

Dinámica y eficiencia del N fertilizante en el cultivo del trigo de la campiña andaluza



La aplicación de N fertilizante al cultivo del trigo es otro de los tratamientos del experimento de larga duración Malagón que se realiza desde su inicio en 1986. Sistemáticamente se han aplicado las dosis de 50, 100 y 150 kg/ha de N fertilizante al cultivo de trigo, siempre en las

mismas parcelas, además de mantener parcelas control con dosis 0 de nitrógeno. En este artículo se recogen los resultados con respecto al rendimiento del trigo, la eficiencia de este cultivo en la utilización del N fertilizante y la evolución de los nitratos en el suelo.

El N fue aplicado, como nitrato amónico, la mitad antes de la siembra y la otra mitad en el ahijado, para cada una de las dosis. El resto de los cultivos de las rotaciones bianuales con el trigo (girasol, habas, garbanzos y barbecho) no recibió nunca aplicación de fertilizante nitrogenado, estu-

diándose en éstos el efecto residual del N aportado al trigo.

Respuesta de rendimiento del trigo

Para el conjunto de los veintidós años efectivos de fertilización nitrogenada en el experimento Malagón, no hubo respuesta del

rendimiento de trigo por encima de la dosis de 100 kg N/ha; esto en los años en que la lluvia registrada fue en torno a la media de la zona o por encima de ella. En los años secos, que fueron frecuentes, la respuesta del cereal a la dosis de N fertilizante fue nula (**figura 1**). El rendimiento medio de trigo de la dosis 150 kg N/ha fue 3.323 kg/ha y de la dosis 100 kg

N/ha fue 3.298 kg/ha en el conjunto de los años del experimento, que no difirieron significativamente (**figura 1**). Solo el contenido medio de proteína de grano fue ligeramente mayor cuando la dosis aplicada fue de 150 kg N/ha. En concreto, el valor medio del contenido de proteínas fue 14% y 13,5% para las dosis de 150 y 100 kg N/ha, respectivamente (**figura 1**). El efecto de las dosis de N fertilizante estudiadas en el rendimiento de trigo acumulado a lo largo de todos los años del experimento se muestra en la **figura 2** para las rotaciones trigo-habas y trigo-girasol, respectivamente. De esta forma se tiene una visión más real de la respuesta de trigo a las diferentes dosis de N fertilizante en el conjunto de los años del experimento, donde se alternan años secos y húmedos que influyeron de una manera distinta en el efecto de fertilizante sobre los rendimientos.

En definitiva, la dosis de N fertilizante que tradicionalmente aplican los agricultores al trigo en la campiña, que se cifra en un promedio de 180 kg N/ha, es excesiva, ya que no aumenta el rendimiento de grano y puede tener efectos negativos desde el punto de vista ambiental y para la economía del productor. Además se registró, como se verá más adelante, una mayor concentración de nitratos en el per-

CUADRO I.

Recuperación del nitrógeno marcado (¹⁵N), por el trigo harinero, según la época y fraccionamiento de fertilizante.

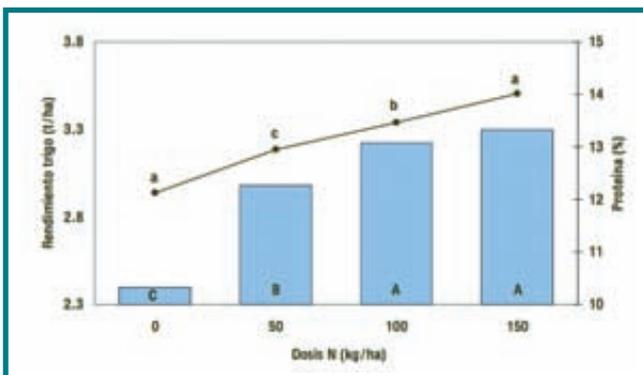
Dosis N* (kg/ha)	Recuperación de ¹⁵ N fertilizante marcado		N derivado del fertilizante ¹⁵ N
	Kg/ha	%	%
150 ¹⁵ N - 0	32c	21c	17c
75 ¹⁵ N - 75 ¹⁵ N	81b	57b	42b
50 ¹⁵ N - 100 ¹⁵ N	92ab	61ab	45b
0 - 150 ¹⁵ N	103a	68a	51a

*época aplicación: siembra-encañado.

