

## **EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LOS CULTIVOS DEL SECANO TOLEDANO**

Carlos Lacasta Dutoit

CSIC. Centro de Ciencias Medioambientales. Finca Experimental “La Higuera”  
45530 Santa Olalla. Toledo. España: [csic@infonegocio.com](mailto:csic@infonegocio.com).

### **RESUMEN**

Existe consenso entre la comunidad científica internacional de que nos encontramos en un cambio climático sin precedentes, y que éste es originado por las actividades humanas. El cambio climático se sabe que afectará a la agricultura, ya que el aumento de las concentraciones globales de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera, hace que los estomas de las plantas se estrechen, por lo que se reduce las pérdidas de agua y mejora el rendimiento en el uso de ella. El aumento en las concentraciones de CO<sub>2</sub> estimula la fotosíntesis y tendrá un efecto fertilizante en numerosos cultivos. El aumento de las temperaturas y sobre todo en los meses de primavera, disminuirán los daños por heladas de los cultivos arbóreos tradicionales de la provincia de Toledo, aunque también la subida de las temperaturas aumentara las pérdidas por evapotranspiración. También se espera que el clima se haga más variable que en la actualidad, esto provocara fluctuaciones en los rendimientos de los cultivos.

En este trabajo se analiza la evolución de la meteorología y se contrasta con series largas de producción de cultivos herbáceos (cereales, heno de veza y girasol), y arbóreos (viña, olivar y pistachero), sometidos a diferentes manejos, rotaciones de cultivos, agricultura convencional, de conservación y ecológica, y con lo que se pretende obtener el posible efecto del cambio climático sobre los rendimientos de los cultivos extensivos del secano toledano, así como posibles alternativas a la nueva situación ambiental. Los datos climáticos y la mayoría de las series de producción de los cultivos se han tomado de la Finca experimental “La Higuera”, Santa Olalla, Toledo.

Los resultados confirman lo que se esperaba, que en los últimos años, han aumentado las temperaturas y la frecuencia de los años secos. En la temperatura, se ha notado principalmente en los valores mínimos de los meses de primavera, que son los causantes de los daños por heladas en la floración de algunos cultivos arbóreos, lo que ha permitido aumentar las producciones en la viña y poder desarrollar el cultivo del pistachero con viabilidad económica. En general, las producciones en los cultivos herbáceos, se aprecia un aumento de la inestabilidad en los rendimientos. En los monocultivos de cereal se observa una tendencia a la disminución de los rendimientos. La utilización del barbecho para paliar los efectos del aumento de la frecuencia de los años secos, no se aprecia diferencias en la tendencia de los rendimientos con respecto a otras rotaciones. La cebada se adapta mejor que el trigo, al cambio climático por sus menores necesidades hídricas. Los suelos arcillosos estabilizan más las producciones que los suelos franco-arenosos, aunque en los valores medios no se aprecien diferencias en los rendimientos. La agricultura de conservación (no laboreo), aunque con precipitaciones bajas es más productiva que la agricultura convencional con laboreo, en cambio es menos productiva cuando hay inestabilidad pluviométrica como ocurre en los últimos años. La agricultura ecológica, es más estable en los rendimientos que la agricultura con agroquímicos, utiliza el 50% menos de energía y energéticamente, es cuatro veces más eficiente.

**Palabras clave:** Heladas, precipitaciones, cereales, viña, olivar.

## INTRODUCCIÓN

Existe consenso entre la comunidad científica internacional de que nos encontramos en un cambio climático sin precedentes, y que éste es originado por las actividades humanas.

El grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), que examina las investigaciones realizadas en todo el mundo y que ha publicado hasta ahora cuatro informes, recoge los siguientes hechos: Que la temperatura media global ha aumentado 0,6 °C, durante el último siglo, llegando a aumentar 1°C en Europa. La década de los 90 fue la más calurosa de los últimos 1.000 años. Los cinco años más calurosos han sido, en este orden, los siguientes 2005, 1998, 2002, 2003 y 2004. Prevé que la temperatura global media puede subir a lo largo de este siglo entre 1,4 y 5,8°C, como consecuencia de las actividades humanas. Se espera que los cambios previstos en el clima tengan efectos positivos y negativos sobre los recursos de agua, la agricultura y los ecosistemas naturales. ([www.cambioclimatico.org](http://www.cambioclimatico.org))

El aumento de las concentraciones globales de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera, deberían estimular la fotosíntesis en determinadas plantas y particularmente a las llamadas plantas C3 (trigo, cebada, arroz, patata, etc.), debido a que una mayor concentración de CO<sub>2</sub> tiende a suprimir la fotorespiración. Los experimentos basados en un aumento del 50% de las concentraciones actuales de CO<sub>2</sub> han confirmado que la "fertilización con CO<sub>2</sub>" podría aumentar la producción media de los cultivos C3 en un 15% en condiciones óptimas. Las plantas C4 que incluye los cultivos tropicales como el maíz, la caña de azúcar, el sorgo y el mijo, que son importantes para la seguridad alimentaria de muchos países en desarrollo, los efectos podrían verse reducidos si hay cambios en las temperaturas, las precipitaciones, plagas y la disponibilidad de nutrientes. ([www.cambioclimatico.org](http://www.cambioclimatico.org))

Algunas regiones agrícolas se verán amenazadas por el cambio climático, mientras que otras podrían extraer beneficios. La Europa del norte puede ser beneficiada por este aumento de las temperaturas, en cambio la Europa del sur, donde se encuentra España, donde son propensas las sequías, podrán sufrir periodos secos más largos y más severos. También se espera que el clima se haga más variable que en la actualidad, esto provocara fluctuaciones en los rendimientos de los cultivos. Sin embargo, los efectos regionales variaran ampliamente y sobre todo en las regiones semiáridas y áridas, los efectos negativos del cambio climático pueden verse limitados por los cambios en los cultivos y en el manejo de los existentes.

Los retos a los que se enfrenta la sociedad actual son, por un lado activar los mecanismos necesarios para reducir el cambio climático, y por otro tomar las medidas necesarias para mitigar sus efectos negativos. En Agricultura los retos son: mantener más o menos la producción actual disminuyendo los consumos energéticos, mantener los recursos y la biodiversidad.

La mejora del rendimiento energético es un componente imprescindible de cualquier proyecto futuro y además es algo que está inmediatamente disponible, puesto que en este caso no hay que esperar los resultados de largas y complejas investigaciones y ensayos; simplemente hay que revisar todos aquellos procesos en los que estamos consumiendo energía y hacerlo mejor. Las mejoras en el rendimiento energético, además de ser de rápida aplicación, son de tal importancia que podrían reducir la demanda energética del mundo a la mitad (Marroquin, 2007)

El balance energético, al realizarse al margen de las ayudas económicas, pone al descubierto los manejos más eficientes y por tanto más recomendables para cada región agroclimática. En este trabajo también se analizan tres modelos de producción que se desarrollan en los ambientes semiáridos toledanos y que cuentan con objetivos y medios de producción diferentes.

**La Agricultura Convencional:** Caracterizada de por utilizar todos los medios técnicos desarrollados en los últimos cincuenta años. y presenta las siguientes limitaciones: Escasa rentabilidad, altas tasas de erosión, disminución alarmante del contenido en materia orgánica, pérdida de elementos fertilizantes solubles y graves implicaciones en procesos contaminantes en suelos y aguas. Esto, unido a una escasa biodiversidad al haber sido eliminados gran parte de los habitats, tanto de la flora como de la fauna autóctona, los sitúa en un proceso de degradación que exige cambios urgentes en su manejo si se pretende la perdurabilidad de la agricultura.

Para conseguir estos fines, en los últimos años, se han propuesto manejos que, manteniendo la productividad de los sistemas, no comprometan su sostenibilidad, agrupándose en las conocidas como Agriculturas de Conservación y Ecológica.

**La Agricultura de Conservación:** Coincidiendo con lo indicado en el Real Decreto 2352/2004, Fernández–Quintanilla (1997), considera la Agricultura de Conservación como una serie de prácticas agronómicas que permiten un manejo del suelo que altera lo menos posible su composición, estructura o biodiversidad, defendiéndolo de la erosión y degradación. Numerosos autores estiman, que el sistema de no-laboreo o siembra directa (SD), como el mejor exponente.

