LA METODOLOGÍA EXPUESTA PERMITE LA OBTENCIÓN DE DATOS PARA LA GESTIÓN DE EXPLOTACIONES

Caracterización de operaciones mecanizadas mediante técnicas de agricultura de precisión

Juan Agüera Vega[1] y Manuel Pérez Ruiz[2].

[1] Dpto. de Ingeniería Rural. Universidad de Córdoba.

[2] Dpto. de Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de Fluidos. Área de Ingeniería Agroforestal. Universidad de Sevilla

En este trabajo se presenta el diseño y los primeros resultados obtenidos con un sistema de toma y registro de datos completamente autónomo, con envío de la información por GSM (telefonía móvil), instalado a bordo de un tractor agrícola. Su objetivo final es disponer de una metodología que permita desvincular radicalmente las tareas de medición de parámetros relativos a las operaciones mecanizadas, de las tareas propias de la operación en sí misma, lo que reduce drásticamente el esfuerzo necesario para su consecución, al tiempo que aumenta la precisión y fiabilidad.

El concepto de agricultura de precisión (AP) ha ido evolucionando desde que se acuñara a finales del pasado siglo. Una idea muy extendida es que la AP es sinónimo de Tecnología de Distribución Variable (VRT), es decir, realización de operaciones de distribución de productos en parcela (semillas, herbicidas, fertilizantes, agua, etc.) basadas en mapas de prescripción o en las lecturas que proporcionan distintos tipos de sensores, a medida que se realiza la operación. También está muy difundida la idea de considerar la AP como la aplicación del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) en la actividad agraria. Similares a éstas existen otras percepciones de la AP, que sin ser del todo incorrectas tampoco son del todo completas.

Los sistemas de ayuda al guiado o de guiado automático no podrían encuadrarse en la AP atendiendo a la primera idea de las expuestas anteriormente, ya que no implican distribución variable. En viticultura y en otros frutales, la simple observación de las zonas de cultivo por donde comienza la caída de la hoja respecto a las zonas más tardías puede servirnos de orientación para realizar una cosecha de precisión, ya que en estas zonas más prematuras también comienza antes la maduración, por tener el ciclo ligeramente adelantado. En este caso se están aplicando técnicas de AP sin precisar ningún equipo GPS, lo que contradice la segunda de las ideas.

La AP debe entenderse hoy día como algo más amplio que todo esto, extendiéndose a cualquiera del conjunto de tareas encuadradas en el ciclo operativo de la AP. En este ciclo se agrupan las distintas tareas en cuatro partes:

- Recogida de información (mapas de distribución de cosechas anteriores, análisis de suelos, sensores remotos, distribución de malas hierbas, etc.).
- Análisis de la información, donde se cruzan los distintos datos disponibles para obtener conclusiones.
- Toma de decisiones, basadas en las conclusiones del análisis realizado anteriormente. En este punto se elaboran los mapas de prescripción, ya sean en un formato digital para ser utilizados por máquinas del punto siguiente, o a mano alzada sobre una simple hoja de papel, para indicar a los operarios de la recolección de uva por donde comenzar y seguir después, por ejemplo.
- Ejecución de las decisiones tomadas en el punto anterior, lo que puede implicar el uso de máquinas VRT capaces de interpretar los mapas digitales de prescripción y/o las señales generadas por los sensores que incorporan, para aplicar en cada zona de la parcela la dosis que se decidió. Además, se incluyen en este punto los sistemas de ayuda al guiado y guiado automático, puesto que suponen la forma de ejecutar de manera precisa las operaciones de cualquier tipo, incluso las aplicadas a dosis fija sobre toda la parcela.

En definitiva, la AP debe ser considerada como un sistema de gestión de explotaciones agrarias basado en el conocimiento pormenorizado de su funcionamiento, unos criterios de decisión racionalizados y una ejecución precisa de las operaciones de cultivo. Las nuevas tecnologías juegan un papel fundamental en su implantación, pero sus fundamentos teóricos son conocidos desde antiguo.

El presente trabajo puede encuadrarse en el primer y segundo punto del mencionado ciclo al tratarse de un sistema para la recogida de datos de campo y su posterior procesado.

Justificación y objetivos

En la actualidad, uno de los capítulos más importantes de los costes de cultivo de las explotaciones agrarias es el referido al uso de la maquinaria agrícola, acentuándose cada vez más con el aumento de precio de los combustibles. Por otro lado, las emisiones de carbono a la atmósfera como consecuencia de la combustión estarán cada vez más penalizadas, lo que de una forma u otra también repercutirá en la economía de la explotación. Varios factores intervienen en la optimización de los costes de los trabajos mecanizados: correcto dimensionado del parque de maquinaria, momento de realización de las operaciones, mantenimiento y renovación de las máquinas y, por supuesto, una buena planificación de las operaciones.

