

MEJORA DEL CONTROL DE MALA HIERBA EN EL CULTIVO DE REMOLACHA AZUCARERA CON TECNOLOGÍA GPS INCORPORADA EN LA MAQUINARIA

PRIMEROS RESULTADOS

PROF. MANUEL PÉREZ RUIZ
Coordinador del Proyecto

PROF. ANTONIO RODRÍGUEZ LIZANA
Dpto. de Ingeniería Aeroespacial
y Mecánica de Fluidos.
Área de Ingeniería Agroforestal.
Universidad de Sevilla

INTRODUCCIÓN

El control de malas hierbas en cultivos en líneas de forma generalizada, y en la remolacha azucarera en particular, es muy importante, tanto en el aspecto técnico por la dificultad en su control como en el económico por la repercusión en los costes de producción y en el producto final bruto bien sea utilizando escarda manual, mecánica o la aplicación de herbicidas. En muchos cultivos, el control de la mala hierba se basa en pases de cultivador entre líneas del cultivo hasta que el desarrollo vegetativo lo permite, y tratamientos herbicidas (en cultivos como la remolacha azucarera se realizan 3-4 tratamientos). Un adecuado manejo localizado de estas operaciones permitirá 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 una menor presencia de residuos en la alimentación humana.

La figura 1 muestra como en el cultivo de regadío el mayor coste es para el riego (23%), seguido por la siembra (17%), recolección (14%), abonado (13%), control de mala hierba (20%), diferentes labores (3%), y plaguicidas y fungicidas (10%). En ambas configuraciones la carga porcentual, sobre el total de los gastos, para la actividad del control de la mala hierba está alrededor del 20% (AIMCRA, 2008).

Estos costes en el control de la mala hierba permiten vislumbrar una posible optimización de estas técnicas, un manejo más sostenible del sistema y más respetuoso con el medio ambiente proporcionaría una reducción importante del gasto de producción y de la

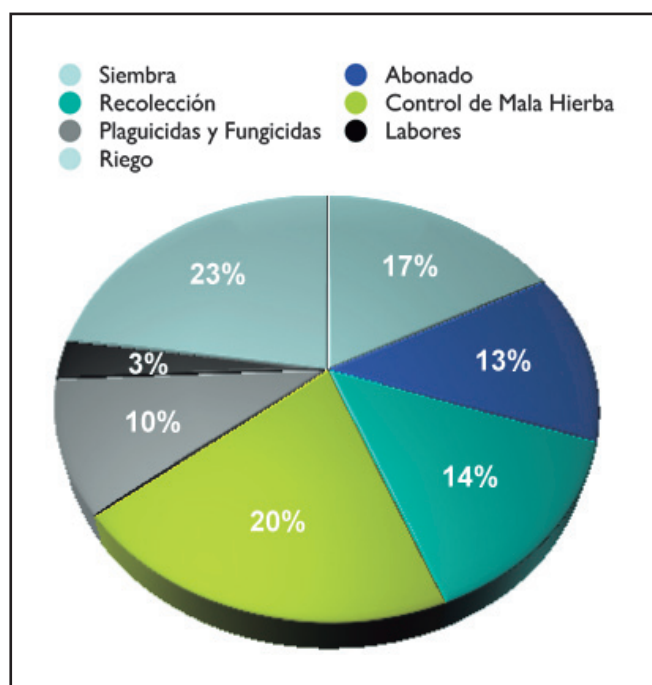


Figura 1. Costes proporcionales de las acciones agronómicas en remolacha de regadío.

economía sin disminuir el rendimiento consiguiendo con ello un cultivo más competitivo que pueda favorecer la situación actual del cultivo de la remolacha azucarera.

El manejo localizado del cultivo, considerado como una manifestación de la agricultura de precisión (AP), permite el tratamiento diferenciado por zonas, dentro de una misma parcela, consiguiendo de esta forma un uso más eficiente de los recursos (Pérez-Ruiz y Agüera, 2009; Zhang et al., 2009). La

aplicación de estas técnicas en explotaciones agrícolas ha llegado a conseguir una reducción del 35% en la aplicación de nitrógeno sin reducir el rendimiento en cultivo de remolacha, o evitar un 15% de pérdidas de cosecha por una oportuna aplicación de fungicidas (Seelan *et al.*, 2003).

