

DETERMINACIÓN MEDIANTE SISTEMAS ÓPTICOS DE LA DISTANCIA REAL ENTRE PLANTAS DE CULTIVO PARA UN CONTROL PRECISO DE LA MALA HIERBA

Martínez J.¹, Pérez-Ruiz M.^{1*}, Garrido M.², Agüera J.³, Slaughter D.C.⁴

¹Dpto. Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de Fluidos, Universidad de Sevilla, Ctra. Sevilla-Utrera km 1, 41013 Sevilla.

²LPF-TAGRALIA: Técnicas Avanzadas en Agroalimentación, E.T.S. de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid, 28040 Madrid.

³Dpto. de Ingeniería Rural, Universidad de Córdoba, Campus Rabanales, 14014 Córdoba.

⁴Department of Plant Sciences and Biological and Agricultural Engineering, Sensor and Instrumentation Lab, University of California, Davis, One Shields Ave, Davis, CA 95616, USA.

*manuelperez@us.es

Resumen: La automatización en el manejo de las malas hierbas de forma individualizada está siendo una realidad cada vez más cercana, atendiendo a objetivos tanto de eficiencia como de beneficios económicos. En un futuro muy próximo la mecanización y su diseño tendrá que contemplar técnicas de monitorización o detección de precisión. El objetivo de este estudio fue evaluar la capacidad de un sensor óptico para determinar la distancia entre las plantas de una misma línea de cultivo en condiciones de laboratorio y campo. En concreto, se ha investigado la detección de plantas con un sensor fotoeléctrico de infrarrojo (880 nm) en modo opuesto. El sensor fotoeléctrico fue capaz de detectar la planta de tomate y por tanto permitir conocer la separación entre ellas de forma muy precisa. El uso de sistemas de detección como este puede dar lugar a una nueva era que permita el control en la línea de cultivo de la mala hierba de forma más económica y a la automatización de la operación.

Palabras clave: Detección de plantas, sensor óptico, control preciso de mala hierba.

Summary: *Determination by optical systems of the inter-plant real distance for precise weed control.* Automation of individual crop plant care in commercial vegetable crop fields has increased practical feasibility and improved efficiency and economic benefit. Its systems approach is taken in the mechanization engineering design by the

incorporation of precision sensing techniques. The objective of this study was design-sensing capabilities in an implement for measuring plant spacing under different test conditions: laboratory and field. The optical sensor provided tomato plant detection and therefore the spacing between tomato plants was determined with accuracy. The use of this detection system may result in a new era that allow for an online control of aggressive weeds and the automation of weeding tools, which we plan to pursue through future research.

Keywords: Tomato detection, infrared sensor, precise crop protection.

INTRODUCCIÓN

Estudios recientes en el sector agrícola han identificado que las principales barreras para conseguir una agricultura sostenible se encuentran en muchas de las técnicas actuales de cultivo y se pone de manifiesto que el sector está inmerso en grandes cambios en la forma de recopilar, analizar, y utilizar la información para conseguir agregar valor a su producción (Fennimore et al., 2010). En los últimos años se han conseguido grandes retos y se han introducido mejoras sustanciales en lo concerniente a las prácticas agrícolas en los cultivos en líneas (e.g. remolacha azucarera, tomate, etc.) (Norremark et al., 2007; Pérez-Ruiz et al., 2012). No obstante, y dada la tendencia a la disminución del proteccionismo agrícola por parte de Europa, es obligatorio reorientar la producción, de forma que estos cultivos sean más competitivos por sí mismos. Desde este punto de vista, la automatización de las tareas de protección de cultivos puede ser el punto de partida de una nueva filosofía productiva, más competitiva, más económica, más eficiente y más respetuosa con el medio ambiente.

En la forma convencional de trabajar en áreas donde no existe o existe poca cantidad de mala hierba, se aplica la misma cantidad de herbicida que en aquellas otras donde la densidad de mala hierba es mayor. Se está trabajando fundamentalmente en dos metodologías para conocer la localización de la mala hierba en el campo: a) detección en tiempo-real basada en sensores y b) la generación de mapas de infestación. Con respecto a esta última metodología, Pérez-Ruiz et al. (2015) presentan los resultados del proyecto RHEA (Robot Fleets Highly Effective Agriculture and Forestry Management) donde se ha conseguido una reducción de herbicida de hasta un 75% del líquido aplicado por hectárea. Estos resultados muestran la viabilidad de uso de los equipos inteligentes de aplicación y abre una nueva era en el control de infestaciones, logrando con la automatización una operación más económica, sostenible y eficiente.

