

# Utilización de sensores de ultrasonidos para discriminar malas hierbas en cultivos de maíz

Dionisio Andújar, Cesar Fernández-Quintanilla, José Dorado (Instituto de Ciencias Agrarias, ICA (CSIC), Madrid)

Àlex Escolà-Agustí (Departament d'Enginyeria Agroforestal, Universitat de Lleida, Lleida)

En este estudio se ha evaluado la posibilidad de utilizar sensores de ultrasonidos para discriminar grupos de malas hierbas en cultivos de maíz. Para ello, se ha diseñado un sistema de muestreo consistente en un sensor de ultrasonidos y un equipo de posicionamiento GPS, cuyas señales eran recogidas en un ordenador portátil capaz de registrar los datos transformados procedentes de los ecos generados por la vegetación y/o el suelo desnudo. Las pruebas de campo se realizaron en dos parcelas de maíz, donde existían poblaciones naturales de *Sorghum halepense* y las dicotiledóneas *Datura* spp. y *Xanthium strumarium*, en dos fechas diferentes y trabajando tanto en modo estático como en dinámico. Los resultados en estático revelaron una alta capacidad de discriminación entre grupos, clasificando correctamente el 81% de las muestras de *S. halepense* y el 99% en el caso de dicotiledóneas. Las medidas en dinámico confirmaron la precisión del sistema para detectar y discriminar las malas hierbas, clasificando correctamente un 78% de las muestras de *S. halepense* y un 97% de las dicotiledóneas. En base a estos resultados, podemos concluir que los sensores de ultrasonidos pueden ser utilizados de forma fiable y económica en la detección selectiva de malas hierbas, bien como elementos independientes o en combinación con otros sistemas de percepción.

## INTRODUCCIÓN

La detección de malas hierbas en el marco de la Agricultura de Precisión debe ser rápida, fiable y económica, para permitir la creación de mapas o la aplicación de herbicidas de forma localizada en los rodales donde se encuentran estas plantas arvenses. A día de hoy, la detección de las malas hierbas es el mayor problema para la aplicación de tratamientos herbicidas localizados. Son muchos los desarrollos llevados a cabo por numerosos grupos de investigación que han permitido discriminar las malas hierbas, aunque siempre en condiciones controladas. Quizás sea por esto por lo que ninguno de estos equipos ha sido introducido comercialmente en los campos de cultivo, lo que crea un vacío en la Agricultura de Precisión dirigida al manejo y control de malas hierbas. Los inconvenientes asociados a los sistemas de detección actuales desarrollados en campos experimentales pueden resumirse en dos aspectos claves: i) el alto coste de desarrollo y adquisición de los equipos, y ii) la elevada capacidad computacional necesaria para procesar la información suministrada desde los sensores de detección, generalmente ópticos. Consecuentemente, existe una clara necesidad de desarrollar equipos de tratamiento "low-cost", que puedan ser incorporados a los pulverizadores disponibles actualmente en el mercado, y así poder realizar tratamientos herbicidas de forma localizada en tiempo real. Haciendo una revisión bibliográfica, encontramos varios tipos de sensores que han sido propuestos para la detección de malas hierbas en diferentes estudios. Por ejemplo, los sensores de visión por intensidad de color (optoelectrónicos) han sido utilizados desde hace varios años para la creación de mapas de malas hierbas, e incluso para la pulverización en tiempo real en zonas de barbecho o en cultivos entre líneas con un marco de plantación amplio (BILLER, 1998; ANDÚJAR et al., 2011a). A pesar de la incapacidad de estos sensores para discriminar especies o grupos de malas hierbas, su uso puede ser de gran utilidad en los espacios entre líneas de cultivo cuando se utilizan herbicidas de amplio espectro. Sin embargo, aunque alguno de estos sensores están ya disponibles comercialmente (WeedSeeker®, Weed-IT®), su elevado coste así como su nula capacidad de discriminación suponen una barrera para su aceptación comercial. Por otro lado, el desarrollo de técnicas de identificación de especies de malas hierbas en base a colores, formas y texturas (Gerhards y Oebel, 2006; Slaughter et al., 2008; Christensen et al., 2009) se encuentra en una fase muy temprana. Aunque sus resultados son esperanzadores, la capacidad computacional necesaria para el tratamiento de la información supone actualmente una limitación importante para la aplicación de estas técnicas en tratamientos localizados en tiempo real. Es por tanto necesario desarrollar nuevos métodos de detección y discriminación capaces de solventar estos problemas,



incidiendo en la disminución eficaz del uso de herbicidas y, consecuentemente, haciendo atractivo el concepto del manejo localizado de las malas hierbas dentro del marco de la agricultura actual.

