

AGRONOMIA SOSTENIBLE DE LOS CULTIVOS HERBACEOS

José Caveró Campo

Dpto. Genética y Producción Vegetal
Laboratorio Asociado de Agronomía y Medio Ambiente
Estación Experimental Aula Dei (CSIC)
Apdo. 202
50080 - Zaragoza

INTRODUCCIÓN

En los últimos 50 años, la innovación tecnológica en la agricultura ha permitido alimentar a una población que ha pasado de 2500 millones a más de 6000 millones de personas (FAOSTAT, 2002). Esto se ha conseguido principalmente por el aumento de los rendimientos de los cultivos, debido en gran parte al aumento en el uso de inputs en la agricultura. Así, en este periodo se ha multiplicado por cinco el número de tractores, se ha triplicado el área regada y se ha multiplicado por diez el uso de fertilizantes.

En el caso de la agricultura europea, en el momento actual se encuentra ante un doble reto. Por una parte, la tendencia hacia la liberación de los mercados de productos agrícolas ha dado lugar a una disminución de los precios percibidos por los agricultores, y sin embargo, los precios de los inputs han aumentado. En segundo lugar, existe una presión creciente de la sociedad para limitar las consecuencias negativas que algunas prácticas agrícolas tienen sobre el medio ambiente (contaminación de aguas superficiales y subterráneas con nitratos y pesticidas, erosión, salinización, etc.).

Las previsiones de crecimiento de la población mundial indican que ésta podría alcanzar los 8000 millones hacia el año 2030. ¿Pueden los sistemas agrícolas actuales sostener una población de este tamaño y al mismo tiempo ser respetuosos con el medio ambiente?. En este trabajo se exponen algunas ideas al respecto, con especial referencia a la agricultura española del Valle del Ebro.

LOS SISTEMAS AGRICOLAS Y SU RELACION CON EL ENTORNO

Se pueden definir los sistemas agrícolas como ecosistemas en los que se manipulan la comunidad de plantas y su entorno para producir una serie de productos útiles para el hombre. Esta manipulación puede ser más o menos limitada dependiendo de las condiciones ambientales y de la capacidad productiva del ambiente en que se desarrollan las plantas. En un secano semiárido de Aragón la manipulación en un cultivo de cebada puede limitarse, además de las labores normales de preparación del terreno y siembra, a la aplicación de un abonado de fondo y la aplicación de un herbicida para el control de las malas hierbas de hoja ancha. En el norte de Europa, se aplican además varias coberteras de nitrógeno, dos o tres tratamientos herbicidas y algunos tratamientos fungicidas. Evidentemente el impacto sobre el entorno puede ser muy diferente en uno u otro caso.

CONCEPTO DE AGRICULTURA SOSTENIBLE

La productividad, definida como la producción de productos útiles por unidad de superficie, y la estabilidad, que hace referencia al grado de variación de los rendimientos, son conceptos de

gran importancia en los sistemas agrícolas. La sostenibilidad es un concepto relativamente nuevo de gran importancia, que está relacionado con los anteriores.

La agricultura sostenible consiste en el manejo adecuado de los recursos agrícolas para satisfacer las necesidades cambiantes de la población, manteniendo o mejorando la calidad del medio ambiente y conservando los recursos naturales (TAC, 1989).

El crecimiento futuro de la población mundial requerirá una mayor productividad para alcanzar los objetivos de sostenibilidad, ya que la superficie de cultivo no podrá extenderse mucho más. Esta mayor productividad debe alcanzarse de tal forma que no se ponga en peligro la capacidad de la agricultura para alcanzar las necesidades futuras. Los objetivos de productividad se alcanzan a veces pensando en el corto plazo, lo que quizás no sea sostenible. Los esfuerzos para alcanzar los objetivos de la sostenibilidad deben tener en cuenta las implicaciones y necesidades en el largo plazo.

La agricultura de bajos inputs, que es defendida por algunos como una parte integral de la sostenibilidad, no debe considerarse como sinónima de sostenible. Aunque algunos consideran que el uso intenso de los inputs amenaza la sostenibilidad, otros indican que sin un uso intenso de los inputs el aumento de la productividad y los objetivos relacionados de sostenibilidad no pueden ser alcanzados. La investigación agrícola deberá dirigirse hacia desarrollar técnicas que optimicen los beneficios de usar los inputs y a la vez eviten, dentro de lo posible, las consecuencias indeseables, de su uso.