En los últimos 10 años un gran número de trabajos científicos han abordado diferentes tecnologías para la detección de la mala hierba en tiempo real (e.g. Brown & Noble, 2005; Slaughter et al., 2008; Christensen et al., 2009; Weis & Sökefeld, 2010; Cope et al., 2012). Algo clave y coincidente en todos los trabajos es la limitación en la adopción del control automático de mala hierba por la falta de un método de detección robusto y asequible. Otros autores han decidido abordar el control automático de la mala hierba localizando los cultivos con precisión centimétrica durante la operación de siembra (Ehsani et al., 2004) o plantación (Sun et al., 2010) utilizando un sistema de posicionamiento global en tiempo real (GNSS-RTK). Así mismo, la localización de forma precisa de la planta de cultivo, además de posibilitar el control automático de la mala hierba, también posibilita un tratamiento individualizado planta a planta (e.g. fitosanitarios, nutrientes).

El objetivo de este estudio fue evaluar la capacidad de un sistema de sensores ópticos para determinar la distancia entre las plantas de tomate de una misma línea de cultivo en diferentes condiciones: laboratorio y campo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Plataforma de Laboratorio

La plataforma de laboratorio está formada por 4 elementos esenciales para poder detectar las plantas de tomate y de esta forma estimar la separación entre ellas.

- a) Detector óptico de barrera en modo opuesto (Mini-Beam SM31 EL/RL). En este modo, el emisor de luz infrarroja (880 nm) y el receptor están ubicados en posiciones opuestas entre sí pero alineados, de modo que la luz del primero incide directamente sobre el segundo. La detección se produce cuando la planta interrumpe el haz de luz emitido.
- b) Encoder óptico (Grayill modelo 63R256) para medir posiciones angulares, de 256 pulsos por revolución.
- c) Para monitorizar y almacenar las señales procedentes de ambos sensores, se ha utilizado el microcontrolador ATme32u4 (Arduino modelo Leonardo). Este controlador recibe de forma simultánea la señal de bloqueo del haz y los pulsos generados por el encoder, mostrando esta información en pantalla y almacenándola en una tarjeta de memoria SD para su posterior procesado.

- d) Bandeja de transporte de plantas artificiales 3D, simulando una línea de cultivo. Un motor eléctrico unido a un sistema de transmisión permite mover una cadena, a una velocidad lineal de 0,378 m/s, en cuyos eslabones se colocan las plantas artificiales separadas 10 cm entre sí. Las plantas han sido diseñadas en el programa AutoCAD 3D e impresas en la impresora Prusa i3 Hephestos (Mundo Reader S.L., Madrid), el diseño de las mismas ha sido modular, consiguiendo de esta forma la misma geometría de todas las plantas para su estudio en laboratorio (Figura 1).

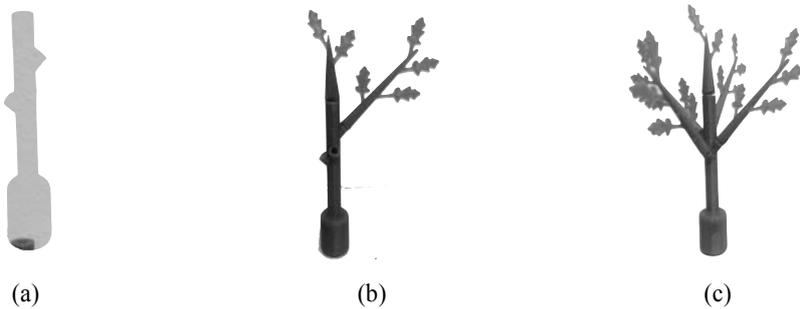


Figura 1. Planta modular 3D utilizada para su detección en laboratorio.

Plataforma de Ensayos de Campo

En las medidas realizadas sobre plantas reales (en campo) se ha utilizado el mismo detector óptico y encoder que en laboratorio. Para los ensayos de campo fue diseñada una estructura de arrastre para colocar y ajustar la pareja de sensores a las condiciones de campo (Figura 2).

Para el sistema de adquisición de la plataforma sensorica utilizada en campo, las señales de salida del sensor han sido conectados a un módulo digital bidireccional (NI 9403, National Instruments Co., Austin, Texas, EE.UU.), mientras que la señal del encoder se conectó a un módulo de entradas digitales (NI 9411, National Instruments Co., Austin, Texas, EE.UU.). Ambos módulos se integran en un NI cRIO 9004 (NI 9411, National Instruments Co., Austin, Texas, EE.UU.), y todos los datos se registraron utilizando el programa Labview de National Instruments Co.

