

Escarda mecanizada entre líneas y en la línea de cultivo como alternativa al uso de herbicidas

Alternativas al uso de agroquímicos en cultivos en líneas

Manuel Pérez Ruiz¹ y Juan Agüera Vega²

¹ Dpto. de Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de Fluidos. Área de Ingeniería Agroforestal. Universidad de Sevilla.

² Dpto. de Ingeniería Rural. Universidad de Córdoba.



Actualmente, el sector agrícola español usa herbicidas selectivos y no selectivos y, aunque para algunos cultivos existen herbicidas selectivos, en la sociedad sigue existiendo una gran preocupación por la aplicación de productos químicos sintéticos. Gerhards y Christensen (2006) indican que las prácticas de escarda mecanizada se han reducido en las últimas décadas, sin embargo, el uso de herbicidas no ha eliminado los problemas de malas hierbas en la agricultura. Usando algunas áreas de las disciplinas de la automatización y robotización se puede conseguir una mayor reducción de insumos e incluso en algunos casos se pueden llegar a eliminar por completo los tratamientos herbicidas (Pérez y Agüera, 2009).

Desde tiempos inmemorables, una de las opciones para controlar las malas hierbas en los cultivos ha sido la de utilizar métodos mecánicos. Según ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers) y autores relevantes en el campo del laboreo (por ejemplo, Wicks *et al.*, 1995) coinciden en definir el laboreo como la manipulación mecánica del suelo para cualquier propósito, pero por lo general para la mejora de la producción del cultivo. Son varios los objetivos que persigue el laboreo en agricultura:

- Desarrollar una estructura óptima para infiltración y retención del agua, intercambio den-

El control de la mala hierba en la producción agrícola en España se basa en el uso de desinfectantes de suelo, pases de cultivador entre líneas del cultivo hasta que el desarrollo vegetativo lo permite y tratamientos herbicidas. Un adecuado manejo localizado de estas operaciones permite a los productores una reducción del uso de herbicidas y una optimización en el uso de operaciones mecánicas, consiguiendo de esta forma la sostenibilidad y la reducción de la presencia de residuos en la alimentación humana.

- tro del suelo, penetración de las raíces, etc.

- Control de las malas hierbas.

- Incorporación de restos de cosecha al suelo.

- Establecer configuraciones específicas del suelo para las operaciones de plantar, regar, drenar y cosechar.

- Incorporar y mezclar fertilizantes, abono, pesticidas o enmiendas en el suelo.

El laboreo puede ser dividido en tres categorías: laboreo primario, laboreo secundario y laboreo terciario (Wicks *et al.*, 1995). Primario y secundario se usan como preparación del te-

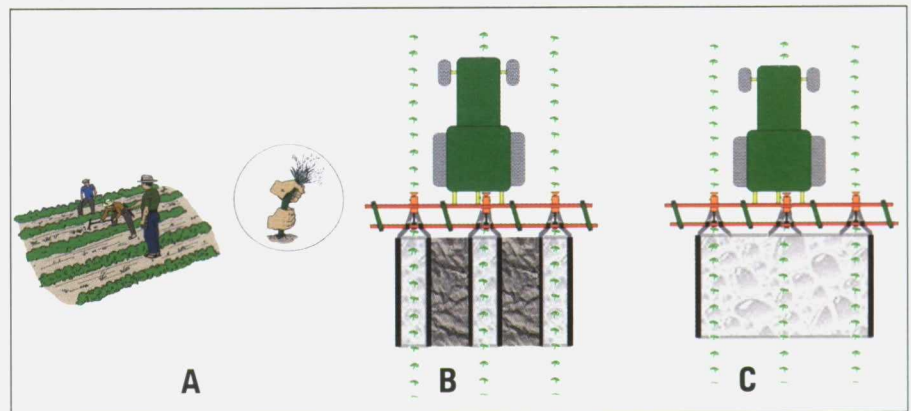
rreno antes de incorporar la semilla o la planta a la parcela, mientras que el laboreo terciario tiene lugar después de la siembra o plantación con el objetivo de controlar las malas hierbas y reducir la compactación superficial entre las líneas de cultivo, también conocido como escarda mecanizada (Cloutier and Leblanc, 2001). Los aperos utilizados para llevar a cabo el laboreo se denominan cultivadores y se encuentran normalmente constituidos por un bastidor metálico en el que se configuran elementos de control de profundidad (ruedas), enganche al tractor, dispositivos de control y protección, componentes de transmisión de energía, elementos de labranza, sistemas de guiado, etc.

