ITEA (2004), Vol. **100V N.° 1**, 34-50

INFLUENCIA DEL TIPO DE FERTILIZACIÓN Y DESHERBADO EN UNA ROTACIÓN DE CEREALES EN SECANO

G. Pardo[1], J. Aibar[2], P. Ciria[3], M.V. Cristóbal[4], A. De Benito[4], E. Estalrich[5], A. García Martín[6], G. García Muriedas[7], C. Labrador[6], C. Lacasta[5], A. Lafarga[8], J.A. Lezaún[8], R. Meco[9], F. Villa[1], C. Zaragoza[1]

[1] Depto. de Agricultura, DGA, Apdo. 727, 50080 Zaragoza, España

[2] Escuela Politécnica Superior de Huesca, 22071 Huesca, España

[3] Escuela Univ. Ing. Agrarias, Campus Universitario, 42004 Soria, España

[4] SIDTA, Apdo. 172, 47080 Valladolid, España

[5] CSIC, Finca La Higueruela, 45530 Santa Olalla, Toledo, España

[6] SIDT, Apdo. 22, 06080 Badajoz, España

[7] IMIA, El Encín, Apdo. 127, 28800 Alcalá de Henares, Madrid, España

[8] ITGA, El Sario, Cra. El Sadar, 31006 Pamplona, España

[9] SIA, Consejería Agricultura, 45075 Toledo, España

RESUMEN

Con el objetivo de comparar diferentes métodos de fertilización y escarda se establecieron diversos ensayos en una rotación: barbecho→ cebada (*Hordeum vulgare* L.)→ veza (*Vicia sativa* L.) como abono verde→trigo duro (*Triticum durum* Desf.), en zonas semiáridas españolas. Aquí se presentan los resultados de 29 de estos ensayos realizados durante los últimos 5 años, de 1999 a 2003. En todos ellos se estudiaron, en las parcelas destinadas al cereal, tres niveles de fertilización [orgánica (2500 kg compost/ha, formado a partir de estiércol de oveja y paja de cereal), química N-P-K (100-60-60), y un testigo sin fertilizar] y tres de escarda [un pase de grada de varillas flexibles, una aplicación convencional de herbicidas, y testigo sin escarda] mediante un modelo estadístico bifactorial. Se observó que sólo en el 21% de los ensayos se incrementó significativamente la producción aplicando fertilizante químico, mientras que fue contraproducente en el 10% de ellos. Aplicando compost se logró aumentar la cosecha en el 17% de las ocasiones pero con escasas diferencias absolutas, pero sin ser nunca contraproducente. Por lo tanto, no está justificada económicamente la aplicación de ningún tipo de fertilizante bajo las condiciones climáticas y agronómicas en que se han efectuado estos ensayos. La rotación tuvo un efecto preventivo muy importante en la flora arvense. La densidad de malas hierbas fue baja tras el periodo de barbecho o veza enterrada (74 pl/m^2 en testigo) y se logró reducir con herbicida o grada de forma similar (en torno al 50% de control) pero se obtuvo una significativa mayor producción sólo en el 11% y en el 3,5% de las veces al aplicar herbicida o utilizar la grada, respec-

tivamente. Esta repercutió negativamente en la producción en el 7% de los ensayos. Por tanto, se considera que ambos métodos de escarda son poco eficaces para incrementar las cosechas en las condiciones en las que se han efectuado los ensayos.

Palabras clave: Agricultura ecológica, Compost, Escarda mecánica.

SUMMARY
FERTILIZATION AND WEED CONTROL EFFECTS IN A DRYLAND CEREAL ROTATION

The experiments presented here had in the objectives to compare different chemical fertilization and weed control methods, with the use of compost as fertilizer and a flex-tine harrow for mechanical weeding. In 1996, trials were established in a four years crop rotation: fallow→ barley (*Hordeum vulgare* L.)→vetch (*Vicia sativa* L.) ground ploughed→durum wheat (*Triticum durum* Desf.), in semi-arid regions. The results of 29 trials performed since 1999 to 2003 are presented here. In all of them three fertilization levels [organic (2500 kg compost/ha made by cereal straw and sheep manure), chemical (100-60-60) and no fertilized] and weed control levels [a flex-tine harrow tillage, a conventional herbicide application and untreated control] were studied in cereal plots with a bifactorial statistical model. Cereal production increased significantly only in the 21% and 17% of the chemical and organic fertilizer treatments respectively. Under these conditions the application of any fertilizer is not economically justified. The crop rotation had a very important preventive effect. Following the fallow and ploughed vetch periods, weed density was generally low in cereal plots (74 pl/m^2 average on untreated plots). Herbicide had the same average effectivity as mechanical control (about 50%). The smaller weed density obtained with any treatments only meant a significant higher grain production with respect of untreated plots in the 11% and 3,5% of the chemical and mechanical weed control treatments respectively. Mechanical control was observed negative for cereal production the 7% of the occasions. Consequently, both weed control methods are not considered efficient to increase the cereal yields in these conditions.

Key words: Organic farming, Compost, Mechanical weed control.

Introducción

Durante los últimos 25 años, la agricultura extensiva de secano desarrollada en España ha venido sufriendo un paulatino descenso de la rentabilidad. Al mismo tiempo que se reduce el precio del producto final, aumenta el de la energía y de los insumos utilizados en la explotación agraria.

Paralelamente, la sociedad actual está muy sensibilizada con la calidad alimentaria y la protección del medio ambiente, y demanda a través de sus representantes una reducción progresiva del uso de agroquímicos, especialmente aquellos que causan un mayor impacto ambiental y los que pueden poner en peligro la salud humana por la presencia de residuos en los alimentos.

Teniendo en cuenta esta preocupación medioambiental y de sanidad alimentaria, cada día cobran más interés nuevos modelos productivos como la agricultura ecológica y la

producción integrada, ya que con su implantación se puede obtener, a parte de rentabilidad económica, beneficios agroambientales, porque se evita, o al menos reduce, la aplicación de productos químicos además de prevenir algunos problemas agronómicos (p.e. resistencias de plagas a fitosanitarios, problemas de compactación o residuos en suelos, etc.). En estos sistemas se recomienda la utilización de rotaciones de cultivos, enmiendas orgánicas naturales, así como el control mecánico de las malas hierbas, para sostener la productividad de los cultivos y mantener la flora arvense en niveles razonables.

En secanos semiáridos españoles, donde las producciones obtenidas no pueden competir con las del centro y norte de Europa, porque estas dependen más de la escasa pluviometría y su distribución que de los insumos agrícolas (LÓPEZ *et al.*, 1996), la agricultura ecológica sería un modelo a desarrollar, ya que la utilización de productos químicos es escasa, al no implicar su uso, incrementos de cosechas significativos, en muchas ocasiones. Así, en la práctica, las técnicas agrarias que habitualmente se aplican se adecuarían con facilidad a las exigencias que regulan este tipo de agricultura. De esta forma podrían obtenerse cosechas por las que se podría pagar un mayor precio, incrementado la rentabilidad de las explotaciones y logrando además otros beneficios medioambientales.

Aun teniendo en cuenta esta facilidad para implantar técnicas ecológicas de producción para cereales en estas áreas, es necesario estudiar formas alternativas a la aplicación de productos químicos, para dos labores fundamentales en estos cultivos, como son la fertilización y el desherbado, pues es razonable pensar que si nos limitamos a dejar de aplicar estos productos químicos, el suelo sufrirá un paulatino empobrecimiento en nutrientes (URBANO, 2000) y una progresiva proliferación de malas hierbas (NOGUEROLES y ZARAGOZA, 1999) con una negativa repercusión sobre la cosecha.

