

# DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE GUIADO CON APLICACIÓN EN LA REALIZACIÓN DE LABORES AGRÍCOLAS

Amiama, C<sup>(p)</sup>.; Bueno, J.; Álvarez, C.J. y López, X.C.

## Abstract

Currently, there are a variety of solutions available for assisted steering of agricultural vehicles used to perform farming operations requiring the use of machinery with large working widths. Furthermore, fully automated steering systems that do not require a driver are being developed. However, such systems are mainly based on parallel guidance and show great limitations in fields of irregular shape. In this work, we have developed a guidance system that allows the driver to follow non-parallel trajectories and provides graphical information of the cropped areas. By using the system proposed in our study, the worker can plan different tillage strategies for a field according to field shape and relief. The results obtained with this system have been compared to the results obtained by performing the operations without any guidance system or with a conventional parallel guidance system. The comparison was based on the analysis of the field paths obtained by using each method.

*Keywords: Parallel guidance, GPS, precision farming, GIS*

## Resumen

Actualmente existen en el mercado diferentes soluciones para asistir al agricultor en el guiado para la realización de labores que requieren el uso de maquinaria con grandes anchuras de trabajo. Se están desarrollando incluso sistemas de autoguiado que prescindan de la utilización de conductor. Sin embargo estos sistemas, basados fundamentalmente en guiado paralelo, pueden presentar grandes limitaciones al aplicarse en fincas con configuraciones irregulares. En el presente trabajo se ha diseñado un sistema de guiado que permite al conductor realizar trayectorias no paralelas entre sí, proporcionándole información gráfica de las zonas cosechadas. Con el sistema propuesto el operario puede plantear distintas estrategias de laboreo en la finca, en función de la configuración de la misma y de sus características orográficas. Se ha comparado además el sistema desarrollado con la realización de las labores sin guiado y con la utilización de un sistema convencional de guiado paralelo, analizando las trayectorias realizadas con cada uno de los métodos.

*Palabras clave: Guiado paralelo, GPS, agricultura de precisión, GIS*

## 1. Introducción

La reforma de la Política Agraria Común (PAC) en la Unión Europea de 2003 ha introducido un nuevo sistema de pago único por explotación y separó las ayudas de la producción. El Reglamento (CE) Nº 1782/2003 del Consejo de 29 de septiembre introduce el concepto de condicionalidad de las ayudas (cross compliance), por el que los agricultores podrán optar a los pagos directos a condición de que se practiquen una serie de buenas prácticas agrarias y se respeten las normas en materia de salud pública, sanidad animal y vegetal, medio ambiente y bienestar de los animales (ecocondicionalidad). Además la seguridad creciente en la cadena alimentaria va a conducir a la necesidad de que los procesos de producción

estén convenientemente documentados (trazabilidad). En esta línea de trabajo se están realizando grandes avances con objeto de monitorizar la actividad de los equipos y consecuentemente los procesos productivos.

La aplicación de fertilizantes es uno de los procesos en los que se están invirtiendo recursos para conseguir adaptarse a las exigencias que la legislación y el propio mercado imponen. En la actualidad ya se comercializan sistemas que permiten registrar los datos en la computadora de la abonadora, para posteriormente descargarlos al software del sistema de gestión de la explotación [1]. El progresivo incremento de la anchura de trabajo de los equipos se traduce en un aumento de la dificultad del operario para determinar visualmente desde la cabina si el solape es el correcto. Paralelamente la creciente sofisticación tecnológica de los equipos y las mayores velocidades de trabajo demandarán más atención al conductor, disminuyendo la precisión del guiado [2].

La generalización de los sistemas de posicionamiento global (GPS, GLONASS, EGNOS, etc.) ha permitido el desarrollo de numerosas aplicaciones en el campo agroforestal. En aspectos específicamente relacionados con la aplicación de fertilizantes, el sistema GPS supondrá un gran avance en el desarrollo de los sistemas de guiado. Los primeros ensayos basados en sistemas de posicionamiento por satélite comienzan a realizarse a mediados de los años 90. Son numerosas las referencias a ensayos cuyo fin era evaluar el funcionamiento de distintos dispositivos, evaluando generalmente el error de guiado, es decir, la desviación del vehículo de la trayectoria deseada ([3], [4], [5]).

Entre las ventajas de los sistemas de guiado pueden destacarse una reducción en los costes, debido a una distribución del producto más regular, disminuyendo las zonas con sobredosis y las zonas sin tratar o con dosis inferiores a las previstas. Este efecto es más patente cuando se realizan operaciones con equipos que operan con anchuras de trabajo elevadas, y no existen referencias visuales, ya que es difícil mantener la distancia adecuada entre dos pasadas consecutivas.