La escarda mecanizada, en general, elimina de forma óptima la mala hierba que crece entre líneas de cultivo, pero no elimina la que crece dentro de la línea de cultivo durante el período en que la competencia por nutrientes, agua y radiación solar entre mala hierba y cultivo es crítica (Slaughter *et al.*, 2008). Este hecho lleva a la necesidad de tener que eliminar la mala hierba de la línea del cultivo con escarda manual, aplicación en bandas de herbicidas en la línea de cultivo o, en el peor de los casos, aplicaciones de herbicidas uniformes en todo el cultivo (forma habitual de operar en muchos cultivos en España) (figura 1).

Motivados fundamentalmente por dos factores de peso, consumidores y Gobiernos demandan una reducción en las aplicaciones de agroquímicos y conseguir la competitividad necesaria en muchos cultivos reduciendo los costes de producción. Planteamos la escarda mecanizada tanto entre líneas como en la propia línea de cultivo como alternativa al uso de herbicidas en los cultivos sembrados/plantados en líneas. Para tener información que nos permita poder tomar decisiones sobre el uso de algún método, se ha realizado una breve revisión de equipos comerciales y equipos en des-

FIGURA 1

Eliminación de la mala hierba en líneas del cultivo: **A)** escarda manual, **B)** aplicación de herbicidas en bandas y **C)** aplicación de herbicida uniforme.



arrollo que pretenden la total eliminación del uso de herbicidas, separándolos en equipos que realizan la escarda entre líneas y equipos que realizan la escarda en la línea de cultivo.

Escarda realizada entre líneas de cultivos

El uso de estos equipos, también conocidos como cultivadores entre líneas, está bastante generalizado y son bien conocidos por todo tipo de agricultores, incluidos aquéllos que practican técnicas de agricultura ecológica. El objetivo de este apero es labrar la zona existente entre línea de cultivo y línea de cultivo, consiguiendo de esta forma, entre otros, el control de la mala hierba, la aireación de las raíces, mejorar la infiltración del agua y reducir la compactación superficial en cultivos como remolacha, maíz, ajo, girasol, algodón, tabaco, etc.

En general, estos equipos se encuentran formados por un bastidor, como hemos comentado anteriormente, en el cual se montan un conjunto de elementos de labranza de un

mismo tipo, o bien combinados, correctamente distribuidos. El ancho de este tipo de aperos y el número de elementos depende fundamentalmente del ancho de trabajo que se quiera conseguir y la distancia y el número de cuerpos del equipo utilizado en la operación de siembra. Para un buen trabajo de estos equipos es interesante montar el mismo número de espacios entre líneas que tiene la sembradora, la plantadora o fracción de ésta, ya que las pasadas adyacentes rara vez coinciden exactamente en equidistancia y paralelismo. Las limitaciones que se pueden presentar a la hora de trabajar con estos equipos son cuatro:

- Realizar el trabajo cuando el cultivo no se encuentre muy alto.
- Velocidades del tractor altas.
- Excesiva aproximación al cultivo.
- Cambio de la dirección del vehículo y/o el cultivador.

Si no son atendidas estas limitaciones de forma correcta se puede provocar un potencial aumento del riesgo de daños accidentales en el cultivo. Las dos primeras limitaciones son fácilmente abordables, se podrían conseguir con una experiencia y/o conocimiento previo de las características y técnicas de cultivo.