Este trabajo presenta los resultados de producción de cereal obtenidos al comparar entre diferentes niveles de fertilización y desherbado en experimentos realizados en ocho campos de secano semiárido en los que se ha mantenido la misma alternativa de cultivo desde 1996 hasta 2003.

Material y métodos

Localización de los ensayos

Los datos utilizados en este trabajo se obtuvieron a partir de los ensayos financiados con dos Proyectos I+D del INIA. El primero, "Manejo ecológico de agrosistemas en zonas semiáridas", se inició en 1996, y se continuó con otro denominado "Valoración de los métodos físicos para el manejo de la flora arvense" en 2001. Los ensayos se iniciaron en 1996-1997, en Badajoz, Navarra, Toledo, Soria y Zaragoza, llevándose la coordinación desde el SIA (Servicio de Investigación Agroalimentaria) de Zaragoza. En la campaña siguiente se ampliaron los ensayos a Huesca, Madrid y Valladolid (figura 1) Con el cambio de proyecto en 2001, se continuó el ensayo en Zaragoza, Huesca, Navarra, Toledo y Soria.

Suelo y pluviometría

El tipo de suelo en la capa más superficial (0-30 cm) fue, en Badajoz: arcilloso, Huesca: arcillo-limoso, Madrid: franco-arenoso, Navarra: franco-arcilloso, Soria: franco, Toledo: franco-arcilloso, Valladolid: franco arenoso y Zaragoza: franco-arcilloso.

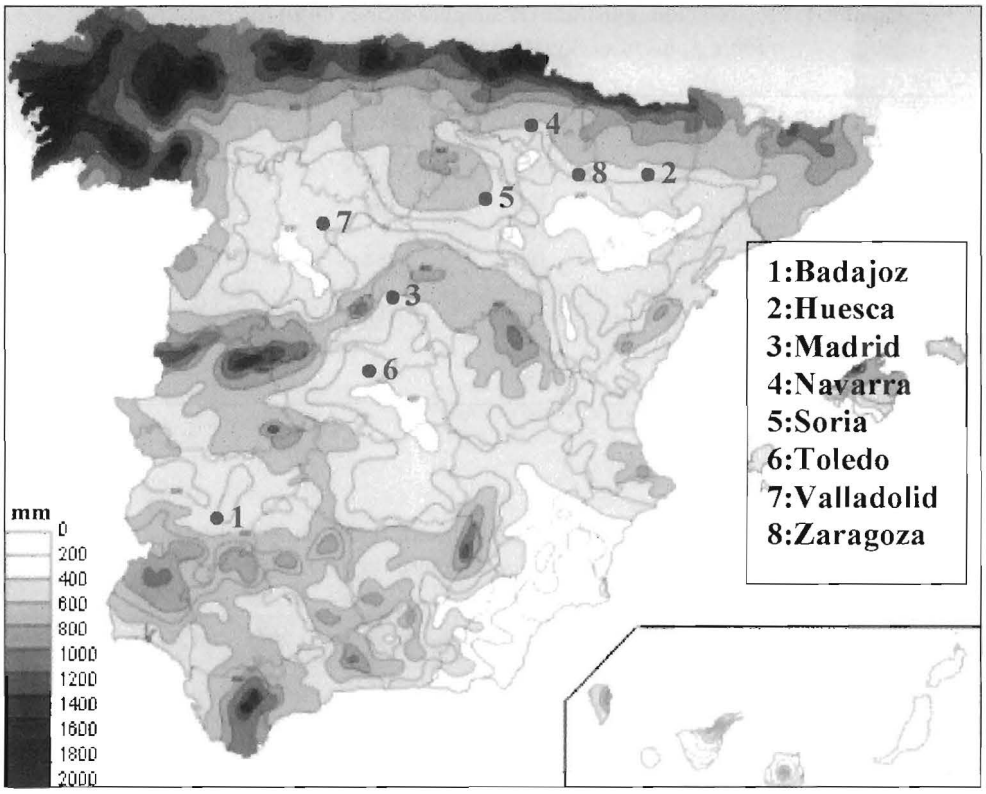


Figura 1. Localización de los ensayos de manejo ecológico y pluviometría media (mm/año).
Figure 1. Trials situation and average rainfall (mm/year).

Todas las localidades tienen una pluviometría anual en torno a 500 mm con índice hídrico semiárido. Lógicamente, la precipitación durante el periodo de cultivo (normalmente noviembre-junio) fue todavía menor (cuadro 1).

Rotación efectuada

Estos ensayos contemplaron, en cada localidad, 2 parcelas de cultivo contiguas, sobre las que se desarrolló una alternativa de cuatro años (cuadro 2):

Esta alternativa se realizó con el fin de modificar la que comúnmente se lleva a cabo en todas las comarcas (cereal - barbecho) introduciendo la veza para su enterrado en verde, con el fin de suministrar mayor cantidad de nitrógeno y materia orgánica al suelo.

El presente trabajo incluye los datos de los cinco últimos años (fondo oscuro del cuadro 2) de la mencionada rotación (1999-2003), cuando las diferencias del rendimiento cerealista, en el caso que las hubiera, se harían ya más patentes entre los distintos niveles de fertilización y desherbado analizados, puesto que habían transcurrido ya otros dos años de ensayo, necesarios para reconvertir un suelo manejado anteriormente de manera convencional, a un manejo ecológico en algunos tratamientos.

Cuadro 1. Precipitación registrada de siembra a cosecha en los ensayos (mm)
Table 1. Rainfall registered in the crop season (mm)

	1998-99	1999-00	2000-01	2001-02	2002-03
Badajoz	246	251	-	-	-
Huesca	275	223	181	258	280
Madrid	217	305	-	-	-
Navarra	314	180	254	231	355
Soria	314	247	130	315	-
Toledo	201	247	130	326	398
Valladolid	191	245	-	-	-
Zaragoza	302	257	80	228	336

Precipitación media 245 ± 63mm.
Average rainfall 245 ± 63mm.

Cuadro 2. Alternativa de cultivos desarrolladas en los ensayos
Table 2. Crop rotation followed on the trials

	1996-1997	1997-1998	1998-1999	1999-2000	2000-2001	2001-2002	2002-2003
Unidad 1	Cebada→	Veza→	Trigo duro→	Barbecho→	Cebada→	Veza→	Trigo duro
Unidad 2	Barbecho→	Cebada→	Veza→	Trigo duro→	Barbecho→	Cebada→	Veza

Fondo oscuro: datos presentados en este trabajo.
Dark bottom: presented data in this paper.

Diseño experimental

En cada localidad y año, la unidad en que se sembró cereal se dividió en parcelas elementales según un diseño "split-plot" o parcela dividida, con dos factores a estudiar (fertilización y escarda) y tres niveles para cada factor, haciendo coincidir el mismo tipo de fertilización y escarda en el mismo espacio físico desde el inicio del experimento (año 1996), con el fin de estudiar el efecto continuado de ambos tratamientos en el tiempo. Se pone como ejemplo el croquis del ensayo de Zaragoza (figura 2). La parcela contigua permaneció en barbecho o veza, siguiendo la alternativa descrita en el cuadro 2.

Los distintos tipos (niveles) de fertilización aplicados en cada factor se describen a continuación:

a) Factor principal (fertilización):

- F1: Testigo sin fertilización.
- F2: Fertilización con abono orgánico: 2500 kg/ha de compost aplicado en sementera (humedad: 33,3%, M.O:57,4%, C:27,8% N:2,9%, P_2O_5:1,4%, K_2O:5,1% y Na:0,89%.). Este compost fue proporcionado por el CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas) en Soria, con características adecuadas para la agricultura ecológica.

