

INFLUENCIA DEL SISTEMA DE LABOREO Y DE LA ROTACIÓN DE CULTIVO CON HABAS, GARBANZO Y GIRASOL



Respuesta del trigo a la aplicación fraccionada del nitrógeno fertilizante

La disponibilidad de agua en el suelo es el principal factor que limita el rendimiento potencial del trigo y su respuesta al N. El manejo adecuado del N fertilizante en la producción de trigo en las áreas de secano es crítico para obtener el máximo rendimien-

to económico y mejorar la utilización del agua. La respuesta del trigo al N fertilizante también es influenciada por factores tales como: manejo del fertilizante, tipo de suelo, secuencia de cultivos y suministro de N residual y mineralizado.

Luis López Bellido¹, Verónica Muñoz Romero¹, Purificación Fernández García¹, Ramón Redondo² y Rafael J. López-Bellido Garrido¹.

¹ Departamento de Ciencias y Recursos Agrícolas y Forestales, Universidad de Córdoba.

² Laboratorio de Isótopos Estables, Universidad Autónoma de Madrid.

Debido a que algunos de los principales factores que controlan las necesidades de N por los cultivos, tal como el clima, están en gran parte fuera del control del agricultor, es difícil predecir la cantidad de N fertilizante requerida para un rendimiento óptimo. En consecuencia,

el establecimiento de la dosis de fertilizante y la fecha de aplicación constituyen un problema importante y a la vez complejo y aleatorio, que cada año se plantea de forma distinta a los productores agrarios.

En diversos experimentos realizados en los Vertisoles de secano del sur de España, hemos demostrado que el rendimiento de trigo respondió solo hasta la dosis de 100 kg/ha de N fertilizante cuando los años fueron húmedos; siendo escasa o nula la respuesta en los años secos (con lluvia inferior a 450 mm en el periodo de cultivo).

Muchos estudios han mostrado que la aplicación fraccionada de N fertilizante induce

una mayor recuperación del N por la planta y rendimientos más altos comparados con la aplicación única. Sin embargo, la proporción del fraccionamiento debe ser determinada localmente teniendo en cuenta el estado inicial de fertilidad de suelo. En general, bajo las condiciones de secano mediterráneas, una pequeña dosis de N (no superior a 50 kg N/ha) debería ser utilizada en siembra y el N fertilizante adicional podría aplicarse en cobertera al final del ahijado o inicio del encañado, dependiendo de la lluvia invernal, del cultivo previo en la rotación y de la cantidad de N residual existente en el suelo al final del invierno.

Estudios de larga duración con N fertilizan-

te han mostrado un incremento del N residual del suelo, en forma de nitratos, cuando la dosis de N fertilizante excede las necesidades del cultivo para un máximo rendimiento. La sobrefertilización como una forma de “seguro” es común en muchos agricultores. Los efectos acumulativos de las aplicaciones de N fertilizante durante varios años dan lugar a un incremento del N residual del suelo y a menor necesidad de N fertilizante para producir trigo con alta proteína. En los climas secos, un conocimiento de la cantidad de nitratos en el perfil del suelo y la probabilidad de lluvia en la estación de crecimiento pueden ser utilizados para seleccionar la dosis más eficiente de aplicación de N.

Durante tres años fue realizado un estudio en las condiciones de secano de la campiña andaluza para determinar el efecto del sistema de laboreo, la rotación de cultivo y la variación en la época de aplicación del N fertilizante sobre la recuperación de éste por el cultivo y el rendimiento de trigo.

Metodología

Los experimentos fueron realizados en Córdoba, en el marco del experimento de larga duración denominado Malagón, durante los años 2003-2004, 2005-2006 y 2006-2007 (el año 2004-2005, registró solo 263 mm de lluvia, ocurrida principalmente en el período otoño-invierno, resultando un año fallido, prácticamente sin cosecha, por lo cual fue descartado del experimento).

