickpea response to tillage and soil residual nitrogen in a continuous rotation with wheat I. Biomass and seed yield. *Field Crops Research*, 88, 191-200.
- López-Bellido, R.J., López-Bellido, L., Benítez-Vega, J. 2009. No-Tillage Improves Broomrape Control with Glyphosate in Faba-Bean. *Agronomy Journal*. 101 1394-1399.
- López-Bellido, L., Benítez-Vega, J., García, P., Redondo, R., López-Bellido, R.J. 2010. Tillage system effect on nitrogen rhizodeposition by faba bean and chickpea. *Field Crops Research*. DOI: 10.1016/j.fcr.2010.10.001
- Muñoz-Romero, V., López-Bellido, R.J., López-Bellido, L. 2010. Influencia del método de laboreo en el desarrollo radicular del trigo. *Vida Rural*, 31:7: 68-73.

Existe una clara influencia del sistema de laboreo en la rizodeposición de N. En los años más secos el efecto positivo del no laboreo frente al laboreo convencional fue más visible