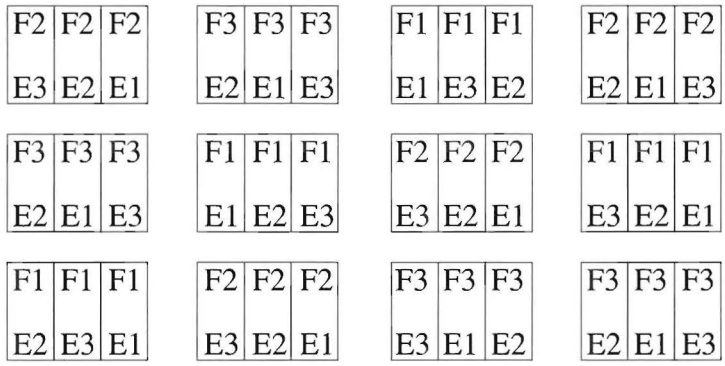


Figura 2. Croquis del ensayo implantado en Sádaba (Zaragoza).
Figure 2. Trial Scheme in Sádaba (Zaragoza).

• F3: Fertilización con abono químico (100-60-60 U.F./ha de N, P, K, en 1998-1999 y 1999-2000 y 70-60-60 U.F./ha en 2000-2001, 2001-2002 y 2002-2003) el N fraccionado en fondo y cobertera. Para la aplicación en fondo (32-60-60 U.F./ha de N, P, K) se utilizó complejo 8-15-15 y el resto de la dosis nitrogenada se aplicó en cobertera en forma de nitrato amónico cálcico.

b) Factor secundario (escarda):

• E1: Testigo sin escarda.

• E2: Escarda mecánica con rastra de púas: un único pase somero de grada ligera de varillas flexibles, marca Hatzenbichler (St. Andrä, Austria), durante el ahijado del cereal en la dirección de las líneas de siembra, regulada para buscar máxima eficacia en control de malas hierbas, pero sin ocasionar daños apreciables al cultivo.

• E3: Escarda química: mediante un herbicida elegido por los técnicos responsables del ensayo según el momento y la flora arvense presente, buscando selectividad y eficacia, a una dosis autorizada y en el momento adecuado. La distribución de los herbicidas se realizó con equipo pulverizador manual.

Material vegetal: cereales y veza utilizados

El material vegetal utilizado fue trigo duro, *Triticum durum*, variedad 'Antón', en 1998-1999, 1999-2000 y 2002-2003 salvo en Toledo el primer año que fue la variedad 'Oscar'. En 2000-2001 la cebada utilizada fue de la variedad 'Graphit' salvo en Navarra que fue 'Scarlett', mientras que en 2001-2002 se utilizó la variedad de cebada 'Hispanic' en todas las localidades. La veza utilizada ambos años fue de la variedad 'Senda'.

La siembra del cereal y veza fue en noviembre y la cosecha se efectuó en junio-julio, salvo en Soria que podía prolongarse hasta agosto. Se incorporó al suelo tanto la veza en mayo como la paja del cereal tras la cosecha.

Tratamiento estadístico de los resultados

Los resultados obtenidos en el estudio se analizaron estadísticamente mediante ANOVA, de acuerdo con el diseño experimental en

parcelas divididas en cada localidad. También se realizó análisis estadístico para las medias de producción del conjunto de los ensayos mediante modelo: $y_{ijk} = \mu + \delta_i + \alpha_j + (\delta\alpha)_{ij} + \beta_k + (\delta\beta)_{ik} + (\alpha\beta)_{jk} + \varepsilon_{ijk}$

Donde, y_{ijk} representa el rendimiento del tratamiento jk en la localidad i; μ la media general de los ensayos; δ_i la desviación de la media de la localidad i respecto de la media general; α_j y β_k las desviaciones de los tratamientos j, k; $(\delta\alpha)_{ij}$ (error a), $(\delta\beta)_{ik}$ (error b) y $(\alpha\beta)_{jk}$ las interacciones bifactoriales y ε_{ijk} el error experimental, que realmente es equivalente a $(\delta\alpha\beta)_{ijk}$, error c. Su estructura fue la siguiente (cuadro 3).

En todos los casos, se comprobó que los datos se distribuyeran normalmente como paso previo a realizar el análisis de la varianza. Cuando la interacción doble resultó significativa sólo se examinaron los resultados en cada localidad. Por último, cuando se detectó un efecto significativo del factor de estudio se procedió a la separación de medias mediante el test LSD o mínima diferencia significativa. Para todo ello se utilizó el programa informático Systat 7.0.

Resultados y discusión

Fertilización

Se dispone de datos procedentes de 20 experimentos con cultivo de trigo duro (figura 3) durante tres años (98-99, 99-00 y 02-03) repartidos en 8 localidades los dos primeros años y en 4 el último, y de 9 con cultivo de cebada (figura 4) en 5 localidades durante otros dos años (00-01 y 01-02). Se desecharon los datos de Huesca en 01-02 por la mala nascencia general y en Soria 02-03 por la irregularidad de los datos obtenidos.

Los resultados generales a lo largo de estos cinco años han sido variables. Dependiendo del año, cultivo y localidad, un tipo de fertilización, o incluso la no fertilización, ha resultado más productiva que las otras, aunque con diferencias normalmente bajas.

a) Trigo:

Como síntesis de los resultados del cultivo de trigo, se puede decir que en gran número de los ensayos realizados, así como en la media

Cuadro 3. Estructura del ANOVA del conjunto de los ensayos
Table 3. ANOVA structure of the whole trials

Fuente de variación (8 localidades)	Grados libertad
Total	71
Localidad	7
Fertilización	2
Error a: Localidad*Fertilización	14
Escarda	2
Error b: Localidad*Escarda	14
Fertilización*Escarda	4
Error c: Localidad*Fertilización*Escarda	28