El diseño del experimento fue en bloques en tres repeticiones y con parcelas sub-subdivididas. Las parcelas principales fueron el sistema de laboreo (no laboreo y laboreo convencional); las subparcelas fueron la rotación bianual de cultivo (trigo-girasol, trigo-garbanzo, trigo-habas); y las sub-subparcelas fueron la aplicación de 100 kg N/ha, en dos formas de fraccionamiento: 50% en siembra y 50% en encañado (50-0-50) y 50% en ahijado y 50% en encañado (0-50-50). La superficie de cada parcela básica fue 50 m² (5 x 10 m). Fue utilizado el cultivar de trigo harinero Gazul.

El N fertilizante solo fue aplicado a las parcelas de trigo, como nitrato amónico (34,5%). Cuando el 50% fue aplicado antes de la siembra, el N fue incorporado con grada de discos en el laboreo convencional y extendido sobre la superficie en las parcelas de no laboreo.

La alta variabilidad interanual de la lluvia, típica del clima Mediterráneo, genera fuertes variaciones en el rendimiento de grano, el contenido de N del suelo y la eficiencia en el uso del N por el trigo

Muestras de suelo para el análisis de nitratos fueron tomadas antes de la siembra de trigo a una profundidad de 0-90 cm.

Se establecieron microparcels de 1 x 2 m dentro del área del experimento principal, para estudiar la recuperación de N fertilizante por el trigo usando la técnica de N marcado (¹⁵N). El cálculo del N fertilizante marcado (¹⁵N) recuperado por la planta (N_R) y del porcentaje del N total de la planta derivado del ¹⁵N fertilizante (N_F) se muestra en nuestro artículo de **Vida Rural** n°254, de 1 de septiembre de 2007 (págs. 28-30).

La lluvia total registrada fue: 778, 382 y 434 mm para 2003-2004, 2005-2006 y 2006-2007, respectivamente. La campaña 2003-2004 fue por tanto la más lluviosa y 2005-2006 y 2006-2007 las más secas, 202 y 150 mm por debajo del promedio de lluvia anual de la zona, respectivamente. La distribución de la lluvia también difirió entre años.

Resultados

Contenido de nitratos del suelo

El contenido de nitratos en el suelo en la siembra del trigo (perfil 0-90 cm) varió significativamente en los años de estudio (**figura 1**). El año 2006-2007 con una media de 226 kg/ha de nitratos registró un valor notablemente superior que los años 2003-2004 y 2005-2006 (99 y 101 kg/ha, respectivamente) que no difirieron entre sí (**figura 1**). El sistema de laboreo también afectó al contenido de nitratos en siembra, que fue en conjunto significativamente mayor en el laboreo convencional (LC) frente al no laboreo (NL): 153 y 132 kg/ha, respectivamente (**figura 1**).

El cultivo precedente al trigo en la rotación influyó igualmente en el contenido de nitratos del suelo. Las rotaciones con leguminosas (habas y garbanzos) mostraron niveles más elevados de nitratos en el suelo (un promedio de 170 y 175 kg/ha en el perfil 0-90 cm en habas y garbanzos, respectivamente) (**figura 1**). Por el contrario, el precedente de girasol sólo registró un valor medio de 81 kg/ha de nitratos en el mismo perfil (**figura 1**).

Rendimiento de grano

El rendimiento del trigo difirió significativamente en los tres años del estudio, con valores medios de: 4.597, 2.537 y 2.196 kg/ha en 2003-2004, 2005-2006 y 2006-2007, respectivamente (**figuras 2 y 3**). También el sistema de laboreo ejerció en conjunto un efecto

FIGURA 1.

Contenido de nitratos (NO₃⁻-N) del suelo (0-90 cm) en la siembra de trigo según año, sistema de laboreo y cultivo precedente.