Si bien, la detección de las malas hierbas mediante sistemas de visión (en base a imágenes en el rango del visible e infrarrojo cercano) es la más usual y familiar, existen otras posibilidades que podrían ser empleadas para localizar la presencia de malas hierbas dentro de los campos de cultivo. Por ejemplo, el uso de sensores capaces de diferenciar la altura de las plantas o la biomasa de las especies vegetales (Reusch, 2009), indicadores ambos muy apropiados a la hora de distinguir suelo desnudo de suelo con vegetación e incluso su estado de desarrollo. Estos sensores resultan más baratos y robustos que los ópticos; tal es el caso de los sensores de medición por ultrasonidos. El funcionamiento del transductor de ultrasonidos se basa en la estimación de la distancia entre el sensor y el primer obstáculo que genera un eco, mediante una medición del tiempo de vuelo. Es decir, se estima en primer lugar el tiempo que transcurre entre la emisión de un tren de ondas ultrasónicas y su recepción después de haber sido reflejado por algún objeto. Posteriormente, se transforma este tiempo en una distancia, conociendo la velocidad de transmisión de la onda.

El objetivo de este trabajo fue la creación y análisis de un sistema de discriminación vegetal basado en sensores de ultrasonidos, capaz de detectar la altura de las malas hierbas presentes en el espacio entre líneas del maíz. Nuestra hipótesis de partida parte del hecho de que si la altura de las malas hierbas de hoja ancha y hoja estrecha (grupos para los cuales existen herbicidas específicos) es diferente en un momento de crecimiento determinado, la discriminación de estos dos grupos así como la distinción entre suelo desnudo y suelo ocupado por malas hierbas podrían realizarse en base a estas diferencias de altura.

### Resultados

Los resultados de este estudio confirmaron las diferencias en cuanto a altura de las especies arvenses en ambas fechas de muestreo, con una altura superior de *S. halepense* respecto a las dos dicotiledóneas (*D. ferox* y *X. strumarium*), las cuales presentaban a su vez una altura similar entre ellas (Tabla 1).

Los datos de altura de planta obtenidos con el sensor de ultrasonidos sirvieron para confirmar la capacidad de este sistema para discriminar los grupos de malas hierbas tanto en estático como en dinámico (Tabla 2). En el caso de las lecturas tomadas en estático, el análisis discriminante canónico clasificó correctamente un 80-81% de las muestras de S. halepense y un 97-99 % de las muestras puras de dicotiledóneas. El porcentaje de casos clasificados correctamente disminuyó cuando se intentó discriminar tres grupos diferentes (monocotiledóneas, dicotiledóneas y mezcla de ambos). En la primera fecha, las muestras puras de monocotiledóneas y dicotiledóneas fueron clasificadas correctamente en un 58% y un 97%, respectivamente. Estos porcentajes mejoraron en la segunda fecha, con un 71% y un 94%, respectivamente. Por el contrario, las muestras con mezcla de monocotiledóneas y dicotiledóneas tuvieron un porcentaje bajo de casos clasificados correctamente, variando entre el 38% y el 46% en la primera y segunda fechas, respectivamente.

Las mediciones en dinámico arrojaron unos resultados similares, clasificando correctamente el 78 % de las muestras puras de monocotiledóneas y el 97 % de las muestras puras de dicotiledóneas. Al igual que en los análisis en estático, el

porcentaje de muestras clasificadas de forma correcta disminuyó cuando se consideraron tres grupos, con unos valores de 71%, 88% y 54% para monocotiledóneas, dicotiledóneas y mezcla de ambas, respectivamente.

La representación gráfica del análisis discriminante (Figura 3) muestra claramente las diferencias entre grupos en función de la fecha de muestreo. En la fecha mas temprana, el centroide del grupo perteneciente a muestras puras de dicotiledóneas está claramente separado del centroide perteneciente a los otros dos grupos, monocotiledóneas y mezcla, los cuales se solapan para formar un único grupo (Figura 3A). Por el contrario, en la segunda fecha de muestreo, los centroides de los tres grupos de malas

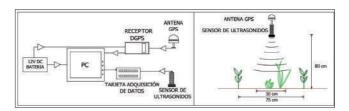


Figura 1. Sistema de discriminación de malas hierbas por mediciones ultrasónicas. Izquierda) esquema del sistema; derecha) esquema de trabajo en un cultivo entre líneas.



Figura 2. Vista general del sensor de detección ultrasónico (izquierda) y antena GPS (derecha) para el posicionamiento de cada una de las lecturas.

	6 de mayo	25 de mayo	
Sorghum halepense	15,2 (8-27)	32,9 (20-49)	
Datura ferox	4,6 (3-6)	12,9 (8-18)	
Xanthium strumarium	6,7 (4-10)	19,0 (14-22)	

Tabla 1. Alturas medias (cm) y rango de valores (entre paréntesis) de las tres especies arvenses en las dos fechas de muestreo.



