

# No laboreo y almacenamiento de agua en los suelos de la campiña andaluza

Resultados del experimento Malagón sobre los efectos del no laboreo, rotaciones y dosis de nitrógeno

En general, el no laboreo no tiene más capacidad de almacenar agua que el laboreo convencional en los vertisoles (bujeos) de la campiña andaluza, aunque existe una tendencia a suministrar más agua en los años más secos. No obstante, está demostrado que la protección del suelo por el no laboreo frente a la erosión es superior, y este hecho terminará a largo plazo manifestándose sobre el almacenamiento de agua y el rendimiento.

Rafael J. López-Bellido<sup>1</sup>, F. Javier López-Bellido<sup>2</sup>, Juan E. Castillo<sup>3</sup> y Luis López-Bellido<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Departamento de Ciencias Agroforestales. Universidad de Huelva.

<sup>2</sup> Departamento de Producción Vegetal y Tecnología Agraria. Universidad de Castilla-La Mancha.

<sup>3</sup> Departamento de Ciencias y Recursos Agrícolas y Forestales. Universidad de Córdoba.

**E**n la región mediterránea, la disponibilidad de agua es el principal factor limitante de la producción agrícola. Bajo estas condiciones, el trigo de secano se siembra hacia el final del otoño, completando su fase vegetativa a mitad del invierno, cuando es inusual que exista déficit hídrico. La fase de encañado a floración transcurre durante los últimos días del invierno y la primavera temprana, período en el cual la disponibilidad de agua es muy variable. Y la fase de llenado del grano se produce en la segunda mitad de la primavera, cuando normalmente las pérdidas por evaporación exceden a la lluvia. Las pérdidas de agua más importantes en las condiciones mediterráneas se producen por la evaporación directa desde el suelo, siendo el drenaje prácticamente inexistente. Corbeels *et al.* (1998) cuantificaron dichas pérdidas en hasta un 80% de la evapotranspiración total estacional.

Los suelos de la campiña andaluza, clasificados como vertisoles (bujeos), se caracterizan por tener un elevado contenido de arcilla, lo que les confiere una mayor capacidad de retención de agua. No obstante, estos suelos son susceptibles de generar sequía por la gran canti-

dad de agua que retienen en el punto de marchitez, y sus pérdidas por evaporación pueden incrementarse por existir un flujo evaporativo adicional desde las paredes de las grietas que se forman en los mismos (Corbeels *et al.*, 1998).

En este contexto, aquellas prácticas de manejo del suelo que alteren los procesos de evaporación por medio de la modificación de la energía disponible (radiación neta, flujo de calor del suelo y flujo de calor sensible), del agua disponible en el perfil del suelo o de la tasa de intercambio entre el suelo y la atmósfera pueden ser de gran utilidad (Hatfield *et al.*, 2001). Bajo la demanda de investigación en este campo, surgió el experimento de larga duración Malagón, ubicado en la campiña de Córdoba e iniciado en 1986. En el mismo se estudia el efecto del sistema de laboreo (no laboreo y laboreo convencional), rotación de cultivo (trigo continuo, trigo-girasol, trigo-garbanzos, trigo-habas y trigo-barbecho) y la dosis de nitrógeno fertilizante aplicada al trigo (0, 50, 100 y 150 kg ha<sup>-1</sup>).

El presente trabajo, sobre el estudio del agua en el cultivo del trigo, se divide en dos partes: primera, la capacidad de almacenamiento de agua del suelo; y segunda, la capacidad del cultivo para utilizarla. En la primera parte, el barbecho de verano-otoño previo a la siembra del cultivo es de especial relevancia. En la segunda, se parte del agua almacenada y se analiza cómo el cultivo utiliza el agua en función de las diferentes técnicas aplicadas.



Parcelas de ensayo del experimento de larga duración Malagón iniciado en 1986 en Córdoba. (Foto: J. Benítez y J. Muñoz).

## Almacenamiento de agua

La mejora de la capacidad de almacenamiento de agua en el perfil del suelo es necesaria para aumentar su disponibilidad para el cultivo. La práctica del no laboreo conlleva la conservación de los residuos en la superficie del suelo; este hecho proporciona protección física al suelo, controlando la erosión eólica e hídrica, e incrementa la infiltración, con el consiguiente beneficio sobre la eficiencia de almacenamiento del agua (Hatfield *et al.*, 2001). La infiltración aumenta porque los residuos protegen al suelo de los impactos directos de las gotas de lluvia, lo que evita la formación de costra necesaria para que exista escorrentía. Los residuos disminuyen la evaporación por la reducción del movimiento del aire sobre la capa próxima al suelo, cambiando el albedo y aislando la superficie del suelo. También, la cantidad y la orientación de los residuos afectan a la eficiencia de almacenamiento del agua de lluvia (Horton *et al.*, 1996).