Así pues, para realizar una gestión del parque de maquinaria agrícola según los criterios de la AP, es necesario disponer de datos detallados referidos al uso de cada máquina en las condiciones particulares en las que debe trabajar, lo cual sólo puede conseguirse con rigurosidad recurriendo a la medición de los parámetros necesarios para caracterizar cada operación, en las condiciones reales de trabajo. Ello no sólo permite acumular información para realizar programaciones cada vez más precisas, sino que además hace posible evaluar los costes de las operaciones mecanizadas y así repercutirlos en los costes de cultivo de las parcelas. Quizás de un análisis preciso de estos costes se pueda concluir la conveniencia de recurrir a empresas de servicios de maquinaria agrícola, con lo cual serán estas empresas las interesadas en disponer de información para realizar sus presupuestos, facturaciones por trabajos realizados, etc.

Dependiendo del nivel de detalle con el que queramos caracterizar una operación mecanizada, los parámetros a medir serán más o menos numerosos. Los tiempos de trabajo y su distribución en los distintos conceptos que integran la operación, junto a las superficies trabajadas, suele ser suficiente en muchos casos. Si además se dispone de datos de velocidad, consumo de combustible, resbalamiento de ruedas motrices y potencia necesaria, la caracterización será casi completa.

Foto 1. Tractor equipado con el equipo de adquisición, registro, volcado remoto de la información y GPS.

Pero la medición precisa de estos parámetros requiere de una dedicación que suele ser difícil de abordar, sobre todo cuando ha de realizarse a diario y en el ámbito de una empresa, fuera del ámbito de la pura investigación.

En este trabajo se presenta el diseño y los primeros resultados obtenidos con un sistema de toma y registro de datos completamente autónomo, con envío de la información por GSM (telefonía móvil), instalado a bordo de un tractor agrícola. Su objetivo final es disponer de una metodología que permita desvincular radicalmente las tareas de medición de parámetros relativos a las operaciones mecanizadas, de las tareas propias de la operación en sí misma, lo que reduce drásticamente el esfuerzo necesario para su consecución al tiempo que aumenta la precisión y fiabilidad.

Materiales y métodos

Entre los requerimientos que nos impusimos para el diseño del equipo de toma de datos para la caracterización de las operaciones mecanizadas, cabe destacar:

- Total autonomía en cuanto a intervenciones por parte del operario del tractor o de cualquier otra persona de la explotación.
- Volcado de la información de forma remota, evitando desplazamientos hasta el tractor y problemas mecánicos relacionados con sistemas de volcado susceptibles de ser enchufados como memorias extraíbles o conexión de cables directos a PC portátiles.
- Capacidad de ampliación mediante la incorporación de sensores específicos de los parámetros que se pretendan medir, lo que implica que debe estar dotado de sistemas de acondicionado de señales, lenguaje de programación y posibilidad de manejar grandes volúmenes de información.
- Robustez mecánica para soportar las condiciones de trabajo a bordo de tractores y dimensiones adecuadas para no afectar la visibilidad, accesibilidad y ergonomía del puesto de conducción.

