

LA ROBÓTICA EN LA AGRICULTURA: PRESENTE Y FUTURO



Presidencia en el acto de homenaje al Prof. Pellizzi (Presidente Honorario del Club), con su viuda junto al Presidente de FederUnacoma, Massimo Goldoni.



En la 23ª Reunión Anual del **CLUB BOLOGNA**, cuyos objetivos son la búsqueda de “estrategias para el desarrollo de la mecanización agrícola”, celebrada durante la pasada EIMA 2012 en Bolonia (Italia), el tema principal de las discusiones fue el análisis de las posibilidades de la robótica aplicada a la agricultura en el presente y en los próximos años.

LUIS MÁRQUEZ
ETTORE GASPARETTO

MIEMBROS DE COMITÉ DE DIRECCIÓN
CLUB BOLOGNA

En Reuniones anteriores del **CLUB BOLOGNA** se habían analizado algunos aspectos de la electrónica aplicada, que permiten automatizar determinadas operaciones agrícolas, incluido el guiado autónomo de las máquinas.

En la reunión correspondiente a 2012 se quiso revisar el estado del conocimiento en relación con la robótica en la mecanización de la agricultura bajo tres aspectos: las unidades autopropulsadas autónomas, la gestión y coordinación de flotas de vehículos agrícolas y la robótica aplicada la recolección de las cosechas. Estas Ponencias se completaban con una conferencia que pudiera dar una visión

global del ‘Control Automático en la Agricultura’, desarrollada por el Prof. Isidori, de la Universidad de Roma ‘La Sapienza’.

Los textos completos de las Ponencias se pueden encontrar en la web del **CLUB BOLOGNA** (www.clubofbologna). En este número de **agrotécnica** publicamos una síntesis de estas Ponencias, que pueda servir de referencia a personas del sector de la maquinaria agrícola no especializadas en estos temas.

LAS UNIDADES AUTOPROPULSADAS AUTÓNOMAS: LO QUE TENEMOS Y LO QUE PODREMOS CONSEGUIR EN UN FUTURO CERCANO

Con este título, John Posselius y Chris Foster, del Grupo CNH, realizaron un análisis completo de la situación actual, a

partir de la cual se pudiera predecir lo que se espera en un futuro cercano.

Tecnologías disponibles

El guiado autónomo de vehículos se apoya en tecnologías que se han desarrollado a lo largo de más de 20 años, comenzando con los sistemas de posicionamiento global GPS, en los sistemas de visión artificial y en los de control del funcionamiento de los diferentes componentes de máquinas motrices y accionadas con protocolos de comunicación normalizados.

Las unidades autopropulsadas autónomas alcanzan un especial interés en estos momentos por la aprobación, en diferentes estados de USA, de la posibilidad de circulación de los vehículos autónomos en determinadas vías públicas. Por otra parte, en el ISO/TC23, que se encarga de la elaboración de normas para 'tractores y máquinas agrícolas', se analizan los aspectos de seguridad relativos a los vehículos agrícolas autónomos (HAAM – *Highly Automated Agricultural Machines*).

Los sistemas de guiado basados en el GPS

En la actualidad están disponibles la red USA, conocida como GPS, con 30 satélites operativos, la rusa GLONASS, con 24 satélites en la actualidad, y la Galileo, con cuatro satélites operativos, en la que se espera contar con 30 satélites.

Los proveedores de sistemas de posicionamiento para equipos agrícolas utilizan las redes GPS y/o GLONASS, con diferentes grados de resolución y de precisión en función de las características de los módulos utilizados.



Redes de satélites (GNSS).

Se entiende por resolución en un sistema de posicionamiento la desviación entre la posición media calculada en un intervalo de tiempo y la posición absoluta del punto considerado, mientras que se define la precisión por la variación de la lectura respecto a la posición media calculada.

• GPS diferencial (GPSd) con corrección WAAS u OmniSTAR®

El vehículo dispone de la correspondiente antena GPS; el sistema WAAS (*Wide Area Augmentation System*) y el OmniSTAR® disponen de receptores de referencia que permiten enviar mensajes de corrección de la posición a un satélite geostacionario, que a su vez las envía al vehículo con antena GPSd que corrige la posición.

El sistema WAAS, desarrollado en USA por su *Federal Aviation Administration* para mejorar la precisión, la integridad y la disponibilidad del sistema GPS, ofrece una precisión de 15-20 cm (6 a 8 pulgadas) paso a paso, con repetitividad de 1 minuto, y se ofrece gratuitamente en América del Norte.