**La Agricultura Ecológica:** Basada en el conocimiento campesino y tecnologías modernas de bajos insumos para diversificar la producción (Altieri, 1999) Incorpora principios biológicos y recursos locales, proporcionando a los pequeños agricultores una forma ambientalmente sólida y rentable de intensificar la producción en áreas marginales como los secanos españoles

Con respecto a los cultivos arbóreos que se estudian en este trabajo, viña, olivo y pistachero son árboles con una adaptación contrastada a zonas áridas y semiáridas, aunque sensibles a las heladas primaverales sobre todo la viña y el pistachero.

En este trabajo se analiza la evolución de la meteorología y se contrasta con series largas de producción de cultivos herbáceos (cereales, heno de veza y girasol), y arbóreos (viña, olivar y pistachero), sometidos a diferentes manejos, suelos, rotaciones de cultivos, agricultura convencional, de conservación y ecológica, y con lo que se pretende obtener el posible efecto del cambio climático sobre los rendimientos de los cultivos extensivos del secano toledano, así como posibles alternativas a la nueva situación ambiental. Los datos climáticos y la mayoría de las series de producción de los cultivos se han tomado de la Finca experimental “La Higuera”, Santa Olalla, Toledo.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

Los datos meteorológicos han sido obtenidos de la estación termopluiométrica instalada en la Finca experimental “La Higuera”, Santa Olalla, Toledo y de la estación pluviométrica de Santa Olalla donde se registraron las precipitaciones desde 1949 a 1985.

Los resultados de los rendimientos de cebada de los últimos 45 años, se han obtenido del trabajo de Lacasta, Oliver y Meseguer (1988), actualizado con los rendimientos obtenidos en la finca en los últimos 19 años.

Los resultados de los rendimientos de los cultivos de heno de veza y girasol se han obtenido de Lacasta (2005), actualizado con los obtenidos en los últimos años.

Para los resultados de producción del olivar, se ha realizado la media de los rendimientos de la finca y de un olivar situado en Noves que pertenece a D. Ángel Conejo, responsable de agricultura de la Delegación de la Consejería de Agricultura de Torrijos, y los rendimientos del olivar de la finca, parte se encuentran en Meco y Lacasta (2005). La variedad es cornicabra.

Para los resultados de los rendimientos de la viña se ha empleado los obtenidos en la finca, variedad Garnacha, parte de estos resultados se pueden ver en Meco y Lacasta (2005) y Hernández *et al.* (2002).

Los resultados de rendimiento de pistachero están publicados en Lacasta y Vadillo (2008).

Para las producciones de cereal en rotación, en monocultivo, en agricultura convencional, de conservación y ecológica, se han utilizado los resultados de diferentes experimentos que se desarrollan en la finca y que parte de ellos se encuentran publicados (Lacasta *et al.*, 2003; Lacasta, 2005; Lacasta, Meco y Benítez, 2006; Lacasta *et al.*, 2007; Lacasta y Meco, 2008).

Para el estudio de eficiencia energética se ha empleado la información que aparece en el trabajo Lacasta y Meco, 2008.

Los dos suelos donde se han desarrollado los experimentos, tienen ambos alrededor de 1% de materia orgánica, pH alrededor de 7 y tienen valores medios de fósforo y potasio. Otras características:

Vertisol, suelos profundos, de más de 1 m de profundidad, arcillosos (28 % de arena, 31% de limo y 41% de arcilla), estructura estable, estructura estable y con gran capacidad de retención de agua, 130 l/m<sup>2</sup>, y los mecanismos de expansión y contracción supera las posibles consecuencias de la suela de labor.

Luvisol, suelos con horizontes muy diferenciados. En el horizonte A (0-20 cm), superior de lavado, de textura franco-arenosa (69% de arena, 14% de limo y 17% de arcilla). El B (20-60cm), es de acumulación de arcilla (rojo). El C (60-90 cm), es de acumulación de carbonato cálcico (blanco) y el horizonte R (> 90 cm), arcosas que es el material sobre el que se ha formado este suelo

Las rotaciones en agricultura convencional y de conservación, el cereal se fertilizó con abonos complejos antes de la siembra y nitrato amónico cálcico en el inicio del ahijado, obteniéndose la formula 90-60-60. El girasol y la veza se abonó en sementera con la formula 20-40-20. En agricultura ecológica, la fertilización de las rotaciones se basa en la fijación de nitrógeno del cultivo de leguminosa, cuando existe, y en los residuos de cosecha. No se empleó ninguna escarda en las rotaciones ecológicas.

La mayoría de las veces se ha optado por emplear en los datos, medias móviles de 3 años para paliar el efecto sierra que tienen las producciones y los meteoros en estos ambientes, por tanto cada dato es la media del año anterior, el indicado y el posterior.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Clima:**

En la evolución de las precipitaciones a lo largo de los últimos 59 años agrícolas (1949-2008), se observa un aumento de años secos, menos de 300 mm, en los últimos años (Fig. 1). Garrido *et al.* (2008) en un estudio sobre las sequías climáticas en la cuenca del Duero, obtenían que la frecuencia de estas habían aumentado de forma espectacular en los últimos 20 años, donde contaban siete episodios, los mismos que en los cuarenta años anteriores. Esta situación se debe traducir en una menor eficiencia de los fertilizantes y por tanto en una disminución de las cosechas de herbáceos de otoño.

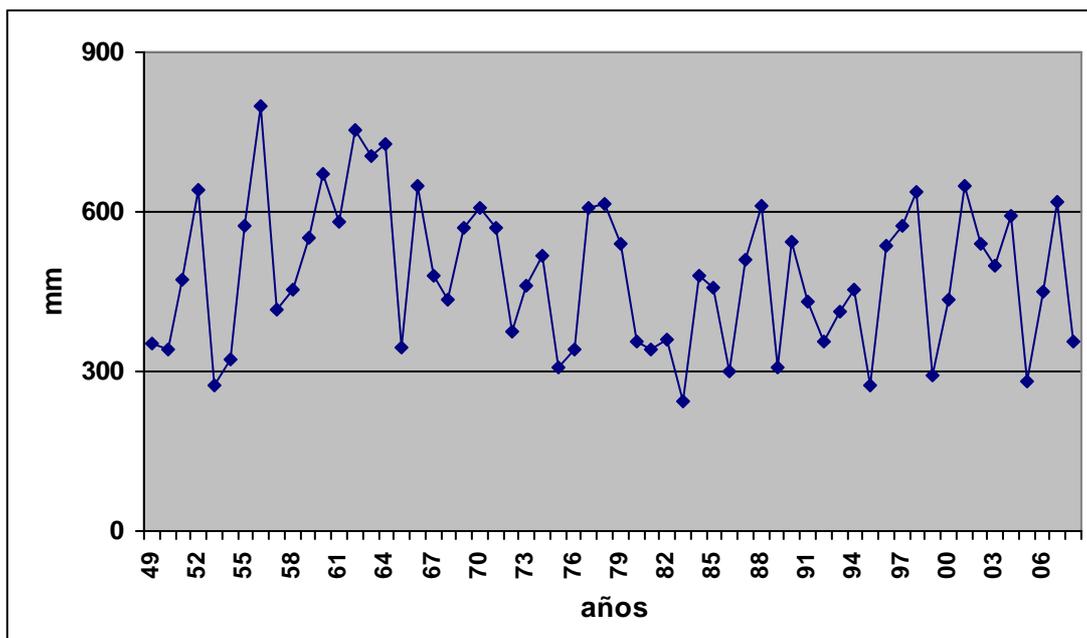


Fig. 1. Evolución de las precipitaciones a lo largo de los últimos 59 años agrícolas (1949-2008). Donde se observa el aumento de años secos en los últimos años.