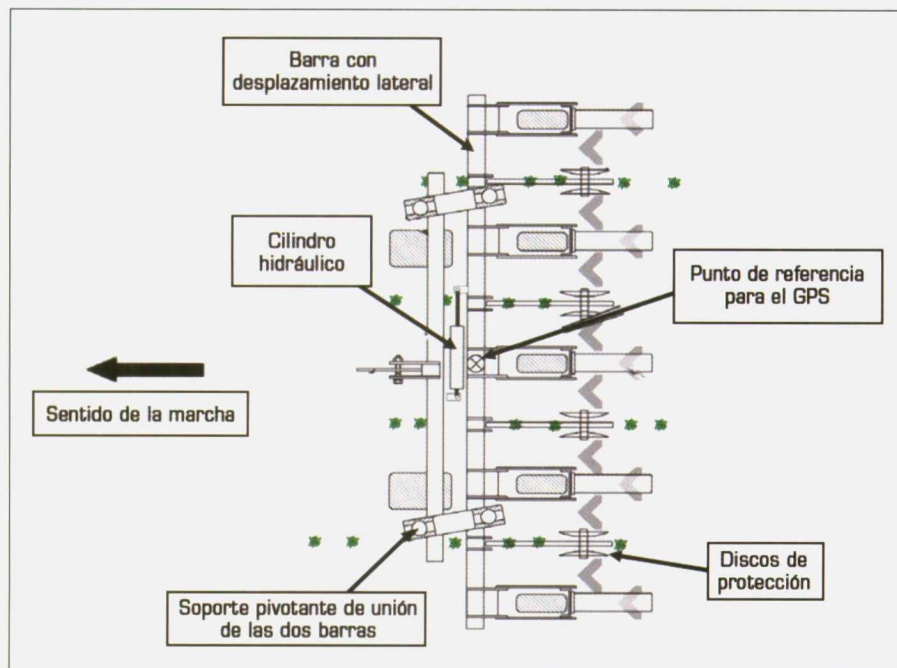
Actualmente, se está trabajando para dar respuesta con mayor eficacia y precisión en diferentes cultivos a las dos últimas limitaciones. Por todos es conocido que las pérdidas del cultivo se deben a la alteración del suelo cerca del cultivo y que a mayor separación de las rejas del cultivador al cultivo menor efectividad en el control de la mala hierba. Llegados a este punto aparece un conflicto de intereses en-

Usando algunas áreas de las disciplinas de la automatización y robotización,

se puede conseguir una mayor reducción de insumos e incluso en algunos casos se pueden llegar a eliminar por completo los tratamientos herbicidas

FIGURA 2

Cultivador entre líneas convencional con barra de desplazamiento lateral controlada por un el sistema RTK-GPS (Trimble MS750).



tre: maximizar el área tratada y con ello aumentar la eficiencia y la eliminación de la mala hierba y reducir al mínimo las pérdidas de producción por daños en el cultivo. Por lo tanto el ajuste del ancho de trabajo de las rejas se convierte en un factor muy importante para lograr un buen resultado en la utilización de una técnica de cultivo como ésta. En el caso de la remolacha con aproximaciones de 10 cm al cul-

tivo se ha llegado a conseguir hasta un 80% del área tratamiento (Tillet *et al.*, 2002).

En la última década, se han logrado importantes avances en ordenadores instrumentación y sensores que han permitido el inicio de la automatización e incorporación de las nuevas tecnologías en muchas operaciones agrícolas (Bak y Jacobsen, 2004; Griepentrog *et al.*, 2007; Kise *et al.*, 2005). Particularmente el

uso de los sistemas GPS (RTK GPS ~ 2-3 cm) ha permitido automatizar los desplazamientos laterales de los cultivadores, logrando de esta forma una aproximación adecuada al cultivo y, sustituyendo a la persona, que en algunos cultivadores entre líneas, guía a éste montado en el propio cultivador (figura 2).

Los cultivadores entre líneas difieren fundamentalmente en el elemento de labranza, existiendo una gran variedad: cultivador de reja, escardador de cepillo de eje horizontal y vertical, rotocultor de eje horizontal y vertical, etc. Presentamos aquí algunos datos de interés y características técnicas y económicas de cada uno de ellos.

Escardador de rejas

Este tipo de cultivadores elimina la mala hierba cortándola 1-2 cm por debajo de la superficie. Cuando es usado en cultivos en caballones, la tierra desplazada cubre a las malas hierbas de menor tamaño provocándoles la muerte. Puede ser usado en cualquier cultivo sembrado o plantado con separación entre líneas de 15 cm o superior. Una velocidad de trabajo habitual de estos equipos es de 4-7 km/h, pero si el tractor o el apero disponen de un sistema de guiado se podrían llegar a velocidades de 15 km/h. Dependiendo del cultivo, el ancho de trabajo y la velocidad, la capacidad puede variar entre 0,5 y 2 ha/h. Su precio indicativo es de 8.500 € (anchura de trabajo de 6 m, doce líneas) (foto 1).