LOS CULTIVOS HERBACEOS EN LA AGRICULTURA ESPAÑOLA

En España, los cultivos herbáceos ocupan el 77 % de los más de 14 millones de hectáreas cultivados en secano y el 68 % de los 3 millones de hectáreas cultivados en regadío. Los principales cultivos herbáceos en cuanto a superficie total de cultivo son la cebada, el trigo, el girasol, el maíz, la avena y los cereales forrajeros (Tabla 1). En regadío los cultivos más importantes son el maíz, la cebada, el trigo, el girasol, la alfalfa, la remolacha y el arroz.

Tabla 1. Superficie total y de regadío de los principales cultivos herbáceos. (MAPA, 2000)

Cultivo	Superficie total (ha)	Superficie de regadío (ha)
Trigo	1.912.560	206.566
Cebada	3.535.171	282.831
Avena	413.189	17.116
Maíz	459.146	421.586
Arroz	112.673	112.673
Garbanzos	104.769	2.405
Veza	191.178	5.262
Remolacha azucarera	149.489	117.742
Algodón	98.650	92.487
Girasol	1.047.725	197.869
Alfalfa	240.089	178.178
Patata	133.488	90.274
Cereales forrajeros	458.229	48.695
Praderas polifitas	355.241	44.841

En los sistemas agrícolas españoles es, en general, el agua el factor que más afecta a la productividad de los cultivos y a la estabilidad de los rendimientos. Dadas las condiciones de

pluviometría de muchas zonas de España, los rendimientos obtenidos en aquellas especies cultivadas principalmente en secano (trigo, cebada, girasol) son bajos y muy variables de año a año (Figura 1). Sin embargo, la intensificación de la agricultura ha llevado a un aumento progresivo de los rendimientos medios. En el caso de los cultivos de regadío, se observa una tendencia claramente creciente de los rendimientos a lo largo del tiempo en el caso del maíz, que refleja la intensificación del uso de los inputs llevada a cabo en este cultivo.

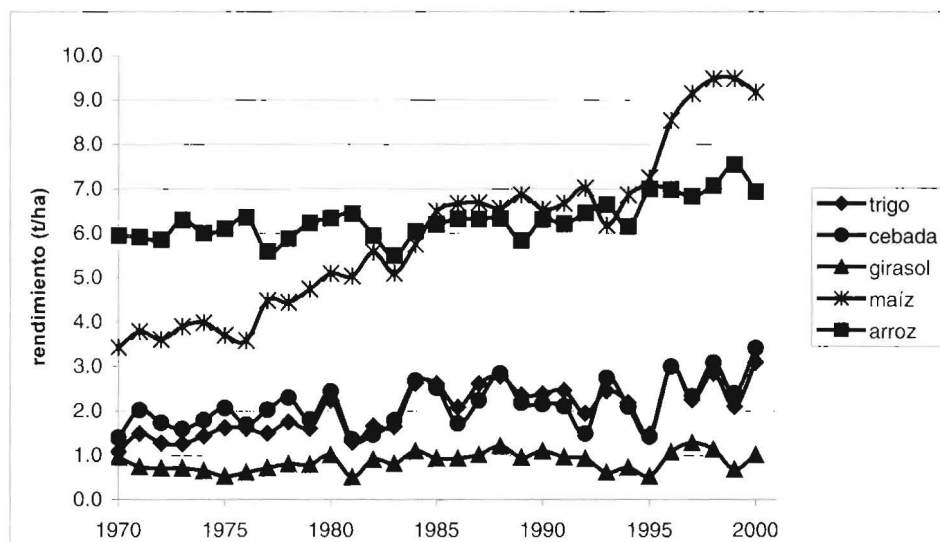


Figura 1. Rendimientos medios de los principales cultivos herbáceos en España.

AGRONOMIA SOSTENIBLE DE LOS CULTIVOS HERBACEOS EN CONDICIONES DE SECANO

En la agricultura de secano el agua disponible para un cultivo está constituida por el agua del suelo en el momento de la siembra más la lluvia que se reciba durante el período de cultivo. El uso eficiente de este recurso limitado se basa en la aplicación de unos pocos principios. El más básico es que la evapotranspiración está restringida a usar el agua disponible. Para conseguir aumentar el rendimiento en condiciones de limitada disponibilidad de agua se puede: maximizar el agua total disponible para los cultivos, maximizar la transpiración minimizando la evaporación directa desde el suelo, y utilizar cultivos que sean eficientes en el uso del agua.

