

Efectos del sistema de laboreo convencional frente al no laboreo, rotación de cultivo y dosis de N fertilizante

Red de Verificación y Transferencia Tecnológica en el secano andaluz



Trigo variedad Gazúl utilizada en los ensayos.

Luis López-Bellido¹, Rafael J. López-Bellido¹, Jorge Benítez-Vega¹ y Francisco García Aranda²

¹ Grupo de Investigación de Agronomía de Leguminosas y Cereales. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y Montes. Departamento de Ciencias y Recursos Agrícolas y Forestales. Universidad de Córdoba.

² Subdirección de Gestión de Explotaciones Agrarias. Empresa Pública de Desarrollo Agrario y Pesquero. Junta de Andalucía.

La investigación agrícola actual es con frecuencia fragmentaria, realizada sobre alguno de sus componentes. Se ha realizado poca investigación sobre las interacciones y los aspectos integrales de la agricultura, relativos a las relaciones entre rotaciones de cultivo, métodos de laboreo, control de plagas, enfermedades y malas hierbas y ciclo de nutrientes. La consecuencia de ello es la falta de soluciones prácticas para los problemas de los agricultores. También existe la dificultad de evaluar el impacto agronómico y económico de muchas prácticas sostenibles o alternativas y de predecir y medir sus efectos, pues deben tenerse en cuenta las fuerzas del mercado y las políticas gubernamentales que determinan la rentabilidad de las explotaciones.

Los experimentos de larga duración y la sostenibilidad agrícola

La experimentación debe suministrar las bases físicas, biológicas y económicas para el entendimiento de los ecosistemas agrarios sobre las cuales los sistemas y prácticas sostenibles han de fundamentarse. Los esfuerzos de la investigación deben ir dirigidos hacia sistemas que alcancen el múltiple objeti-

La prueba más convincente sobre la sostenibilidad de un sistema agrícola son los experimentos a largo plazo con resultados positivos. Aun con sus limitaciones, los experimentos de larga duración suministran la única base empíricamente razonable sobre la cual podemos evaluar el concepto de sostenibilidad. Malagón es un experimento de campo de larga duración iniciado en el año 1986, en el que se estudia el efecto del no laboreo frente al laboreo convencional, el comportamiento de las rotaciones que incluyen trigo, leguminosas u oleaginosas, frente al barbecho desnudo y el monocultivo de trigo, y la optimización del uso del nitrógeno fertilizante en el cultivo del trigo.

vo de rentabilidad, productividad continuada y seguridad ambiental.

En los últimos años se está dando un nuevo énfasis a una dimensión marginada de la investigación agrícola que es el tiempo, con el fin de conocer las tendencias de la producción en los sistemas a largo plazo. En el contexto agrícola, el objetivo apreciable de la sostenibilidad es la prolongación indefinida de los rendimientos a su nivel actual, y preferiblemente con una tendencia creciente que satisfaga el crecimiento de la demanda. Mantener y mejorar la producción actual y potencial exige una investigación que tenga una fuerte perspectiva de tiempo.

En este marco, los experimentos de larga duración han adquirido un notable protagonismo. Su finalidad es comparar la productividad biológica y económica de diferentes sistemas de rotaciones y prácticas de cultivo. Las altas oscilaciones anuales de la lluvia, y por consiguiente de los rendimientos de los cultivos, pueden hacer necesarios varios ciclos de cultivo para apreciar diferencias significativas. Además, las diferencias entre suelos, relación agua-suelo y variabilidad de patógenos y plagas, pueden suministrar información que explique las diferencias de rendimientos entre sistemas de producción. También sugerir estrategias en las que la secuencia de cultivos y las prácticas de manejo puedan ser elegidas para incrementar la eficiencia en la utilización del agua y los nutrientes y controlar las poblaciones de malas hierbas, plagas y enfermedades. A este respecto, los experimentos de larga duración actúan como "laboratorios" en los cuales los problemas particulares o mecanismos pueden ser estudiados en condiciones continuas de campo, donde el cultivo y el historial input/output es bien conocido; y donde además se examinan las tendencias en el tiempo de la calidad de los recursos y de los rendimientos de los cultivos.

La prueba más convincente sobre la sostenibilidad de un sistema agrícola son los ex-

Cuadro I.

Propiedades del suelo en las distintas localizaciones de los ensayos (0-90 cm).