La forma de analizar el almacenamiento de agua se apoya en la determinación de la eficiencia de almacenamiento de la precipitación (PSE) y del contenido de agua del suelo (entre 0-90 cm de profundidad) en la siembra del cultivo. El índice PSE se calcula dividiendo el incremento del contenido de agua del suelo (diferencia entre el contenido de agua del suelo en cosecha del cultivo precedente y la siembra del cultivo siguiente) entre la precipitación caída en el barbecho de verano-otoño.

### Análisis de eficiencia

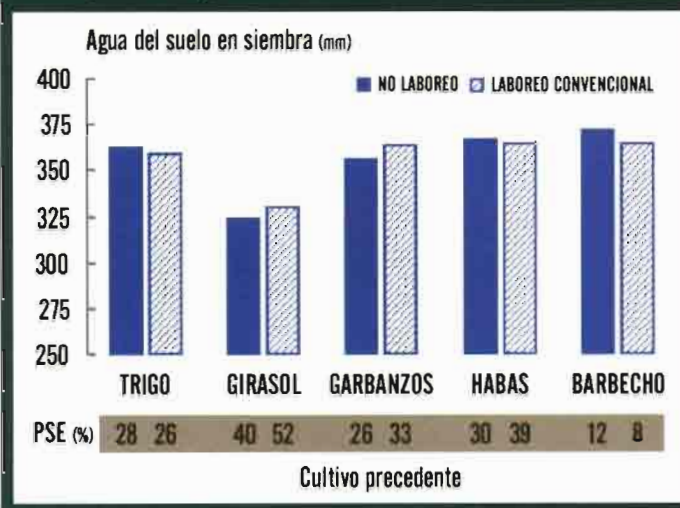
El no laboreo no ha sido más eficiente en el almacenamiento de agua de lluvia que el laboreo convencional en cada una de las rotaciones estudiadas; las pequeñas diferencias que se obtuvieron no fueron significativas (**figura 1**). El índice PSE sí fue muy diferente al comparar las distintas rotaciones: trigo-girasol alcanzó niveles del 45%, diferenciándose del resto de rotaciones; a continuación vienen trigo continuo, trigo-garbanzos y trigo-habas, que no difieren entre sí y que se diferencian del trigo-barbecho. Queda demostrada la incapacidad de aumentar el índice PSE del barbecho cuando el objetivo de esta técnica ha sido y sigue siendo precisamente el almacenamiento de más agua durante un año en climas secos, de cara al cultivo siguiente. El mayor índice PSE de la rotación con girasol fue debido a que el período de barbecho entre cultivos no está sometido a la fuerte evaporación que se produce durante todo el verano, ya que dicho cultivo es recolectado entre mediados y finales de agosto.

Tanaka *et al.* (2005) han destacado que se han realizado importantes progresos para incrementar el almacenamiento de agua del suelo durante el barbecho anual y entre cultivos; sin embargo, la eficiencia del mismo rara vez excede del 40%. Esto significa que al menos el 60% de la precipitación recibida durante el barbecho se pierde por evaporación. Según estos autores, el incremento del nivel de residuos sobre la superficie del suelo durante el barbecho en el no laboreo o en el laboreo mínimo ha contribuido en cierta medida a reducir la evaporación y a controlar la erosión. No obstante, a día de hoy, las prácticas encaminadas a mejorar el almacenamiento del agua del suelo durante el barbecho tienen límites prácticos.