En nuestros ensayos hemos pretendido analizar la uniformidad en las trayectorias en dos sistemas de guiado, que se traducirá a su vez en una uniformidad en la distribución de fertilizantes. Los valores obtenidos se han comparado con los resultados de aplicar el fertilizante con el método tradicional, sin asistencia al guiado. Para ello se ha desarrollado un sistema que permite visualizar el área que ha sido "tratada", y se ha adquirido un sistema comercial de guiado paralelo. Se compararon las trayectorias seguidas por vehículos equipados con ambos sistemas, analizando la distancia entre trayectorias consecutivas realizadas por el tractor con cada uno de los sistemas evaluados.

## **2. Material y Métodos**

El tractor usado en este estudio fue un John Deere® 6910S (John Deere Co., Moline, Ill.) con una abonadora centrífuga de doble disco arrastrada Bogballe ET 3200. El tractor fue equipado con un sistema de guiado paralelo GreenStar™, que se compone a su vez de tres elementos, el monitor GreenStar, un procesador móvil y un receptor de posición StarFire™ iTC. La señal de corrección diferencial utilizada fue SF1, señal libre de suscripción, proporcionada por Deere & Company, que proporciona una precisión de +/- 30 cm, considerada como suficiente para este tipo de labores.

Además se instaló en la cabina del tractor un ordenador portátil que soportaba un programa informático desarrollado sobre MapObjects® 2.3 (Environmental Systems Research Institute, Inc.) que permitió visualizar la ubicación del tractor sobre la parcela y marcar la trayectoria seguida por el tractor con un trazo de grosor definido por el usuario. Con este desarrollo el conductor observa sombreadas las zonas que ha tratado, diferenciándolas perfectamente de las zonas sin tratar. La línea central del trazo se corresponde con el centro de la trayectoria

definida por el tractor y los extremos se corresponden con la anchura que deberán de mantener las pasadas para garantizar el solape correcto. La señal GPS se ha capturado del receptor de posición StarFire™ iTC utilizado para el sistema de guiado paralelo. Este sistema presentará la ventaja, a priori, de que en parcelas pequeñas e irregulares no obligará al conductor a realizar pasadas paralelas, sino que permitirá que el conductor defina las trayectorias que considere más eficientes, observando en el monitor que superficie se ha tratado y cual resta por tratar. Es un sistema muy intuitivo ya que se busca sombrear toda la parcela, evitando espacios sin sombrear (con dosis de abonado inferiores a las previstas) o con un sombreado muy oscuro (que indica zonas con sobreabonado).

En los ensayos sin guiado el conductor utilizó únicamente como referencia visual las rodadas de la pasada anterior. Para reducir el número de fuentes de error, el mismo tractor y conductor han sido utilizados en los ensayos.

Para determinar la trayectoria seguida por el tractor de forma fiable se han registrado los datos de posición usando el mismo sistema que para el guiado paralelo, pero con capacidad para capturar la señal SF2, proporcionada por Deere & Company. Este sistema precisa de una base fija, que se ha ubicado en una ubicación centrada respecto a las parcelas a analizar. La antena para el sistema de guiado paralelo se ha colocado en los anclajes que el tractor posee a estos efectos, en la parte superior de la cabina y centrada en la misma. La antena del GPS RTK se situó alineada con la anterior y separada 0,7 m. para reducir posibles interferencias de la señal. En la figura 1 se visualiza la colocación de ambas antenas sobre la cabina.



Figura 1. Colocación de las antenas GPS sobre la cabina.

Los ensayos de campo se realizaron en un total de 10 parcelas ubicadas en el ayuntamiento de Castro de Rei, (Galicia-España). A pesar de que el sistema desarrollado

por nosotros está pensado para seguir cualquier trayectoria, hemos planteado pasadas paralelas con todos los sistemas, por considerar que eran las que mejor se adecuaban a las parcelas en las que se realizaron los ensayos. La distancia entre pasadas consecutivas se ha establecido en 24 m. en todos los ensayos y la velocidad de avance prevista fue de 8 km/h, por ser la usualmente utilizada para dosis de abono de 400 kg/ha. Se han seleccionado parcelas llanas, sin elementos que condicionasen la realización de trayectorias rectas y con una anchura que permitiese la realización, al menos, de cuatro pasadas paralelas. En primer lugar el conductor realizó el abonado sin sistema de guiado, para evitar que usase las rodadas del anterior test como referencia, produciendo así un sesgo en los resultados.

La frecuencia con que se han tomado los datos es de 1 Hz (1 dato por segundo). En todos los sistemas el conductor ha definido inicialmente una trayectoria recta que servirá de referencia para las siguientes pasadas. La recta de regresión lineal obtenida con las lecturas del GPS RTK en la primera pasada se ha comparado con la recta de regresión generada por los puntos en las siguientes pasadas, y que fuese paralela a la recta inicialmente definida.