Se realizaron medidas en tres líneas de cultivo de tomate, de 20 metros de longitud cada una, las que constituyeron las tres repeticiones del ensayo.

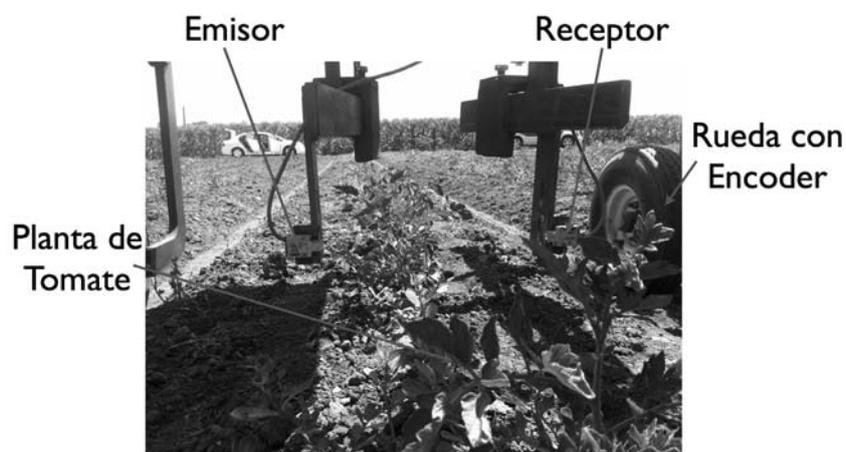


Figura 2. Emisor y receptor fotoeléctrico usado en la plataforma de campo para la detección de plantas de tomate.

Caracterización de la planta con el detector óptico

En el ensayo de laboratorio, la altura efectiva de emisor y receptor fue de 4 cm y la altura de las plantas 3D de 13 cm, en el ensayo de campo el sensor fue colocado a 12 cm del suelo (altura media de plantas reales 19,5 cm) para evitar obstáculos propios del campo (e.g. piedras, pequeños desniveles, etc.). El receptor fue configurado para obtener un pulso TTL de salida en cada ocasión que el haz de luz fuese bloqueado por alguna parte de la planta. Esta forma de trabajar permite monitorizar y, posteriormente, analizar la distancia entre plantas dentro de una misma línea de cultivo. Para el análisis de los datos registrados en el estudio fue empleado el programa Matlab (MATLAB R2015b, The MathWorks, Inc., Natick, MA, EE.UU.).

La calibración del sistema fue llevada a cabo mediante el empleo de 33 plantas artificiales en laboratorio y 122 plantas de tomate reales en campo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados en los ensayos de laboratorio

A modo de ejemplo se muestra las Figuras 3a y 3b del ensayo número 3 llevado a cabo en laboratorio. La Figura 3a muestra las posiciones de las detecciones de los tallos de tomate y la distancia estimada entre ellos. En cada uno de los tres ensayos realizados en laboratorio el 100% de los tallos fueron detectados. No olvidemos que en condiciones de laboratorio

no se encuentran obstáculos en la línea de cultivo, situación que dista de lo que podemos encontrar en campo. La Figura 3b muestra el diámetro del tallo medido para una de las plantas del ensayo 3 de laboratorio, valor medio estimado de diámetro 11,2 mm y el valor real del tallo 10 mm.

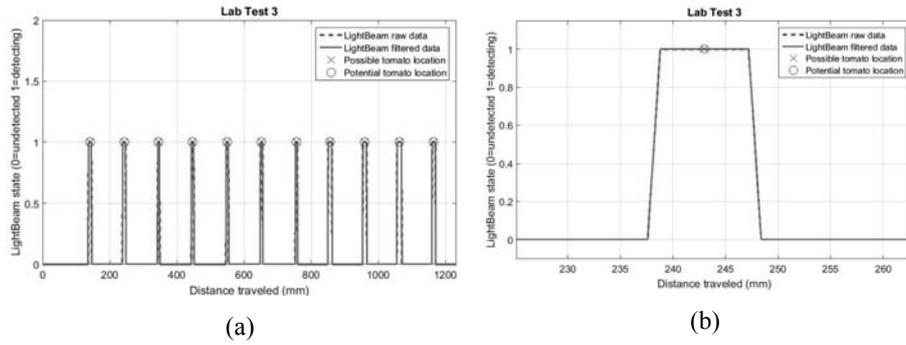


Figura 3. a) Posiciones de los tallos de las 11 plantas en el ensayo de laboratorio número 3 y b) posición media de la planta durante un recorrido de unos 11 mm.