Localización	CIC (meq 100 g ⁻¹)	Carbonatos (%)	P asimilable (ppm)	MO (%)	pH (1:2.5)	P asimilable (ppm)	Arcilla (%)	Arena (%)	Limo (%)
Somonte	30,4	16,7	3,6	1,3	8,6	315	52,7	17,1	30,1
Los Embalses	29,2	37,4	2,4	1,1	8,6	331	55,3	12,8	31,9
Enmedio	20,2	52,8	8,3	1,6	8,6	401	39,7	17,4	42,9
Tomejil	45,8	4,5	2,0	1,2	8,5	423	72,3	5,0	22,7
Malagón	37,7	8,0	2,6	0,6	7,6	345	72,9	15,2	11,9



Parcela de girasol en laboreo convencional.

perimentos a largo plazo con resultados positivos. Aun con sus limitaciones, los experimentos de larga duración suministran la única base empíricamente razonable sobre la cual podemos evaluar el concepto de sostenibilidad. El valor de los experimentos de larga duración viene dado por su capacidad para generar conocimientos que puedan mejorar la actuación biológica y económica de los sistemas de cultivos. Sirven como una temprana señal de alerta para detectar problemas que amenazan la productividad futura. Los experimentos de larga duración bien conducidos son unos indicadores principales de sostenibilidad y suministran a los científicos la oportunidad de investigar las relaciones causa-efecto que gobiernan las tendencias de productividad, antes que ello sea apreciado en las explotaciones agrarias.

El experimento Malagón, más de dos décadas de vida

Malagón es un experimento de campo de larga duración iniciado en el año 1986, que gestiona el Grupo de Investigación Agronomía de Cultivos Herbáceos de la Universidad de Córdoba. En dicho experimento se estudia el efecto del no laboreo frente al laboreo convencional, el comportamiento de las rotaciones que incluyen trigo, leguminosas u oleaginosas, frente al barbecho desnudo y el monocultivo de trigo, y la optimización del uso del nitrógeno fertilizante en el cultivo del trigo. Ya cumplida su mayoría de edad, el experimento Malagón ha permitido generar información relevante desde el punto de vista de la sostenibilidad de los secanos andaluces. Durante sus más de dos décadas de vida, el mantenimiento de dicho experimento se ha realizado mediante proyectos de investigación financiados por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología, y ha generado numerosas publicaciones y trabajos en el ámbito científico y técnico, tanto a escala nacional e internacional (veintiocho artículos científicos en revistas internacionales de impacto, quince artículos

Los esfuerzos de la investigación deben ir dirigidos hacia sistemas que alcancen el múltiple objetivo de rentabilidad, productividad continuada y seguridad ambiental

técnicos de divulgación en revistas nacionales, principalmente **Vida Rural**, y la elaboración de siete tesis doctorales) (http://www.uco.es/investiga/grupos/cultivo_sherbaceos/).

Los resultados del experimento Malagón han demostrado que la dosis de nitrógeno aplicada tradicionalmente por los agricultores al trigo es excesiva, y tiene efectos negativos desde el punto de vista ambiental y también para la economía del productor. La dosis óptima de nitrógeno determinada en Malagón reduce casi a la mitad la dosis que habitualmente aplican los agricultores de la zona. El experimento Malagón también ha puesto de manifiesto la importancia de la inclusión de las leguminosas (principalmente las habas)

Cuadro II.

Lluvia anual (mm) durante los seis años en las distintas localizaciones de los experimentos.

Localización	2003-04	2004-05	2005-06	2006-07	2007-08	2008-09
Somonte	698	241	486	570	628	428
Los embalses	683	220	370	412	406	502
Enmedio	533	176	332	265	427	397
Tomejil	575	226	427	562	559	309
Malagón	672	247	412	403	453	521

en las rotaciones de los secanos andaluces, así como la adaptación de la dosis de nitrógeno fertilizante en función del cultivo precedente. Otro resultado de suma importancia ha sido mostrar la ineficiencia del barbecho en las campiñas andaluzas desde el punto de vista productivo y ambiental. Finalmente, destacar

como el no laboreo supone una alternativa real al laboreo convencional, contando con una larga lista de beneficios para el productor y el medio ambiente.