El sistema OmniSTAR HP ofrece una precisión de 5-10 cm (2 a 4 pulgadas), paso a paso, con repetitividad de 10 cm (4

pulgadas) en 40 minutos. Está mejor preparado para utilizarlo en operaciones de siembra, pulverización y recolección realizadas en áreas despejadas. Para el servicio OmniSTAR XP se necesita un receptor de doble frecuencia (L1/L2). Los datos de la red OmniSTAR se obtiene a partir de los puntos de referencia, y se utilizan junto con corrección en función de las condiciones atmosféricas. Opera en tiempo real sin necesidad de disponer de bases locales o enlaces de telemetría.

• El sistema RTK

Es una técnica muy precisa, con una precisión de 1 pulgada, que se mantiene en el transcurso del año. Requiere dos receptores GPS enlazados por radio. Uno de los receptores GPS se mantiene fijo y el otro, en la máquina que trabaja, debe permanecer dentro de un círculo con un radio de 12 kilómetros para que reciba los mensajes de corrección diferencial. Ambos receptores GPS reciben datos de la red de satélites en



Sistema de visión artificial sobre un tractor.

la banda L2, lo que proporciona una buena precisión. El número de usuarios que puede utilizar la base fija es ilimitado, por lo que resulta ideal para grandes explotaciones.

La zona de utilización debe ser despejada sin montañas ni abundancia de árboles, y resulta apropiado para operaciones sobre cultivos en línea, preparación del suelo, nivelación y operaciones de drenaje que requieren precisión tanto en sentido horizontal como en vertical.

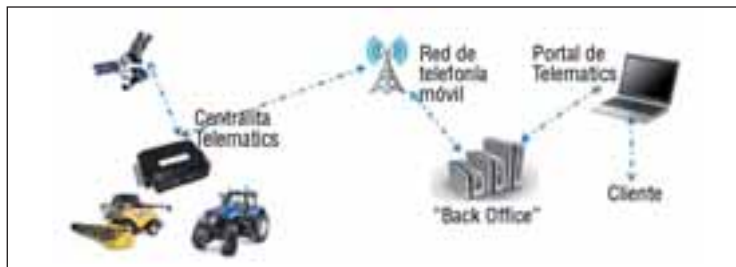
Los sistemas de visión artificial

En la pasada reunión del **CLUB BOLOGNA** de 2010, el Dr. J. Moller, desarrolló una ponencia específica sobre los sistemas de visión inteligente aplicados a la mecanización agrícola (ver **agrotécnica**, marzo de 2011, páginas: 74 a 80), tanto en dos como en tres dimensiones. Hay aplicaciones en fase comercial basadas en la visión artificial, como el AutoFill de Claas y el IntelliFill de New Holland, para el llenado de remolques con las picadoras de forraje, utilizando cámaras de 3D para obtener el cuadro perfecto de la caja del remolque con 4 imágenes tomadas en 20 milisegundos; el sistema funciona tanto de día, con alta luminosidad o en condiciones pulverulentas, como de noche.

Los sistemas de cálculo y control

La industria de la maquinaria agrícola sigue a la industria de la automoción en todo lo que se relaciona con la electrónica embarcada y los sistemas de mando. Esto es una consecuencia de que la industria de la automoción hay una economía de escala que no existe en la maquinaria agrícola.

Estos dispositivos para el control automático se diseñan para cumplir una tarea espe-



Sistema de comunicaciones AFS Connect™.

cífica e incluyen elementos mecánicos, hidráulicos, eléctricos, etc. para operar frecuentemente en tiempo real, junto con microprocesadores con sus memorias del tipo PROM (programables una sola vez) o del tipo EPROM (reprogramables). Estos microprocesadores se han desarrollado en paralelo con la industria de los ordenadores, y se dispone en la actualidad microcontroladores de 32 bits, aunque todavía predominan los que trabajan en 8 bits, como consecuencia de que no se requieren altos niveles de potencia de cálculo.

Hoy, en la industria de la maquinaria agrícola, se utilizan 15 o más microcontroladores embarcados, con diferente nivel de prestaciones, entre los cuales se encuentran los del monitor, antena GPS, guiado, potencia, ISO-BUS, etc. En la actualidad se utilizan microprocesadores de 32 bits para el proceso de guiado automático y de 16 bits para la gestión de potencia. Estos niveles permiten cálculos relativamente complejos, realizados en tiempo real, como los que se necesitan en vehículos autónomos.