El barbecho es una práctica común en la agricultura de secano pues permite acumular la lluvia de uno o varios años para el crecimiento de un solo cultivo. Puesto que también se acumula nitrógeno procedente de la mineralización de la M.O. y se puede reducir la incidencia de malas hierbas, plagas y enfermedades, se debe hacer un análisis cuidadoso para evaluar la respuesta de los cultivos al barbecho. Con el barbecho se consigue concentrar recursos limitados para un mejor aprovechamiento del cultivo. Sin embargo, el manejo del mismo, el uso del laboreo reducido, las características de los suelos, etc. influirán en su eficiencia y en la estabilidad de los rendimientos. Así, en un estudio realizado en zonas semiáridas de Aragón se ha podido constatar que la eficiencia del barbecho en cuanto a la conservación de agua en el suelo fue de menos de un 12 % (López y col., 1996). Austin y col. (1998) estimaron que en

las zonas más áridas del Valle del Ebro el barbecho incrementa el rendimiento de los cereales de invierno en un 7 % dada su baja eficiencia en la conservación de agua. Estos resultados ponen en entredicho la utilidad del barbecho desde el punto de vista de la conservación del agua en esta zona.

Otro aspecto importante que afecta a la sostenibilidad de los sistemas agrícolas de secano es el tipo de laboreo ya que además de afectar a los costes de producción de forma considerable, influye en la susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica y eólica. En las zonas más áridas de Aragón, se ha podido constatar que el no laboreo afecta negativamente al crecimiento de la cebada pues produce una mayor compactación del suelo, debida en parte al bajo nivel de residuos de cosecha (López y col., 1996; López y Arrue, 1997). Esta mayor compactación afecta negativamente al desarrollo y producción de este cultivo. Sin embargo, el laboreo reducido produjo rendimientos similares al laboreo convencional y reduce la susceptibilidad del suelo a la erosión eólica (López y col., 1998). Angás (2001) observó un menor rendimiento con el no laboreo debido a una mayor incidencia de plagas en la zona de Monegros. Sin embargo, en zonas más húmedas de la provincia de Lérida el no laboreo resultó favorable, especialmente en los años más secos (Angás, 2001).

La aplicación de cantidades moderadas de nitrógeno (50 kg N/ha) se ha mostrado como favorable para la producción de cereales de invierno en las zonas semiáridas del Valle del Ebro ya que induce un cubrimiento más rápido del terreno, de forma que una mayor parte del agua evapotranspirada es transpirada por el cultivo (Angás, 2001) y por lo tanto es aprovechada para la producción de los cultivos. Dosis mayores no aumentan los rendimientos e incluso pueden disminuirlos (Cantero-Martínez y col., 1995).

Un aspecto clave de la sostenibilidad de los cultivos herbáceos en condiciones de secano es el control de las malas hierbas (Fernández-Quintanilla y col., 1999). El barbecho y el laboreo tradicional con arado de vertedera son prácticas favorables ya que permiten reducir de forma importante las poblaciones de malas hierbas. El ahorro que supone el barbecho en el control de malas hierbas es una de las razones de su uso en estas zonas.

Hoy en día existe una amplia gama de herbicidas para el control de las malas hierbas en la mayor parte de los cultivos herbáceos. Sin embargo, la aparición de malas hierbas resistentes a algunos herbicidas de uso extendido (*Lolium rigidum* Gaud. – diclofop-metil, clortolurón, isoproturón; *Papaver rhoeas* L. – 2,4-D, tribenurón) está creando problemas considerables.

Una alternativa interesante a los cultivos herbáceos anuales (cereales de invierno, fundamentalmente) y probablemente la más sostenible en las zonas más áridas es el establecimiento de praderas y cultivos forrajeros (Delgado, 2000). Como este autor indica, este tipo de uso del terreno contribuye a la formación, conservación y recuperación del suelo agrícola, se ve favorecido por las deyecciones líquidas y sólidas del ganado y proporciona una alimentación a bajo coste para los ganados. Los problemas para la difusión de este uso del suelo no son tanto económicos como psicológicos (modificar los hábitos de los ganaderos, pasar de la producción de granos a la ganadería) y estructurales (ayudas a la producción de cereales grano, adaptación de las explotaciones a sistemas ganaderos con menor presencia del ganadero).

AGRONOMIA SOSTENIBLE DE LOS CULTIVOS HERBACEOS EN CONDICIONES DE REGADÍO

El riego permite disminuir las limitaciones a que da lugar una baja disponibilidad de agua en la producción de cultivos. El uso del agua alcanza sus mayores efectos en las regiones áridas y semiáridas del mundo (entre las que se encuentra gran parte de España) donde el largo periodo sin heladas y las fuertes insolaciones permiten alcanzar altos rendimientos.