Escardador de cepillos de eje vertical y horizontal

Este cultivador elimina la mala hierba arrancándola superficialmente y dispone de un cepillo por cada entre línea. El suelo no debe ser demasiado duro o fino, si es duro el cepillo no es capaz de extraer la raíz de la mala hierba y fácilmente volverá a brotar. Si, por el contrario, el suelo está demasiado húmedo quedará adherido a las cerdas. Para reducir daños en el cultivo se pueden utilizar túneles de protección sobre el cultivo. La separación entre líneas podrá variar entre 25 y 75 cm, con velocidades de trabajo habituales entre 2 y 4 km/h con una capacidad de trabajo de 0,5-1 ha/h. El precio indicativo del cepillo de eje horizontal es de 8.500 € (3 m, seis líneas, con protección de cultivos). A pesar de que estos cepillos de eje vertical son más ajustables y precisos son de difícil adquisición (elevado coste) por



Foto 1. Cultivador de rejas de doce líneas con disco de protección de cultivo.

FIGURA 3

Escardador de cepillos de eje vertical.

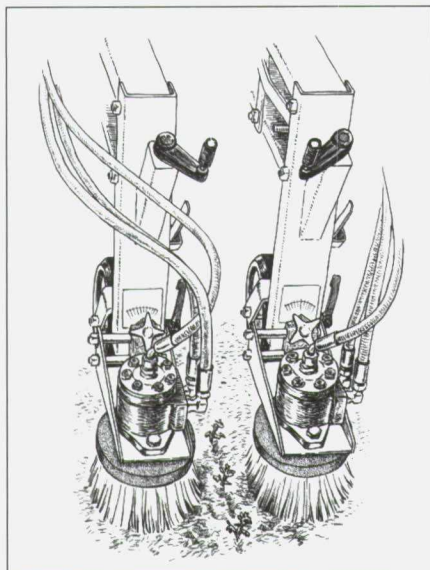


Foto 2. Rotocultor de eje vertical con túnel de protección del cultivo (Struik Wieringermeer BV).

lo que actualmente son más usados los cepillos de eje horizontal, con los que se han obtenido eficacias aceptables (Pardo *et al.*, 2005) (figura 3).

Rotocultor entre líneas

Dentro de los motocultores podemos encontrar dos tipos: rotocultor de eje horizontal y rotocultor de eje vertical.

Rotocultor de eje horizontal

Arranca las malas hierbas de hasta 15 cm y las cubre con tierra. El suelo debe estar no demasiado húmedo y a nivel. Son equipos que se pueden aproximar mucho al cultivo y muy eficaces en el control de malas hierbas. Sin embargo, los equipos con ejes horizontales requieren ajustes importantes que consumen tiempo. Puede

producir daños en la raíz del cultivo si está sembrado profundo (>4 cm). Está pensado para una separación entre líneas de más de 30 cm, con velocidades de trabajo de entre 3 y 7 km/h y una capacidad de 0,75 ha/h con un ancho de trabajo de 3 metros. Su precio indicativo es de 9.000 € (3 m y seis líneas).

Rotocultor de eje vertical

En general, está formado por dos rotores por cada calle impulsados por la toma de fuerza, tienen la particularidad de que la distancia entre ellos puede ser configurada dependiendo de la distancia entre líneas con una muy buena aproximación al cultivo. Al igual que los rotocultores de eje horizontal, arranca y entierra la mala hierba. Trabaja muy bien para separación de líneas de 50 cm o superiores y a una profundidad de 2-

3 cm. Su velocidad de trabajo es de 3-8 km/h con una capacidad de trabajo de 0,75 ha/h y un ancho de trabajo de 3 m. El precio indicativo es de 10.000 € (3 m y cuatro líneas) (foto 2).