Telemática y comunicación entre vehículos

La comunicación entre las máquinas en movimiento y estaciones fijas remotas vía telemática puede permitir el telemando de un vehículo y la comunicación entre vehículos que comparten una operación. En la actualidad se dispone de

sistemas que permiten la realización del diagnóstico remoto de máquinas en campo y el control del estado de funcionamiento de las mismas.

Así, Case IH ofrece el sistema AFS Connect™ que combina un sistema de posicionamiento global, ordenadores y tecnología de comunicaciones inalámbricas para gestionar el negocio agrícola, disponiendo de la información de la máquina trabajando en tiempo real, tanto agronómica como del lugar de trabajo, para todas las máquinas conectadas al sistema.

Deere&Co. ofrece su sistema *John Deere Remote Display Access* que permite al gerente de la explotación y al concesionario (con autorización del propietario) seguir el funcionamiento de la máquina en tiempo real y proporcionarle apoyo remoto. Desde un teléfono móvil conectado a Internet, o dispositivo similar, se puede ver el monitor del vehículo (versión Greenstar™ 3-2630). La visión directa de la pantalla del monitor desde un ordenador de sobremesa permite resolver a distancia problemas, durante el funcionamiento del vehículo, o modificar sus parámetros de funcionamiento en tiempo real.

(Una información completa del sistema se encuentra en: http://www.deere.com/wps/dcom/en_US/industry/agriculture/our_offerings/feature/2012/remote_display_access.page).

AGCO y New Holland dispone de sistemas telemáticos si-

milares a los de Case IH y John Deere. El sistema de telemetría AGCOCOMMAND permite, en tiempo real, utilizando teléfono móvil o PC, el acceso a los parámetros de funcionamiento de la máquina, al igual que PLM™ Connect de New Holland.

La situación de los sistemas de automatización

Uno de los desafíos que hay que vencer para disponer de un vehículo totalmente autónomo es automatizar las correcciones que se necesitan para ajustar la máquina a la situación en la que trabaja. Un ejemplo de esto es la variación de la velocidad de avance para mantener la carga en el sistema de trilla en las cosechadoras de grano, y la modificación de la posición del cóncavo y las cribas para no aumentar las pérdidas de grano. La cosecha inteligente, teniendo en cuenta la automatización de los diferentes mecanismos de la máquina, es un requisito necesario para poder desarrollar vehículos autónomos.

• Control de la alimentación en cosechadoras de grano

Todas las marcas disponen de sistemas para automatizar los conjuntos de alimentación, trilla y separación de las cosechadoras de cereales con el objetivo de optimizar las prestaciones. Entre ellos se encuentran el *Cruise Pilot* de Claas, el *Harvest Smart* de John Deere, o el *Inte-*

lliCruise™ de New Holland, que ajustan la velocidad de avance la producción en cada zona del campo. El nivel de cosecha que llega a la máquina se determina mediante sensores de carga en el sistema de elevación de la mies entre la plataforma y el cilindro trillador.

• El ISO-BUS III

La norma ISO 11783 ('Tractores y maquinaria agrícola – Control y comunicación en serie para micro ordenadores en red') es una norma técnica desarrollada para la comunicación entre tractores y máquinas agrícolas. El sistema utilizado está basado en el CAN 2.0B desarrollado por Bosch y se elaboró a partir de la norma SAE J1939 para vehículos industriales.

En su conjunto, la norma ISO 11783 especifica los requisitos de formato de datos para el intercambio de información entre micro ordenadores e instrumentos instalados en las máquinas agrícolas, siendo ISO-BUS el nombre comercial que se ha adoptado para describir los sistemas que utilizan esta norma ISO.



Unión ISO-BUS Clase 3 entre tractor y remolque autocargador.