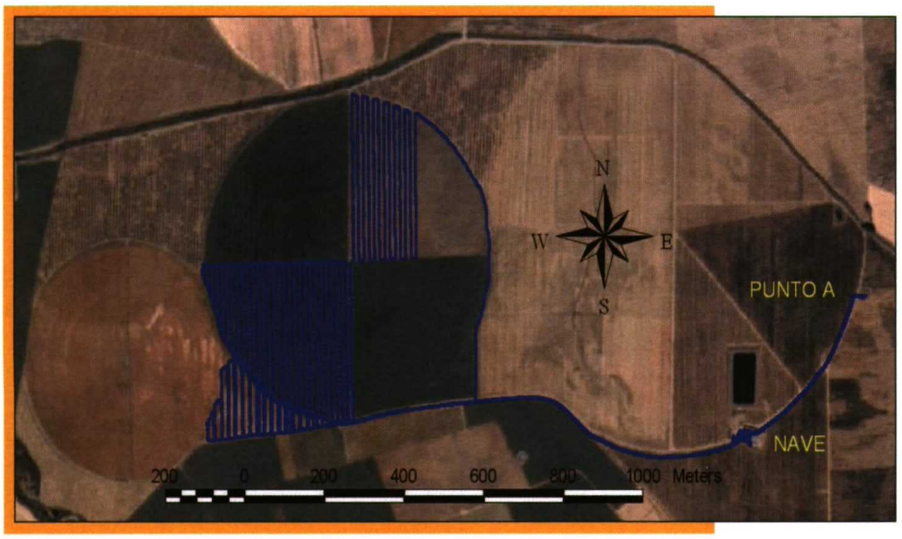
Los elementos seleccionados para cumplir con estos requisitos fueron dos: un equipo de adquisición y registro de datos marca Datataker modelo DT85 y un Modem GSM modelo SMSX de la misma marca. El primero admite lecturas de entre 32 y 48 sensores, dependiendo del tipo de sensores empleados, así como de receptores GPS. Posee un lenguaje de programación propio que permite adaptarlo a la aplicación deseada. Mediante el programa DeLogger Pro se facilita su programación y su comunicación con el PC a través de distintas vías. En cuanto al modem utilizado es de tecnología GPRS permitiendo además de la comunicación de datos en forma digital, el envío y recepción de mensajes SMS hacia y desde teléfonos móviles convencionales. Ambos equipos pueden ser alimentados a 12 V y su consumo eléctrico es bastante reducido.

Al tratarse de pruebas preliminares para evaluación de la metodología, sólo se han manejado dos tipos de señales: la procedente de un receptor DGPS Trimble modelo AgGPS132 y la tensión de batería del tractor. El programa de control que se ha elaborado inicia el almacenamiento de información cuando se activa el contacto del tractor y continúa a intervalos de un segundo mientras el contacto esté activado. Cada registro consta de: latitud, longitud, fecha, hora, velocidad y dirección de movimiento del tractor. Además, cada vez que se activa o se desactiva el contacto del tractor, se envía de forma automática un mensaje SMS al número que se le ha programado con información básica sobre el estado del equipo. También puede recibir, procedente de cualquier teléfono móvil, un mensaje SMS con un texto clave para responder con otro SMS informando de su estado. Todo el equipo se alimenta con dos baterías, una interna en el DT85 de 6V y otra externa para el modem de 12V, cuya recarga se lleva a cabo cuando el tractor está en marcha. Con el contacto desactivado, todo el equipo se encuentra eléctricamente aislado de la instalación del tractor.

El tractor con el que se han realizado los ensayos es un Massey-Ferguson 390 **(foto 1)** que forma parte del parque de maquinaria de la explotación "La Parrilla" situada a unos 50 km al oeste de Córdoba capi-

Figura 1.

Recorrido realizado por el tractor en una jornada de trabajo (27 de marzo de 2008).



Cuadro I.

Localización de los lugares y momentos de inicio/fin de cada concepto en una jornada de trabajo (5 de mayo de 2008, resiembra de algodón).

LONGITUD	LATITUD	HORA	CONCEPTO
-5,14853379	37,73775348	07:35:48	Arranca motor
-5,148781745	37,73786863	07:38:14	Para motor
-5,148781745	37,73786863	07:40:03	Arranca motor
-5,148847563	37,73783238	07:40:26	Para motor
-5,148847563	37,73783238	07:45:14	Arranca motor y sale de nave
-5,166989567	37,73666427	07:54:59	Llega a parcela
-5,167313017	37,7367143	09:10:59	Inicia recarga en borde parcela
-5,16730085	37,73671175	09:23:30	Finaliza recarga
-5,167432067	37,73974088	09:52:09	Para motor
-5,167432067	37,73974088	09:52:21	Arranca motor
-5,16778225	37,73687967	11:28:04	Para motor e inicia pausa operario
-5,16778225	37,73687967	11:47:20	Arranca motor. Fin pausa operario
-5,16787025	37,73690548	12:07:31	Inicia recarga en borde parcela
-5,16786555	37,73691107	12:17:36	Finaliza recarga
-5,16842465	37,73719895	14:37:19	Sale de parcela
-5,14887236	37,73786697	14:47:26	Llega a nave
-5,148672072	37,73780117	14:51:48	Para motor

El programa de control que se ha elaborado inicia el almacenamiento de información cuando se activa el contacto del tractor y continúa a intervalos de un segundo mientras el contacto esté activado. Cada registro consta de: latitud, longitud, fecha, hora, velocidad y dirección de movimiento del tractor. Además, cada vez que se activa o se desactiva el contacto del tractor, se envía de forma automática un mensaje SMS al número que se le ha programado con información básica sobre el estado del equipo

tal. Desde que se instaló el equipo, a finales de marzo del presente año, este tractor ha estado realizando prácticamente a diario trabajos de distinto tipo en las parcelas de la explotación dedicadas a cultivos anuales, las cuales están configuradas en lomos, tienen riego por pivot y siguen un régimen de siembra directa, con cultivos de algodón, cebolla, maíz y girasol.