Escarda realizada en la línea de cultivo

Hoy en día el problema que más preocupa al agricultor es sin duda la eliminación de la mala hierba en la propia línea del cultivo. Hasta el momento no son muchos los equipos comerciales que se pueden encontrar, y los pocos que existen llevan montados sensores e instrumentación, para la detección de la planta/línea y guiado del vehículo, que hacen que el precio no sea de momento atractivo para el agricultor. Los sistemas de guiado automáticos con RTK-GPS o detección

Expertos en tecnologías aplicadas a la nutrición vegetal.

COMPO EXPERT**EXPERTS
FOR GROWTH****DuraTec®**

**Doble tecnología, doble eficacia.
Abono de fondo para sus cultivos.**

DuraTec® es el NUEVO abono diseñado con las tecnologías más avanzadas en nutrición de cultivos: NET (Eficiencia en el uso del nitrógeno) y CAR (liberación continua de nutrientes a largo plazo). DuraTec® es el abono seguro: los nutrientes no se pierden y los cultivos rinden más, de forma respetuosa para el medio ambiente.



COMPO EXPERT
C/Joan d'Austrà 39-47
08005 Barcelona
Tel.: +34 93 224 72 22
Fax: +34 93 221 41 93
www.compo-expert.es

de hileras permiten maximizar el área escardada (91-95%) aumentando la velocidad y reduciendo el coste (Kurstjens, 1999). El no usar equipos que escarden la línea del cultivo implica que aproximadamente del 10-20% de la superficie del cultivo tiene que ser controlada por tratamientos en bandas o de forma manual.

Escardador de dedos

El cultivador de dedos se encuentra formado por un par de conos truncados de acero a los cuales se les fijan los denominados dedos o estrellas cultivadoras. Estos dedos pueden ser contruidos en diferentes tamaños y dureza, siendo su movimiento impulsado por el suelo. El cultivo es centrado entre los dos conos y los dedos enfrentados entre sí en la línea eliminan las plántulas jóvenes de mala hierba existente entre planta y planta de cultivo. La plántula de mala hierba es arrancada y además es expulsada de la línea de cultivo. La separación entre conos puede ser configurada de manera que se eviten daños en el cultivo. En el norte de Europa prácticamente se ha sustituido la escarda manual en horticultura ecológica (Leinonen *et al.*, 2004).

En comparación con los equipos vistos anteriormente, para trabajos entre líneas, el cultivador de dedos tiene la desventaja de que necesitan una muy buena aproximación a la línea de cultivo, y por tanto su capacidad de trabajo es relativamente baja, 1 ha/h con un ancho de trabajo de 3 m. Cuando el cultivo es joven la aproximación de los dedos es de 2 cm, pero esta distancia se puede ir reduciendo una vez que las plan-

tas del cultivo estén arraigadas. Los dedos pueden llegar a solapar en cultivos resistentes hasta un máximo de 5 cm. Su precio indicativo es de 600 € por línea (3.600 €, seis líneas) (**foto 3**).

Escardador de torsión

Este equipo se encuentra formado por una pareja de púas conectadas a una estructura rígida e inclinada con respecto a la horizontal un cierto ángulo para que se produzca el ataque a la línea de cultivo. La parte final de las púas, la que se encuentra en contacto con el suelo, está formada por segmentos cortos metálicos que trabajan muy juntos y paralelos a la superficie del suelo, incluso se pueden solapar. Las púas producen el arranque de las malas hierbas de forma muy superficial, variando el diámetro de las púas se permitirá un tratamiento más o menos agresivo (5-6 mm a 9-10 mm). Pueden ser usados con otros equipos de escarda y para un buen traba-

jo necesitan de un sistema de guiado. La capacidad de campo está en 1 ha/h y la velocidad de trabajo es de 4-12 km/h. Su precio indicativo es de 125 € por línea (750 euros, seis líneas).

Escardador neumático

Éste elimina las malas hierbas superficiales dentro de la línea de cultivo utilizando aire a presión obtenido de un compresor conectado a la toma de fuerza del tractor. Las boquillas de salida del aire se sitúan a cada lado de la línea de cultivo. La agresividad del tratamiento aumenta con la reducción de la distancia entre boquillas y con el aumento de la presión de aire que, con plantas bien arraigadas puede estar en torno a las 10 atm. Su capacidad de trabajo es de 1 ha/h con 3 m de ancho de trabajo y a una velocidad de 4-12 km/h. El precio indicativo es de 9.000 € (seis líneas).