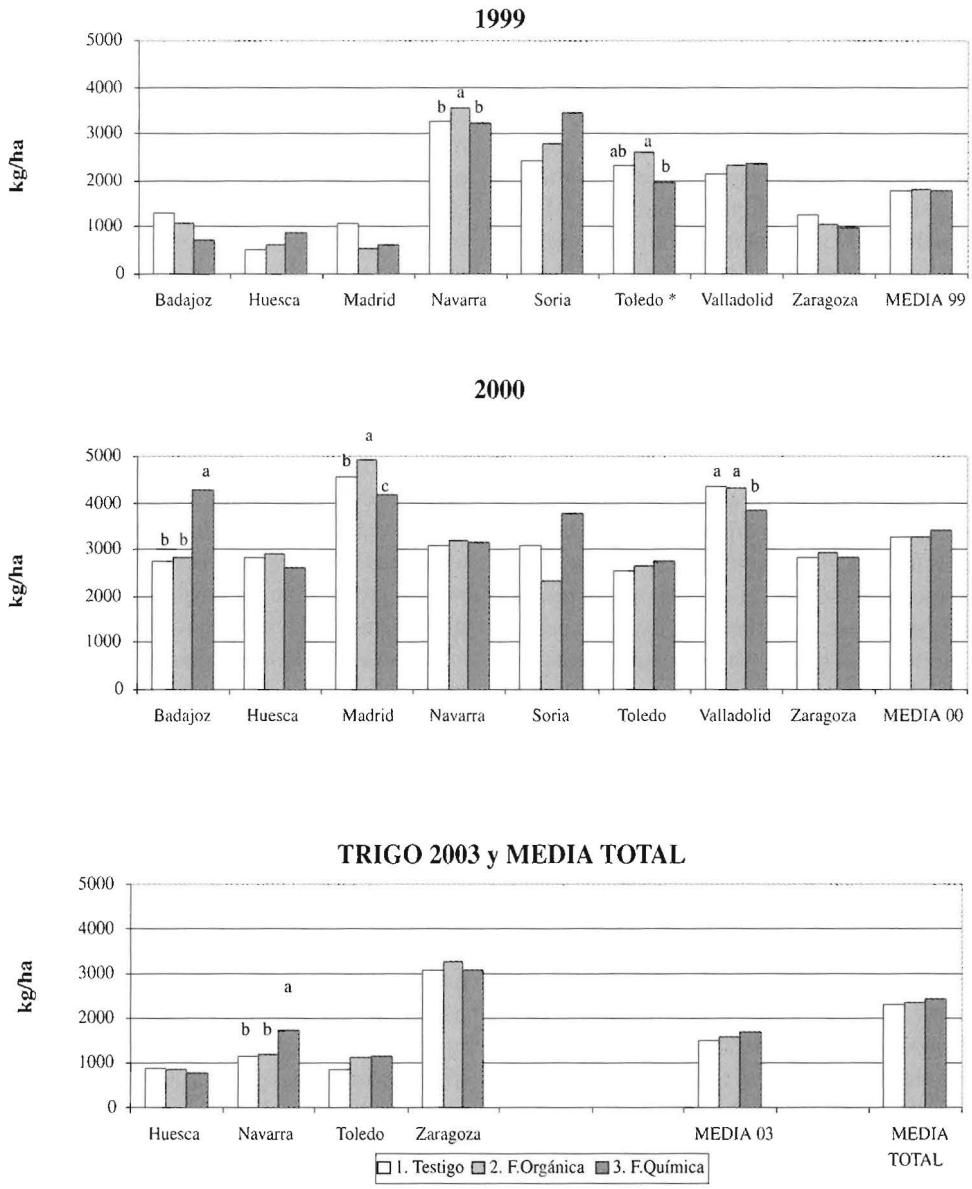


Figura 3. Producciones de trigo duro (var. 'Antón') según localidad, año y tipo de fertilización utilizada.

Figure 3. Durum wheat yields (var. 'Antón') depending on place, year and fertilization type.

Columnas con letras distintas en cada localidad y año difieren significativamente ($p < 0,05$) en el test LSD.
(*) En 1999 la variedad sembrada en Toledo fue 'Oscar'.

Columns with different letters in every place and year differ significantly ($p < 0.05$) in the LSD test
(*) In 1999, the 'Oscar' variety was sown in Toledo.

general, apenas hubo diferencias entre la aplicación del abonado químico u orgánico o la no aplicación de abono. Sólo en Badajoz 2000 y Navarra 2003 (10% de ocasiones) hubo claras diferencias a favor del abonado químico, pero obtuvo en dos ocasiones peor resultado significativo (10%) frente a parcelas testigo (Madrid 2000 y Valladolid 2000). La rotación con veza enterrada (en la campaña anterior a la siembra del trigo) ha supuesto, por lo general, un suministro de nutrientes suficiente, no sólo con producciones bajas, sino también con las consideradas altas. Algunos autores (SMITH *et al.*, 1987; CHRISTIAN *et al.*, 1992; SHENNAN, 1992) afirman que mediante el enterrado en verde de una leguminosa se pueden incorporar de 10 hasta 200 kg N/ha para el siguiente cultivo. En este caso el aporte de 100 u. adicionales de N puede quedar enmascarado o resultar excesivo por la cantidad de nitrógeno ya existente en el suelo. Así, algunos autores afirman que incluyendo leguminosas en las rotaciones se puede incluso eliminar el aporte de fertilizantes nitrogenados sin merma de cosecha (NEELY *et al.*, 1987; GRANSTEDT, 1990; CAMPBELL, 1991; MATHESON, 1991). No obstante hay que decir que algunos autores tampoco han obtenido respuesta positiva a la fertilización química, sin enterrado previo de ninguna leguminosa, en zonas semiáridas de Aragón (BETRÁN y PÉREZ BERGES, 1997) o de Australia (VAN HERWAARDEN *et al.*, 1998), donde la producción de trigo disminuyó conforme se aumentó la dosis de nitrógeno aplicada. Estos hechos indicarían que existen pocas ocasiones, en las que un abonado químico incremente la cosecha, de forma significativa, en las condiciones de nuestros ensayos.

El abonado orgánico ha incrementado las producciones significativamente en dos ocasiones (10% de los casos) frente al testigo (Navarra 1999 y Madrid 2000) y en cuatro frente al químico (Navarra 1999, Toledo 1999, Madrid 2000 y Valladolid 2000), por lo que para este cultivo puede ser una opción válida en determinadas situaciones, aunque difíciles de determinar *a priori*, con mayor frecuencia que el uso de fertilizante químico. Algunos autores destacan que se obtiene mejor producción con compost que mediante abonos químicos en años secos, mientras que en los años húmedos sucede lo contrario (MAIORANA *et al.*, 1992). En nuestro caso se han obtenido las mejores cosechas con abonado orgánico y en años de buenas cosechas, (Madrid 2000 y Navarra 1999) coincidiendo con algunos autores (GONZALEZ *et al.*, 1992) que obtuvieron mejores cosechas aunque con aplicaciones mucho mayores de 20 t/ha. Sin embargo, al atenernos a los resultados medios en términos de producción, la fertilización orgánica no incrementó la cosecha respecto al testigo sin abonar, por lo que para este cultivo tampoco está justificado su uso, en las condiciones de nuestros ensayos.

b) Cebada:

Como resumen de los 9 ensayos de cebada se puede decir que en el 44% de los casos hay respuesta positiva significativa del abonado químico, también la media general fue ligeramente mayor a la de los otros dos tratamientos pero sin diferencias significativas. Esta tendencia se observó también en cebada los dos primeros años de ensayos, 96-97 y 97-98, (cuyos datos no se muestran en este trabajo) en estos mismos experimentos aunque con diferencias más claras (ZARAGOZA *et al.*,1999). Sólo cuando las producciones son realmente bajas (Zaragoza 2001 y 2002, Huesca y Toledo en 2001) se obtienen iguales o peores cosechas que con compost o sin fertilizar. Con rendimientos en torno a 3000 kg/ha: Navarra 2001 y 2002, Toledo y Soria

2002 las producciones son mayores mediante abonado químico. ANGÁS (2001) en el sur de la provincia de Lérida, zona también considerada semiárida, obtuvo mejor cosecha al aumentar la dosis de nitrógeno, aunque se trataba de experimentos en monocultivo de cebada donde lógicamente las reservas del suelo son esquilmadas más rápidamente.