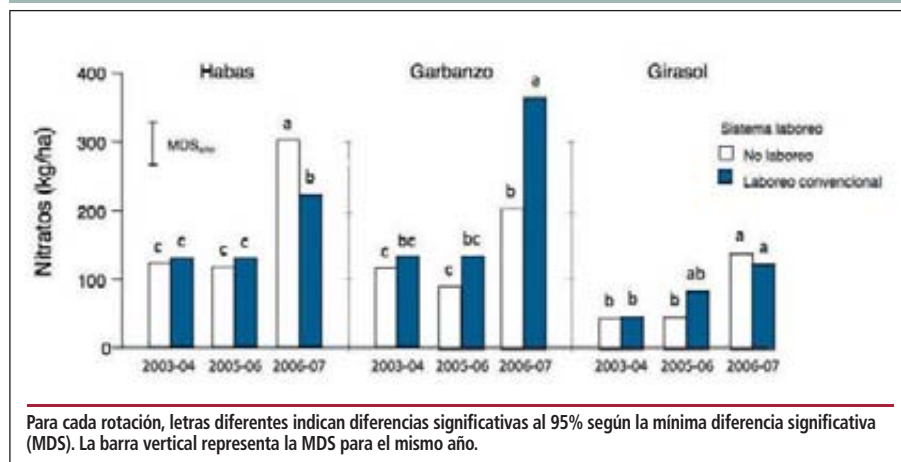
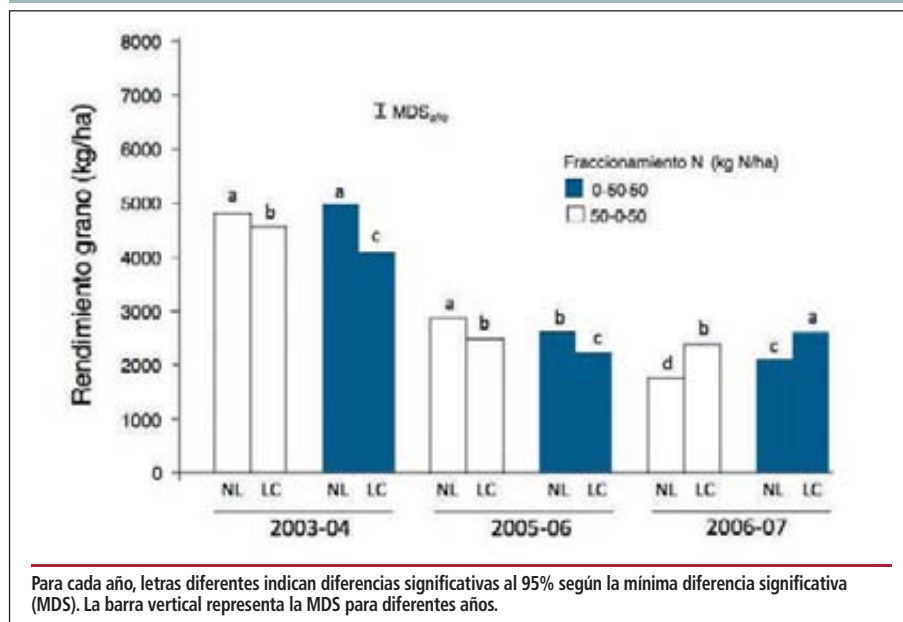


FIGURA 2.

Rendimiento de trigo según año, sistema de laboreo (NL: no laboreo, LC: laboreo convencional) y fraccionamiento de N (50-0-50: N aplicado en siembra y encañado, 0-50-50: N aplicado en ahijado y encañado).



significativo, con un rendimiento de grano más alto en el NL (3.178 kg/ha) frente al LC (3093 kg/ha) (**figura 2**). De igual forma, el cultivo precedente al trigo en la rotación bianual mostró en conjunto una influencia significativa en el rendimiento de grano, siendo el precedente de habas el más favorable seguido del garbanzo y en último lugar el girasol, con rendimientos medios del cereal de: 3.562, 3.057 y 2.711 kg/ha, respectivamente (**figura 3**). El tipo de fraccionamiento del N fertilizante no tuvo en conjunto efecto significativo en el rendimiento de trigo.