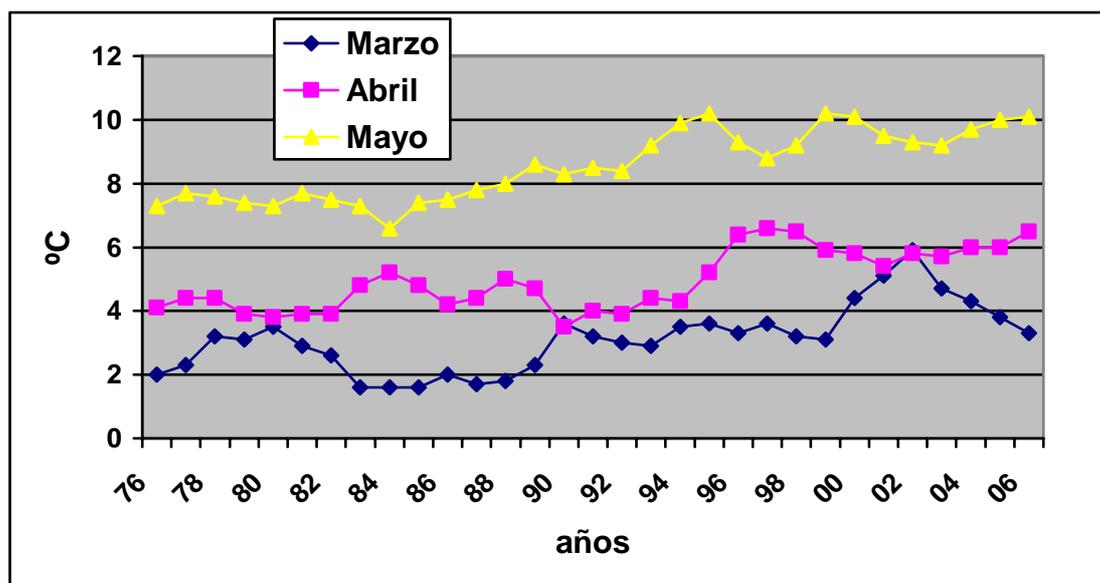


Fig. 2. Evolución de las temperaturas medias de las mínimas (medias móviles), en los meses de primavera de los últimos 33 años.

De todos los parámetros térmicos estudiados se destaca el aumento de las temperaturas mínimas en los meses de primavera (Fig. 2) que se concreta con una práctica desaparición de heladas de primavera desde el año 2001 (Fig. 3), esta situación climática tiene que afectar de forma positiva a los cultivos leñosos que tienen su periodo de floración en esta época. Temperaturas superiores a 0°C en primavera es siempre positivo para todos los cultivos. Rodríguez Ballesteros (2008), en un estudio de la evolución de las temperaturas medias en los últimos años en las capitales de provincia españolas, observaba para todo el conjunto de España y concretamente en Toledo, que la frecuencia de anomalías positivas (aumento de las temperaturas) predominaban desde 1994 hasta 2007, principalmente en primavera e invierno, y que se reflejaba en el aumento de las temperaturas medias del año agrícola.

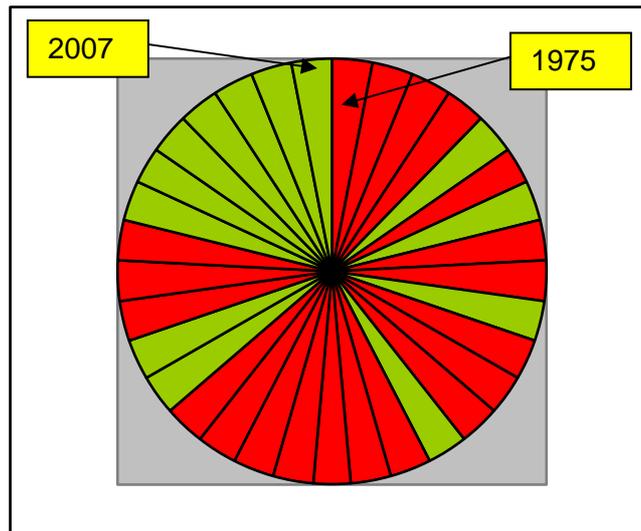


Fig. 3. En rojo los años con heladas de primavera que pudieron afectar a la producción de pistachos, en verde los años libres de heladas

### Producciones de cultivos:

Cuando se observa la evolución de las rendimientos por hectárea de la cebada en rotación con otro cultivo, a lo largo de 45 años (Fig. 4), se aprecia un aumento de la inestabilidad de los rendimientos en los últimos años, aunque este no se traduce en una disminución de la producción media que sigue estando entre los 2.000 y 3.000 kg/ha. También se aprecia un aumento en los rendimientos en cuatro años de la década de los 80, más de 3.000 kg/ha, y cuatro años malos en la década de los 90, menos de 2.000 kg/ha. Hay que considerar que la figura se ha realizado con medias móviles de tres años, de esta forma se atenúa el diente de sierra tan típico de estos ambientes semiáridos, por ello cuando recurrimos a los valores reales comprobamos que en la década de los 90 hubo tres años con rendimientos inferiores a los 1.000 kg/ha y en lo que va de siglo dos. En los 45 años estudiados son los únicos años con rendimientos inferiores a 1.000 kg/ha, la causa sequía o mala distribución de las precipitaciones.

Los rendimientos de heno de veza por hectárea en los últimos 25 años (Fig. 5), confirman lo dicho anteriormente y quizás de forma más acusada ya que las leguminosas durante el otoño-invierno la producción de biomasa es bastante menor que los cultivos de cereales y dependen más de los recursos hídricos de primavera.

Por ello para conocer la tendencia de los rendimientos de cultivos herbáceos de invierno en los ambientes semiáridos por efecto del cambio climático, habría que contar al menos con series que superaran los 20 años, ya que los resultados indican que es en los años 90 del siglo XX donde se inicia el efecto del cambio climático en estos cultivos. Los estudios de menos de 20 años permitirán comparar diferentes estrategias para aminorar sus efectos.

Siguiendo el criterio anteriormente comentado, de la necesidad de contar con serie de datos que superen los 20 años para ver el efecto del cambio climático sobre los cultivos de invierno, no se podría deducir nada sobre el cultivo del girasol porque sólo se dispone de 17 años (Fig. 6), no obstante al ser un cultivo de verano, que se desarrolla principalmente en el estío y donde depende principalmente de las reservas acumuladas en el suelo y de las precipitaciones de mayo, los razonamientos tienen que ser diferentes a los utilizados para los cultivos herbáceos de invierno. Al observar la figura 6, lo que más destaca son los puntos de producción baja 1995, 1999 y 2005, años que coincide con los años secos donde las precipitaciones del año agrícola

fueron inferiores a los 300 mm y los años con más rendimiento coincide o bien con un mes de mayo lluvioso (1997) o verano con tormentas (2002). Recordar que los datos son medias móviles y por tanto la curva de rendimientos esta atenuada, porque en los años secos no hubo producción.

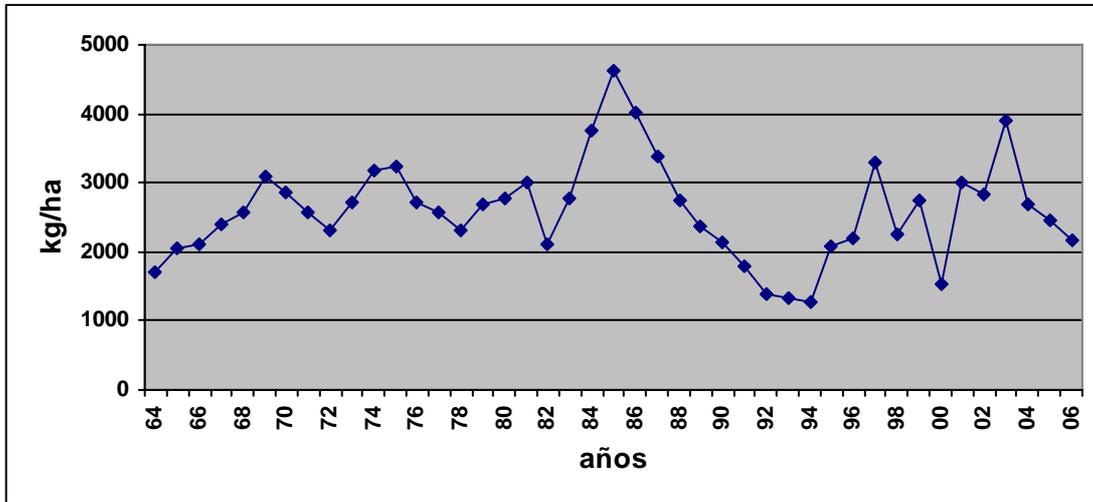


Fig. 4. Evolución de los rendimientos de cebada por hectárea en rotación de 45 años (medias móviles de tres años), donde se observa una menor estabilidad en las producciones en los últimos años.