SISTEMAS DE GUIADO EN VEHÍCULOS AGRÍCOLAS

Por lo general las operaciones mecanizadas se llevan a cabo mediante pasadas paralelas rectas y a veces curvas, distanciadas según el ancho de trabajo de la máquina empleada y el solape que estimemos adecuado. En la práctica, mantener una perfecta alineación recta y paralela a la anterior requiere una gran experiencia y atención por parte del conductor, debiendo apoyarse éste en referencias visibles como las marcas de espuma, líneas sobre el suelo generadas por discos o rejas trazadoras o simplemente la propia labor que se está realizando.

Los sistemas de guiado son la aplicación más extendida hoy en día de la Agricultura de Precisión y presenta entre otras las siguientes ventajas:

- Reducción de la fatiga del conductor, lo que permite mayor atención al desarrollo de la labor que se está realizando, mayor calidad de la misma incluso con tractoristas poco experimentados y la posibilidad de aumentar la jornada de trabajo en caso de necesidad.
- Mayor rendimiento de campo al permitir mayores velocidades y reducir los tiempos muertos.
- Posibilidad de trabajar de noche, al amanecer, con niebla o con polvo en el aire que limite la visibilidad, ya sea por la necesidad de terminar un trabajo en una fecha determinada o por aprovechar las ventajas que para algunas tareas agrícolas supone el realizarlas antes del amanecer (temperatura más favorable, rocío en las hojas para favorecer la adhesión de los productos aplicados, escasez de viento, etc.).
- Reducción de costes fijos del tractor al aumentar el número de horas trabajadas al año.
- Facilidad para la aplicación de tránsito por calles fijas (tráfico controlado) a la hora de efectuar las distintas operaciones mecanizadas en las parcelas, lo que reduce la compactación del suelo.
- Eliminación de solapes o huecos no deseados entre las sucesivas pasadas.
- Disminución del gasto en agroquímicos, combustible y personal.
- Mayor beneficio ambiental.

En caso de complementar el sistema de guiado con un equipo de registro, la información generada permite el análisis posterior de la labor realizada y su inclusión en un sistema de gestión integral de la explotación o de la empresa de servicios lo que facilita la toma de decisiones.

Ya en la actualidad, el método empleado para llevar a cabo la corrección del error detectado en la posición y/o rumbo, da origen a los dos sistemas hoy disponibles: ayuda al guiado (sugiere al conductor corregir a izquierda o a derecha para mantener la trayectoria) y guiado automático (integra el sistema GPS con la dirección del tractor, corrige de forma automática).

La mayor precisión en la conducción del vehículo agrícola permite controlar la aproximación del apero mecánico al cultivo y de esta forma eliminar un porcentaje más alto de malas hierbas sin herbicidas. Consecuentemente, un sistema de guiado automático o ayuda al guiado que permita controlar exactamente la anchura máxima de movimiento de tierra necesaria para eliminar la mala hierba tiene como resultado una reducción en el coste de la escarda manual. Así, y a pesar del coste de inversión de una nueva maquinaria, Sørensen *et al.* (2005) indicó el aumento de beneficio en la producción de zanahoria ecológica y remolacha azucarera.



RETOS OPERACIONALES EN EL CONTROL DE MALA HIERBA

Conversaciones con AIMCRA e información extraída previamente del sector en foros como la Reunión Zonal del Sur (AIMCRA, 2009) y las reuniones de coordinación técnica entre productores e industriales, sobre la forma de acometer el control de mala hierba en la remolacha azucarera, nos han permitido conocer y centrarnos en las debilidades del sector en esta materia.

Algunas de estas serían:

1. El control de mala hierba de forma manual dentro de la línea de cultivo, que aún se realiza en algunas explotaciones de remolacha azucarera en la zona Sur, suponen un coste cinco veces mayor que el de uso de técnicas convencionales y además presenta la dificultad de encontrar mano de obra.
2. Aprobación, el 13 de enero de 2009 en el Parlamento Europeo, del Nuevo Reglamento de Comercialización de productos fitosanitarios. Esta normativa viene a limitar la disponibilidad de productos fitosanitarios en todo el sector (Vela, 2009).

La continua comunicación, regulación e innovación adicional en la tecnología integrada de control y precisión son necesarias para mantener y mejorar el control sostenible, flexible y económico de las malas hierbas en la práctica y en combinación con la necesidad de reducir el consumo energético.