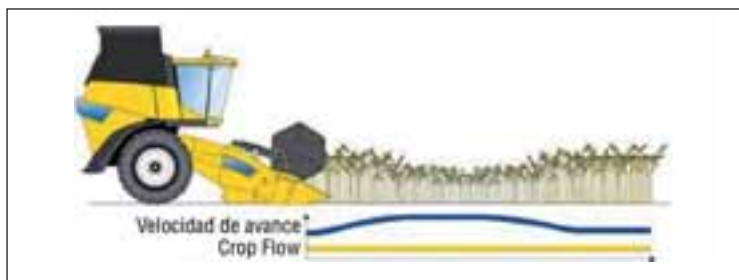
La norma especifica tres Clases de interfaces de comunicación entre el tractor y los aperos o máquinas accionadas. La Clase 3 es necesaria para establecer comunicación entre el sistema ISO-BUS y el CAN bus del tractor. Cada Clase de mayor nivel agrega funcionalidad a las clases más bajas; así, la Clase 2 reconoce todos los mensajes de la Clase 1, además del conjunto de mensajes específicos de la Clase 2. La Clase 3 es la de nivel más alto, y permite al apero tomar control del tractor en algunos de sus elementos, como salidas hidráulicas, control de la TDF, enganche tripuntal, dirección, velocidad de avance, etc. Esto no quiere decir que el tractor proporcione acceso a cualquier apero que pida el control directo del mismo, pero la norma ofrece esta posibilidad si hay un acuerdo al respecto.

John Deere tiene acuerdos con varios fabricantes de máquinas agrícolas (Pöttinger, Grimme, Amazone, Rauch, etc.) para desarrollar y utilizar la comunicación Clase 3 en diversos tipos de máquinas con el objetivo de conseguir niveles superiores de automatización. El sistema

designado como TIM (*Tractor Implementation Automation*) permite el trabajo combinado con 11 equipos diferentes. Asimismo, han desarrollado un sistema de seguridad que permite, solamente a las máquinas certificadas,

tomar el mando de funciones específicas del tractor.

El ISO-BUS Clase 3 cambia el panorama del conjunto tractor-máquina accionada. La máquina que realiza una tarea específica se integra en el tractor, con lo que se pueden alcanzar niveles superiores de automatización del conjunto, tomando en



Control de alimentación en las cosechadoras de grano.

cada momento la decisión más adecuada, necesitando menor habilidad y atención por parte del conductor.

Algunos proyectos de vehículos autónomos

El **proyecto Demeter** (1994-2000) se pone en marcha mediante acuerdo entre la *Universidad Carnegie Mellon* (CMU), la NASA y New Holland con el objetivo de segar y acondicionar un campo de 40 ha de alfalfa de forma autónoma continua. Para ello se utilizó como base la segadora acondicionadora autopropulsada Demeter (NH 2550 de New Holland). Esto se pudo realizar en 1997, y en 1998 se procedió, con este mismo equipo, a la siega de 50 ha con alfalfa y con pasto sudán.



Proyecto Demeter (segadora-acondicionadora NH 2550).

El National Robotics Engineering Consortium's (NREC), junto con New Holland y la CMU desarrollaron el sistema de trabajo en función de lo que consideraron las necesidades de los usuarios, utilizando dos sistemas de guiado, una visión en estero para determinar la línea de corte de la cosecha, que también podía detectar los finales de línea y obstáculos que se pudieran presentar delante de la segadora-acondicionadora, junto con un sistema de posicionamiento GPSd y un giroscopio integrados. Asimismo se utilizaron codificadores de rueda para determinar su posición exacta

y su orientación. El sistema de posicionamiento GPSd también sirvió para determinar la eficacia del sistema de visión artificial. Un documento que describe la tecnología utilizada se puede encontrar la Web del NREC.

El proyecto **DARPA Grand Challenge** (2004-2005) fue consecuencia de que la *US Defense Advanced Research Project Agency* (DARPA) recibiera la autorización del Congreso USA para ofrecer un premio de un millón de dólares para un vehículo totalmente autónomo que pudiera realizar un recorrido fuera de camino de 150 millas en un intervalo de tiempo limitado. Esta competición recibió el nombre de 'Gran Desafío', y su objetivo era disponer de soluciones para fabricar un vehículo militar todo terreno autónomo para el año 2015. Con más de 100 equipos participantes, en un recorrido establecido en el desierto de Mojave, el 4 de noviembre de 2004, ninguno de ellos superó la prueba.

El segundo *Grand Challenge* tuvo lugar el 8 de octubre de 2005 y se aumentó el premio a dos millones de dólares. El recorrido establecido era más complicado que en la prueba anterior y con más curvas. Cinco vehículos completaron el recorrido, siendo el de la Universidad de Stanford el ganador, con un tiempo empleado de 6 horas y 54 minutos.