El agua es un bien escaso en muchas zonas y, sin embargo, la baja eficiencia y baja uniformidad de los sistemas de riego son frecuentes en muchas zonas regables, lo cual además de tener efectos negativos sobre los cultivos, afecta negativamente al medio ambiente (lavado de nitratos y pesticidas, salinización). El uso eficiente del agua de riego es el factor clave en la productividad, estabilidad y sostenibilidad de los sistemas agrícolas de regadío. Aspectos como el control de las malas hierbas son menos problemáticos que en condiciones de secano pues la rentabilidad de los cultivos en regadío permite más opciones de control y la rotación con mayor número de cultivos.

Uso eficiente del agua de riego

Para un uso eficiente del agua de riego es necesario en primer lugar conocer las necesidades de agua de los cultivos con la mayor exactitud posible. Ello requiere el disponer de datos meteorológicos medidos en alguna zona próxima a la del cultivo. En la actualidad en diversas zonas de España (Andalucía, Cataluña, Castilla – La Mancha, Murcia, Navarra) existen redes de estaciones meteorológicas. Es necesario que estas redes, que hoy en día están totalmente automatizadas, se extiendan por todas las zonas de regadío importantes de España pues serán un factor que con un bajo coste puede contribuir a utilizar eficazmente el agua de riego.

El sistema de riego, su diseño y las características de los suelos determinan de forma importante la eficiencia del uso del agua en las parcelas de los agricultores. En cultivos herbáceos los sistemas principales de riego son el sistema de riego por superficie, el riego por aspersión y el riego por goteo, por este orden. Los sistemas de riego por superficie sólo son eficientes en suelos de moderada a baja permeabilidad y con una buena capacidad de retención de agua. Los sistemas de riego a presión (aspersión y goteo) permiten alcanzar eficiencias del 80 – 90 % en cualquier tipo de suelos. Además, los sistemas de riego a presión permiten aplicar el agua de riego de forma más fraccionada y evitar el encostramiento de los suelos que dificulta la emergencia de cultivos como el maíz y el girasol.

En muchas zonas de España dedicadas a los cultivos herbáceos la gestión del agua de riego se realiza de forma comunitaria por agricultores que se organizan en Comunidades de Regantes, cuya superficie de riego varía entre varios cientos a varios miles de hectáreas. El uso eficiente del agua de riego depende en gran parte del manejo del agua dentro de dichas comunidades. La modernización de la gestión mediante el uso de programas informáticos que permitan la trazabilidad del agua de riego así como su reparto óptimo es un proceso que ha comenzado en los últimos años pero que deberá incrementarse (Playán y col., 2001) y que sin duda contribuirá a un uso más eficiente del agua.

Pérdidas de nitratos

Las pérdidas de agua y nitratos por debajo de las raíces de los cultivos son casi inevitables en el sistema de riego por inundación debido a su típica baja eficiencia y uniformidad. Sin embargo, los sistemas de riego por aspersión adecuadamente diseñados y manejados permiten aplicaciones del agua de riego más eficientes y uniformes, además de permitir fraccionar más

fácilmente el aporte del N mediante su aplicación a través del sistema de riego, minimizando así las pérdidas de agua y de nitratos (Power y col., 2000).

Salinización

Uno de los aspectos claves del riego es que aporta sales al suelo en cantidades mucho mayores que el agua de lluvia. La acumulación progresiva de estas sales en el suelo puede afectar negativamente tanto a los cultivos como a los suelos y es una de las causas principales de insostenibilidad de los sistemas agrícolas en algunas zonas. Por ello la práctica del riego requiere un adecuado manejo tanto del agua como de las sales.

El manejo del agua y las sales requiere una planificación a nivel de área de riego y a nivel de explotación agrícola. A nivel de área de riego las consideraciones a tener en cuenta serán la selección de las zonas de riego, el diseño del sistema de riego y el diseño del sistema de drenaje. Resulta inconcebible que se sigan planificando riegos sin un diseño adecuado de las redes de desagües y drenajes. A nivel de explotación se deberá considerar la programación del riego para cultivos individuales, la estrategia óptima de reparto del agua, una aplicación precisa y uniforme del agua a los cultivos y un drenaje adecuado.

Casos de estudio.