Por lo tanto, parece obvio que se necesitan nuevas estrategias para aumentar la eficiencia de uso de la precipitación. En las condiciones de nuestro estudio, el barbecho es más útil como una herramienta para "sanar" el suelo de diferentes patógenos, como ha quedado demostrado en los años de barbecho acci-

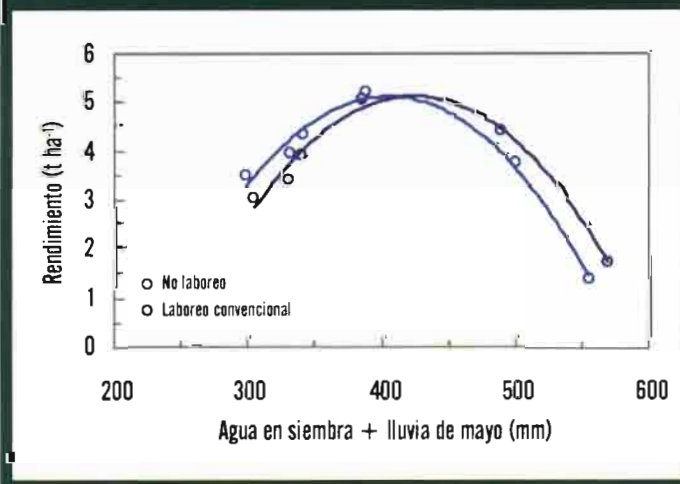
**FIGURA 1.**

Contenido de agua del suelo en siembra (media de seis años) y eficiencia de almacenamiento de la precipitación (PSE; media de dos años) en el cultivo del trigo según el sistema de laboreo y el cultivo precedente.



**FIGURA 2.**

Relación entre el contenido de agua del suelo en siembra más la lluvia registrada durante el mes de mayo y el rendimiento del trigo según el sistema de laboreo. Valores obtenidos de seis años de experimentación en Córdoba.



dental por sequía, en los que el monocultivo de trigo se recuperaba por completo, siendo tan productivo como la rotación trigo-habas. Es interesante destacar como Farahani *et al.* (1998) han mostrado que la mejora de la PSE con la intensificación del sistema de cultivo es debida a la reducción del tiempo de barbecho entre cultivos.

El agua disponible en siembra del trigo mejoró con el no laboreo sólo en el caso de la rotación trigo-barbecho. En el resto de rotaciones no existieron diferencias significativas, excepto en trigo-garbanzos donde el contenido medio de agua del suelo en siembra en el laboreo convencional fue superior (**figura 1**). Antes de intentar explicar algunos resultados, hay que destacar que los seis años de estudio fueron muy peculiares, ya que el período



puede calificarse de lluvioso. La lluvia registrada en el período de estudio varió entre 528 y 938 mm por año. El contenido de agua en siembra estuvo correlacionado con el rendimiento final, aunque dicha relación no ha sido representada. En su lugar se ha mostrado la relación contenido de agua del suelo en siembra más la lluvia registrada durante el mes de mayo con el rendimiento final (**figura 2**). Como han señalado Angus y van Herwaarden (2001), el agua en la fase de llenado del grano (principalmente abarca el mes de mayo) es crucial para que se produzca un buen rendimiento. En caso contrario, se habría generado mucha materia seca pero el rendimiento de grano sería bajo. Esta relación muestra un mayor ajuste y permite extraer de ella varias observaciones:

- La clave para la consecución de un elevado rendimiento está en el contenido de agua del suelo en la siembra.

- El exceso de lluvia tiene un efecto negativo sobre el sistema por las condiciones de encharcamiento que se generan, que impiden la realización de una siembra correcta y afectan el desarrollo normal del sistema radicular del trigo por la escasez de oxígeno.

- El no laboreo tiende a ser más productivo que el laboreo convencional cuando el agua del suelo en siembra y la lluvia caída durante el mes de mayo son inferiores a 410 mm, mientras que la tendencia se invierte al superar esta cantidad. Bajo condiciones muy lluviosas, el no laboreo tiende más fácilmente al encharcamiento que el laboreo convencional por una aparente menor tasa de infiltración, lo cual contradice las aportaciones realizadas por Horton *et al.* (1996).

El mayor contenido de agua del suelo del laboreo convencional, en la siembra del trigo, en la rotación trigo-garbanzos, está relacionado con el desarrollo del cultivo del garbanzo. Éste, en el experimento Malagón, se comporta mejor en el no laboreo que en el laboreo convencional debido a un menor ataque de patógenos de suelo. Este hecho repercute sobre el rendimiento final del garbanzo y sobre el agua consumida, lo que se refleja en el contenido de agua del suelo del trigo siguiente.

## ■ Eficiencia de uso del agua

La eficiencia de uso del agua (WUE) representa el rendimiento de grano por unidad de agua utilizada por el cultivo. La cantidad de agua utilizada por el cultivo (WU) en una estación, la cual incluye la evaporación desde el suelo y la transpiración del cultivo, se determina como la suma de la lluvia en la estación de crecimiento y el contenido de agua del suelo en cosecha menos el contenido de agua del suelo en siembra a la profundidad en la que se desarrolla el sistema radicular del cultivo. Otros términos del balance del agua, como la escorrentía superficial y el drenaje, suelen considerarse normalmente despreciables.