Cada día, una vez finaliza la jornada de trabajo, se conecta con el equipo a bordo del tractor desde la oficina, a más de 50 km de la explotación, mediante un PC equipado igualmente con modem GSM, para descargar la información que se ha ido registrando a lo largo de la jornada y liberar la memoria una vez comprobado que se ha grabado en el PC sin errores. El archivo generado, en formato ".csv" consta por lo general de unos 25.000 registros, dependiendo del tiempo que el tractor haya estado en marcha ese día. Este archivo se vuelca sobre la aplicación AgGIS SStoolbox lo que nos permite entre otras cosas, la visualización de todo el recorrido hecho en el día **(figura 1)**.

El análisis de los archivos generados ha consistido en detectar entre todos los registros de que consta, los correspondientes a los siguientes eventos **(cuadro I)**:

- Arranque y paradas del motor del tractor.
- Salidas y entradas en el recinto de la nave de maquinaria hacia/desde las parcelas de trabajo.
- Salidas y entradas en las parcelas de trabajo.
- Inicio y finalización de las recargas (por ejemplo el punto A de la **figura 1)**.
- Inicio y finalización del tiempo de descanso del operario.

Además de esto se calcula la velocidad media de trabajo en parcela y la superficie cubierta, ambos datos por separado para cada una de las recargas en el caso de que implique regresar a la nave o al punto A **(cuadro II y figura 2)**.

Una vez detectados estos momentos, por diferencias entre ellos, se obtienen los tiempos empleados en cada concepto que hemos considerado de interés:

- Tiempo de trabajo en el recinto de la nave (preparación de trabajos, reparaciones, etc,).
- Tiempo de transporte a/desde parcelas de trabajo a nave o punto A.
- Tiempo empleado en el reabastecimiento (en su caso).
- Tiempo de trabajo en parcelas.
- Tiempo de descanso del operario.
- Tiempo que el tractor ha permanecido con el motor en marcha.

Resultados

Como comprobación de la eficacia de la metodología propuesta, se muestran los resultados del análisis de tres jornadas de trabajo del tractor. El **cuadro II** muestra los resultados obtenidos del día 27 de

Cuadro II.

Características del trabajo realizado con máquina pulverizadora, para cada carga (27 de marzo de 2008).

	Superficie trabajada (ha)	Velocidad media (km/h)	Ancho de trabajo (m)	Capacidad de trabajo teórica (ha/h)	Tiempo empleado	Capacidad de trabajo en parcela (ha/h)	Rendimiento en parcela (%)
Área 1	5,8	7,44	13,3	9,90	01:02:49	5,54	56,0
Área 2	5,3	7,71	13,3	10,25	01:01:32	5,17	50,4
Área 3	2,6	7,59	13,3	10,09	00:26:35	5,87	58,1
Área 4	5,9	7,60	13,3	10,11	00:46:24	7,63	75,5

Figura 2.

Áreas trabajadas con cada carga del pulverizador (27 de marzo de 2008).

marzo de 2008 en que trabajó sobre las parcelas que se muestran en la **figura 2** con una máquina pulverizadora.

En este primer análisis que se efectúa cuando la máquina necesita regresar a la nave o al otro punto de recarga (punto A), se calcula el rendimiento en parcela a partir de la capacidad de trabajo teórica de la máquina y de la capacidad de trabajo en parcela. La primera son las hectáreas por hora que la máquina sería capaz de trabajar sin ningún tipo de interrupción. Resulta de multiplicar el ancho de trabajo por la velocidad media en parcela, con los cambios de unidades adecuados. La capacidad de trabajo en parcela es el cociente entre la superficie trabajada con cada carga y el tiempo que la máquina ha permanecido en la parcela.

Por comparación con la anterior tenemos un indicador de las interrupciones y tiempos empleados en maniobras que se han producido. El menor rendimiento obtenido en el área 2 es consecuencia de una instalación fija de riego situada entre pivots, que obliga a levantar uno

Cuadro III.

Características del trabajo realizado en tres diferentes jornadas con el tractor ensayado.