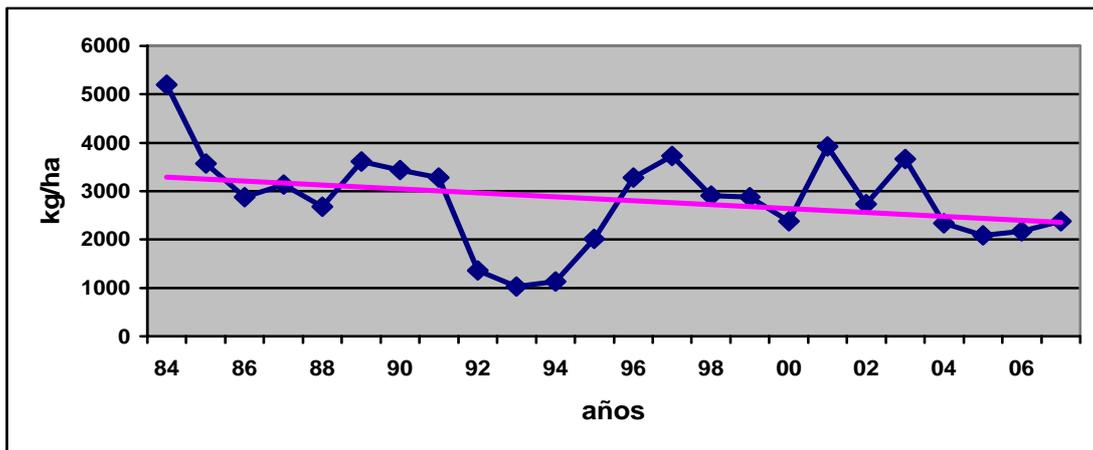


Fig. 5. Evolución de los rendimientos de heno de veza por hectárea de 26 años (medias móviles de tres años).

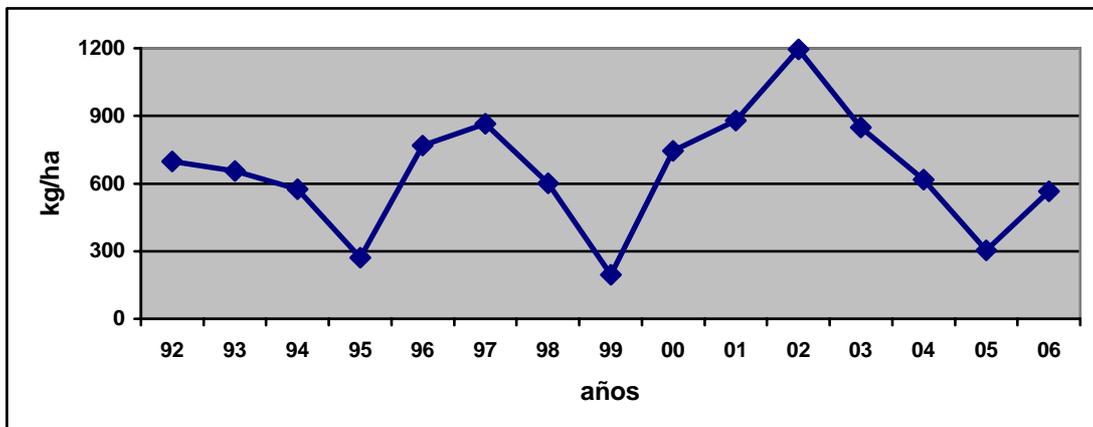


Fig. 6. Evolución de los rendimientos de girasol de 17 años (medias móviles de tres años). Donde se observa una gran variabilidad de los rendimientos, debido a la dependencia que hay de las precipitaciones de primavera-verano.

Los cultivos arbóreos han sido los más beneficiados por el cambio climático tanto por el aumento de las temperaturas de primavera como por la disminución de la frecuencia de heladas primaverales (Fig. 7, 8 y 9). Siendo muy elocuente en el cultivo del pistachero, ya que las heladas primaverales lo hacia inviable antes de 2001.

Esta mejora de las condiciones ambientales, no supone que los cultivos de viña y olivo tengan más posibilidades de crecer su superficie en la provincia de Toledo. La mayoría de la producción de uva de la provincia de Toledo se dedica a producción de alcohol, con una sostenibilidad económica dudosa. En el olivar hay un equilibrio entre producciones y consumos mundiales. Y además ambos cultivos tienen una productividad más baja que las autonomías limítrofes. Sólo si se obtuviera un valor añadido de calidad podría tener alguna posibilidad de competir en el mercado, en estos momentos el marchamo de calidad pasa por la agricultura ecológica.

En cambio el pistacho es el fruto seco más apreciado a nivel mundial, debido al aumento de demanda frente al estancamiento de la producción. Una de las causas del aumento de la demanda ha sido debido a sus cualidades organolépticas y de sus cualidades nutritivas tales como el aporte de hierro, potasio y vitamina A, ausencia de colesterol y escaso contenido en grasas saturadas (Guerrero *et al.* 2008). El pistachero por su resistencia a la sequía, su adaptabilidad a diversidad de suelos y sus necesidades de calor en verano, le hace un perfecto candidato como cultivo para los ambientes semiáridos toledanos. Su capacidad para vegetar en estos ambientes lo da la presencia autóctona en muchas zonas de los montes de Toledo de *Pistacia terebinthus* L., planta que se usa como portainjerto del pistachero (*Pistacia vera* L.).

Considerando las producciones de los últimos 7 años (2001-07), porque antes no hubo producción por problemas de heladas primaverales, y la presencia de árboles de diferentes edades en la colección de pistacheros que hay en la Finca experimental "La Higuera" se ha realizado la figura 10, donde se puede apreciar en una de las variedades mejor adaptadas a las condiciones ambientales de la provincia de Toledo e injertada sobre *Pistacia terebinthus* L. como las producciones superan los 800 kg/ha a partir del octavo año y que a un precio de 3 €/kilo de media, da una idea del interés de este cultivo. Las producciones de pistachos se expresan en kg/ha y al 7 % de humedad.

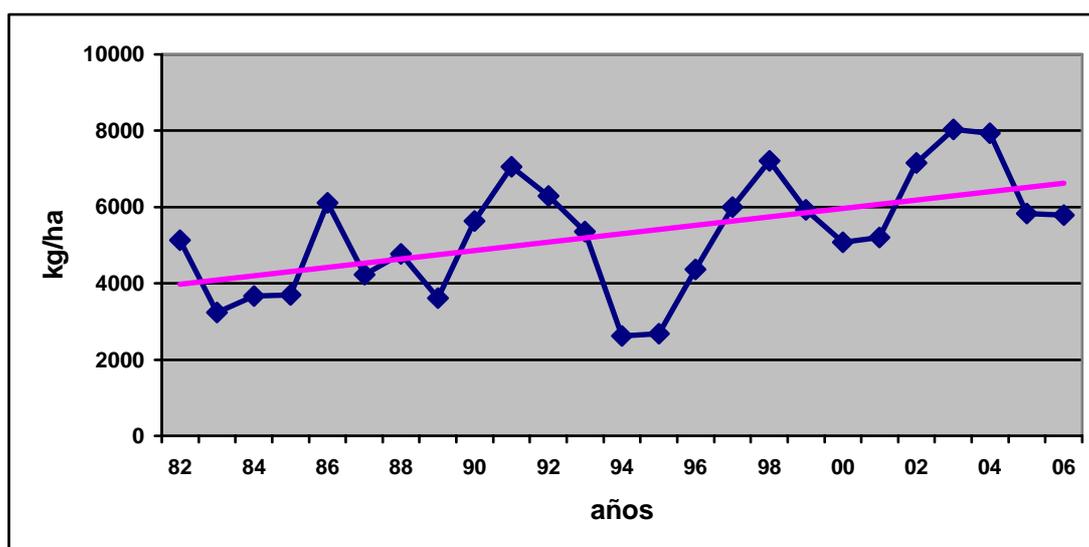


Fig. 7. Evolución de los rendimientos por hectárea de uva, variedad Garnacha, de 27 años (medias móviles de tres años).