Letras diferentes para cada columna indican diferencias significativas entre los tratamientos al 95%.

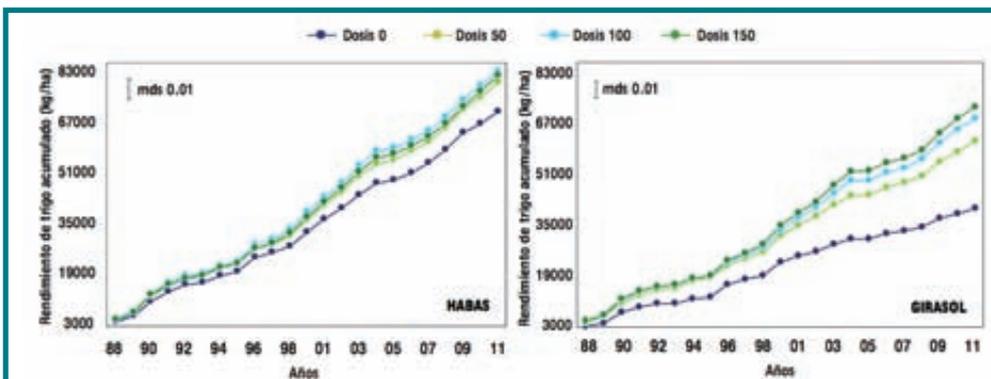
fil del suelo, sin que los cultivos posteriores en la rotación tuvieran una clara respuesta a dicho incremento de N residual, excepto cuando no se aplicó ningún N al trigo precedente.

FIGURA 1. Influencia de la dosis de N fertilizante en el rendimiento y contenido de proteína del trigo en los veinticinco años del Experimento Malagón.



Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas del rendimiento del trigo al 95% entre dosis de N fertilizante. Las letras minúsculas indican lo mismo para el contenido de proteínas del trigo.

FIGURA 2. Influencia de la dosis de N fertilizante en la producción acumulada del trigo a lo largo de los veinticinco años del Experimento Malagón, según el cultivo precedente en la rotación (habas y girasol).



Las barras verticales indican la mínima diferencia significativa al 99% entre las producciones de trigo según las diferentes dosis de N para cada rotación.

La **figura 2** también pone de manifiesto la gran diferencia del rendimiento acumulado de trigo en los años del experimento entre las rotaciones con habas y girasol. Con las habas, la producción media acumulada de trigo de las tres dosis de N fue de 81.357 kg/ha y con el girasol de 67.856 kg/ha; es decir hubo una diferencia de 13.500 kg/ha entre ambas rotaciones. Si se considera solo la dosis de cero N, la diferencia de producción de trigo acumulada fue 29.658 kg/ha a favor de la rotación con habas, respecto a la del girasol. Todo ello revela el importante papel que tienen las leguminosas en los sistemas de cultivo mediterráneos de secano a largo plazo.

Eficiencia del trigo en el uso del N fertilizante

En diferentes estudios y años fue utilizado el isótopo ¹⁵N como marcador en el experimento Malagón, para determinar la eficiencia del N por el trigo y el balance de éste en el sistema de cultivo. El **cuadro I** muestra, en un experimento de tres años, la recuperación por el trigo del N fertilizante marcado (¹⁵N) cuando una misma dosis de 150 kg N/ha fue aplicada en

La tasa de recuperación más alta de N por el trigo fue cuando la aplicación se realizó en el encañado (68%) y la más baja cuando todo el N se aplicó en siembra (21%). De esto se infiere que la contribución del N residual o nativo del suelo al N total extraído por la planta de trigo fue de gran importancia

siembra, en siembra-encañado y únicamente en el encañado. La tasa de recuperación más alta de N por el trigo fue cuando la aplicación se realizó en el encañado (68%) y la más baja cuando todo el N se aplicó en siembra (21%) (**cuadro I**). De esto se infiere que la contribución del N residual o nativo del suelo al N total extraído por la planta de trigo fue de gran importancia.