El índice WUE es una medida simple de estimar si el rendimiento es limitado por el agua suministrada o por otros factores. La eficiencia de transpiración y el cociente rendimiento-transpiración son relativamente estables en los cultivos bien manejados; sin embargo, la cantidad de agua utilizada puede ser fuertemente afectada por el manejo del cultivo. De las estrategias encaminadas a incrementar el crecimiento del cultivo en la fase vegetativa debe esperarse que también aumenten el rendimiento de grano, debido a una mayor eficiencia de uso del agua cuando la evaporación y el déficit de presión de vapor son bajos y porque la evaporación del suelo podría reducirse por el rápido establecimiento de la cubierta vegetal (Anderson, 1992).

Sin embargo, un incremento de la proporción de agua transpirada durante la fase vegetativa provocado por la aplicación de nitrógeno fertilizante puede desembocar en una ineficiente utilización de agua, debido a que, al incrementar el nivel de nitrógeno, generalmente se reducen las reservas de carbohidratos solubles disponibles para la retranslocación posterior hacia el grano. En general, un crecimiento vegetativo vigoroso puede producir una reducción del rendimiento en respuesta a un aporte de nitrógeno fertilizante adicional cuando dicho crecimiento es seguido por una sequía extrema (Angus y van Herwaarden, 2001).

El agricultor tiene en su mano la mejora de la WUE mediante un manejo adecuado de los insumos, sistema de laboreo, programación de las rotaciones y, sobre todo, por la organización temporal de estas herramientas de gestión de la explotación. Según Nielsen *et al.* (2005) la WUE se incrementa con las prácticas de manejo del suelo (especialmente con el laboreo mínimo y el no laboreo), que aumentan el almacenamiento del agua y mejoran la capacidad de las raíces para extraer agua del perfil del suelo, por la alteración de las propiedades físicas del mismo al reducirse el tráfico de maquinaria; las secuencias de cultivo que minimizan los períodos de barbecho; y la utilización de las técnicas de cultivo apropiadas (cultivares adaptados, niveles de fertilidad adecuados y un control efectivo de las malas hierbas).

## Rendimiento de grano y diferencias entre rotaciones

En relación al rendimiento de grano, el no laboreo sólo fue más productivo en el monocultivo de trigo, mientras que no existieron diferencias en el resto de rotaciones. Dada la elevada precipitación en los años de estudio, este beneficio puede ir asociado más a una menor severidad de los patógenos de suelo, al no ser removido el mismo, que a una mayor disponibilidad de agua. El efecto del cultivo precedente sobre el rendimiento es más patente; habas y barbecho son las alternativas más productivas, seguidas por garbanzos, girasol y trigo. Por otro lado, la WUE fue superior en el no laboreo para el monocultivo del trigo, mientras que no existieron diferencias en el resto de rotaciones.

Comparando las rotaciones, únicamente el trigo continuo tuvo un nivel más bajo de WUE, no existiendo diferencias entre el

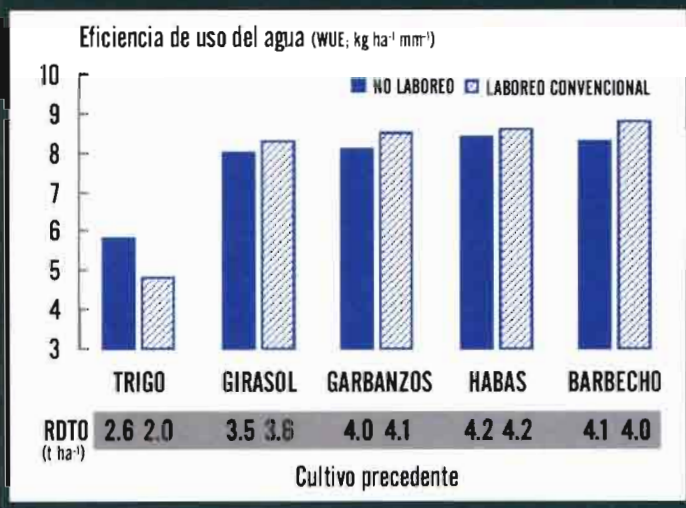


Conservación de los residuos de trigo en la superficie del suelo en no laboreo.  
(Foto: R.J. López Bellido).