Respecto a la media de estos 9 ensayos, hay que señalar que la fertilización química ha incrementado sólo un 17% la producción de cebada (≃ 400 kg/ha) frente a las parcelas sin fertilizar o abonadas con compost, el cual ha tenido un efecto nulo en la media de los ensayos y muy reducido en casos particulares (Soria y Toledo 2001 y Navarra 2002), no apreciándose el efecto en la producción a largo plazo que algunos autores le atribuyen después de 7 años (DÍAZ MARCOTE, 1994; EGHBALL y POWER, 1999). Esto no

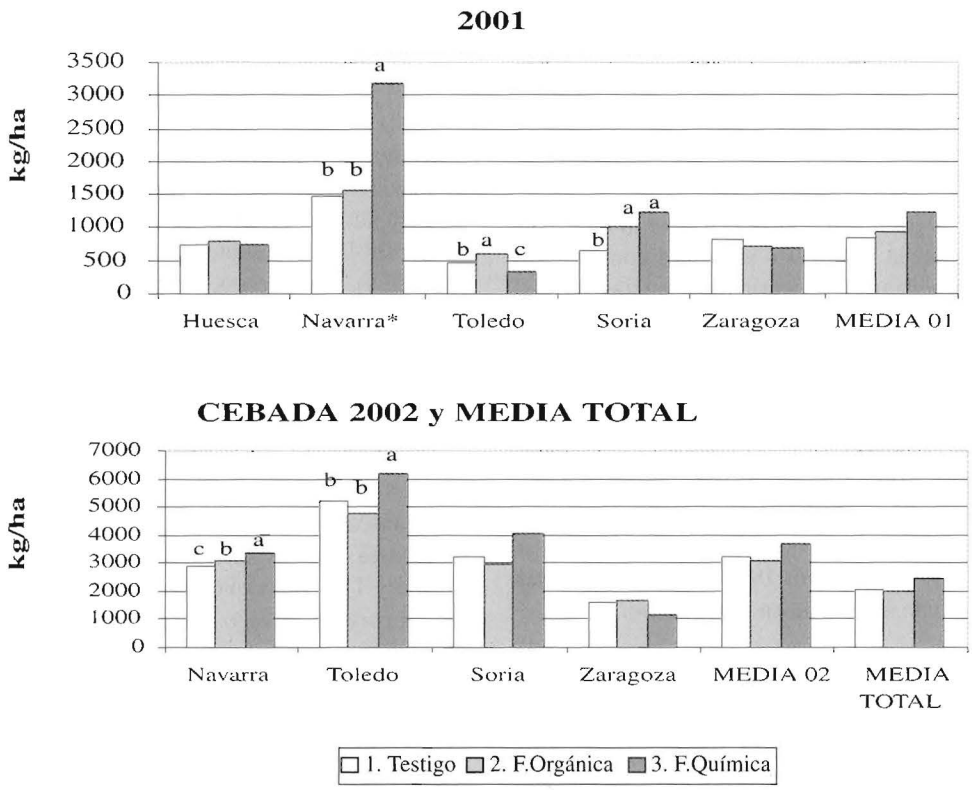


Figura 4. Producción de cebada en 2001 (var. 'Graphit') y 2002 (var. 'Hispanic') según localidad y fertilización.

Figure 4. Barley yields in 2001 (variety 'Graphit') and in 2002 (variety 'Hispanic') depending on place and fertilization type.

Columnas con letras distintas en cada localidad y año difieren significativamente ($p < 0.05$) en el test LSD.
(*) En 2001, la variedad sembrada en Navarra fue 'Scarlett'.
Columns with different letters in every place and year differ significantly ($p < 0.05$) in the LSD test.
(*) In 2001, the 'Scarlett' variety was sown in Navarra.

coincide del todo para lo observado en el caso del trigo duro, aunque hay que tener en cuenta tres consideraciones:

1ª El cultivo de cebada sucede al barbecho, no a la veza, lo cual supone que se parte con menor cantidad de nutrientes en el momento de sembrar la cebada que en el de trigo y, por ello se aprecia en aquella, mejor respuesta al abonado mineral.

2ª El ciclo biológico de la cebada es más corto que el del trigo, ello puede suponer que cuando las condiciones de sequía se agudizan, la cebada ya se encuentre en un estado más avanzado, habiendo aprovechado mejor los nutrientes disponibles del suelo, o también, que se den requerimientos más inmediatos sólo suministrados por un abonado químico.

3ª También podría pensarse que las parcelas sin fertilizar o abonadas con compost comenzarían a sentir deficiencias de elementos nutritivos, tras 7 años de ensayos, tal como señala Urbano (2000), aunque es poco probable, ya que las diferencias al empezar los ensayos fueron más claras, como se ha mencionado, siendo en aquella ocasión de unos 600 kg/ha de las parcelas fertilizadas químicamente frente a las abonadas con compost o no abonadas en 96-97 y 97-98 (Zaragoza *et al.*, 1999), mientras que han sido de 400 kg/ha en este estudio.

A pesar de todo, hay que señalar que las diferencias globales de producción de cebada no resultaron significativas, ya que este resultado se debe únicamente a lo obtenido en Navarra 2001 y Toledo 2002, no quedando suficientemente acreditado que el abonado químico sea determinante para obtener una mejor producción en las condiciones de estudio, ya que sólo en casos puntuales y difíciles de determinar *a priori* ha resultado claramente efectivo.

Así pues, en estas condiciones semiáridas y bajo la rotación efectuada se puede decir que las parcelas fertilizadas orgánicamente o químicamente no producen significativamente más que las parcelas sin fertilizar, salvo casos excepcionales y que, por tanto y, como norma general, no está justificado el aporte de ningún tipo de fertilizante. La rotación junto con los nutrientes dejados por los restos de cosecha son suficientes para mantener en el tiempo unas producciones habitualmente bajas (< 2500 kg).

Desherbado

a) Control de malas hierbas

Se muestra en primer lugar la densidad de malas hierbas según el tipo de desherbado aplicado así como en el testigo sin desherbar en las localidades y años de ensayo (cuadro 4). Por diversas razones se desecharon los resultados de Navarra y Huesca en 2002 y de Soria en 2003.

Para resumir los resultados de todos estos ensayos, que entre localidades y años hacen un total de 28 (20 de trigo duro y 8 de cebada) se puede decir, en primer lugar que hay un alto número de situaciones (1 en Badajoz, 1 en Huesca, 1 en Madrid, 2 en Navarra, 3 en Toledo y 1 en Valladolid), en que ni siquiera en las parcelas testigo se superaron las 20 pl/m^2. Esto pone de manifiesto la importancia de la rotación (con veza antes del trigo y barbecho antes de la cebada) en el mantenimiento de la flora arvense en unos niveles relativamente bajos. Los beneficios de la rotación en este aspecto también han sido descritos por algunos autores en nuestro país (Dorado, 1995; García Muriedas *et al.*, 1997; López Bellido y López Bellido, 2000).

Los resultados sobre eficacia de ambos métodos de escarda presentan una alta variabilidad, como por otra parte era previsible, dada la elevada cantidad de factores

Cuadro 4. Densidad de malas hierbas (pl/m^2) en los ensayos tras las distintas labores de escarda

Table 4. Weed density (plants/m^2) in the trials after different control measures

Año		Badajoz	Huesca	Madrid	Navarra	Soria	Toledo	Valladolid	Zaragoza
1999	1. Testigo	12 a	143 a	10 a	< 1	104 a	4 a	< 1	101 a
	2. Mecánica	4 b	141 a	3 a	< 1	54 b	1 ab	< 1	54 b
	3. Química	8 a	129 a	1 a	< 1	30 b	0 b	< 1	75 b
2000	1. Testigo	60 a	18 a	26 a	< 1	79 a	27 a	126 a	210 a
	2. Mecánica	21 b	11 a	16 a	< 1	42 b	34 a	39 b	75 b
	3. Química	26 b	18 a	13 a	< 1	38 b	38 a	9 c	100 b
2001	1. Testigo	-	544 a	-	69 a	96 a	7 a	-	48 a
	2. Mecánica	-	208 b	-	59 a	34 a	8 a	-	52 a
	3. Química	-	69 c	-	0,5 b	73 a	0 c	-	41 a
2002	1. Testigo	-	26 a	-	-	56 ab	10 a	-	69 a
	2. Mecánica	-	16 b	-	-	26 b	6 a	-	39 b
	3. Química	-	13 b	-	-	95 a	7 a	-	44 b
2003	1. Testigo	-	-	-	76	-	68 a	-	93 a
	2. Mecánica	-	-	-	28	-	42 b	-	51 b
	3. Química	-	-	-	37	-	26 b	-	22 c

Números con letras distintas en cada localidad y año difieren significativamente ($p < 0,05$) en el test LSD.
Numbers with different letters in every place and year differ significantly ($p < 0.05$) in the LSD test.

que intervienen tanto en el control mecánico (BHÖRNSEN, 1993; KURSTJENS y KROPFF, 2001) como en el químico. Como media de estos 28 ensayos hubo 74 pl/m^2 (100%) en los testigos, 38 (51%) en parcelas escardadas mecánicamente y 33 (45%) en las desherbadas mediante herbicidas. Así pues, el control medio fue muy similar, aunque ligeramente mayor con herbicida.