La relevancia de estos resultados para la agricultura andaluza motivó el plantear la creación y diseño de una red de ensayos de verificación de tecnología en fincas de agricultores con el objetivo de divulgar sus resultados y cumplir con un objetivo fundamental de toda investigación, que es la transferencia. Los ensayos de verificación de tecnología se utilizan para comparar los resultados de los experimentos de generación de nuevas tecnologías con las prácticas habituales que realizan los agricultores. En tal sentido, en el año 2003 se inició la realización de 4 experimentos en explotaciones agrícolas de secano gestionadas por la Empresa Pública de Desarrollo Agrario y Pesquero de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía. La financiación ha sido realizada por el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) del Ministerio de Ciencia y Tecnología.

Metodología

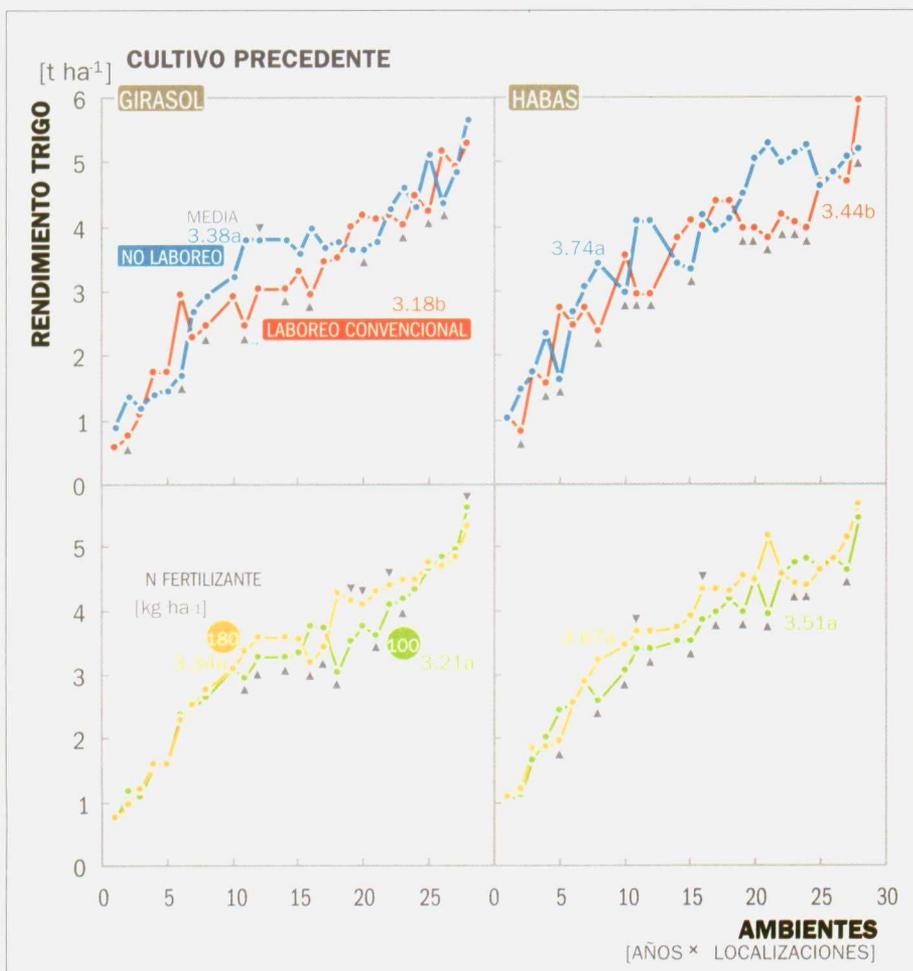
La red de ensayos fue establecida en las siguientes fincas: Malagón (Córdoba), propiedad de la empresa privada Abecera; Somonte (Palma del Río, Córdoba), propiedad del Instituto Andaluz de Reforma Agraria; Los Embalses (Campillo, Málaga), propiedad de la Agencia Andaluza del Agua; Cortijo Enmedio (Moclín, Granada), propiedad del Instituto Andaluz de Reforma Agraria; y Tomejil (Carmona, Sevilla), propiedad del IFAPA.

Los estudios fueron realizados durante seis campañas agrícolas (2003-04, 2004-05, 2005-06, 2006-07, 2007-08 y 2008-09). Las características físico-químicas de los suelos se muestran en el **cuadro I**.

Los tratamientos experimentales fueron:

Figura 1.

Efecto del sistema de laboreo, cultivo precedente y dosis de nitrógeno fertilizante en el rendimiento del trigo en función de treinta ambientes. (6 años x 5 localizaciones).