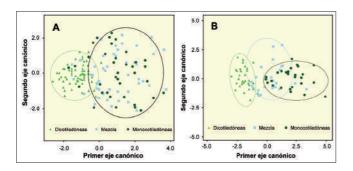


Figura 3. Representación de las funciones canónicas discriminantes de las lecturas del sensor de ultrasonidos en los tres grupos correspondientes a malas hierbas monocotiledóneas (*S. halepense*), malas hierbas dicotiledóneas (*X. strumarium* y *Datura* spp.) y mezcla de ambas. A) Muestreo del 6 de mayo. B) Muestreo del 25 de mayo.

hierbas están claramente separados de acuerdo al primer eje de la función canónica (Figura 3B). No obstante, a pesar de los mejores resultados de discriminación obtenidos en la segunda fecha, no es recomendable retrasar la fecha de detección y tratamiento herbicida, ya que este retraso podría suponer peor control de las malas hierbas (esto es, mayores pérdidas de rendimiento en la cosecha) debido a un estado de desarrollo más avanzado que hace más difícil el control de las mismas.

En base a estos resultados y, teniendo en cuenta el bajo coste, la robustez y el rápido tiempo de respuesta de los sensores de ultrasonidos, se puede concluir que estos sensores suponen una herramienta prometedora para ser integrada en equipos de manejo localizado de malas hierbas en tiempo real, siempre que se utilicen en zonas donde no interfiera el cultivo (e.g., cultivos entre líneas) y la malas hierbas puedan ser diferenciadas por altura. Como ejemplo, la Figura 5 muestra el mapa de malas hierbas construido con los datos obtenidos en el modo dinámico durante la segunda fecha de muestreo. En base a este mapa, podríamos planear un tratamiento selectivo contra S. halepense así como otro tratamiento selectivo dirigido a hoja ancha, ahorrando una cantidad significativa de herbicida comparado con los tratamientos convencionales sobre toda la superficie.

### **Desarrollos comerciales**

Probada la capacidad de funcionamiento de los sistemas de medición ultrasónicos, su elevada fiabilidad, así como el sencillo procesamiento de los datos obtenidos desde el sensor a través de una caja de control independiente, estos sensores serían adecuados para su utilización en equipos de tratamiento herbicida en tiempo real. Si a estas

ventajas le unimos el bajo coste de producción del sistema, podemos recomendar su utilización en la agricultura actual, por ser un sistema asequible para los agricultores.

En base a estos resultados, existe un enlace en la página WEB del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (http://www. csic.es/web/quest/ agricultura) donde se propone un sistema capaz de tratar de forma selectiva, automática y en tiempo real, diferentes grupos de malas hierbas presentes en los campos de cultivo. Este sistema, integrado dentro de un cabezal de tratamiento, estaría constituido por un elemento de detección (sensor de ultrasonidos), una unidad de control y un cuerpo de tratamiento con boquillas de pulverización con una electroválvula de solenoide, de manera que cada cabezal se dispondría sobre la

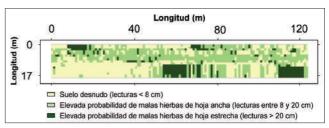


Figura 4. Mapa de malas hierbas en un campo de maíz construido a partir de los datos obtenidos en el muestreo en continuo del día 25 de mayo.

	Grupos predefinidos							
	Dos grupos		Tres grupos					
,	Monoco-	Dicoti-	Muestras purus	Mezelas	Muestras puras			
Medida (fecha)	tiledóneas	ledóneas	monocotiledóneas		dicotiledóneas			
Estático (6 mayo)	81,1	98,5	57,5 (17,5*)	38,2 (20,0*)	97,0 (0,0**)			
Estático (25 mayo)	79,6	97,0	71,4 (7,1*)	46.2 (26,9*)	93,9 (0,0**)			
Dinámico (25 mayo)	77,8	97,0	71,4 (10.7*)	53,8 (23,1*)	87,9 (0,0**)			
* % de casos incorre								

Tabla 2. Análisis discriminante canónico mostrando el porcentaje de casos clasificados de forma correcta en base a mediciones de altura de malas hierbas por ultrasonidos, considerando dos o tres grupos predefinidos. Las medidas fueron realizadas en dos fechas, tanto en modo estático como en dinámico.