Para cada pasada el error transversal medio (XTE), el error cuadrático medio (RMS), el error medio pasada a pasada ( $Ep_i^2$ ) y el error cuadrático medio pasada a pasada ( $sp_i^2$ ) fueron calculados acorde a lo establecido por Han et al. [4]. Además y según lo propuesto por Ehsani et al. [3] los segmentos curvos definidos por los puntos en los extremos de cada trayectoria se han extraído de los datos a analizar, ya que el distorsionarían los resultados obtenidos y desvirtuarían el verdadero objetivo del trabajo. Los valores de  $Ep_i^2$  han sido comparados utilizando un test ANOVA F. En el caso de detectar diferencias significativas entre tratamientos se ha recurrido a un test de mínimas diferencias significativas y a un test de Tukey para poder realizar comparaciones dos a dos.

### 3. Resultados

Una simple inspección visual de las trazadas generadas por los dos sistemas ya permite predecir un mejor comportamiento en las parcelas en las que se ha utilizado un sistema de guiado frente aquellas en las que no se ha utilizado ningún tipo de asistencia (véase figura 2). Las diferencias entre los dos sistemas de guiado utilizado no son tan patentes, pero cabe destacar que visualmente se aprecia un mejor comportamiento del sistema de guiado paralelo frente al desarrollado por nosotros.

Si analizamos las medias de los tres tratamientos se corrobora lo observado anteriormente, de forma que todas las variables analizadas proporcionan mayores valores en el ensayo sin asistencia al guiado, y a su vez el sistema de guiado desarrollado proporciona valores mayores que el sistema de guiado paralelo. En la tabla 1 se observan los valores medios obtenidos.

	XTE	RMS	$Ep_i^2$	$sp_i^2$
Sin asistencia guiado	5,91	6,46	2,68	6,72
Con guiado paralelo	0,48	0,64	0,21	0,24
Con sistema desarrollado	2,86	3,14	0,84	1,28