Para cada ambiente la existencia de diferencias significativas entre sistemas de laboreo y dosis de N fertilizante es indicada por triángulos (▲▼)

El no laboreo es una alternativa económica y ambientalmente viable al laboreo

convencional en los cultivos de trigo, habas y girasol de las campiñas andaluzas



Vista general de uno de los experimentos.

- Dos sistema de laboreo (convencional y no laboreo).
- Dos rotaciones de cultivo (trigo-habas y trigo-girasol; ambas repetidas en sentido inverso para que todos los años se pudiese obtener información de cada cultivo).
- Dos dosis de N fertilizante aplicada al trigo (experimental de 100 kg/ha aplicadas la mitad en ahijado y la otra mitad en encañado, y la convencional utilizada por el agricultor de 180 kg/ha aplicados 44 kg en siembra, 68 kg en ahijado y otros 68 kg en encañado).

El diseño experimental fue de parcelas sub-subdivididas, donde la parcela principal

fue el sistema de laboreo, la subparcela la rotación de cultivo y la sub-subparcela la dosis de N fertilizante. Los experimentos se establecieron con dos repeticiones y con un tamaño de sub-subparcela de 15 x 40 m.

En el experimento de cada localización se realizaron las siguientes evaluaciones y análisis: contenido de N mineral del suelo antes de la siembra (a 0-90 cm de profundidad), registro de precipitación, rendimiento del trigo, habas y girasol, contenido de proteínas del trigo y las habas y contenido graso del girasol.

El **cuadro II** muestra la lluvia registrada durante los seis años de experimentos en las distintas localizaciones.

Korn-Kali®

La combinación perfecta

Korn-Kali®

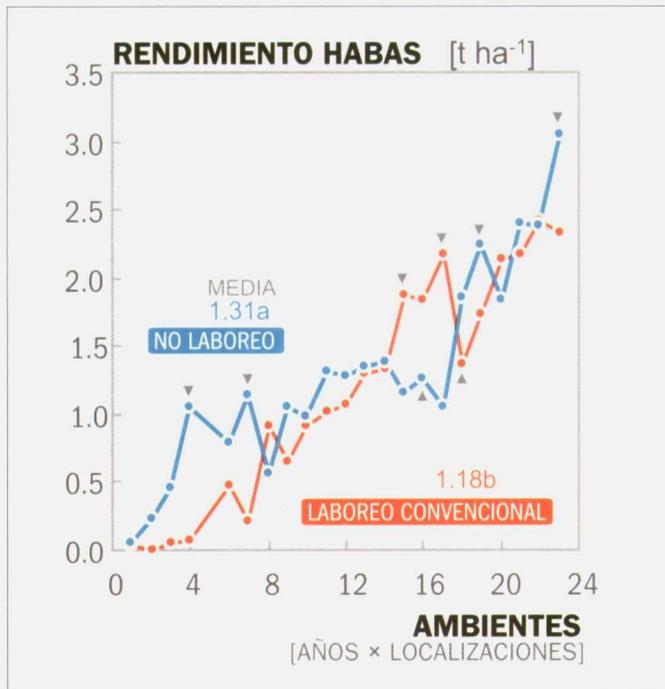
- cloruro de potasio y sulfato de magnesio en uno
- para cultivos extensivos y eficiente en todos los suelos
- potencia la asimilación de nitrógeno
- ideal para mezclas físicas o uso directo al suelo

Korn-Kali® 40% K₂O · 6% MgO · 4% Na₂O · 12% SO₃



Figura 2.