Dicha contribución fue como promedio el 82% cuando el N fertilizante se aplicó todo en la siembra de trigo, el 57% cuando la aplicación de N fue fraccionada entre la siembra y el encañado, y el 53% cuando todo el N fertilizante fue aplicado en el encañado. Esta elevada contribución del N del suelo al N extraído por el trigo está por tanto relacionada con el alto nivel de N mineral residual del suelo antes de la siembra y con la mine-

realización. Se estima que, en conjunto, ambas fuentes suministraron en el perfil de suelo 0-90 cm, como promedio anual la misma cantidad de N que la dosis de 150 kg N/ha aportada como fertilizante.

Evolución del contenido de nitratos

A lo largo de los veinticinco años del experimento Malagón, fue medido periódicamente en todas las parcelas el contenido de nitratos en el perfil del suelo de 0-90 cm de profundidad y dentro de éste en los estratos 0-30, 30-60 y 60-90 cm; todo ello antes de la siembra del trigo.

La evolución del contenido de nitratos del suelo en las parcelas del experimento Malagón tuvo un incremento proporcional a la dosis de N fertilizante aplicada, lo cual demuestra que una parte del N fertilizante no fue utilizada por los cultivos. La **figura 3** muestra la clara tendencia positiva de dicho contenido con pendientes más elevadas a medida que la dosis sistemática de N aplicada a las parcelas fue más elevada. A lo largo de todo el período del experimento el incremento del contenido de nitratos del suelo fue 1,8; 2,4; 3,7 y 5 veces superior para las dosis 0, 50, 100 y 150 kg/ha N fertilizante (**figura 3**). En las parcelas donde no fue aplicado N (dosis cero) el promedio de nitratos por año en la siembra del trigo (0-90 cm) en todo el período analizado fue 84 kg N/ha; siendo 90, 117 y 145 kg N/ha/año en las parcelas donde se aplicó 50, 100 y 150 kg N/ha de fertilizante, respectivamente.

El sistema de no laboreo, registró un promedio de nitratos en la siembra del trigo, en el conjunto de los años, de

FIGURA 3. Evolución del contenido de nitratos del suelo en el perfil 0-90 cm (rectas de tendencia) en el Experimento Malagón según la dosis de N fertilizante.

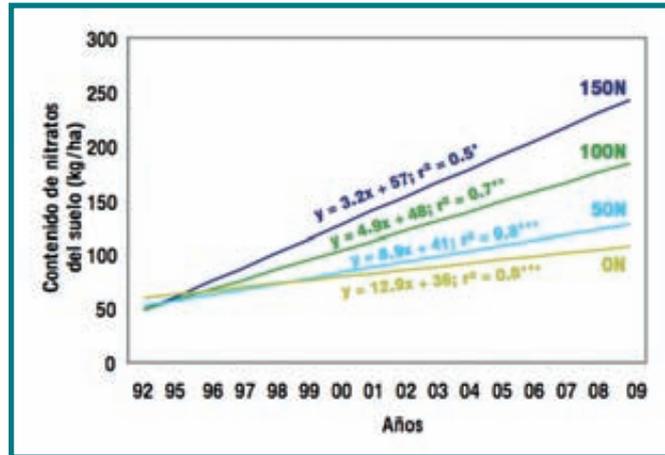
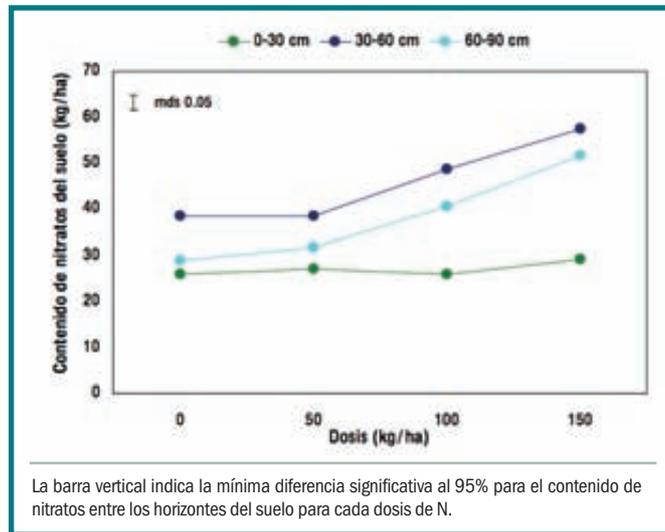