### FIGURA 3.

Eficiencia de uso del agua y rendimiento del trigo (RDTO) según el sistema de laboreo y el cultivo precedente. Media de seis años.



resto (figura 3). Sin embargo, Anderson *et al.* (2005) apuntaron que la WUE de algunos cultivos puede ser mejorada por los cultivos precedentes. Una posible razón por la que se produce un incremento de la WUE del trigo en rotación con otro cultivo es la formación de un sistema radicular más sano (Angus y van Herwaarden, 2001), lo que permitiría además una mejor respuesta del cultivo a la aplicación de nitrógeno.

Otro índice de interés para el estudio de la WU es la eficiencia de uso de la precipitación (PUE), definida como la medida del rendimiento de grano por incremento de precipitación. Dicho parámetro no ha sido mostrado, pero su tendencia fue prácticamente igual a la WUE. Quizás lo más destacado del índice PUE es que aumenta con la intensificación del sistema (Hatfield *et al.*, 2001), lo que viene a decir que una mejora de la economía del agua pasa por tener el mayor tiempo posible un cultivo en el terreno. También se ha apuntado que la PUE cambia con el tipo de cultivos implicados en la rotación, debido al diferente coste fotosintético de producción de grasa, proteínas y almidón (Nielsen *et al.*, 2005).

Con la misma finalidad se pueden analizar las rotaciones mediante el índice de interceptación de la precipitación por el cultivo (CPII), el cual se calcula como el porcentaje que representa la precipitación en la estación de crecimiento respecto al total del año para cada cultivo de la rotación (Huang *et al.*, 2003). El nivel de CPII de las rotaciones estudiadas es, de menor a mayor, el siguiente: trigo-barbecho, trigo-girasol, trigo-garbanzos, y al mismo nivel prácticamente, trigo continuo y trigo-habas. A nivel general, se puede decir que el rendimiento estuvo asociado a la longitud de la estación de crecimiento, y más concretamente al valor del CPII, lo que coincidió con los años de siembras más tempranas.

### Conclusiones

En el sistema que se ha estudiado, debido a la fuerte evaporación existente, la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo está muy limitada. La estrategia debe basarse en procurar tener el mayor tiempo posible un cultivo que intente utilizar dicha agua antes de que la capture el fuerte flujo de evaporación exis-



### ESPECIALISTAS EN FERTILIZANTES

En 1905, el ingenio humano echó mano de la naturaleza. Kristian Birkeland y Semi Eyde consiguieron obtener satisfactoriamente electricidad del agua para fijar nitrógeno del aire. Habían nacido los fertilizantes minerales y con ello había nacido Norsk Hydro.

Yara lleva 100 años compartiendo el "Know How" con la experiencia de los agricultores y el conocimiento técnico comercial de nuestros colaboradores locales, con lo que hemos conseguido convertirnos en líderes globales en la comercialización de fertilizantes minerales. Hemos asumido un papel muy importante en la producción sostenible de productos alimenticios.





tente. Se trata, en definitiva, de intensificar el sistema, aunque pueda resultar paradójico. En general, el no laboreo no tiene más capacidad de almacenar agua en los vertisoles que el laboreo convencional, aunque existe una tendencia a suministrar más agua en los años más secos. A nivel del agua suministrada y el rendimiento, se puede afirmar que ambos sistemas son iguales ya que la variabilidad de las condiciones climáticas interanuales tiende a compensar los posibles beneficios o perjuicios de cada sistema para cada año concreto. No obstante, está demostrado que la protección del suelo por el no laboreo frente a la erosión es muy superior, y este hecho terminará a largo plazo manifestándose sobre el almacenamiento de agua y el rendimiento.

La rotación de cultivo se revela como un factor mucho más clave en la economía del agua. La realización de un barbecho desnudo anual puede considerarse inútil para el almacenamiento del agua, además de que se asumen importantes riesgos de erosión, sobre todo en el laboreo convencional. Es necesario destacar en este sentido la aberración ambiental que ha supuesto durante estos años el "barbecho obligatorio" auspiciado por la PAC, cuando lo lógico hubiera sido potenciar la utilización de cultivos de cobertura con la única finalidad de proteger el suelo.