En condiciones de humedad adecuadas el herbicida ejerció un control casi completo (Huesca 2001, Navarra 2001, Toledo 1999, 2001 y 2003, Valladolid 2000 y Zaragoza 2003). En cambio con el uso de la grada raramente se supera el 70% y la escarda está normalmente en torno al 50%. También hubo situaciones donde el herbicida resultó totalmente ineficaz (Huesca 1999 y 2000, Toledo 2000, Zaragoza 2001 y Soria 2002) y aunque en tres de estos mismos casos la grada tampoco ejerció ningún control (Huesca 1999, Toledo 2000 y Zaragoza 2001), en conjunto, los resultados de ésta son menos variables ya que las habituales condiciones de sequía suelen favorecer el control mecánico y reducen considerablemente la acción de los herbicidas residuales. Si el suelo está húmedo, hecho que suele producirse con poca frecuencia, se produce el proceso inverso y se puede encontrar una materia activa que sea muy eficaz, al menos si las malas hierbas no están demasiado desarrolladas.

En las tres situaciones mencionadas anteriormente, en las que no se logró control de la flora arvense con ningún método, la flora arvense predominante fue monocotiledónea (*Lolium rigidum* y *Avena* spp.) y se encontraba muy desarrollada cuando las condiciones meteorológicas permitieron efectuar ambos tratamientos. Es sabido que estas dos circunstancias son inconvenientes evidentes a la hora de afrontar un control mecánico, como explican BHÖRNSEN (1993) y LACASTA *et al.* (1997). Pero en este caso también existe dificultad de control con métodos químicos ya que muchas materias activas, sobre todo las antigramíneas, necesitan, para ser efectivas, que la flora arvense se encuentre en las primeras etapas de desarrollo. Esto explicaría el fracaso de ambos métodos y la importancia de aplicar los tratamientos en el momento adecuado.

b) La producción según el tipo de escarda

Se muestran en la figura 5 los resultados relativos al trigo duro y en la figura 6 a la cebada. Se puede observar que sólo en seis casos hubo diferencias significativas en cuanto a producción: en Navarra 1999 y 2003, Madrid 2000, Toledo y Zaragoza 2003 con cultivo de trigo (figura 5) y en Zaragoza 2001, con cebada (figura 6).

En los 4 primeros años, ni la aplicación de herbicida ni el pase de grada lograron incrementar las cosechas, y en ningún caso se obtuvo menor producción significativa en parcelas sin desherbar que en aquellas en que se aplicó algún método de control. Ello ha sido producto de la escasa densidad de malas hierbas presentes incluso en los testigos, o que cuando sí hubo en cierta cantidad, éstas no se controlaron de manera apreciable (Huesca 1999, Toledo 2000 y Zaragoza 2001). Por el contrario, la grada las redujo en 2 ocasiones (Navarra 1999 y Zaragoza 2001) pues además de no lograr reducir la presencia de hierbas se debió causar daño al cultivo. Otros autores también encontraron pérdidas de rendimiento en algunos de sus ensayos con diversos tratamientos mecánicos frente a los químicos o sin desherbar por causar daño al cultivo y/o no controlar eficazmente la flora arvense (BARBERI *et al.*, 2000; RASMUSSEN, 1993).

Dentro de los 4 primeros años hubo ocasiones en que los métodos de control fueron efectivos en mayor o menor medida, pero tampoco entonces se obtuvo una mayor producción al final de la campaña: Valladolid 2000, Huesca 2001 o Navarra 2001. En estos casos la mayor presencia de malas hierbas en los testigos tampoco hizo descender la producción.

Sólo en el último año (2003) sobre trigo duro, la menor densidad de las malas hierbas en parcelas desherbadas de una u otra forma (cuadro 4) se tradujo en una mayor cosecha en determinadas localidades. Las mayores lluvias primaverales consiguieron una mayor eficacia del herbicida, lo que en tres localidades hizo incrementar la producción. En Zaragoza, el tratamiento mecánico también logró incrementar la cosecha aunque en menor medida que el herbicida, lo que ha sido la excepción a estos 28 ensayos y pone de manifiesto la dificultad de incrementar el rendimiento mediante el uso de este apero.

En resumen, de estos 28 ensayos, sólo en 3 (11%) se logró más producción mediante la aplicación de herbicidas, y sólo en 1 (3,5%) mediante la grada, resultando contraproducente el 7% de las ocasiones. Aparte de esto las medias productivas han sido prácticamente las mismas tanto en trigo como en cebada, se utilizara o no cualquier modo de escarda.

Por tanto, dado que la flora arvense tiene una densidad baja en la mayoría de ocasiones