La influencia de la época de aplicación del N fertilizante en el rendimiento de grano varió en función del año y del sistema de laboreo (**figura 2**). En el año 2003-2004, la mejor respuesta del rendimiento fue obtenida por el NL, sin diferencias significativas entre las dos formas de fraccionamiento del N fertilizante (siembra-encañado y ahijado-encañado), seguido del LC cuando el N fertilizante fue aplicado en siembra y encañado (**figura 2**). En 2005-2006, el mayor rendimiento también lo registró el NL cuando el N fue aplicado en siembra y encañado (**figura 2**). En el 2006-2007, el LC tuvo mayor rendimiento que el NL en ambos fraccionamientos de N, siendo la aplicación ahijado-encañado la que registró el rendimiento de trigo más alto (**figura 2**).

También el rendimiento de grano estuvo influenciado por el fraccionamiento del N según el año y el cultivo precedente (**figura 3**). En el año 2003-2004, el precedente de ambas leguminosas mejoró significativamente el rendimiento del trigo respecto al precedente de girasol, siendo el precedente de habas con el fraccionamiento de N siembra-encañado (5.212 kg/ha) y el del garbanzo con la aplicación ahijado-encañado (5.105 kg/ha) los que indujeron los rendimientos de trigo más altos (**figura 3**). La rotación con girasol, en conjunto, redujo notablemente el rendimiento de trigo respecto a la rotación con leguminosas (aproximadamente 1 t de grano por ha), siendo mayor con la aplicación siembra-encañado (4.094 kg/ha) respecto a la aplicación ahijado-encañado (3.790 kg/ha). En 2005-2006 no hubo una clara influencia del cultivo precedente sobre el rendimiento de grano, ni tampoco del fraccionamiento del N (**figura 3**). En 2006-2007, el precedente de habas indujo un rendimiento de trigo significativamente mayor que el precedente de garbanzo y girasol, que no difirieron entre



El trigo en rotación con habas fue el que registró mayor extracción de N, seguido del precedente garbanzos y del de girasol.

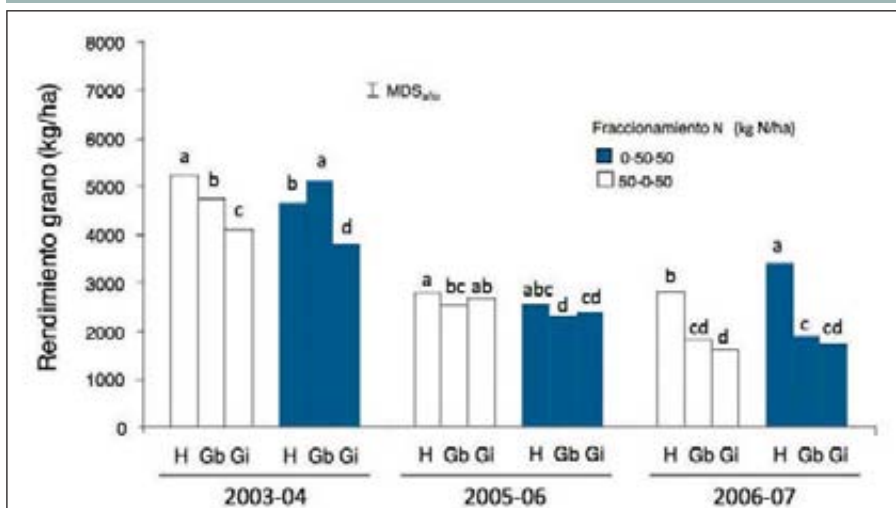
sí, tanto con el fraccionamiento del N fertilizante siembra-encañado como con el de ahijado-encañado. Ambos fraccionamientos también mostraron diferencias significativas para el rendimiento de grano con 2.784 y 3.396 kg/ha, respectivamente con las habas como precedente (**figura 3**).