En un trabajo realizado en dos cuencas hidrológicas de la zona regable de Monegros II (Tabla 2) (Cavero y col., 2002) dónde los cultivos se regaban exclusivamente por aspersión se observó un riego muy eficiente de los dos cultivos principales (maíz y alfalfa) en los que el índice de eficiencia del riego estacional (EUR), calculado como el porcentaje de la evapotranspiración menos la precipitación efectiva sobre el volumen de riego, estuvo próximo a 100. Sin embargo, hubo variabilidad entre las diversas parcelas, de forma que se regó en exceso (EUR < 85%) en un 17 % (cuenca D-IX, 1997), un 27 % (cuenca D-IX; 1998) y un 44 % (cuenca D-XI; 1998) de la superficie. El exceso de riego ocurrió sobretudo en Abril debido a los riegos excesivos para hacer nacer al maíz.

Cultivo	D-IX				D-XI	
	Abr.-Sept. 97		Oct. 97-Sept. 98		Oct. 97-Sept. 98	
	ha	t ha ⁻¹	ha	t ha ⁻¹	ha	t ha ⁻¹
Maíz	269	11,2	208	14,0	267	10,7
Alfalfa	72	18,2	97		156	14,8
Girasol	19	2,0	61		21	1,9
Cereales invierno	70	5,0	110		10	3,5
Guisantes y judías	0		0		16	
Sin cultivo	64		18		0	

Tabla 2. Area regada y rendimientos medios de los cultivos en las cuencas D-IX y D-XI de Monegros II.

La masa estimada de N aplicado en los fertilizantes y estiércoles varió entre 166 y 221 kg/ha durante el periodo de riego y entre 3 y 32 kg/ha en el periodo de no riego. El maíz recibió las mayores dosis de N fertilizante (media = 319 kg N/ha). La concentración de NO₃-N en el agua de drenaje fue alta, independiente del volumen de drenaje, y bastante similar en periodos de riego y de no riego (Tabla 3). La masa de NO₃-N exportada varió entre 18 (D-IX) y 49 (D-XI) kg/ha y año (Tabla 3), lo que representa solamente entre el 8 % (D-IX) y el 22 % (D-XI) del N aplicado en los fertilizantes y estiércoles.

Cuenca y periodo	D	NO ₃ -N	NO ₃ -N
	(mm)	(mg L ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)
D-IX			
Riego Abr. 97-Sept. 97	74	26,3	19,4
No riego Oct. 97-Mar. 98	18	26,9	5,0
Riego Abr. 98-Sept. 98	30	29,2	8,9
No riego Oct. 98-Mar. 99	13	26,1	3,5
D-XI			
No riego Oct. 97-Mar. 98	89	28,1	24,2
Riego Abr. 98-Sept. 98	105	23,1	24,8

Tabla 3. Drenaje (D), concentración de NO₃-N y masa de NO₃-N en las aguas de drenaje de las cuencas D-IX y D-XI de Monegros II.

En un estudio similar en la zona regable de Bardenas (Causapé y col. 2002) (cuencas: D-XXX-3, 217 has, maíz (55%) y alfalfa (26%); D-XXV-3, 146 has, maíz (32%), alfalfa (16%), forrajes (13%); D-XIX-6, 94 has, maíz (47%), alfalfa (46%)), dónde el riego se realiza principalmente por inundación, la eficiencia del riego estuvo entorno al 50 %. La masa estimada de N aplicado a los cultivos fluctuó entre los 146 kg N/ha del D-XXV-3 y los 349 kg N/ha del D-XXX-3. Las dosis aplicadas al maíz variaron entre los 262 kg N/ha y los 495 kg N/ha. La concentración de NO₃-N en el agua de drenaje fue inferior a las observadas en las cuencas de Monegros debido al mayor volumen de drenaje (Tabla 4). La masa exportada varió entre 23 kg N/ha y año (D-XXV-3), cuenca en la que el 39 % de la superficie se regaba por aspersión y los suelos tenían mayor capacidad de retención de agua, y 195 kg N/ha y año (D-XXX-3) (Tabla 3), representando el 44 % (D-XIX-6), el 16 % (D-XXV-3) y el 56 % (D-XI) del N aplicado en los fertilizantes y estiércoles.

Cuenca	D	NO ₃ -N	NO ₃ -N
	(mm)	(mg L ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)
D-XIX-6	756	13,09	98
D-XXV-3	496	4,74	23
D-XXX-3	1113	17,39	195

Tabla 4. Drenaje (D), concentración de NO₃-N y masa de NO₃-N en las aguas de drenaje de tres cuencas de Bardenas.