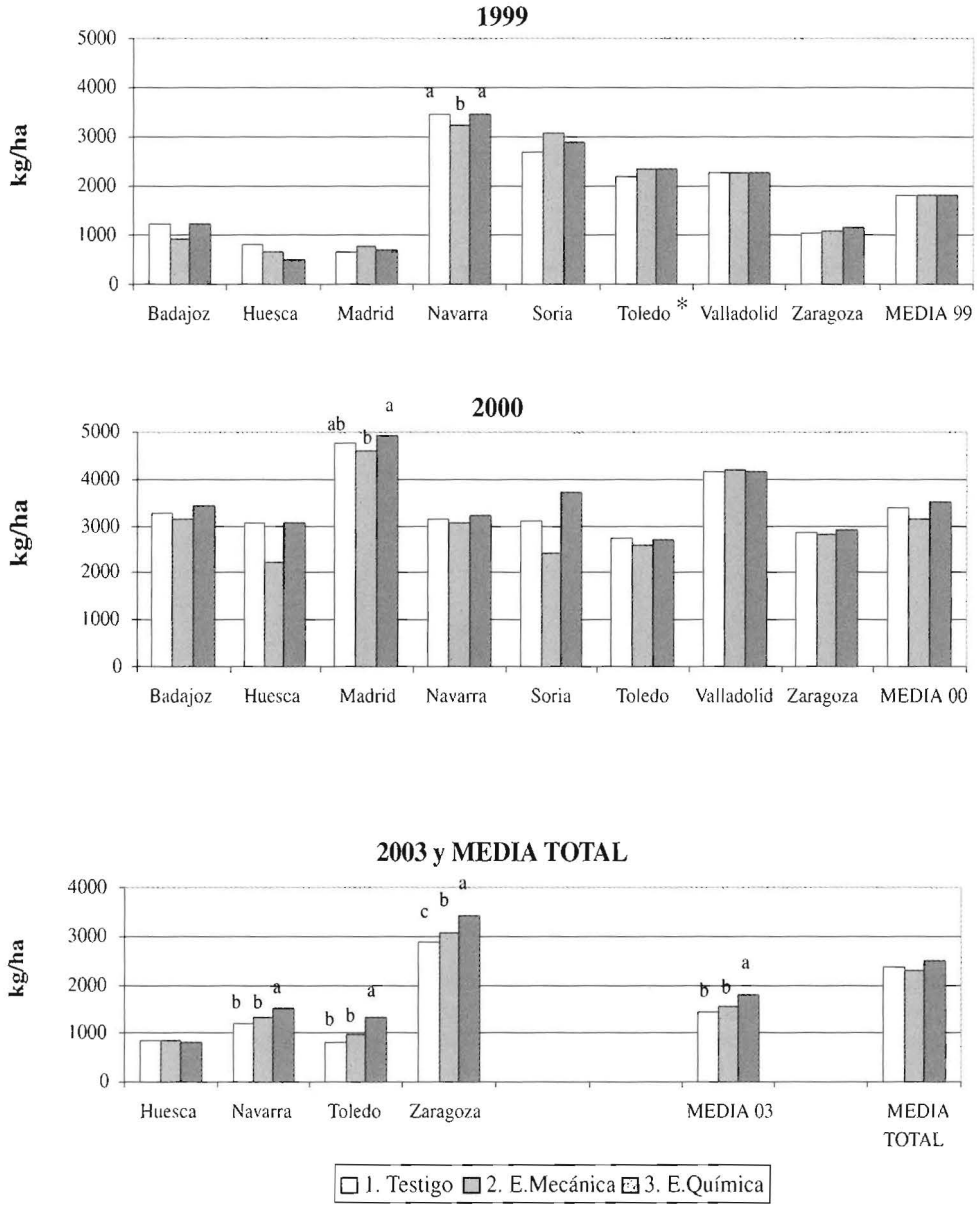


Figura 5. Producciones de trigo duro (var. 'Antón') según localidad, año y tipo de escarda utilizada.
Figure 5. Durum wheat yields (var. 'Antón') depending on place, year and type of weed control.

Columnas con letras distintas en cada localidad y año difieren significativamente ($p < 0,05$ en el test LSD).
(*) En 1999 la variedad sembrada en Toledo fue 'Oscar'.
Columns with different letters in every place and year differ significantly ($p < 0.05$) in the LSD test.
(*) In 1999, the 'Oscar' variety was sown in Toledo.

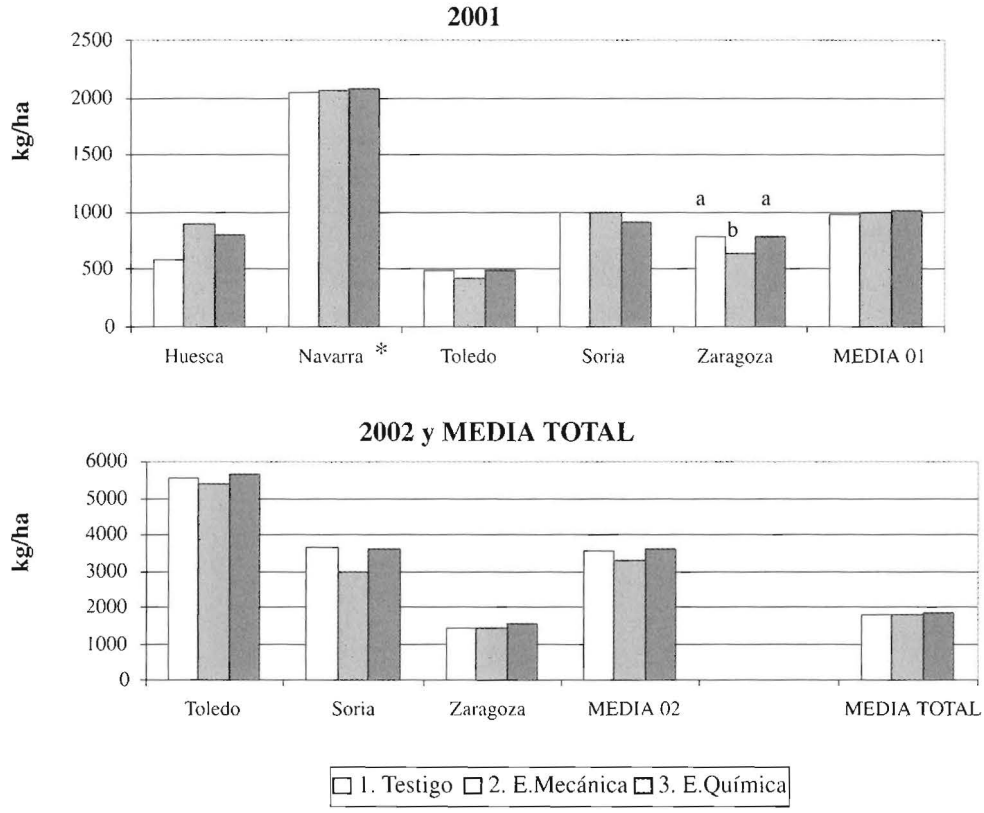


Figura 6. Producción de cebada en 2001 (var. 'Graphit') y 2002 (var. 'Hispanic') según localidad y escarda.

Figure 6. Barley yields in 2001 (variety 'Graphit') and in 2002 (variety 'Hispanic') depending on place and type of weed control.

Columnas con letras distintas en cada localidad y año difieren significativamente ($p < 0,05$ en el test LSD)
(*) En 2001, la variedad sembrada en Navarra fue 'Scarlett'.

Columns with different letters in every place and year differ significantly ($p < 0.05$) in the LSD test.
(*) In 2001, the 'Scarlett' variety was sown in Navarra.

en el momento de efectuar las labores de desherbado, consecuencia de la rotación efectuada, que muy pocas veces los herbicidas, y todavía menos las labores mecánicas consiguen una relación control-daños que se traduzca en incremento de cosecha, se deduce que no están justificados ninguno de los métodos de escarda estudiados en las condiciones en las que se han desarrollado los ensayos.

Conclusiones

En el conjunto de los 20 ensayos de trigo, las medias de las parcelas fertilizadas química, orgánicamente y sin fertilizar resultaron prácticamente iguales (2400 kg/ha).

En la media de los 9 ensayos de cebada, las parcelas fertilizadas químicamente sólo

incrementaron en 400 kg/ha la producción sobre los otros dos tratamientos (2450 *vs* 2050 kg/ha) sin llegar a ser esta diferencia significativa.

De 29 ensayos de cereal, sólo en el 21% se incrementó significativamente la producción aplicando fertilizante químico, mientras que fue contraproducente en 10% de ellos. Aplicando compost se logró aumentar la cosecha en el 17% de las ocasiones, pero con escasas diferencias absolutas. Las medias globales sólo muestran un incremento de rendimiento de 200 kg/ha de grano para parcelas fertilizadas químicamente respecto a las abonadas orgánicamente o sin fertilizar. Por lo tanto, no está justificada la aplicación de ningún tipo de fertilizante bajo las condiciones climáticas y agronómicas en que se han efectuado estos ensayos.

La densidad de la flora arvense fue escasa en las parcelas de cereal tras el periodo de barbecho o veza enterrada. De los 28 ensayos analizados, en 9 de ellos ni siquiera hubo 20 pl/m^2 en las parcelas testigo. La rotación llevada a cabo tuvo un efecto preventivo muy importante.