Buscando un incremento de la competitividad en el control de la mala hierba en remolacha, AIMCRA y el Área de Ingeniería Agroforestal de la Universidad de Sevilla, han colaborado en el desarrollo de un equipo prototipo para dicha operación. Este equipo integra, a un coste razonable, el control mecánico de la mala hierba con un sistema de localización RTK-GPS en el vehículo (entre líneas de cultivo) y la aplicación en bandas estrechas de herbicida (en la línea de cultivo), consiguiendo de esta forma reducir los costes de producción.

PROYECTO COLABORATIVO ENTRE AIMCRA Y UNIVERSIDAD DE SEVILLA

El proyecto ha consistido en el diseño y construcción de un equipo prototípico controlado por GPS para el control de mala hierba en cultivos en líneas, caracterizado por poseer un sistema combinado de eliminación de mala hierba que permite realizar en la misma pasada un tratamiento mecánico entre líneas (profundidad de trabajo 2-3 cm) y un tratamiento químico en la línea de cultivo (superficie mojada 10-12 cm) (figura 2).

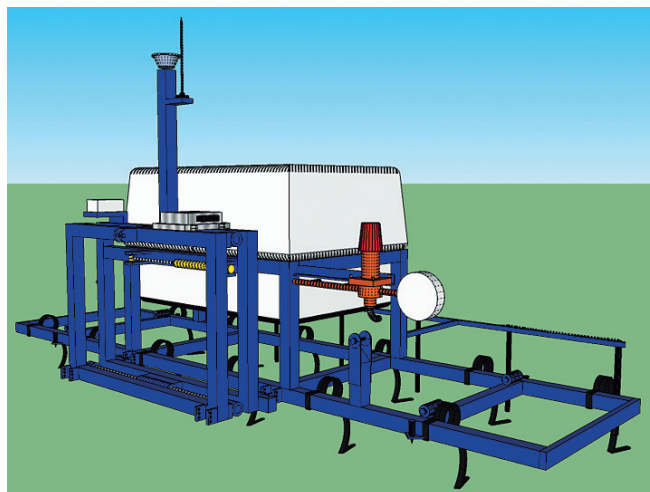


Figura 2. Equipo prototípico controlado por GPS, acoplable a vehículos autopropulsados, con capacidad de control de mala hierba en cultivos en líneas, caracterizado por utilizar un sistema de posicionamiento que permite un ajuste preciso (~2.5 cm) tanto de los elementos de escarda mecánica como química.

El ensayo ha sido establecido en la parcela 1068 "Sector B", propiedad del agricultor Fernando Cordero, muy próximo al polígono industrial Las Marismas, T. M. Lebrija (Latitud: 36,95436 N, Longitud: 6,084717 W). El ensayo está formado por 1,5 pases de una sembradora de 12 cuerpos de siembra (figura 3), esto equivale a 3 pases del equipo diseñado para el ensayo. La siembra ha sido realizada con un tractor equipado con un sistema de guiado automático para asegurarnos líneas paralelas y conseguir la línea AB de referencia del sistema GPS para ser utilizada durante los ensayos.



Figura 3. Equipo de siembra y monitor RTK-GPS de Trimble con precisiones de 2,5 cm.

En el ensayo se han comparado, desde el punto de vista económico y de aparición de malas hierbas, un tratamiento de pre-emergencia y tres tratamientos de post-emergencia diferentes: (i) aplicación de herbicida a todo terreno o tratamiento convencional, y (ii) aplicación localizada de herbicida en la línea de cultivo, combinada con laboreo entre líneas. Se dispuso de 6 repeticiones de cada uno de los tratamientos, y de 12 de las zonas no tratadas, que sirvieron de control, en un diseño al azar. Las unidades experimentales fueron de 216 m², y el muestreo realizado en ellas de 4 m².

En los dos tratamientos se utilizó el mismo equipo pero con configuraciones diferentes. En el tratamiento convencional se realizó una pulverización uniforme con 6 boquillas de ángulo 110°, a 0,5 m de separación y a una altura de 0,5 m del suelo, a semejanza de los agricultores de la zona. Para el tratamiento optimizado se trabajó con el sistema RTK-GPS montado en el tractor y se implementó el equipo con lanzas de aproximación para el tratamiento en bandas con 6 boquillas de ángulo 80°, a 0,5 m de separación y a una altura de 0,15 m del suelo.