Operación realizada	27/3/08	5/5/08	16/5/08
	Pulverizador	Sembradora	Pulverizador loc.
Ancho de trabajo (m)	13,3	3,8	3,8
Superficie trabajada (ha)	19,60	5,9	4,8
Tiempo en parcela	03:17:20	06:00:28	04:35:37
Tiempo en transporte	01:33:35	00:19:52	01:07:10
Tiempo en recargas	01:27:06	00:22:36	00:29:28
Tiempo en nave	00:24:00	00:13:48	00:48:34
Tiempo pausa operario	00:11:24	00:19:16	00:23:44
Tiempo total empleado	06:53:25	07:16:00	7:24:33
Tiempo con motor en marcha	06:42:25	06:49:55	5:59:20
Velocidad media en parcela (km/h)	7,58	3,06	4,14
Capacidad de trabajo teórica (ha/h)	10,08	1,16	1,57
Capacidad de trabajo en parcela (ha/h)	6,11	0,98	1,04
Capacidad de trabajo real (ha/h)	2,84	0,81	0,65
Rendimiento de trabajo en parcela (%)	60,62	84,46	66,47
Rendimiento de trabajo real (%)	28,21	69,83	41,21

Checchi & Magli
ITALIA
Tecnologías para horticultura
RIO 31
UTILITY
AUTOPROPULSADA
RIO 31
+WOLF COMPACT
TRASPLANTADORAS
MAQUINAS PARA
LA PATATAS
ACOLCHADORAS
Y ENTABLONADORAS
SOLICITEN NUESTRO CATALOGO
Via Guizzardi, 38 40054 BUDRIO BOLOGNA ITALIA
Tel. 051.80.02.53 Fax 051.69.20.611
www.checchiemagli.com

Figura 3.

Distribución de tiempos de trabajo con pulverizador (27 de marzo de 2008).

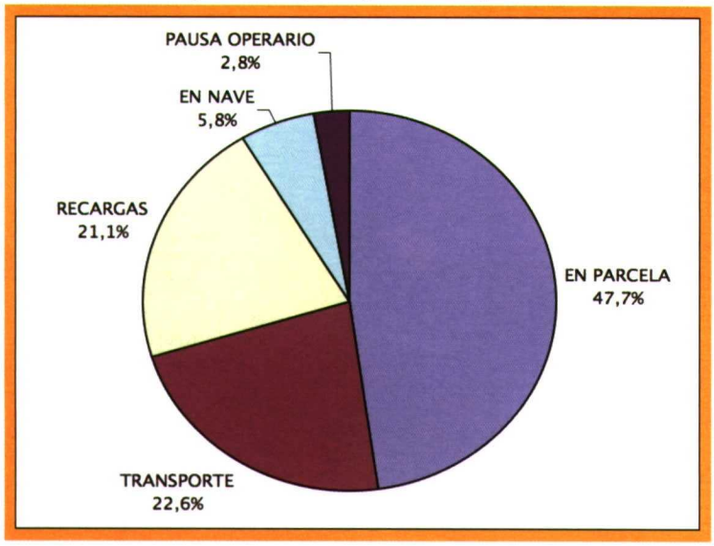


Figura 4.

Distribución de tiempos de trabajo con sembradora (5 de mayo de 2008).