La Figura 4 muestra, para los tres ensayos de laboratorio, el histograma para las distancias estimadas entre tallo y tallo de planta. La distancia media estimada de tallo a tallo para los tres ensayos es 102,5 mm, la distancia real medida entre plantas es de 100,0 mm. La desviación estándar media para los tres ensayos es de 2,2 mm. Si nos centramos en el ensayo 3, último gráfico en la Figura 5, se observa como todas las distancias entre plantas fueron estimadas entre los valores de 100,1 mm y 103,8 mm.

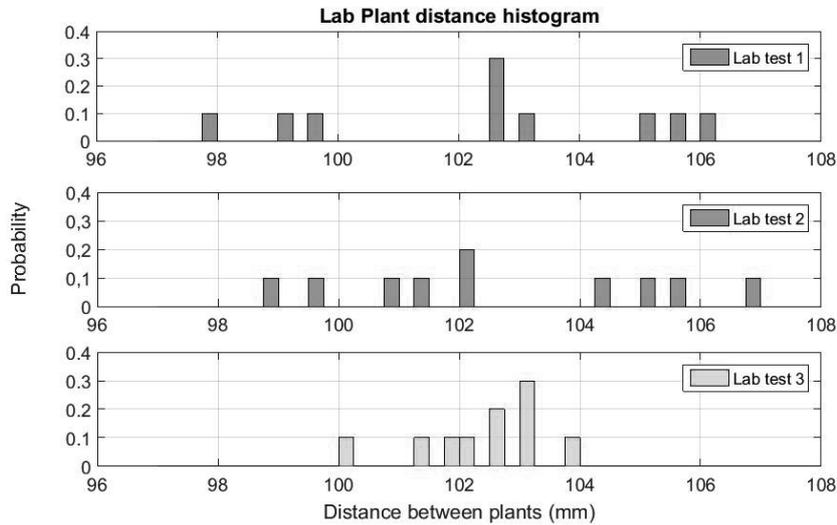


Figura 4. Histograma para las distancias estimadas entre tallo y tallo de planta en laboratorio (mm).

Resultados en los ensayos de campo

A modo de ejemplo se muestra la Figura 5a y 5b del ensayo número uno llevado a cabo en campo. A diferencia de las detecciones realizadas en laboratorio, en los datos registrados y analizados de campo, la distancia determinada entre tallo y tallo presenta mayor variabilidad. Esta variabilidad se produce fundamentalmente por falta de plantas en la línea de cultivo o por encontrar alguna mala hierba muy próxima al tallo de la planta a detectar. En la Figura 5b se observa como se establecen varias posiciones para los posibles candidatos (aspa), siendo la planta potencial sólo una (círculo).

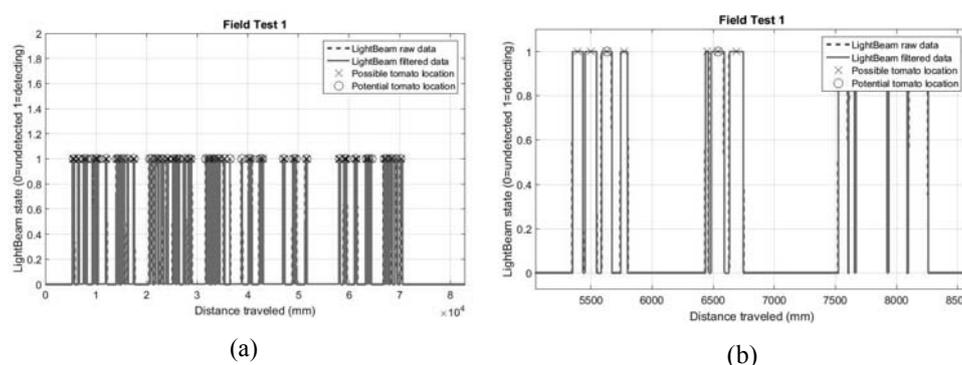


Figura 5. a) Posiciones de los tallos de las 41 plantas en el ensayo de campo número 1 y b) posición de la planta denominada potencial.