La tercera competición cambió la denominación a **Urban Challenge**, y tuvo lugar el 3 de noviembre de 2007 en la Base George de la Fuerza Aérea en California. El recorrido de 60 millas, con tiempo límite de 6 horas, compartía el tráfico urbano y exigía a los vehículos participantes una toma de decisiones más compleja que en los desafíos anteriores. A cada equipo se dio un

mapa de puntos en el recorrido al comienzo de la competición. El ganador fue el *Tartan Racing* de la Universidad de Carnegie Mellon y GM, quedando en segundo lugar la Universidad de Stanford.

Aplicaciones agrícolas comerciales

En SIMA 2011, Case IH presenta su **AFS - V2V** (*Advanced Farming System-Vehicle to Vehicle*) que permite la sincronización automática de dos vehículos que trabajan juntos siendo controlados por un solo conductor. Esto se aplica especialmente a tractores con remolque que van recibiendo la cosecha junto a la cosechadora, siendo el conductor de la cosechadora el que establece la velocidad y los cambios de dirección del tractor. Se utiliza una comunicación inalámbrica que se establece en el momento en el que el tractor entra en una zona definida en las inmediaciones de la cosechadora.

La ventaja de este sistema es la descarga de trabajo para los conductores de la cosechadora y del tractor que arrastra el remolque sobre el que cae el grano, lo que permite continuar cosechando sin riesgo de accidentes por colisión entre ambos vehículos.

John Deere pone en el mercado su sistema **MachineSync**, para la comunicación y coordinación entre cosechadoras y



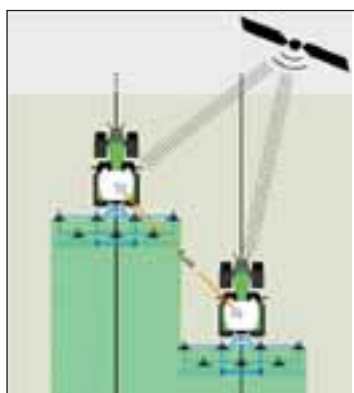
Sistema de enlace AFS-V2V de Case IH.



Sistema MachineSync de John Deere.



Prototipo de tractor robotizado (Univ. de Copenhague).



Sistema GuideConnect de Fendt.

tractores durante la cosecha y el transporte de grano, que permite optimizar las capacidades en la recolección y el transporte de la cosecha. La transmisión de datos de la cosechadora al tractor se realiza a través de comunicación por radio, que establece una conexión constante y transmite los datos de forma digital.

Permite la localización de todas las cosechadoras a la vez. Un mapa resumen indica exactamente dónde se encuentran las cosechadoras y las unidades de transporte en el campo. Es posible dirigir las unidades de transporte directamente a las cosechadoras, lo que permite reducir el número de trayectos. Se muestran los niveles de llenado de los depósitos de grano

de cada una de las cosechadoras, y se da prioridad de aproximación a las cosechadoras en función de sus niveles de llenado. La cosechadora informa al tractor con remolque de la posición en la que se realizará el encuentro.

El Grupo AGCO presenta en Agritechnica 2011 el Fendt **GuideConnect**, sistema de conducción y control simultáneo de dos tractores con un solo conductor. Se establece un enlace electrónico entre dos tractores, de forma que el conductor de uno de ellos controla también el segundo tractor que trabaja en paralelo, o por detrás. El sistema se basa en el enlace por radio entre ambos vehículos, junto con un sistema de GPS de alta precisión.

Las cajas de envío/recepción garantizan el intercambio de información entre ambos tractores; el tractor sin conductor envía regularmente la información de su estado al tractor que guía. La cantidad de máquinas y el método para sortear los obstáculos se puede predefinir utilizando los monitores de los tractores enlazados. El sistema monitoriza su propio estado, y, si es necesario, puede detener el tractor desatendido y apagar los actuadores (TDF, etc.). El operador de la primera máquina

puede dejar en estático la segunda máquina en el momento que lo decida.

Hay otras experiencias para el desarrollo de estos sistemas, como el consorcio establecido en el 7ª *Framework Program* 2010-14 de la UE (RHEA) que reúne a 19 grupos de trabajo perteneciente a 15 organizaciones diferentes de 8 países europeos, que integra aspectos relacionados con la robótica, la agronomía, la fabricación del equipo agrícola y su utilización por parte de los usuarios.

Algunas conclusiones

Los desarrollos que se vienen realizando para la automatización de las máquinas agrícolas están proporcionando una base sólida para el desarrollo de máquinas agrícolas autónomas. La investigación en máquinas agrícolas autónomas ha sido muy activa en los últimos 10 años.