Tabla 1. Valores medios obtenidos con los diferentes sistemas evaluados

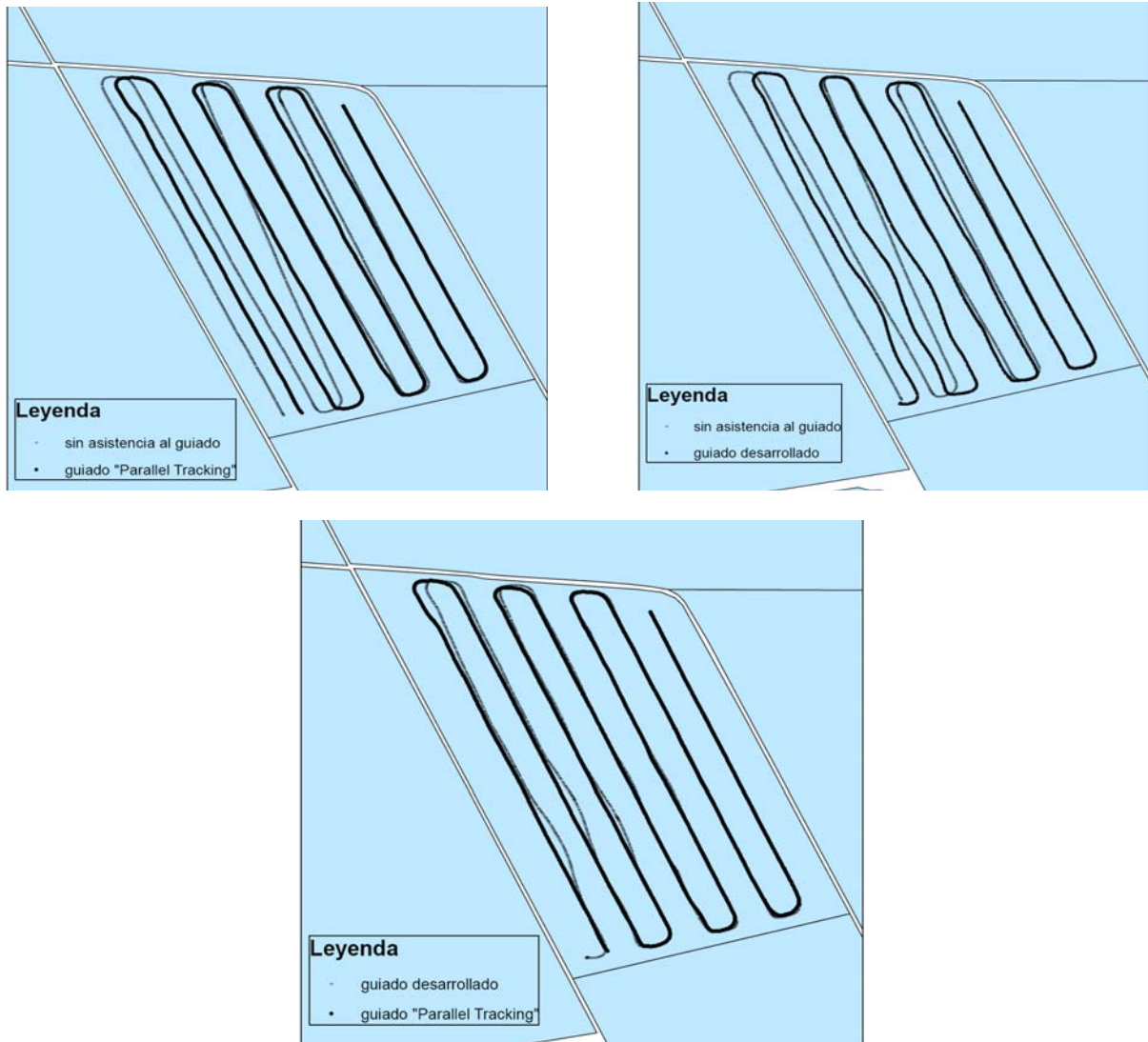


Figura 2. Comparación de las trayectorias con los tres sistemas evaluados.

Centrándonos en la variable  $Ep_i^2$ , distancia media entre pasadas consecutivas, por considerarla como mejor indicativa de la eficiencia del sistema, se observa como sin asistencia al guiado se observan valores altos, lo que nos indica una gran desviación respecto a los 24 m. de distancia entre pasadas objetivo. Este valor es significativamente más reducido cuando se utiliza un sistema de guiado, indicando una mayor aproximación entre los valores de distancias entre pasadas obtenidos y los valores objetivo. Sin embargo, y acorde con lo observado en la figura 1, el sistema de guiado paralelo proporciona un menor valor que el sistema desarrollado por nosotros. Sería necesario evaluar los sistemas en parcelas irregulares y de poca superficie, en las que las trayectorias paralelas no fuesen las más eficientes.

Analizando estadísticamente los resultados obtenidos el test ANOVA F es altamente significativo, indicándonos que existen diferencias entre los tratamientos evaluados. Si se realizan comparaciones múltiples post hoc entre los tratamientos considerados, se observa que tanto utilizando el test t de mínimas diferencias significativas como utilizando el test de Tukey, más conservador, existen diferencias significativas entre los tres tratamientos, para un nivel de significación del 1 %.

#### 4. Conclusiones

Los resultados obtenidos nos permiten concluir que nuestro sistema supone una significativa mejora respecto al guiado sin asistencia, consiguiéndose una distancia más uniforme entre pasadas consecutivas. No obstante se precisa de un refinamiento del mismo para alcanzar valores similares a los obtenidos con el sistema de guiado paralelo utilizado. Es necesario evaluar los sistemas en parcelas en las que las trayectorias paralelas no sean las más adecuadas para conseguir mayores eficiencias.

#### Referencias

- [1] Marquering J. and Scheufler, B., "Mineral fertilizer". *Yearbook Agricultural Engineering 2006*. H. Harms; F. Meier (Editors) KTBL ; VDMA Landtechnik ; VDI-MEG. Münster : Landwirtschaftsverlag GmbH., 2006.
- [2] Kaminaka, M.S. and Rehkugler, G.E. and Guntzel, W.W. "Visual monitoring in a simulated agricultural machinery operation". *Human Factors*, Vol. 23 (2), 1981, pp. 165-173.
- [3] Ehsani, M.R. and Sullivan, M. and Walker, J.T. "A method of evaluating different guidance systems". *Proceedings of the 2002 ASAE Annual International Meeting*. Chigago, Illinois. 2002.
- [4] Han, S. and Zhang, Q. and Noh, H. and Shin, B. "A dynamic performance evaluation method for DGPS receivers under linear parallel-tracking applications". *Trans. ASAE*, Vol 47(1), 2004, pp. 321-329.
- [5] Dunn, P.K. and Powierski, A.P. and Hill, R.; 2006. "Statistical evaluation of data from tractor guidance systems". *Precision Agriculture*, Vol. 7, 2006, pp. 179-192.

#### Agradecimientos

Agradecer a la Excm. Diputación Provincial de Lugo el habernos facilitado la maquinaria, el tractorista y las parcelas para la realización de este trabajo.

#### Correspondencia (Para más información contacte con):

Carlos Amiama Ares  
Universidad de Santiago de Compostela. Departamento de Ingeniería Agroforestal. Escuela Politécnica Superior.  
Campus Universitario. 27002 Lugo. Spain.  
Phone: +34 982 285900 ext 23627  
Fax: +34 982 285926  
E-mail: [amiama@lugo.usc.es](mailto:amiama@lugo.usc.es)