Escardador de llama

Este equipo interrumpe y destruye los tejidos celulares de la planta. No se encuentra muy extendido debido a su coste y al gasto de combustible (80-120 l/ha), pero existen algunos equipos comerciales que usan como combustible una mezcla de propano y butano generando temperaturas superiores a 1.900°C, siendo las temperaturas medidas utilizadas en ensayos de campo de entre 1.200-1.350°C (Ascard, 1998). Su precio indicativo es de 20.000 € (tratamiento a toda la superficie y 3 m de ancho de trabajo) (**foto 4**).

En la Universidad de Davis (California)

se ha desarrollado un sistema que permite eliminar la mala hierba que crece entre plantas de forma mecánica, sin ningún tipo de aplicación química

Equipos de escarda inteligentes

El uso de equipos inteligentes es necesario para conseguir un buen control selectivo de la mala hierba y el menor daño posible en el cultivo. De los primeros equipos que aparecieron de forma comercial podemos destacar el construido por la compañía francesa Sarl Radis (www.radismecanisation.com) y la inglesa Garford (www.garford.com). Ambos equipos son muy similares y disponen de un sistema de detección de la planta basado en la intercepción de la luz reflejada y una reja entra y sale de la línea de cultivo evitando la planta de cultivo y eliminando la mala hierba. Este equipo fue construido pensando en el cultivo de lechuga transplantada, es muy eficaz, pero sólo cuando las malas hierbas son menores que el cultivo. La velocidad de trabajo está limitada a 3 km/h. Su precio estimado es de 16.000 € (1,5 m, cuatro líneas) (**figura 4**).



Foto 3. Escardador de dedos trabajando sobre cultivo de remolacha.

FIGURA 4

Equipo Robocrop InRow de la compañía Garford (www.garford.com).

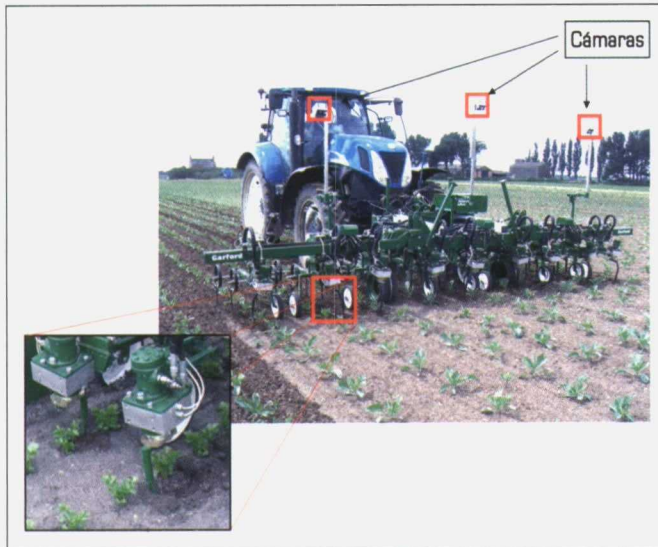


Foto 4. Equipo prototipo de escarda térmica.

riormente este mapa es usado como información para poner en funcionamiento una cuchilla neumática. Cuando esta cuchilla se desplaza por la línea de tomate y encuentra la coordenada registrada (planta de tomate) ésta

Renuncia de responsabilidad

La mención de productos comerciales, servicios, marcas, fabricantes, organizaciones, o estudios de investigación en esta publicación no implica la aprobación por parte de los autores, o de las Universidades a las que pertenecen. El no mencionar otros productos, servicios, marcas, fabricantes, organizaciones, o estudios de investigación similares no implica la discriminación hacia éstos.

En cuanto a la investigación existen varios grupos a nivel mundial que dedican su esfuerzo al desarrollo de equipos mecánicos. En la Universidad de Davis (California), se ha desarrollado un sistema que permite eliminar la mala hierba que crece entre plantas de forma mecánica, sin ningún tipo de aplicación química. Para ello, en primer lugar se ha montado un equipo RTK-GPS en una transplantadora convencional de tomate, que permite obtener un mapa con la georreferenciación de cada una de las plantas, justo en el mismo momento de hacer la plantación. Poste-

se abre y, unos centímetros después de pasarla, vuelve a cerrarse y a eliminar toda la mala hierba que crece entre plantas de tomate, a la espera de encontrar la siguiente planta de tomate y volverse a abrir (Slaughter *et al.*, 2010) (figura 5).

Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación del proyecto INIA N° RTA 2006-00058-C03-03 y al proyecto 2010/00000396 de la Universidad de Sevilla con AIMCRA.

Bibliografía

- Ascard, J. 1998 Comparison of flaming and infrared radiation techniques for thermal weed control. *Weed Research* 38, 69-76.
- Bak, T., Jacobsen, H., 2004. Agricultural robotic platform with four wheel steering for weed detection. *Biosyst. Eng.* 87, 125-136.
- Bleeker, et al., 2006. Practical weed control in arable farming and outdoor vegetable cultivation without chemicals. *Applied Plant Research*. Wageningen UR. PPO 352
- Cloutier, D. and Leblanc, M.L. 2001. Mechanical weed control in agriculture. In: Vincent, C., Panneton, B. and Fleurat Lessard, F. (ed) *Physical Control in Plant Protection*. Springer-Verlag, Berlin, Germany, and INRA, Paris, France, pp. 191-204.
- Gerhards, R. and Christensen, S. 2006. Chapter 6: Site-specific weed management. In: Srinivasan, A. (Ed.), *Handbook of Precision Agriculture: Principles and Applications*. The Haworth Press, Inc., New York, pp. 185-205.
- Griepentrog, H.W., M. Noerremark, J. Nielsen, and J. S. Ibarra: "Autonomous Inter-Row Hoeing using GPS-based side-shift control". *Agricultural Engineering International: the CIGR journal*. Manuscript ATOE 07 005. Vol. IX, July, 2007.
- Kise, M., Zhang, Q., Rovira Más, F. 2005. A stereovision-based crop row detection method for tractor-automated guidance. *Biosyst. Eng.* 90, 357-367.
- Kurstjens, D., Kownhoven, J., Bleeker, P., Van der Weide, P., Ascard, J., Baumann, D. 1999. Recent developments in physical weed control. 11th EWRS Symposium. Basel, Excursion to FAL. 12 pp.
- Leinonen, P., Saastamoinen, A. and Vilminen, J. 2004. Finger weeder for cabbage and lettuce cultures. 6th Workshop on Physical and Cultural Weed Control, Lillehammer, Norway, 98.
- Pardo, G., Suso, M., Pardo, A., Anzalón, A., Cirujeda, A., Fernández-Cavada, S., Albar, J., Zaragoza, C. 2005. Different weed control systems in tomato. 13th EWRS Symposium, Bari, Italy.
- Pérez M.; J. Agüera. 2009. Aplicaciones que optimizan el ahorro energético en agricultura de precisión. *Vida Rural*. 293:26-30.
- Slaughter, D.C., Giles, D.K., Fennimore, S. A., Smith, R.F. 2008a. Multispectral Machine Vision Identification of Lettuce and Weed Seedlings for Automated Weed Control. *Weed Technol.* 22: 378-384.
- Slaughter, D.C., Pérez, M., Gilever, C., Upadhyaya, S., Sun, H. 2010. Automatic weed control system for processing tomatoes. XVII World Congress of the International Commission for Agricultural Engineering (CIGR). Québec City, Canada. June 13-17, 2010.
- Sun, H., Slaughter, D.C., Pérez, M., Gilever, C., Upadhyaya, S.K. and Smith, R.F. 2010. RTK GPS mapping of transplanted row crops. *Computers and Electronics in Agriculture*, 71(1), 32-37.
- Tillett, N. D., Hague, T., & Miles, S. J. (2002). Inter-row vision guidance for mechanical weed control in sugar beet. *Computers and Electronics in Agriculture*, 33(3), 163-177.
- Wicks, G.A., Burnside, O.C. and Warwick, L.F. (1995). *Mechanical weed management*. In: Smith, A.E. (ed) *Handbook of Weed Management Systems*. Marcel Dekker, New York, pp. 51-99.

FIGURA 5

Escarda mecánica en la línea del cultivo con cuchilla neumática utilizando mapa de plantas de alta precisión (Sun *et al.*, 2010; Slaughter *et al.*, 2010).