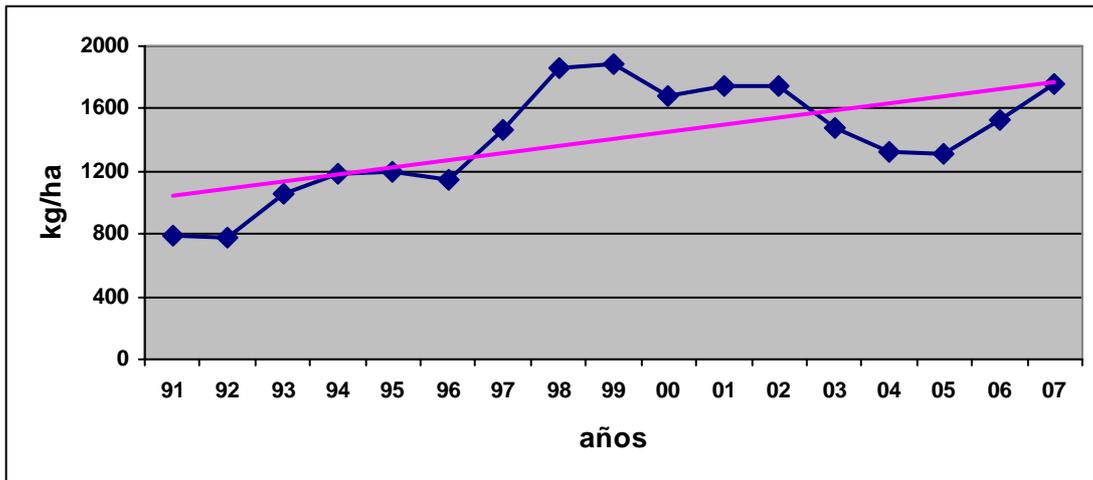


Fig. 8. Evolución de los rendimientos por hectárea, variedad cornicabra, de 17 años (medias móviles de tres años), donde se observa un aumento de la producción por un aumento de las temperaturas de primavera.

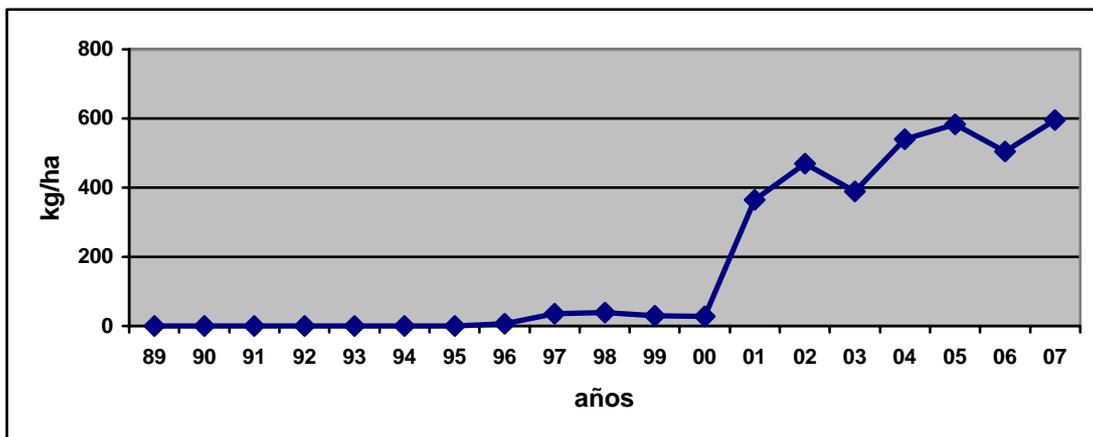


Fig. 9. Evolución de las producciones de la colección de pistachero, donde se observa que hay producción a partir del 2001, por la desaparición de las heladas de primavera.

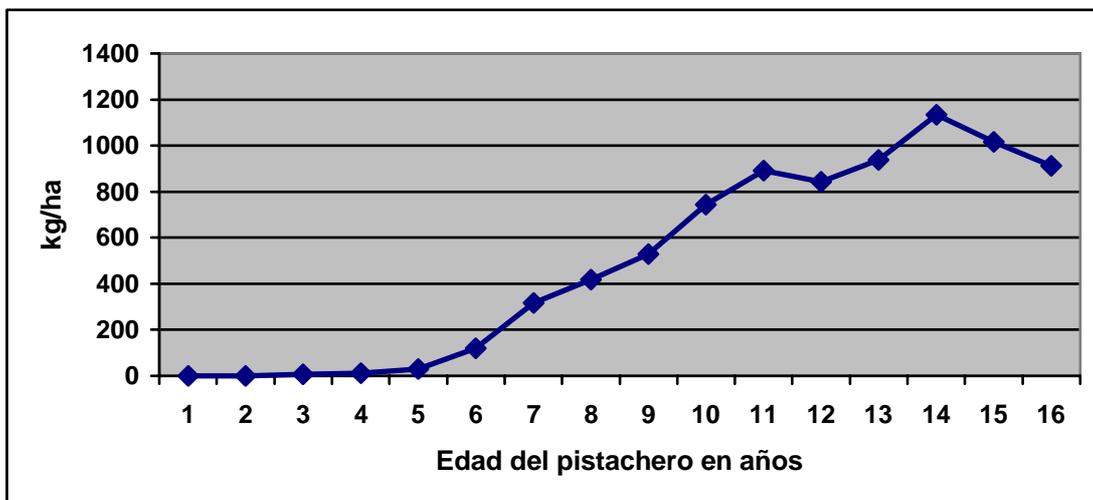


Fig. 10. Evolución de la producción en la variedad Avdat (medias móviles de dos años, para atenuar el efecto vecero)

## Efecto manejo

La mejor manera de gestionar la sequía es manejando el ambiente, a través de practicas agrarias, pero sobre todo mediante la selección de cultivos adaptados a cada región geográfica y no sistemas globalizados que sólo se pueden mantener con altos costes energéticos (Bello *et al.*, 2008). Para determinar cuales son los manejos que mejor se adaptan a las nuevas condiciones ambientales, se han contrastado diferentes estrategias. En la figura 11, se observa que el monocultivo de cereal además de producir un 50% menos que el cereal en rotación, las diferencias entre ambos manejos, en lo últimos años, se distancia aún más, poniendo de manifiesto que el monocultivo de cereal sólo es viable económicamente, en ambientes más húmedos donde la eficiencia de los fertilizantes químicos sea aceptable.

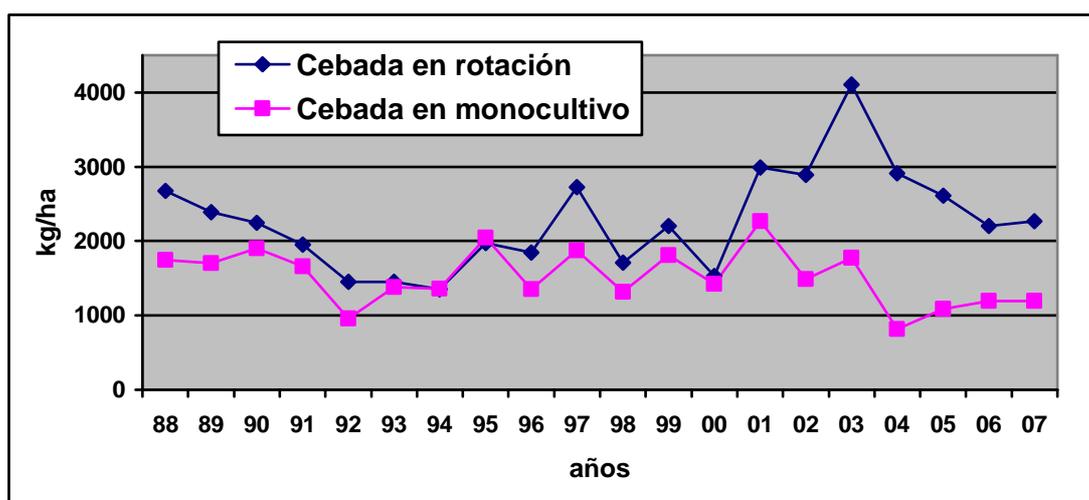


Fig. 11. Evolución de rendimientos por hectárea de cebada en rotación y cebada en monocultivo de 22 años (medias móviles de tres años), donde se observa la tendencia a disminuir los rendimientos en el monocultivo de cebada.