La menor densidad de flora arvense conseguida tras la aplicación de herbicida o pase de la grada, se tradujo sólo en tres ocasiones (11%) en una significativa mayor producción de grano al final de la campaña. Únicamente se logró incrementar la cosecha el 3,5% de las ocasiones con el uso de la grada, que repercutió negativamente en la producción en 2 ocasiones, (7%) de las ensayadas. Por tanto, se considera que ambos métodos de escarda son poco eficaces para incrementar las cosechas en las condiciones en las que se han efectuado los ensayos.

Por todo esto, se concluye que en estas zonas semiáridas, efectuar la rotación propuesta junto con el enterrado de los restos de cosecha, es suficiente para alcanzar niveles de fertilidad y densidades de malas hierbas que permiten mantener las bajas producciones que normalmente se producen. La aplicación de los distintos tipos de fertilización y desherbado ensayados indujo, en el mejor de los casos, una escasa respuesta productiva que no compensa los gastos que se derivan de su aplicación.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado gracias a la financiación de los proyectos INIA SC 96081 y RTA 01-108.

También queremos expresar nuestra gratitud a Fernando Arrieta y Maria León por su inestimable ayuda.

Bibliografía

ANGÁS P., 2001. Análisis de la influencia de las técnicas de laboreo y fertilización nitrogenada sobre la dinámica del agua y del nitrógeno en el suelo en el cultivo de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en zonas áridas o semiáridas del Valle del Ebro. Agronomía y modelización. Tesis doctoral. ETSEA, Lérida. 151 pp.

BARBERI P., SILVESTRI N., PERUZZI A., RAFFAELL M., 2000. Finger-harrowing of durum wheat under different tillage systems. *Biological Agriculture and horticulture,* 17: 285-303.

BETRÁN J.A, PEREZ BERGES M., 1997. Respuesta del cereal en secano al abonado N P K. Dirección General de Tecnología Agraria. Diputación General de Aragón. *Información Técnica nº 30,* 16 pp.

BÖHRNSEN A., 1993. Several years results about mechanical weeding in cereals. In *Proceedings of the 4th International IFOAM Conference. Non-chemical weed control,* Dijon, France, 93-99.

CAMPBELL C.A., SCHNITZER M., LAFOND G.P., ZETNER R.P., KNIPFEL J.E., 1991. Thirty year crop rotation and management practices effects on soil amino nitrogen. *Soil Science of America Journal,* 55: 739-745.

CHRISTIAN D.G., GOODLAS G., POWLSON D.S., 1992. Nitrogen uptake by cover crops. *Aspects of applied Biology*, 30: 291-300.

DÍAZ MARCOTE I., 1994. Aprovechamiento del compost de residuos solidos urbanos: estudio de su capacidad fertilizante y sus efectos sobre las características físicas, químicas y biológicas. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. 207 pp.

DORADO J., 1995. Influencia de los sistemas de manejo del suelo en la productividad y flora arvense presente en un cultivo tipo en ambientes semiáridos de la Submeseta Sur. Tesis doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Madrid. 253 pp.

EGHBALL B., POWER J.F., 1999. Composted and non-composted manure application to conventional and no-tillage systems: corn yield and nitrogen uptake. *Agronomy Journal*, 91: 819-825.

GARCIA MURIEDAS G., ESTALRICH E., LACASTA C., MECO, 1997. Efecto de las rotaciones de cultivos herbáceos de secano sobre las poblaciones de adventicias. *Actas 1997 del Congreso de la Sociedad Española de Malherbología*, 33-36.

GONZÁLEZ J.L., BENITEZ I.C., PÉREZ I.M., MEDINA M., 1992. Pig slurry compost as wheat fertilizers. *Bioresource Technology*, 40:125-130.

GRANSTEDT A., 1990. The supply and conservation of nitrogen in alternative farming –ecological agriculture– *Proceedings of the ecological agriculture*. Uppsala (Sweden) 163-177.

KURSTJENS D.A.G., KROPFF M.J., 2001. The impact of uprooting and soil-covering on the effectiveness of weed harrowing. *Weed Research*, 41: 211-228.

LACASTA C., GARCÍA MURIEDAS, G., ESTALRICH E., MECO R., 1997. Control mecánico de adventicias en cultivos herbáceos del secano. *Actas Congreso 1997 de la Sociedad Española de Malherbología*, 37-40.

LÓPEZ M.V., ARRÚE J.L., SÁNCHEZ-GIRÓN V., 1996. A comparison between seasonal changes in soil water storages and penetration resistance under conventional and conservation tillage systems in Aragón. *Soil and Tillage Research*, 37: 251-241.

LÓPEZ-BELLIDO GARRIDO, R.J., LÓPEZ-BELLIDO L., 2000. Efectos ambientales de la rotación trigo-girasol. *Vida Rural*, 104: 24-29.

MAIORANA M., CONVERTINI G., DI VARI V., RIZZO V., 1992. Yield and a quality wheat (*Triticum durum Desf.*) under continuous cropping after nine years of straw incorporation. *European Journal Agronomy*, 1: 11-19.

MATHENSON N., KIRSCHENMANN F., 1991. Cereal legume cropping systems: nine farm case studies in the dryland Northern Plains, Canadian Prairies and Intermountain Northwest. *Alternative Energy Resources Organization*, 75 pp. USA.

NEELY C.L., MCVAY K.A., HARGROVE W.L., 1987. Nitrogen contribution of winter legumes to no-till corn grain sorghum. In The Role of Legumes in Conservation Tillage Systems, J.F. POWER (ed). SCSA. Ankeny. Iowa, 48-49.

NOGUEROLES C., ZARAGOZA C., 1999. Buenas prácticas agrícolas para el control de malas hierbas en agricultura ecológica. En FERNÁNDEZ-QUINTANILLA C., GARRIDO V.M., ZARAGOZA C., (Eds) Control integrado de las malas hierbas. PHYTOMA España. Valencia, 185-205.

RASMUSSEN J., 1993. Can high densities of competitive weeds be controlled efficiently by harrowing or hoeing in agricultural crops? In *Proceedings of the 4th International IFOAM Conference. Non-chemical weed control*, Dijon, France, 83-87.

SHENNAN C., 1992. Cover crops, nitrogen cycling, and soil properties en semi-irrigated vegetable production systems. *HortScience*, 27:749-754.

SMITH M.S., FRYE W.W., VARCO J.J., 1987. Legume winter cover crops. *Advances in Soil Science*, 7: 95-139.

URBANO P., 2000. Equilibrio orgánico-mineral de los suelos cultivados. Vida Rural, 42-44.

VAN HERWAARDEN A.F., FARGUHAR G.D., ANGUS J.F., RICHARDS R.A., HOWE G.N., 1998. "Haying-off" the negative grain yield response of dryland wheat to nitrogen fertiliser. I. Biomass, grain yield, and water use. *Australian Journal of Agricultural Research* 49, 7: 1067-1081.

ZARAGOZA C., AIBAR J., CAVERO J., CIRJA P., CRISTOBAL V., DE BENITO A., ESTALRICH E., GARCÍA-MARTÍN A., GARCÍA-MURIEDAS G., LABRADOR J., LACASTA C., LEZAUN J.A., MATEO D., MECO R., MOYANO A., NEGRO M.J., SOLANO M.L., VILLA F., VILLA I., 1999. Type of fertilitation and weed control in barley under dryland conditions in Spain. *11th EWRS Symposium*, Basel. pp. 113.

(Aceptado para publicación el 17 de febrero de 2004).