FIGURA 4. Contenido de nitratos en los veinticinco años del Experimento Malagón según los distintos horizontes del perfil del suelo y las diferentes dosis de N fertilizante aplicadas.



La barra vertical indica la mínima diferencia significativa al 95% para el contenido de nitratos entre los horizontes del suelo para cada dosis de N.

109 kg N/ha/año, frente 117 kg N/ha/año en el laboreo convencional, no siendo las diferencias significativas.

También las distintas rotaciones de cultivo con el trigo indujeron gradualmente, con el tiempo, diferencias en la concentración de nitratos del suelo. Los niveles más bajos de nitratos correspondieron a la rotación trigo-girasol, con un valor medio de 58 kg N/ha/año para el conjunto de las dosis de N fertilizante ensayadas (incluida la

dosis 0) y los más altos a la rotación trigo-habas con un valor medio de 145 kg N/ha/año, incluso superiores a la rotación trigo-barbecho (125 kg N/ha/año).

Asimismo, en el conjunto del perfil del suelo (0-90 cm) se ha observado una lenta traslocación de nitratos hacia los horizontes más profundos, que ha generado un progresivo enriquecimiento de los mismos. La **figura 4** muestra cómo a lo largo del experimento el contenido de ni-

tratos del suelo fue mayor en los horizontes 30-60 y 60-90 cm, respecto a 0-30 cm, que aumentaron a medida que las dosis de N fertilizante fueron mayores (100 y 150 kg N/ha) (**figura 4**). En el horizonte más superficial (0-30 cm) la media de nitratos fue 27 kg N/ha, en el horizonte 30-60 cm de 46 kg N/ha, y en el horizonte 60-90 cm de 39 kg N/ha. En el conjunto del perfil 0-90 cm el valor medio de N residual en los años del experimento fue 112 kg N/ha. Esto demuestra la progresiva recarga de nitratos de los horizontes más profundos del suelo del experimento, sin considerar las posibles pérdidas de N por escorrentía y lavado, sobre todo a través de las grietas del suelo. Un análisis de la conductividad eléctrica realizado en el año 2010 en los tres horizontes de suelo estudiados ha mostrado una progresiva salinización del mismo en profundidad, con valores de 0,44; 1,8 y 2,4 dS/m en los horizontes 0-30, 30-60 y 60-90 cm, respectivamente.

De todos estos datos pueden extraerse interesantes consecuencias para la práctica de la fertilización nitrogenada en las rotaciones de cultivo con trigo en los suelos de secano de la campiña. Tal vez la más destacada sea el importante papel que juega el N mineral residual y nativo (procedente de la fertilización y mineralización, respectivamente) que de forma estable se almacena en el perfil de los Vertisoles o bujeos. Esta reserva de N mineral disponible en el suelo en la siembra del trigo, en forma de nitratos, puede representar entre el 40 y 65% de las necesidades de N de una cosecha de grano de 4 toneladas/ha. También se infiere por qué no es necesaria la aplicación de N fertilizante a los cultivos de habas y

Las distintas rotaciones de cultivo con el trigo indujeron gradualmente, con el tiempo, diferencias en la concentración de nitratos del suelo. Los niveles más altos corresponden a la rotación trigo-habas con un valor medio de 145 kg N/ha/año, incluso superiores a la rotación trigo-barbecho (125 kg N/ha/año).

sobre todo girasol, que siguen al trigo. Puede afirmarse, por tanto, que el N mineral residual del suelo es un indicador potencial de la sobredosis de N fertilizante.