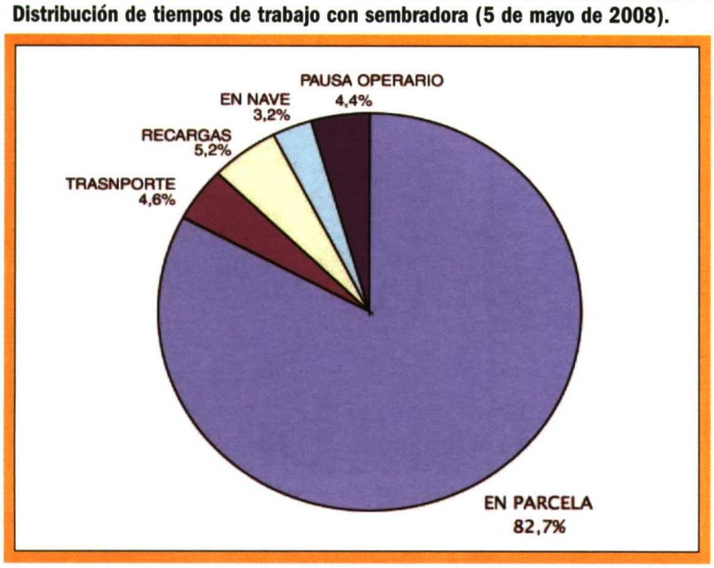
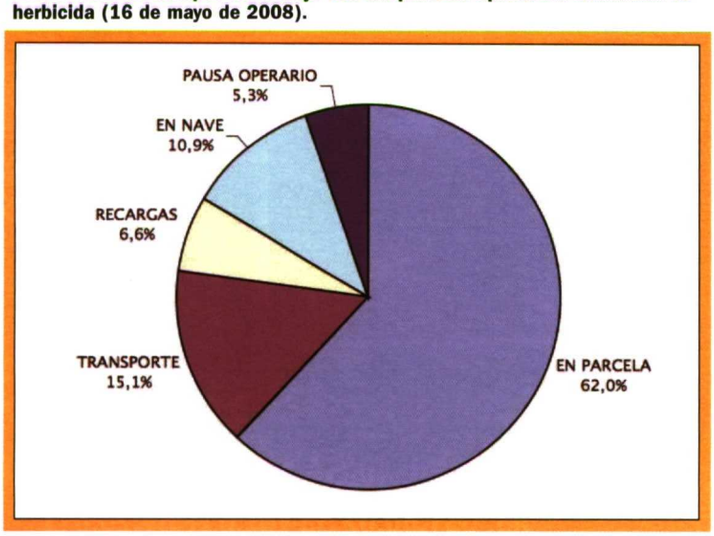


Figura 5.

Distribución de tiempos de trabajo con máquina de aplicación localizada de herbicida (16 de mayo de 2008).



Cada día, una vez finaliza la jornada de trabajo, se conecta con el equipo a bordo del tractor desde la oficina, a más de 50 km de la explotación, mediante un PC equipado igualmente con modem GSM, para descargar la información que se ha ido registrando a lo largo de la jornada y liberar la memoria una vez comprobado que se ha grabado en el PC sin errores

de los laterales de la barra cada dos pases al pasar por esta zona. En el área 4 los pases son más largos y sin obstáculos en los extremos lo que reduce los tiempos muertos y aumenta el rendimiento.

El **cuadro III** muestra los resultados de los parámetros que caracterizan las operaciones realizadas en los tres días analizados. En ellos se globalizan los obtenidos de las distintas recargas en el caso de existir y además se obtiene la capacidad de trabajo real como cociente entre la superficie trabajada y el tiempo total empleado en la operación. El rendimiento de trabajo real es el cociente entre la capacidad de trabajo real y la capacidad de trabajo teórica multiplicado por 100, lo que supone un indicador del tiempo que es ocupado en el resto de conceptos distintos al trabajo de la máquina. Las **figuras 3, 4 y 5** muestran gráficamente esta distribución de tiempos, poniendo de manifiesto la gran diferencia que supone reabastecer la máquina a pie de parcela (sembradora, 5 de mayo) frente al reabastecimiento en puntos alejados (pulverizador, 27 de marzo).

Conclusiones

La metodología expuesta permite la obtención de datos muy valiosos en la gestión de explotaciones y empresas de servicios de maquinaria agrícola, con las grandes ventajas de no interferir con el trabajo del operario del tractor y no requerir desplazamientos hasta la explotación para recoger los datos. La incorporación de nuevos sensores como medidor de consumo de combustible, velocidad de giro del motor y de las ruedas, medidores de fuerza y par en los acoplamientos, entre otros, permitirá en el futuro la caracterización aún más detallada de las operaciones mecanizadas. ■

Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación del proyecto INIA RTA 2006-00058-C03-03, cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional de la UE.
Los autores también manifiestan su agradecimiento a Rafael Calleja y Rafael Galisteo por las facilidades que nos han brindado para realizar los ensayos en la explotación "La Parrilla" en Palma del Río, Córdoba.

Bibliografía

Agricultura de precisión: nuevas herramientas para el campo. J. Agüera. Vida Rural. Vol 2001-8. pp 58-61.

Sistemas de ayuda al guiado y guiado automático de tractores y maquinaria agrícola. J. Agüera; M. Pérez. Terralia. Vol 2004-43. pp 40-47.

Monitores de rendimiento para cosechadoras de algodón y tomate. M. Pérez; J. Agüera. Vida Rural. Vol 2005-202. pp 60-63.

La Agricultura de Precisión aplicada al cultivo de la vid. M. Pérez; J. Agüera. Vida Rural. Vol 2005-212. pp 48-53.