En algunos casos, los investigadores han fijado su atención en enjambres de máquinas pequeñas o robots, mientras que otros prefieren trabajar en la automatización de tractores y máquinas como las que en estos momentos utilizan los agricultores.

Hay preocupación con respecto a los daños que puede

ocasionar la 'huida' de los vehículos autónomos, y se necesita desarrollar una legislación que garantice la cobertura de este riesgo. Sin duda se seguirá lo que se establezca para los vehículos automóviles, más cercanos a la sociedad.

El desarrollo de vehículos autónomos irá unido a la escasez de mano de obra cualificada en determinadas situaciones, y los beneficios resultantes de su utilización los analizan las industrias que desarrollan estas tecnologías.

GESTIÓN Y COORDINACIÓN DE PARQUES DE MAQUINARIA

La gestión de parques de maquinaria utilizando las modernas tecnologías de información y comunicación fue desarrollada, en la 2ª Ponencia de este bloque temático dedicado a la Robótica en la Agricultura, por el Prof. Claus Grøn Sørensen de la Universidad Aarhus de Dinamarca. Esta Ponencia completó



El Secretario General de ANSEMAT, Ignacio Ruiz (derecha), durante la Reunión.

algunos aspectos de la anterior relativa a las 'Unidades Autónomas'.

Las bases de estos sistemas de gestión agrícola se han utilizado durante muchos años para la dirección centralizada de los sistemas de transporte y distribución de mercancías. Se han tenido que modificar para satisfacer las necesidades agrícolas, identificando particularidades y ajustándolos a las circunstancias de la Agricultura.

En esta Ponencia se analizaron los tres niveles que se pueden aplicar a la gestión de parques de máquinas, el primero de ellos de 'vigilancia pasiva', el segundo de 'comunicación interactiva' y el tercero de 'adquisición de datos'.

En la primera generación de sistemas de gestión de parques

de máquinas se utilizaron aplicaciones de software relativamente simples. Estos sistemas han evolucionado, y algunos de ellos, como AFS Connect™ de Case IH, el John Deere Remote Display Access, el AGCOCOMMAND y el PLM™ Connect de New

Holland fueron comentados en la Ponencia anterior.

Con los sistemas de informáticos y de comunicación para la gestión de parques de máquinas agrícolas se esperan beneficios, como aumentar la productividad de los operadores de las máquinas, reducir el consumo de combustible, mejorar la atención al cliente en las empresas de servicio, facilitar los procesos de toma de decisiones, y reducir los costes de operación.

Para que se generalice su utilización se necesita elaborar normas que faciliten el intercambio de información entre las unidades agrícolas en funcionamiento y los sistemas de comunicación, como puede ser una 'caja negra', situada sobre cada máquina, que recopile la información que necesitan los sistemas de gestión.

En cualquier caso, estos sistemas tienen que demostrar, en un análisis de coste-beneficio, que el saldo es positivo, que son flexibles para adaptarse a una gran variabilidad de opciones, que son fáciles de manejar por parte del usuario, que los datos se registren y almacenen de forma automática, y que son compatibles con otras herramientas de toma de decisiones de nivel más bajo que se puedan utilizar en las explotaciones.

La incorporación de estos sistemas en zonas agrícolas muy desarrolladas puede producir un cambio tan radical como lo fue la 'tractorización' de la agricultura en la década de los '50 y '60 del siglo XX. ■

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

Club of Bologna (<http://www.clubofbologna.org/documents.php>)

• PROCEEDINGS 2010 y 2012

'Plataforma del Conocimiento' del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (España)

www.magrama.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/plataforma-de-conocimiento-para-el-medio-rural-y-pesquero/biblioteca-virtual/articulos-de-revistas/consulta.asp

Mazzetto, Fabrizio

• *Aplicación de la electrónica avanzada en tractores y máquinas agrícolas. Parte 5.- Los sistemas de posicionamiento.* 'Agrotécnica', 2009, 5:84-88

Márquez, Luis; Gasparetto, Ettore

• *Club Of Bologna 21ª Reunión Plenaria. Del posicionamiento global a la agricultura de precisión.* 'Agrotécnica', 2011, 4:72-76

• *Club Of Bologna 21ª Reunión Plenaria. La visión artificial: una tecnología versátil para la automatización de las máquinas agrícolas.* 'Agrotécnica', 2011, 3:74-80.