En consecuencia, la aplicación de altas dosis de N fertilizante que tradicionalmente realizan los productores de trigo de la región, especialmente en los años de buena lluvia puede ser una estrategia errónea, tanto desde el punto de vista ambiental como económico. Se puede conseguir una importante economía del N fertilizante y disminuir la contaminación por nitratos seleccionando la dosis óptima de N en función de la lluvia, el cultivo precedente y la cantidad de N residual presente en el suelo. En Malagón, tras veinticinco años de estudio, la dosis óptima de N reduce casi a la mitad la dosis que habitualmente aplican los agricultores de la zona.

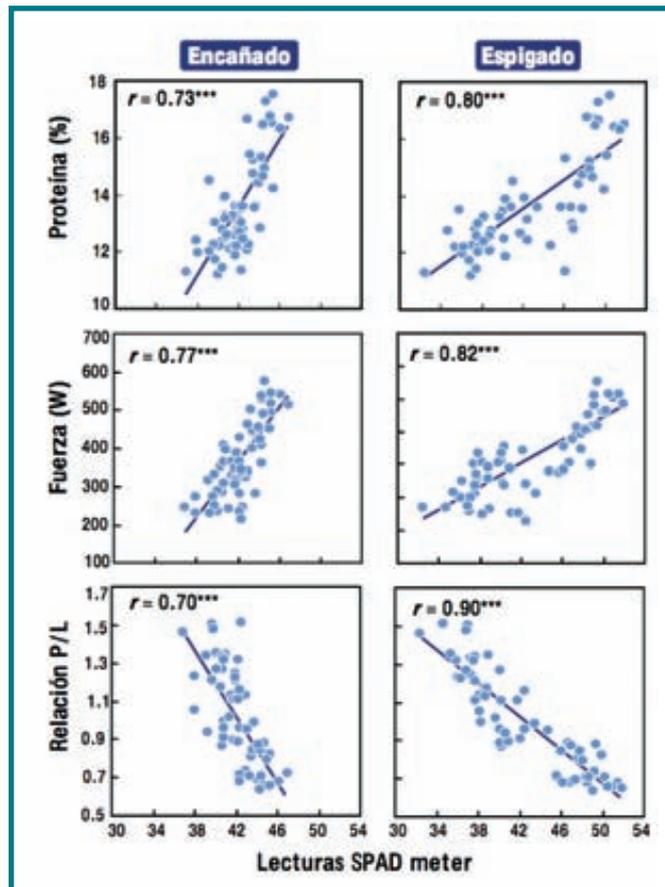
Nuevas técnicas de diagnóstico de las necesidades de N

La medición de la clorofila de las hojas del trigo ha mostrado ser una herramienta de gran utilidad para diagnosticar las necesidades de N del trigo y predecir el rendimiento y la calidad de la cosecha.

En el experimento Malagón se ha puesto a punto la utilización del medidor de clorofila SPAD 502 para predecir anticipadamente la calidad del trigo en el encañado y el



FIGURA 5. Predicción del contenido de proteínas del trigo y de la calidad harinera (W, P/L) en los estados de encañado y espigado por la medición de la clorofila de las hojas con SPAD meter.



espigado. Los estudios realizados durante varios años han revelado la validez y precisión del método para determinar el contenido de proteínas, la fuerza panadera (W) y la relación P/L, entre otros índices de calidad (figura 5). Dicho método puede ser de gran utilidad para las cooperativas y las industrias harineras, ya que permite predecir anticipadamente, con un buen grado de precisión, la calidad del trigo. Esto puede suponer un considerable ahorro de tiempo y dinero, caracterizando las partidas de trigo antes de ser cosechadas y anticipar antes de la cosecha las operaciones de compra-venta.

La predicción de los rendimientos con el medidor de clorofila es menos fiable bajo las condiciones limitantes de lluvia que suelen ocurrir en el sur de España. Se están iniciando nuevos estudios con otros modelos y sensores con el fin de perfeccionar estos métodos de diagnóstico, que sean más precisos y aplicables a diferentes variedades y zonas. ●