El aumento de la aridez en la nueva situación climática permite pensar que el manejo tradicional de año y vez, un año cereal y otro barbecho seria una estrategia a considerar, ya que se contaría siempre con unas reservas hídricas en el suelo que variarían en función de la textura y profundidad. En la figura 12, se observa, que aunque hay ciertas diferencias en la producción a favor de la rotación con barbecho, no hay diferencias en las tendencias de las ambas curvas.

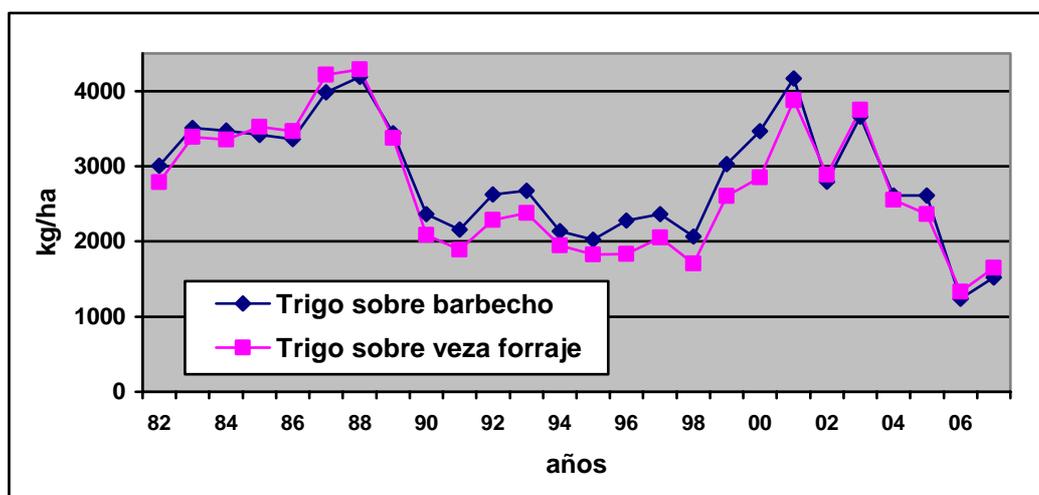


Fig. 12. Evolución de los rendimientos de trigo por hectárea en rotación con barbecho y veza forraje de 28 años (medias móviles de tres años).

Se puede pensar que los cereales que utilicen menos agua para producir un kilo de biomasa, tendrán también ventajas en la nueva situación climática. Cuando se compara la evolución de los rendimientos del trigo y de la cebada ambos en rotación con veza forraje, se aprecia un comportamiento dispar, aunque si se dibujara la línea de tendencia se observaría que el cultivo del trigo tiene una cierta tendencia a la baja que confirmaría la hipótesis, aunque habrá que seguir su evolución en el futuro.

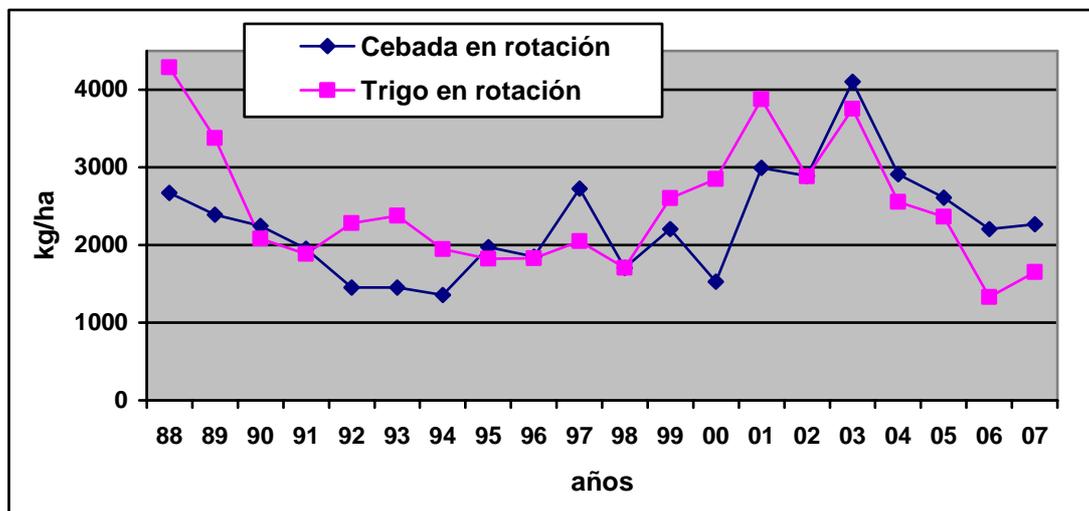


Fig. 13. Evolución de los rendimientos de trigo y cebada por hectárea en rotación con veza forraje de 22 años (medias móviles de tres años).

El agua es el factor que más limita la producción en los sistemas agrícolas de secano de España. La distribución de las lluvias es irregular y poco favorable al mantenimiento de un balance hídrico adecuado. El éxito de los secanos de los ambientes mediterráneos depende en gran medida de la capacidad del suelo para almacenar agua (Lacasta y Meco 2005)

El suelo arenoso frente al arcilloso tiene menor capacidad de retención hídrica, pero en cambio tiene mayor capacidad de infiltración y está más aireado.

Cuando se compara durante 20 años, la evolución de los rendimientos de cebada por hectárea en monocultivo en dos suelos (Fig. 14), se aprecia que las producciones en el suelo arcilloso son más estables que en el franco arenoso, aunque no se observa diferencias en las medias de los 20 años.

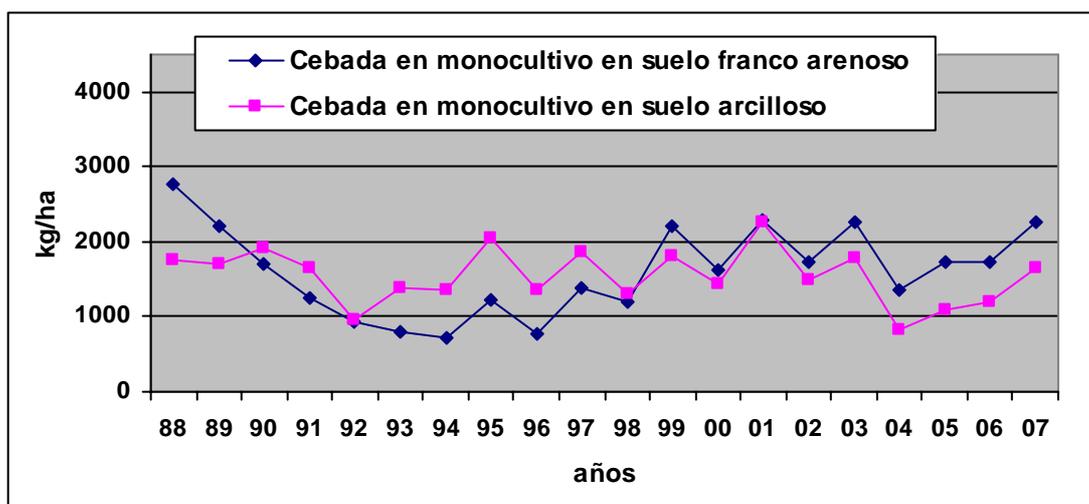


Fig. 14. Evolución de los rendimientos de cebada por hectárea en monocultivo en dos suelos de 20 años (medias móviles de tres años). Donde se aprecia una mayor estabilidad en el suelo arcilloso.

En general pueda afirmarse que si bien la capacidad de un suelo para almacenar agua está dominada por las texturas, su capacidad para conducirla depende en gran medida de la estructura. Por otra parte la disponibilidad de agua para el cultivo depende además de la profundidad de enraizamiento y del grado de proliferación del sistema radicular a diferentes niveles en el perfil de suelo, para que las raíces crezcan y realicen sin dificultad sus funciones, necesitan que el suelo este suficientemente aireado (Berenjena, 1997).

El no laboreo del suelo, aumenta la agregación y por tanto su capacidad de acumular agua, se mantiene más húmedo y facilita la penetrabilidad. Este efecto según diferentes autores se multiplica con el paso del tiempo a medida que las lombrices de tierra y las sucesivas generaciones de raíces van abriendo nuevas vías de penetración.