La rotación trigo-girasol, que tan buena sincronización tiene en la utilización del nitrógeno (López-Bellido *et al.*, 2003), no es tan interesante desde el punto de vista del uso del agua a pesar de mostrar una elevada PSE, por tener el girasol un CPIL muy bajo, que expone al suelo al riesgo de erosión otoñal e invernal. Los intentos que en el pasado se realizaron para adaptar el cultivo del girasol a una siembra otoñal deberían retomarse en la actualidad con las nuevas herramientas con las que cuenta la genética.

Dadas las variables condiciones climáticas del Mediterráneo, no deberían realizarse rotaciones muy planificadas y rígidas, sino más bien hacer un cultivo de oportunidad, en función de la disponibilidad de agua. El objetivo debería ser cultivar siempre que las condiciones sean o puedan ser favorables y no de acuerdo con una programación predeterminada.

Finalmente, hay que recalcar que en unas condiciones ambientales donde el déficit de presión de vapor se incrementa a lo largo de la estación de crecimiento, el establecimiento temprano del cultivo es beneficioso en términos de eficiencia de transpiración y WUE. La práctica habitual de sembrar el trigo entre finales de noviembre y principios de diciembre debe ser sustituida por una siembra más temprana. El problema puede estar en la falta de adaptación de los cultivares existentes a una siembra

temprana. La mejora de los trigos en las condiciones mediterráneas durante los últimos años ha estado demasiado focalizada en la resistencia a enfermedades foliares, sin plantearse la importancia de la WUE en primera instancia y la eficiencia de uso del nitrógeno en segunda. Los cultivares deben poder sembrarse más temprano y tener un desarrollo muy rápido para incrementar la transpiración. Otra línea de trabajo de interés en relación con la WU, que ya se ha iniciado en Australia, es la mejora de la tecnología de la siembra en seco tanto desde el punto de vista biológico como físico. ■

#### AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido financiada por el Plan Nacional I+D+I (proyectos AGL2000-0460 y AGL2003-03581). Los autores agradecen la colaboración de la empresa ABECERA SA, propietaria de la finca Malagón y de Nickerson Sur y Fertiberia, y la valiosa ayuda de Joaquín y José Muñoz en los trabajos de campo y laboratorio.

## Bibliografía

- Anderson, 2005. Are Some Crops Synergistic to Following Crops? *Agron. J.* 97:7-10.
- Anderson, 1992. Increasing grain yield and water use of wheat in a rainfed Mediterranean-type environment. *Aust. J. Agric. Res.* 43:1-17.
- Angus y van Herwaarden. 2001. Increasing water use and water use efficiency in dryland wheat. *Agron. J.* 93:290-298.
- Corbeels *et al.*, 1998. Analysis of water use by wheat grown on a cracking clay soil in a semi-arid Mediterranean environment: weather and nitrogen effects. *Agr. Water Manage.* 38:147-167.
- Farahani *et al.*, 1998. Dryland cropping intensification: A fundamental solution to efficient use of precipitation. *Adv. Agron.* 64:225-265.
- Hatfield *et al.*, 2001. Managing soils to achieve greater water use efficiency: a review. *Agron. J.* 93:271-280.
- Horton *et al.*, 1996. Crop residue effects on surface radiation and energy balance - Review. *Theor. Appl. Climatol.* 54:27-37.
- Huang *et al.*, 2003. Water use efficiency and sustainability of different long-term crop rotation systems in the Loess Plateau of China. *Soil Till. Res.* 72:95-104.
- López-Bellido *et al.*, 2003. Nitrogen uptake by sunflower as affected by tillage and soil residual nitrogen in a wheat-sunflower rotation under rainfed Mediterranean conditions. *Soil Till. Res.* 72: 43-51
- Nielsen *et al.*, 2005. Efficient water use in dryland cropping systems in the Great Plains. *Agron. J.* 97:364-372.
- Tanaka *et al.*, 2005. Crop Sequencing to Improve Use of Precipitation and Synergize Crop Growth. *Agron. J.* 97:385-390.

# COSECHADORAS DE OCASION

Importadas de la Unión Europea ¡¡Como a estrenar!!  
**NEW HOLLAND TX 68, TX 66, TX 64, TX 36, TX 34, 8080, 8070, 8050**  
 Empacadoras gigantes New Holland. Consultar otras marcas y modelos



**Enrique Segura, s.l.**

Pol. Ind. Sector 4, num. 9  
 Tel. 976 18 50 20 Fax 976 18 53 74  
 50830 Villanueva de Gállego (Zaragoza)  
 E-mail: enrique@enriquesegura.com

Consulte nuestras novedades en: [www.enriquesegura.com](http://www.enriquesegura.com)