En la Tabla 1 se muestra el ensayo de campo número uno. En este ensayo se produjeron 41 detecciones cuando existían 32 plantas reales en la línea de cultivo, esto ha supuesto para este ensayo un error en el número de detecciones del 22%. En cambio en el ensayo número dos se produjeron 32 detecciones de tallos cuando existían 34 plantas reales en la línea, esto significó un 94% de acierto. En el ensayo número tres el acierto fue del 98%.

Tabla 1. Porcentajes de acierto en la detección de tallos en campo.

	Plantas Reales	Plantas Detectadas	% Aciertos
Ensayo 1	32	41	78
Ensayo 2	34	32	94
Ensayo 3	48	49	98

CONCLUSIONES

Estos primeros resultados muestran que el uso de un detector óptico representa una técnica útil para localizar el tallo de plantas en líneas y

estimar con precisión la distancia entre los tallos. Entre otros logros de este trabajo pueden citarse:

- Construir una plataforma sensorica con éxito para los ensayos de laboratorio y de campo, consiguiendo registrar medidas ópticas (detector) y posiciones (encoder) de forma simultanea para una línea de cultivo.
- Alto porcentaje (100%) de tallos detectados con éxito en laboratorio, con un valor bajo de error en la localización y por tanto en la distancia estimada entre tallos.
- Un 90% como porcentaje medio de tallos detectados en campo, con una mayor variabilidad en la estimación de distancia entre tallos de plantas.

El uso de sistemas de detección como este puede dar lugar a un cambio de paradigma que permita el control de la mala hierba en la línea de cultivo de forma más sostenible económica y ambientalmente, y a la completa automatización de la operación. El control preciso de la mala hierba es un reto importante para este grupo constituyendo una de sus principales líneas de investigación.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado dentro de las actuaciones y con la financiación del proyecto Autonómico de Excelencia "P12-AGR-1227". Los autores desean expresar su reconocimiento a todos los participantes del proyecto mencionado y al "Precision Agriculture Laboratory" de la Universidad de Sevilla (<http://grupo.us.es/pal/>).

BIBLIOGRAFÍA

- BROWN RB & NOBLE SD (2005) Site-specific weed management: sensing requirements-what do we need to see? *Weed Science* 53, 252-258.
- CHRISTENSEN S, SOGAARD HT, KUDSK P, NORREMARK M, LUND I, NADIMI ES & JORGENSEN R (2009) Site-specific weed control technologies. *Weed Research* 49, 233-241.
- COPE JS, CORNEY D, CLARK JY, REMAGNINO P & WILKIN P (2012) Plant species identification using digital morphometrics: a review. *Expert Systems with Applications* 39, 7562-7573.

- EHSANI MR, UPADHYAYA SK & MATTSON ML 2004. Seed location mapping using RTK-GPS. *Transactions of the ASAE* 47, 909-914.
- FENNIMORE SA, TOURTE L, RACHUY JS, SMITH RF & GEORGE C (2010) Evaluation and economics of a machine-vision guided cultivation program in Broccoli and Lettuce. *Weed Technology* 24, 33-38.
- NØRREMARK M, SØGAARD HT, GRIEPENTROG HW & NIELSEN H (2007) Instrumentation and method for high accuracy geo-referencing of sugar beet plants. *Computers and Electronics in Agriculture* 56, 130-146.
- PÉREZ-RUIZ M, SLAUGHTER DC, GLIEVER CJ & UPADHYAYA SK (2012) Automatic GPS-based intra-row weed knife control system for transplanted row crops. *Computers and Electronics in Agriculture* 80, 41-49.
- PÉREZ-RUIZ M, GONZALEZ-DE-SANTOS P, RIBEIRO A, FERNÁNDEZ-QUINTANILLA C, PERUZZI A, VIERI M, TOMIC S & AGÜERA J (2015) Highlights and preliminary results for autonomous crop protection. *Computers and Electronics in Agriculture* 110, 150-161.
- SLAUGHTER DC, GILES DK & DOWNEY D (2008) Autonomous robotic weed control systems: a review. *Computers and Electronics in Agriculture* 61, 63-78.
- SUN H, SLAUGHTER DC, PÉREZ-RUIZ M, GLIEVER C, UPADHYAYA SK & SMITH RF (2010) RTK GPS mapping of transplanted row crops. *Computers and Electronics in Agriculture* 71, 32-37.
- WEISS M & SÖKEFELD M (2010) Chapter 8: Detection and identification of weeds. In: Oerke E-C et al. (eds) Precision crop protection – the challenge and use of heterogeneity. Springer, Dordrecht, pp 119-134.