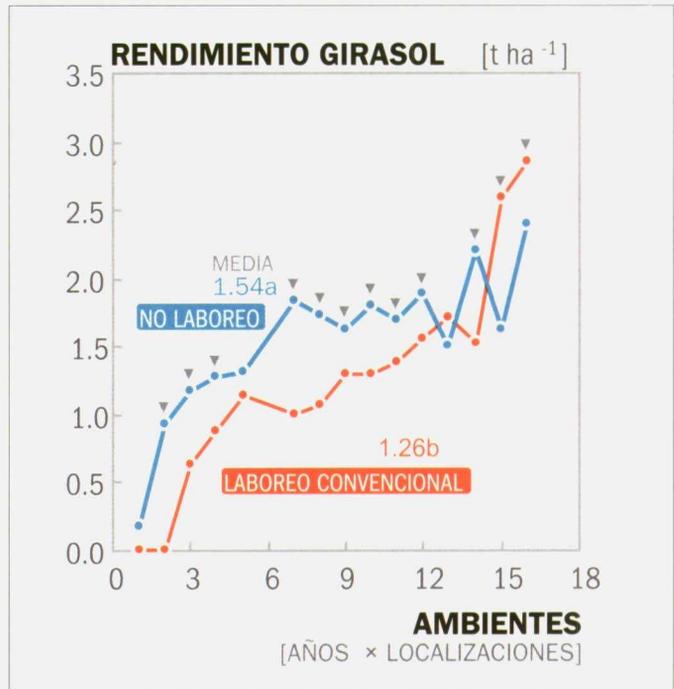
Efecto del sistema de laboreo y la dosis de nitrógeno aplicada al trigo precedente en el rendimiento de las habas en función de treinta ambientes. (6 años x 5 localizaciones).



Para cada ambiente la existencia de diferencias significativas entre sistemas de laboreo es indicada por triángulos (▲▼)

Figura 3.

Efecto del sistema de laboreo y la dosis de nitrógeno aplicada al trigo precedente en el rendimiento de girasol en función de treinta ambientes. (6 años x 5 localizaciones).



Para cada ambiente la existencia de diferencias significativas entre sistemas de laboreo es indicada por triángulos (▲▼)

Resultados

Los resultados fueron analizados mediante la interacción entre el sistema de laboreo, el cultivo precedente al trigo en la rotación (habas y girasol) y las dosis de N utilizadas (convencional y experimental) en el conjunto de las cinco localizaciones experimentales y los seis años de estudio. Cada localización y año configura un ambiente, siendo éstos un total máximo de treinta (número de localizaciones x número de años). Las figuras 1, 2 y 3 muestran la interacción de los tratamientos antes indicados; representándose en el eje de ordenadas los rendimientos de trigo, habas y girasol, respectivamente, y en el eje de abscisas los ambientes.

El rendimiento medio del trigo en el conjunto de todos los experimentos y años fue significativamente superior en el no laboreo frente al laboreo convencional, tanto en la rotación con girasol como con habas (figura 1). En 8 y 4 de los ambientes el no laboreo registró un rendimiento de trigo significativo mayor que el laboreo convencional en la rotación con girasol y habas, respectivamente. Al contrario ocurrió en 3 y 4 ambientes según ambas rotaciones. En el resto de ambientes no se registraron diferencias significativas (figura 1).

El rendimiento medio del trigo, en el conjunto de los experimentos y años, no difirió significativamente entre las dosis de N convencional (180 kg/ha) y experimental (100

kg/ha) aplicadas al trigo, tanto en la rotación con girasol como con habas (figura 1). En 9 y 10 de los ambientes, la dosis convencional registró un rendimiento de trigo significativamente superior a la dosis experimental en las rotaciones con girasol y habas, respectivamente. Ocurrió lo contrario en 3 ambientes de cada rotación, no registrándose diferencias en el resto (figura 1). En consecuencia, la perspectiva a largo plazo es una clara falta de respuesta del cereal a la dosis convencional de N fertilizante (180 kg/ha), también debido a la variabilidad de las lluvias, por lo cual no sería rentable para el agricultor.

El contenido medio de proteína del trigo registrado en el conjunto de los experimentos y años fue 15,3%, siendo en el laboreo convencional (15,4%) significativamente mayor que en el no laboreo (15,1%). También el precedente de las habas indujo mayor contenido de proteínas en el trigo (15,4%) que el precedente de girasol (15%). La dosis de abonado nitrogenado estándar (180 kg/ha) aplicada al trigo registró un contenido medio de proteína (15,6%) significativamente su-

La dosis de N fertilizante de 180 kg/ha, normalmente aplicada al trigo por los agricultores, no aumenta el rendimiento de grano respecto a la dosis experimental de 100 kg/ha

Montes de Piedad y Caja de Ahorros de Rondad, Cádiz, Almería, Málaga y Antequera (UNICAJA). Avda. de Andalucía, 10-17, Málaga. Inscrita R.M. de Málaga. Tomo 1137, libro 50, Sec. Sociedades General Folic 1. Hoja MA 2447, inscripción 1º. C.I.F. G29498086.



Llevamos más de 10 años haciendo que la ayuda fructifique.

Por algo será.