Eficiencia del nitrógeno

La media de N extraído por el trigo en los tres años del estudio fue 103 kg N/ha, correspondiendo al grano entre el 70 y 79%, según años y tratamientos. El año 2003-2004, el de mayor rendimiento fue el que registró mayor extracción de N total (129 kg N/ha) respecto a los otros dos años, que también difirieron entre sí (92 y 86 kg N/ha en 2005-2006 y 2006-2007, respectivamente) (**cuadro I**). El trigo en rotación con habas fue el que registró mayor extracción de N, seguido del precedente garbanzos y del de girasol, que también tuvieron diferencias significativas entre sí (promedio de 120, 101 y 86 kg N/ha, respectivamente) (**cuadro I**). La influencia del sistema de labo-

FIGURA 3.

Rendimiento de grano según año, cultivo precedente (H: habas, Gb: garbanzo, Gi: girasol) y fraccionamiento de N (50-0-50: N aplicado en siembra y encañado, 0-50-50: N aplicado en ahijado y encañado).



Para cada año, letras diferentes indican diferencias significativas al 95% según la mínima diferencia significativa (MDS). La barra vertical representa la MDS para diferentes años.

¿Vital?



¡Vital!

Patentkali®



El equilibrio perfecto. Patentkali® es la referencia Europea entre los abonos para producir frutas y hortalizas de calidad. Sus características: equilibrio perfecto (30% K₂O, 10% MgO, 42% SO₄) en forma de sulfato, inmediatamente disponibles para las plantas y aptos para todos los cultivos, incluidos los ecológicos. Sus efectos:

- mejora la formación de vitaminas, apariencia y el sabor
- mejora la resistencia a sequías y heladas
- aumenta la vida de almacenamiento y la tolerancia a la manipulación

Patentkali® es el óptimo equilibrio de nutrientes para abonar potasio, magnesio y azufre cuando hay que suprimir el suministro de nitrógeno. Patentkali® – es la fuente de vitalidad para sus frutales y hortalizas.



CUADRO I.

Extracción de N por el trigo y recuperación de N fertilizante marcado según año, sistema de laboreo (NL: no laboreo, LC: laboreo convencional), rotación de cultivo (H: habas, Gb: garbanzo, Gi: girasol) y fraccionamiento de N (50-0-50: N aplicado en siembra y encañado, 0-50-50: N aplicado en ahijado y encañado).

	Año	Sistema laboreo		Rotación de cultivo			Fraccionamiento de N	
		NL	LC	H	Gb	Gi	50-0-50	0-50-50
N extraído (kg/ha)	2004	136a	122b	144a	140a	103b	127a	131a
	2006	91a	92a	97a	90a	89a	101a	83b
	2007	77b	96a	119a	74b	67b	77b	96a
¹⁵ N recuperado (%)	2004	55a	39b	44b	47ab	51a	46a	48a
	2006	47a	49a	47ab	46b	51a	49a	46a
	2007	40a	38a	42a	35b	39ab	34b	44a

Para cada año y tratamiento, letras diferentes indican diferencias significativas al 95% según la mínima diferencia significativa.

reó varió según los años y el cultivo precedente en la rotación.

El porcentaje medio de N fertilizante marcado (¹⁵N) recuperado (N_R) por el trigo fue 44,6%, correspondiendo al grano el 33,7%. En los años 2003-2004 y 2005-2006 el N_R medio fue similar (47,1 y 47,9%, respectivamente) y difirieron significativamente de 2006-2007 (**cuadro I**).

El no laboreo registró un N_R más alto que el laboreo convencional (47,3 y 41,9%, respectivamente). En conjunto, el N_R por el trigo fue significativamente mayor en la rotación con girasol (47%) respecto a la registrada en las rotaciones con habas y garbanzos que no difirieron entre sí (44,2 y 42,6%, respectivamente) (**cuadro I**). La aplicación fraccionada de N fertilizante en ahijado-encañado registró, en conjun-

to, una N_R significativamente más alta que en el fraccionamiento siembra-encañado (46 y 43,2%, respectivamente) (**cuadro I**).