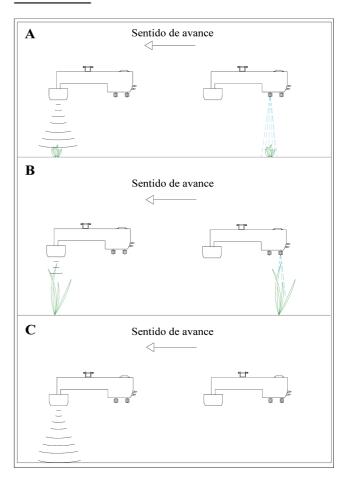


Figura 5. Vista general del sistema trabajando en diferentes escenarios: A) detección y pulverización de dicotiledóneas; B) detección y pulverización de monocotiledóneas; y C) trabajo sobre suelo desnudo sin pulverización.



barra de un pulverizador, sustituyendo a cada una de las boquillas convencionales de pulverización. En la Figura 5 se representa el funcionamiento del sistema, con capacidad de aplicar diferentes herbicidas según el grupo de mala hierba detectado. En el primero de los casos (Figura 5A), cuando la altura detectada por el sensor de ultrasonidos está en el rango establecido para las especies dicotiledóneas, se genera la orden de apertura de la primera boquilla de tratamiento y cierre de la segunda (caso que ésta estuviera abierta), pulverizando con un herbicida específico

contra dicotiledóneas. Cuando la altura detectada es superior al rango anterior (Figura 5B), se abre la segunda boquilla de tratamiento y cierra la primera, tratando de forma específica las monocotiledóneas. Finalmente, en el caso que el sensor no detectara hierba (altura de referencia del suelo desnudo. Figura 5C), ambas boquillas permanecerían cerradas, no realizando pulverización alguna. De este modo, mediante la utilización de este sistema, se consiguen unos ahorros importantes desde el punto de vista económico y ambiental, al reducir

significativamente las pulverizaciones masivas de herbicida que habitualmente se aplican de forma homogénea sobre toda la superficie de cultivo.

**Agradecimientos:** Este trabajo ha sido financiado por la CICyT (projecto AGL 2008-04670-C03).

# **BIBLIOGRAFÍA**

ANDÚJAR D., RIBEIRO A., FERNÁNDEZ-QUINTANILLA C., DORADO J. 2011a. Accuracy and feasibility of optoelectronic sensors for weed mapping in row crops. Sensors 11:2304–2318.

Andújar D., Escolà-Agustí A., Dorado J., Fernández-Quintanilla C. 2011b. Weed discrimination using ultrasonic sensors. Weed Research 51:543-547

BILLER R.H. 1998. Reduced input of herbicides by use of optoelectronic sensors. Journal of Agricultural Engineering Research 71:357–362.

CHRISTENSEN S., SØGAARD H.T., KUDSK P., NØRREMARK M., LUND I., JORGENSEN R. 2009. Site-specific weed control technologies. Weed Research 49:233-241.

Gerhards R., Oebel H. 2006. Practical experiences with a system for site-specific weed control in arable crops using real-time image analysis and GPS-controlled patch spraying. Weed Research 46:185–193.

Reusch S. 2009. Use of ultrasonic transducers for on-line biomass estimation in winter wheat. En: Precision Agriculture '09 (ed. E.J. Van Henten, D. Goense & C. Lokhorst), pp. 169–175. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, Holanda.

SLAUGHTER D.C., GILES D.K., Downey D. 2008. Autonomous robotic weed control systems: A review. Computers and Electronics in Agriculture 61:63–78.

# NOVEDAD EDITORIAL

# BOTÁNICA AGRÍCOLA

## PARA EL MEDIO RURAL

Una guía útil para los interesados en la botánica agrícola, ornamental y forestal. Este libro, "Botánica Agrícola", tiene como objetivo principal ser un instrumento que permita identificar, de forma sintética y esquemática, las diferentes familias botánicas, aportando los conocimientos básicos sobre las mismas.

Al mismo tiempo, esta obra, elaborada por Mª PILAR SANTAMARINA (Catedrática de Universidad) y JOSEFA ROSELLÓ CASELLES (Técnico Superior de Laboratorio), ofrece una visión actualizada de la sistemática botánica. Incluye un programa de ilustraciones, dibujos, esquemas y fotografías cuidadosamente pensado y desarrollado para la mejor comprensión de los contenidos.

Las autoras, con el claro objetivo de que "Botánica Agrícola" complementado cada uno de los textos de identificación botánica con numerosas fotografías a color y dibujos de las mismas. En total son más de 330 ilustraciones, entre fotografías y dibujos, que favorecen indiscutiblemente la información aportada por este trabajo que constituye el resultado de 20 años de experiencia docente acumulados a lo largo de su trayectoria profesional.

En definitiva, una obra esencial para todas aquellas personas técnicas o no, pero sí profesionales agrícolas de campo que quieran estar al día en conocimientos sobre la botánica agrícola actual.



РНҮТОМА

244 páginas PVP: 29 € (IVA incluido)