No se la juegue. Domicilie sus ayudas agrarias de la UE en Unicaja y nosotros nos encargaremos de todo. Es lo que llevamos haciendo más de 10 años, para que personas como Usted puedan dedicarse a lo más importante: su explotación.



Infórmese en cualquier oficina de Unicaja

 www.unicaja.es 901 111 133 · 952 076 224



La Primera Entidad Financiera de Andalucía



Parcelas experimentales.

perior a la obtenida con la dosis de N experimental de 100 kg/ha (14,9%).

El rendimiento medio de las habas fue también significativamente superior en el no laboreo frente al laboreo convencional, en el

conjunto de todos los experimentos (figura 2). En 5 ambientes el rendimiento de las habas fue superior en el no laboreo y en 3 ambientes en el laboreo convencional.

Igualmente, el girasol registró en conjun-

to un rendimiento de grano significativamente mayor en el no laboreo frente al laboreo convencional (figura 3). Este comportamiento se mantuvo en 10 de los ambientes, mientras que en 2 de ellos fue al contrario (figura 3). La riqueza grasa del girasol no fue afectada por el sistema de laboreo ni por la dosis de N del trigo precedente, registrándose un promedio de 37,7%.

El contenido de nitratos del suelo antes de la siembra (0-90 cm) fue muy variable en los experimentos de las distintas localizaciones. También, su evolución a lo largo de los seis años de experimentos difirió notablemente, debido a las específicas condiciones de clima y suelo y rendimiento de los cultivos de cada localización. En el conjunto de todos los experimentos y años el promedio de los nitratos del suelo antes de la siembra del trigo fue similar en el laboreo convencional y el no laboreo (64 kg N/ha), variando según el cultivo precedente en la rotación: habas 74 y 84 kg N/ha; girasol 54 y 44 kg N/ha, respectivamente. La dosis de N fertilizante convencional (180 kg/ha) registró en la siembra del trigo un promedio de 69 kg N/ha en forma de nitratos en el suelo y las dosis de N experimental (100 kg/ha) de 59 kg

Figura 4.

Contenido de nitratos del suelo (0-90 cm) según el sistema de laboreo en función de los diferentes ambientes. (6 años x 5 localizaciones)

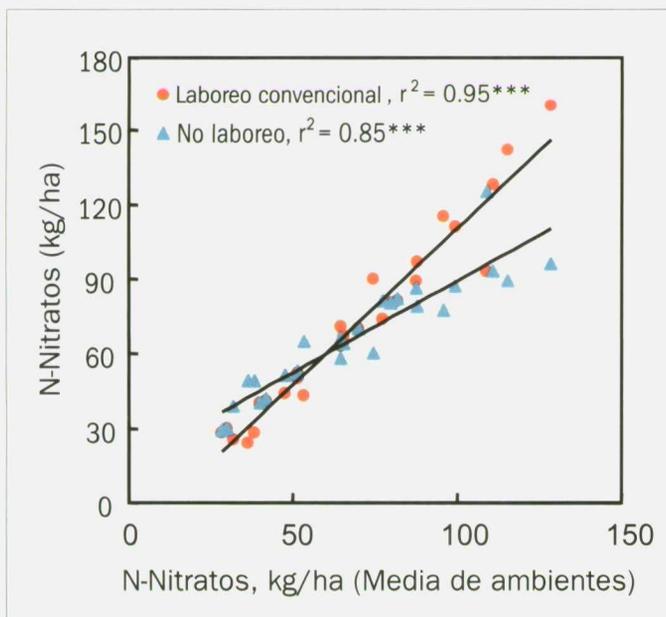
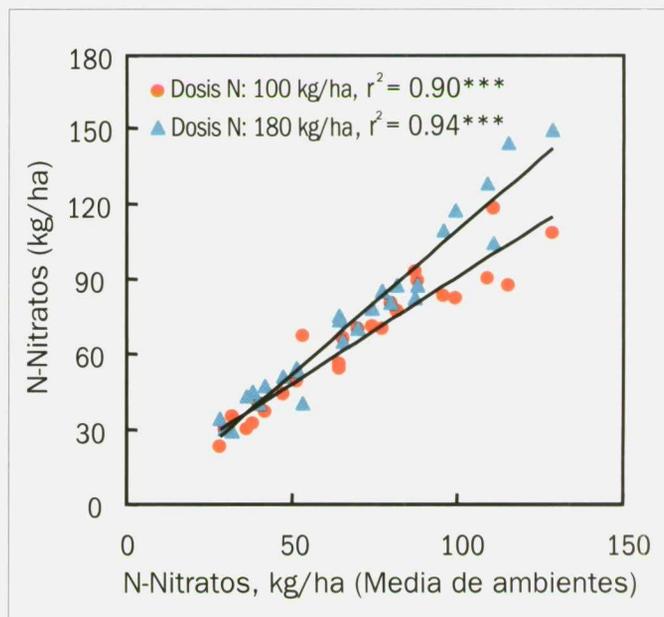


Figura 5.