Si se compara durante 23 años, la evolución de los los rendimientos de cebada por hectárea en rotación con veza en agricultura convencional con vertedera y agricultura de conservación en no laboreo (Fig. 15), se observa que la agricultura de conservación ha respondido mejor en el periodo seco de la década de los años 90, pero peor en el periodo de inestabilidad pluviométrica de los últimos ocho años, indicando que el facilitar el desarrollo radicular disminuyendo la agregación con el laboreo, puede ser una buena estrategia productiva pero mala ambientalmente por el aumento de los riesgos de erosión, costes energéticos y perdida de materia orgánica de los suelos.

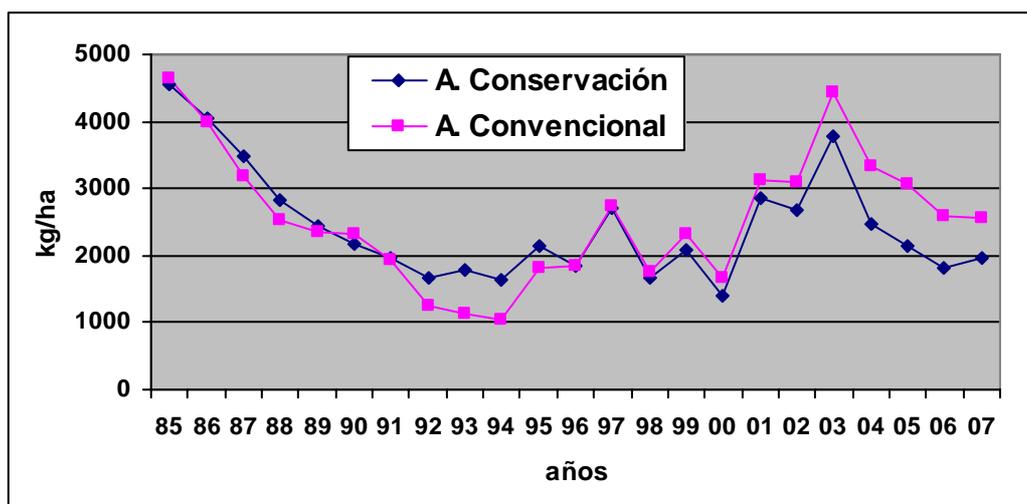


Fig. 15. Evolución de los rendimientos de cebada por hectárea en rotación con veza de 23 años (medias móviles de tres años), en agricultura convencional y de conservación.

La agricultura ecológica, contribuye al ciclo de carbono de diversas formas: cerrando ciclos de nutrientes, autoabasteciendo de recursos e insumos, reduciendo la erosión gracias a la utilización de cubiertas vegetales y setos, menor consumo directo de combustible fósil (agroquímicos). Además su contribución al medio ambiente es mucho más extensa, ya que conserva la biodiversidad, calidad de agua (menor contaminación por nitratos y pesticidas), mayor eficiencia energética, menores emisiones de oxido nitroso. (Garcia *et al.*, 2006)

Cuando de compara la agricultura ecológica con la agricultura con agroquímicos (Fig. 16), lo que se observa, después de 15 años, es que los rendimientos de cebada por hectárea de cereal en rotación con veza, presentan una mayor inestabilidad en la agricultura con agroquímicos, debido a variabilidad de las precipitaciones. Si el año es lluvioso y tiene una buena distribución, los fertilizantes

son eficientes y los rendimientos son altos, pero si el año es seco o tiene una mala distribución de las lluvias entonces los rendimientos de la agricultura con agroquímicos es bajo y una fuente de contaminación.

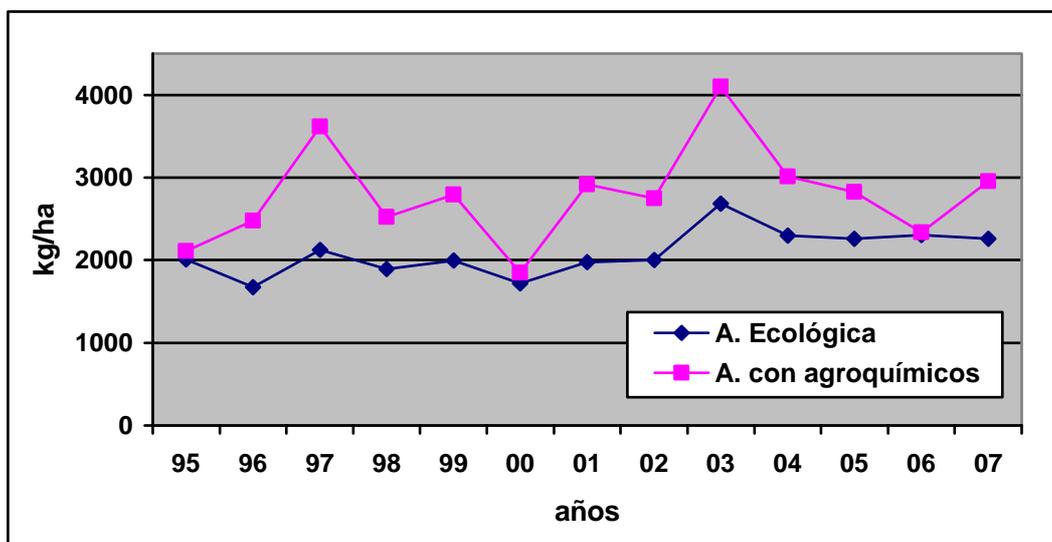


Fig. 16. Evolución de rendimientos de cebada por hectárea de cereal en rotación con veza de 15 años (medias móviles de tres años), en agricultura ecológica y agricultura con agroquímicos. Se observa mayor estabilidad en Agricultura Ecológica.

La viabilidad de un sistema de producción no depende únicamente de sus niveles de rendimientos, sino especialmente de su eficiencia en la utilización de los recursos disponibles. En los momentos actuales la agricultura depende intensamente del consumo de energía no renovable, a través de los fertilizantes (50-60%), los combustibles fósiles (25-40%), los productos fitosanitarios (8%) y la maquinaria (2%) (Fernández-Quintanilla, 1999).

El balance energético, al realizarse al margen de las ayudas, pone al descubierto los manejos más eficientes y por tanto más recomendables para cada región agroclimática. Lacasta y Meco (2008) compararon los tres modelos de producción que se desarrollan en los ambientes semiáridos españoles y que cuentan con objetivos y medios de producción diferente, agricultura convencional, de conservación y ecológica, y concluyeron (Fig. 17):

- La baja eficiencia energética de las Agriculturas Convencional y de Conservación, está en el uso de agroquímicos, que suponen más del 50% de los costes energéticos y no se traducen en un aumento equivalente de la producción, debido a las condiciones ambientales de la submeseta sur, donde los déficit hídricos son frecuentes y por tanto, la eficiencia de los fertilizantes baja. Esta situación se puede agravar en un futuro por el efecto del cambio climático.
- El monocultivo se debe considerar inviable, en los agrosistemas de cereales de ambiente semiáridos de la submeseta sur, porque los valores medios de 15 años, dan valores de productividad energética negativos.
- La Agricultura Ecológica, es la que mejor se adapta a las condiciones ambientales de la mayoría de los secanos españoles, duplicando la productividad energética de las agriculturas con agroquímicos.

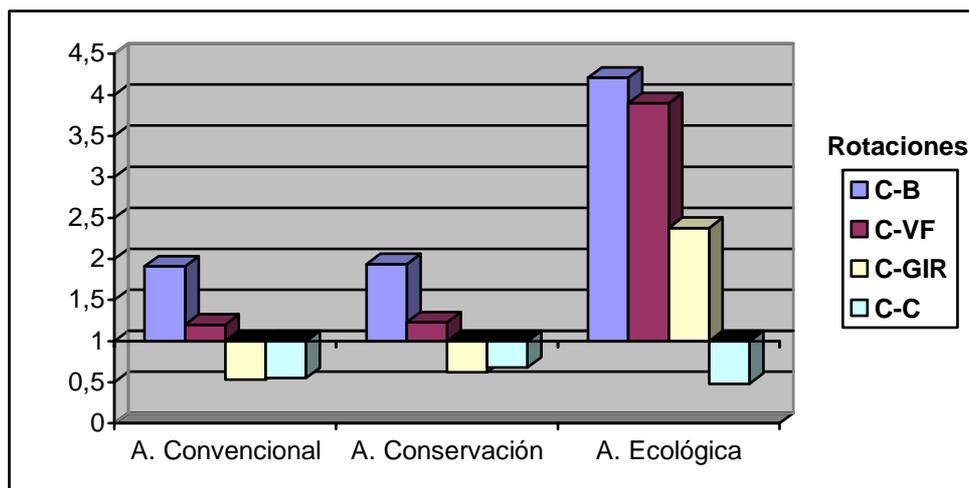


Fig. 17. Eficiencia energética (EE), obtenida de los valores medios de los 15 años de Productividad energética, en diferentes rotaciones considerando tres manejos agrícolas.