Para los tres cultivos precedentes, prácticamente en todos los casos, la segunda aplicación de N fertilizante al trigo, realizada en el encañado en ambos tratamientos de fraccionamiento, registró siempre un N_R significativamente mayor que la primera aplicación, tanto si ésta fue realizada en la siembra como en el ahijado.

El contenido de proteína del grano varió notablemente con los años, siendo más alto en los años secos (14,6 y 15,8% en 2005-2006 y 2006-2007, respectivamente) que en el año 2003-2004 que fue el más lluvioso (13%). El contenido de proteína fue significativamente mayor en el LC que en el NL (15,1 y

13,8%, respectivamente). Asimismo el cultivo precedente de leguminosas indujo un contenido de proteína del grano más elevado que con el precedente de girasol (14,8, 14,7 y 13,8% con las habas, garbanzos y girasol, respectivamente). En conjunto, el tipo de fraccionamiento del N fertilizante no afectó significativamente a la proteína del trigo. Solo en el año 2005-2006 hubo diferencias significativas a favor del fraccionamiento siembra-encañado.

El N extraído por kg de grano de trigo fue notablemente menor en el año 2003-2004, el de mayor rendimiento (28 g/kg), frente a los otros dos años (36 y 39 g/kg, en 2005-2006 y 2006-2007, respectivamente); mostrando que las condiciones más favorables de crecimiento del trigo el primer año, inducidas por la mayor lluvia, generaron una mayor eficiencia en la extracción de N por el trigo.

En definitiva, la alta variabilidad interanual de la lluvia, típica del clima Mediterráneo, indujo fuertes variaciones en el rendimiento de grano, el contenido de N del suelo y la eficiencia en el uso del N por el trigo. En 2005-2006 la lluvia fue escasa y por tanto el rendimiento del trigo fue bajo. Ello dio lugar a una fuerte acumulación del N mineral residual en el suelo en forma de nitratos en la estación de crecimiento 2006-2007. Este "efecto remanente" del N residual ha sido señalado como característico de los Vertisoles mediterráneos de secano. La alta acumulación de nitratos en el perfil del suelo debido a su carácter fuertemente arcilloso y las lluvias generalmente escasas de la región mediterránea, genera una elevada reserva de N mineral, que amortigua y a veces reduce e incluso anula la respuesta del trigo al N fertilizante. En las condiciones de secano, gran parte del N fertilizante no es absorbido por el trigo en los años de escasa lluvia y puede permanecer en el suelo como nitrato disponible por el cultivo siguiente, particularmente cuando se aplican altas dosis de N.

Además, el nitrato residual en los Vertisoles se distribuye progresivamente a lo largo del perfil del suelo explorado por las raíces, a lo que contribuyen de forma importante las típicas grietas. Por esta razón, el trigo puede utilizar este N más eficientemente que el fertilizante aplicado durante el período de crecimiento. En otro experimento en Vertisoles bajo condiciones de secano en el sur de España ya hemos señalado la sustancial contribución del N residual del suelo al N total de la planta que varió entre el



La rotación con girasol, en conjunto, redujo notablemente el rendimiento del trigo respecto a la rotación con leguminosas.

50% (cuando el N fertilizante aplicado al trigo fue todo en cobertera) y el 83% (cuando todo fue aplicado en la siembra).

Aunque en el conjunto del estudio el LC registró un contenido de nitratos en siembra significativamente superior al NL (en torno al 15%), no es un comportamiento que se manifieste de forma consistente según los años y el cultivo precedente.

Sí es más evidente la fuerte influencia del cultivo precedente al trigo, sobre el contenido de nitratos del suelo. Ambas leguminosas, y especialmente las habas, generan en el suelo niveles de nitratos notablemente más altos que el girasol. La diferencia de más del doble del contenido de nitratos en el suelo entre ambos cultivos precedentes, con un promedio en torno a 90 kg/ha en el perfil 0-90 cm, indican la importancia del cultivo precedente a la hora de establecer las necesidades reales de N fertilizante del cereal y del eficiente papel de las leguminosas en este sentido.