La comparación de los resultados obtenidos en las dos zonas regables muestran de forma clara que los sistemas de riego por aspersión bien diseñados y adecuadamente manejados permiten un uso eficiente del agua y del nitrógeno que difícilmente puede obtenerse con sistemas de riego por inundación si no se mejora su diseño o su gestión. Los aspectos claves para minimizar las pérdidas de nitrato son : a) incrementar la eficiencia de los sistemas de riego por inundación, b) cambiar a sistemas de riego a presión cuando los suelos tengan una baja capacidad de retención de agua, c) reducir las dosis de N aplicadas al maíz, d) fraccionar la aplicación del N en cobertera mediante fertirrigación, e) reusar las aguas de drenaje (práctica habitual en la zona de Bardenas).

CONSIDERACIONES FINALES

Los avances tecnológicos (agricultura de precisión, sistemas de riego automatizados, redes de estaciones meteorológicas, programas informáticos para la gestión del agua de riego y de los

cultivos, sensores del estado hídrico y nutricional de los cultivos, etc.) pueden posibilitar una mayor productividad de los sistemas agrícolas con un menor impacto sobre el medio ambiente, pero estos avances tecnológicos suponen, en definitiva, mayores inputs en la agricultura y en muchos casos mayores costes. La repercusión de estos avances será probablemente más importante en los sistemas agrícolas de regadío.

REFERENCIAS

- Angás, P. 2001. Análisis de la influencia de las técnicas de laboreo y fertilización nitrogenada sobre la dinámica del agua y el nitrógeno del suelo en el cultivo de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en las zonas áridas y semiáridas del Valle del Ebro. Agronomía y modelización. Tesis doctoral. ETSEA, Lérida.
- Austin, R.B., Cantero-Martínez, C., Arrúe, J.L., Playán, E., Cano-Marcellán, P. 1998. Yield-rainfall relationships in cereal cropping systems in the Ebro river valley of Spain. *European Journal of Agronomy*, 8: 239-248.
- Cantero-Martínez, C., Villar, J.M., Romagosa, I., Fereres, E. Nitrogen fertilization of barley under semi-arid rainfed conditions. *European Journal of Agronomy*, 4: 309-316.
- Cavero, J., Beltrán, A., Aragües, R. 2002. Nitrate exported in the drainage waters of two sprinkler irrigated districts. *ESA Congress*, Cordoba.
- Causapé, J., Isidoro, D., Quílez, D., Aragües, R. 2002. Water and nitrogen management in the irrigation district nº V of Bardenas (Zaragoza, Spain) and environmental impact on water resources. *ESA Congress*, Cordoba.
- Delgado, I. 2000. Los pastos, una posibilidad para el secano aragonés. *Naturaleza Aragonesa*, Junio: 46-51.
- FAOSTAT. 2002. *FAO Statistical Databases*. FAO, Roma.
- Fernández-Quintanilla, Garrido, M., Zaragoza, C. 1999. Control integrado de las malas hierbas: buenas prácticas agrícolas. *Phytoma España*, Valencia.
- López, M.V., Arrúe, J.L. 1997. Growth, yield and water use efficiency of winter barley in response to conservation tillage in a semi-arid region of Spain. *Soil and Tillage Research*, 44: 35-54.
- López, M.V., Arrúe, J.L., Sánchez-Girón, V. 1996. A comparison between seasonal changes in soil water storage and penetration resistance under conventional and conservation tillage systems in Aragón. *Soil and Tillage Research*, 37: 251-271.
- López, M.V., Sabre, M., Gracia, Arrúe, J.L., Gomes, L. 1998. Tillage effects on soil surface conditions and dust emission by erosion in semiarid Aragón (NE Spain). *Soil and Tillage Research*, 45: 91-105.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 2000. *Anuario de estadística Agraria*. MAPA, Madrid.
- Playán, E., Cavero, J., Mantero, I., Salvador, V. 2001. Monitoring of irrigation systems: design criteria of a database for irrigation. En: *Appropriate modernization and management of irrigation systems*, O. Tekinel, Hamdi, A., Lamaddalena, N., (Eds.). IAMB-CIHEAM, Bari, Italia. pp. 299-340.
- Power, J.F., Wiese, R., Flowerday, D. 2000. Managing nitrogen for water quality - lessons from Management Systems Evaluation Area. *J. Environ. Qual.* 29: 355-366.
- Technical Advisory Committee of the Consultative Group on International Agricultural Research. 1989. *Sustainable agricultural production: implications for international agricultural research*. FAO, Roma.