## CONCLUSIONES

1. En los últimos 59 años se observa un aumento de los años secos
2. En los últimos 33 años y dentro de la termometría, se destaca el aumento de las temperaturas mínimas en los meses de primavera, con disminución en la frecuencia de las heladas primaverales
3. En el análisis de los rendimientos de cereales en los últimos 45 años, destaca un aumento de la inestabilidad.
4. Los cultivos arbóreos han sido los más beneficiados principalmente por la disminución de las heladas de primavera, llegando en el caso del pistachero a ser un cultivo viable económicamente.
5. El monocultivo de cereal, se debe considerar inviable, en los agrosistemas de cereales de toledanos, tanto por su falta de productividad económica como energética.
6. En la actual situación de cambio climático, los suelos arcillosos producen una mayor estabilidad productiva.
7. La baja eficiencia energética de las Agriculturas Convencional y de Conservación, está en el uso de agroquímicos, que suponen más del 50% de los costes energéticos y no se traducen en un aumento equivalente de la producción, debido a las condiciones ambientales toledanas, donde el déficit hídrico es frecuente y por tanto, la eficiencia de los fertilizantes baja. Esta situación se agravará en el futuro por el aumento del cambio climático.
8. La Agricultura Ecológica, es la que mejor se adapta a las condiciones ambientales de la mayoría de los secanos toledanos, duplicando la productividad energética de las agriculturas con agroquímicos.

## AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al Servicio de Investigación de la Conserjería de Agricultura de la Junta de Comunidades de Castilla La Mancha por la financiación del proyecto "Mejora de la fertilidad del suelo a través de la rotación de cultivos" y de los proyectos de larga duración, origen de este trabajo, así como a Luis Martín de Eugenio y José Ramón Vadillo que sin su entrega a los trabajos experimentales de campo no hubiera sido posible su realización.

## BIBLIOGRAFÍA

- Altieri, M. (1999). Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable. Editorial: Nordan-Comunidad. 338 pp.
- Bello, A., J. A. López-Pérez, M. A. Díez-Rojo, J. López-Cepero, A. García-Álvarez. 2008. Principios ecológicos en la gestión de los agrosistemas. *Arbor, Ciencia, Pensamiento y Cultura* CLXXXIV 729, 2008: 19-29
- Berenjena J. 1997. Efectos del Laboreo sobre el contenido de agua en el suelo En *Agricultura de Conservación: Fundamentos agronómicos, medioambientales y económicos*, pp 53-72. Eds. L García Torres y P González Fernández. Publicado por la Asociación Española Laboreo de Conservación/Suelos Vivos.
- Fernández-Quintanilla, C. (1997). Historia y evolución de los sistemas de laboreo. El laboreo de conservación. En *Agricultura de conservación*. I. García y P. González (eds). *Fundamentos Agronómicos, Medioambientales y Económicos*, Asociación Española de laboreo de Conservación /Suelos Vivos. Córdoba:1-11,
- Fernández-Quintanilla, C. (1999). Impacto ambiental de las prácticas agrícolas. *Agricultura*, nº 810, 1092-1096.
- García, A., M. Laurín, M.J. Llosa, V. Gonzalez, M.J. Sanz, J.L. Porcuna (2006). Contribución de la agricultura ecológica a la mitigación del cambio climático en comparación con la agricultura convencional. *Agroecológica*, nº 1: 75-88
- Garrido, N., M. Mora, J. P. Ortiz, J. P. Álvarez, G. Buendía (2008). Caracterización y distribución de las sequías climáticas en la cuenca del Duero (1946-2005). *Calendario Meteorológico, Ministerio de Medioambiente, España*: 235-242
- Guerrero J., A. Moriana, J.F. Lopez, M.A. Mendiola, M.C. Gijón. 2005. El pistachero: elección de variedad y portainjerto en Castilla La Mancha. *Fruticultura profesional* nº 150: 5-24.
- Hernández, A., J. Pastor, N. Prieto, C. Lacasta (2002) Evaluación de cubiertas de tréboles subterráneos y de vegetación residente encaminada hacia estrategias de manejo para establecer un viñedo ecológico. *V Congreso Sociedad Española de Agricultura Ecológica: La Agricultura Ecológica y Ganadería Ecológica en un marco de diversificación y desarrollo solidario*. I Congreso Iberoamericano de Agroecología: 645-658
- Lacasta, C. (2005). Agricultura de Conservación: Evolución de las producciones y de parámetros químicos y bioquímicos, en sistemas de cereales de secano, sometidos a diferentes manejos de cultivo. *Tierras de Castilla y León-Agricultura* nº 116:48-65
- Lacasta, C. R. Meco (2005). Comportamiento del laboreo de conservación en agrosistemas de cereales en dos suelos de textura diferente. *Congreso Internacional sobre Agricultura de Conservación El Reto de la Agricultura, el Medio Ambiente, la Energía y la Nueva Política Agraria Común*: 485-492
- Lacasta, C., R. Meco, M. Benítez. (2006). El fósforo en los agrosistemas de cereales *VII Congreso Sociedad Española de Agricultura Ecológica: Agricultura y Alimentación Ecológica: Trabajo* 131
- Lacasta, C., E. Estalrich, R. Meco, M. Benítez. (2007) Interacción de densidades de siembra de cebada y rotaciones de cultivo sobre el control de la Flora arvense y el rendimiento del cultivo. *Congreso 2007 de la Sociedad Española de Malherbología*: 191-196.
- Lacasta, C., J.R. Vadillo (2008). El pistachero, una alternativa de cultivo en los ambientes semiáridos españoles para el cambio climático. *VIII Congreso Sociedad Española de Agricultura Ecológica: Cambio climático, biodiversidad y desarrollo rural sostenible*
- Lacasta, C., L. Martín de Eugenio, R. Meco, E. Estalrich, G. Garcia-Muriedas (2003) Laboreo de conservación en cultivos herbáceos de secano, 15 años de experimentación en la provincia de Toledo: *Congreso sobre la naturaleza en la provincia de Toledo*. Instituto Provincial de Investigaciones y Estudios Toledanos. Diputación Provincial de Toledo. 493-510
- Lacasta, C., R. Meco (2008) Productividad energética de cultivos herbáceos, Estudio comparativo de manejos de agriculturas convencional, de conservación y ecológica *VIII Congreso SEAE: Cambio climático, biodiversidad y desarrollo rural sostenible*.
- Lacasta, C., S. Oliver, J. Meseguer (1988). Estudio Agroclimático de cereales y leguminosas en Santa Olalla, Toledo Avances sobre Investigación en Bioclimatología, CSIC, 195-209
- Lacasta. C., R. Meco (2008). Productividad energética de cultivos herbáceos, Estudio comparativo de manejos de agriculturas convencional, de conservación y ecológica. *VIII Congreso Sociedad Española de Agricultura Ecológica: Cambio climático, biodiversidad y desarrollo rural sostenible*.
- Marroquin, A. (2007). Energía, clima y Gaia. *Calendario Meteorológico, Ministerio de Medioambiente, España*: 279-288
- Meco, R., C. Lacasta (2005). No laboreo en olivar y viña: Productividad y parámetros químicos y bioquímicos del suelo. *Congreso Internacional sobre Agricultura de Conservación: El Reto de la Agricultura, el Medio Ambiente, la Energía y la Nueva Política Agraria Común*:499-506
- Rodríguez Ballesteros, C. (2008). Evolución de las temperaturas medias en los últimos 25 años en las capitales de provincia españolas. *Calendario Meteorológico, Ministerio de Medioambiente, España*: 260-273.