La ausencia global de diferencias significativas en el rendimiento del trigo, en función de las distintas épocas de aplicación de la dosis de 100 kg/ha de N fertilizante aplicada, hay que atribuir a los elevados niveles de nitrato residual registrados en la siembra en los tres años de estudio. También el estrés hídrico en primavera, especialmente en los años secos (2005-2006 y 2006-2007) pudo disminuir la respuesta del rendimiento a la aplicación de la fracción de N fertilizante más tardía (encañado). En general, en los años secos, especialmente en primavera, la aplicación fraccionada siembra-encañado es más favorable que la realizada toda en cobertera (fraccionamiento ahijado-encañado), debido a la mayor eficiencia del N fertilizante aplicado en siembra.

Conclusiones

La gran variabilidad interanual en la cantidad y distribución de la lluvia, típica del clima Mediterráneo, junto a las singulares características de los Vertisoles (profundos, fuertemente arcillosos y con abundante formación de grietas) configuran un escenario de incertidumbre respecto a la respuesta de rendimiento del trigo a la dosis y distribución del N fertilizante.

La frecuencia de los años secos genera fuerte variación del rendimiento de grano y respuestas fallidas o erráticas a la aplicación del N fertilizante. En ello juegan un importante papel las reservas de N mineral residual del sue-

En los años secos, la aplicación fraccionada siembra-encañado es más favorable que la realizada toda en cobertera con el fraccionamiento ahijado encañado, debido a la mayor eficiencia del N fertilizante aplicado en siembra

lo, que por las razones anteriores llegan a alcanzar elevados niveles en forma de nitratos a lo largo del perfil de 0-90 cm del suelo, que con mucha frecuencia superan al N total extraído por el cereal.

La rotación trigo-habas registró la mayor cantidad de nitratos en el suelo (0-90 cm) en la siembra del cereal, más del doble que la rotación trigo-girasol (175 y 82 kg N/ha, respectivamente). También las habas como cultivo precedente indujeron un rendimiento de trigo notablemente más alto que cuando el precedente fue girasol (3.562 y 2.711 kg/ha, respectivamente).

En el agrosistema estudiado, donde los agricultores usualmente aplican sistemáticamente altas dosis de N fertilizante al trigo, en torno a 180 kg N/ha, tiende a producirse una acumulación progresiva de altas cantidades de nitrato residual en el perfil del suelo (0-90 cm), en especial en los años secos. Esta fuente puede representar

una importante contribución al N total extraído por el cereal y suponer una notable reducción de las necesidades de N fertilizante por el cultivo.

En consecuencia, es recomendable conocer previamente a la siembra del trigo la cantidad de nitratos en el perfil del suelo, el tipo de cultivo precedente y las previsiones de lluvia a lo largo de la estación de crecimiento, con el fin de establecer la dosis y el fraccionamiento óptimo de N fertilizante, tanto desde el punto de vista económico como ambiental. ●

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, y a la empresa Limagrain Ibérica, 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.

De entrante H-1 HUMICROM (ferti) H-2 HULMAX (eco) Plato base para enraizar y desarrollo vegetativo

De primero A-1 MARGOSAN (ferti) G-30 GERMINATOR (eco) Óptima bioestimulación para una correcta defensa y desarrollo

De postre A-2 ANTOCARP (ferti) G-A2 ALGAS (eco) Flor y fruto más abundante y de calidad

Por si las "moscas" BIO 6000 PIRETRIN PLUS (eco) Insecticida de choque BIO 185 KARANJIN (eco) Prevenir es el mejor ataque

Por si los hongos BIO 75 TOMILLO (eco) Control de hongos y bacterias. BIO 150 CITRICO (eco) Preventivo y curativo

MARCAS LIDERES PARA TODO EL CICLO
Ctra. Dílar, Km. 2 • 18150 Gójar (Granada) ESPAÑA-UE E-mail: agromed@agromed.net
Tfno: +34 958597811 • +34 958597117 • Fax: +34 958597117 www.agromed.net Agromed