Sobre el ensayo se actuó imitando al agricultor en la secuencia de operaciones que realizaba durante la campaña 2010-2011. Un tratamiento pre-emergencia y tres tratamientos post-emergencia todos ellos reali-

zados a una dosis de 225 L/ha, a 4 bar de presión del equipo y a una velocidad de 7,5 km/h. La superficie mojada con la aplicación convencional ha sido de 3 m y la superficie mojada con la aplicación en banda ha sido de 1,5 m.

En los tratamientos de post-emergencia fue donde el equipo optimizado trabajó desarrollando todo su potencial, utilizando la tecnología GPS, los elementos de escarda mecánica y la aplicación de herbicida localizada en bandas. Después del último tratamiento se procedió a la eliminación de la mala hierba, que había resistido a la secuencia de tratamientos realizados, con escarda manual. Se cronometró el tiempo empleado por el operario para la eliminación de la mala hierba en cada una de las unidades experimentales, para de esta forma poder conocer los costes de esta operación.

RESULTADOS DE LA PRIMERA CAMPAÑA (2010-2011)

Se demuestra de forma satisfactoria el buen funcionamiento del equipo, desarrollado para la ocasión, de control mecánico de mala hierba con un sistema RTK-GPS instalado sobre el vehículo y la aplicación en bandas de herbicida para el control sobre la misma línea del cultivo (figura 4).

Sculta



- La variedad **más tolerante a Cercospora** en los ensayos de AIMCRA.
- **Recomendada por AIMCRA** para 2011 por sus altos ingresos al agricultor.
- **Buena tolerancia al espigado** desde siembras tempranas.

Marco



- La variedad **número 1 en AIMCRA** con 2 años de ensayo.
- **Muy altos ingresos** a nivel agricultor.



Syngenta Seeds S.A.

Ctra. De Renedo Km. 7 - 47170 Renedo de Esgueva (Valladolid)

Tel. +34 983 508 138 - Fax +34 983 508 139 - www.syngentaseeds.es



syngenta



EFICIENCIA

Se ha evaluado la eficiencia en el control de la mala hierba del tratamiento convencional frente al tratamiento optimizado.

Los resultados se muestran en la tabla 1. El análisis de la varianza proporciona unos *p*-valores de 0.001 (factor fecha), 0,003 (factor tratamiento) y 0,032 (interacción), resultando por tanto significativas estadísticamente.

Tabla 1. Resultados del ANOVA de la población de malas hierbas mediante el uso de medias recortadas.

Fecha	Tratamiento (medias)			Factor fecha (medias)
	Todo terreno	Localizado	Control	
1	34.50 a	47.75 a	39.89 a	39.94 ab
2	23.62 a	34.56 a	63.42 b	42.16 a
3	11.18 a	10.62 a	45.62 b	23.14 b
Factor tratamiento (medias)	19,60 a	27.39 a	45.63 b	

Los resultados del análisis indican que los tratamientos 1 y 2 son equivalentes desde el punto de vista de control de malas hierbas a nivel global (letras diferentes indican valores estadísticamente diferentes). Comparando las medias recortadas, la parcela control presentó entre un 67% y un 132% más de malas hierbas que aquellas que sí recibieron tratamiento.

En general, hay una tendencia decreciente en la población de malas hierbas en los dos tratamientos estudiados. En cambio, en los de control, no sucede así, por lo cual la interacción del modelo resulta significativa.

Respecto a dicha interacción, y según se observa en la tabla 1, en la fecha 1, no se aprecian diferencias significativas entre tratamientos, mientras que en los conteos llevados a cabo en la fecha 2 y fecha 3, las parcelas que no recibieron ningún tratamiento esto es,



Figura 4. Equipo desarrollado para el control optimizado de mala hierba.

las parcelas de control, presentaron una población de malas hierbas significativamente mayor, como era de esperar, evidenciando la necesidad de realizar un control de la mala hierba.

A final de junio de 2011 se cosecharon muestras de remolacha de los dos tratamientos estudiados. Los rendimientos obtenidos se trataron como datos independientes de acuerdo al diseño experimental realizado en la parcela del agricultor. La media muestral ha resultado de 95.99 t₁₆ ha⁻¹ en ambos tratamientos (figura 5). No se ha podido rechazar la hipótesis nula de igual de medias, por lo que puede decirse que desde un punto de vista estadístico no hay diferencias significativas en producción entre uno y otro sistema de control de mala hierba.