Contenido de nitratos del suelo (0-90 cm) según la dosis de N fertilizante aplicada al trigo en función de los diferentes ambientes. (6 años x 5 localizaciones)



Parcela de girasol en no laboreo.



N/ha. También en este caso hubo una diferencia media de 30 kg N/ha en forma de nitratos según el cultivo precedente en la rotación a favor de las habas.

El contenido de nitratos en la siembra de las habas y girasol tampoco difirió según el sistema de laboreo, registrándose un promedio de 117 y 88 kg N/ha, respectivamente. Por el contrario, sí hubo diferencias según la dosis de N fertilizante aplicada: 140 y 93 kg N/ha (dosis 180 kg/ha) en habas y girasol, respectivamente; y 94 y 83 kg N/ha (dosis 100 kg/ha).

Las **figuras 4 y 5** muestran el contenido de nitratos del suelo para las distintas localizaciones y años (ambientes), según el sistema de laboreo y la dosis de N fertilizante, respectivamente. La relación lineal en ambos tratamientos, altamente significativa, pone de manifiesto el mayor contenido de nitratos del suelo en el laboreo convencional frente al no laboreo y con la dosis de N fertilizante de 180 kg/ha frente a 100 kg/ha; lo cual es más evidente a medida que los valores de nitratos del suelo son más altos (**figuras 4 y 5**).

Interesantes consecuencias pueden extraerse de estos datos para la práctica de la fertilización nitrogenada en los cultivos sembrados en los vertisoles de secano. Tal vez la más destacada sea el importante papel que juega el nitrógeno mineral residual y nativo (procedente de la fertilización y mineraliza-

ción, respectivamente), que de forma estable se almacena en el perfil de los vertisoles. Esta reserva de N mineral disponible en el suelo, en forma de nitratos, en la siembra del trigo puede representar entre el 40 y 65% de las necesidades de nitrógeno de una cosecha de grano de 4 toneladas/ha. También se infiere porqué no es necesario aplicar nitrógeno fertilizante a los cultivos de habas y girasol que siguen al trigo, dadas las aún más elevadas reservas de nitratos en el suelo en la siembra; especialmente las habas que demuestran ser una eficiente leguminosa en la rotación con el cereal.

Conclusiones

Tras seis años de experimentación a través de la red de ensayos de verificación y transferencia de tecnología soportada por el experimento de larga duración Malagón, se concluye que:

1. El no laboreo muestra ser una alternativa económica y ambiental viable frente al laboreo convencional en el cultivo del trigo en rotación bianual con habas y girasol. Además, existe una rápida y positiva respuesta del sistema agrícola cuando se adopta el método de no laboreo. En el no laboreo la cantidad de nitrato residual del suelo es inferior.

2. La dosis de N fertilizante de 180 kg/ha, normalmente aplicada al trigo por los agricultores, no aumenta el rendimiento de grano respecto a la dosis experimental de 100 kg/ha, y ocasiona una mayor concentración de nitratos en el perfil del suelo sin que los cultivos posteriores respondan a dicho incremento. La mayor dosis de N sólo incrementa ligeramente el contenido de proteínas del trigo, especialmente en el sistema de no laboreo.
3. El cultivo de las habas es claramente mejor precedente del trigo que el cultivo del girasol, aumentando la cantidad de disponible N del suelo en la siembra. ●

Agradecimientos

Nuestro agradecimiento al Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Agroalimentaria (INIA) por la financiación aportada a través del Convenio de colaboración; a la Empresa Pública de Desarrollo Agrario y Pesquero (DAP) de la Junta de Andalucía por la cesión de las parcelas en las distintas fincas; y a los técnicos responsables de las mismas: Francisco Martínez, Juan M. Moreno, Damián García Junco, Juan C. Paz y Francisco Perea por su inestimable colaboración.