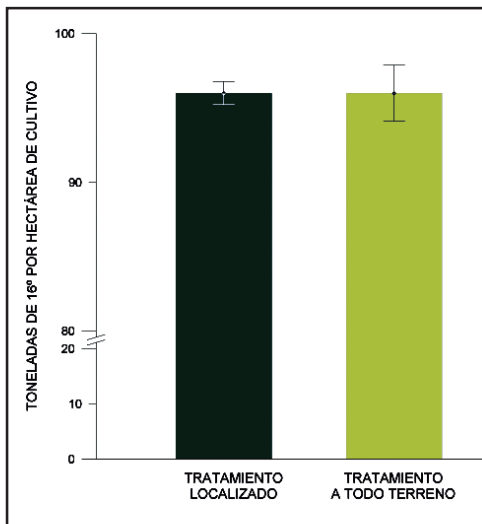


Figura 5. Producción (toneladas de 16°) por hectárea de cultivo. Las líneas verticales representan la desviación típica de la media.

CONCLUSIONES

Gracias a este trabajo de investigación se ha desarrollado un equipo basado en tecnología RTK-GPS que integra un sistema de aplicación en banda de herbicida con un sistema de eliminación mecánico de mala hierba. Los ensayos de campo muestran que el equipo es robusto, adaptándose a las condiciones de trabajo requeridas a este tipo de aperos. Como conclusiones y mejoras aplicables al sector de la remolacha de este trabajo se pueden extraer:

- El uso de este equipo reduce los costes de escarda manual de 117,96 €/ha a 101,56 €/ha, un 14% de ahorro directo para el agricultor.
- En estos primeros ensayos, en la campaña 2010-2011, se ha producido una reducción en caldo aplicado del 50% como valor medio y por ende una reducción importante en el coste de la operación. Los análisis estadísticos revelan que no existen diferencias significativas con respecto a la eficacia y producción entre los dos tratamientos estudiados.
- En condiciones normales y con la tecnología usada una empresa de servicios para las la-

bores propias de la remolacha recuperaría la inversión del equipo desarrollado el primer año. En la situación más favorable un pequeño agricultor de unas 15 ha tendría un plazo de recuperación de la inversión de 9 años.

- La adopción de equipos que optimizan las operaciones y son capaces de modificar las metodologías convencionales pueden significar el camino a la tan deseada competitividad del sector de la remolacha azucarera en España.



Figura 6. Equipo de campo.

Bibliografía

- CUDDY, T.H. 1914. Steering device for traction-engines. Patent number. 1114586.
- PÉREZ M., J. AGÜERA. 2009. Aplicaciones que optimizan el ahorro energético en agricultura de precisión. *Vida Rural*. 293:26-30.
- SCHWEIZER, E.E. and MAY, M.J. 1993. Weeds and weed control. In Cooke, D.A. & Scott, R.K. (eds.): *The Sugar Beet Crop*. Chapman & Hall, pp. 484-519.
- SEELAN, S.K., LAGUETTE, S., CASADY, G.M. y SEIELSTAD, G.A. 2003. Remote sensing applications for precision agriculture: A learning community approach. *Remote Sensing of Environment*, 88: 157-169.
- SLAUGHTER, D.C., PÉREZ, M., GLIEVER, C., UPADHAYAYA, 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.
- SØRENSEN, C.G., MADSEN, N.A. JACOBSEN, B.A. 2005. Organic farming scenarios: operational analysis and costs of implementing innovative technologies. *Biosyst. Eng.* 91, 127-137.
- ZHANG, Y, E.S. STAAB, D.C. SLAUGHTER, D.K. GILES, and D. DOWNEY. 2009. Precision automated weed control using hyperspectral vision identification and heated oil. *Proceedings American Society of Agricultural and Biological Engineering (ASABE)*, Paper #096365, Reno NV.
- VELA, M. 2009. La nueva normativa sobre fitosanitarios vista desde el sector hortofrutícola. *Vida Rural*. Feb; 283

Detalles de los aspectos económicos y de diseño del estudio pueden ser solicitados a los autores o a AIMCRA.