

# BANDERILLERO SATELITAL, GUIANZA DE MAQUINARIA AGRÍCOLA CON TECNOLOGÍAS DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN

(GPS guidance-aid in agricultural machinery  
with precision agriculture technologies)

Andrés Fernando Jiménez López\*, Óscar Zabaleta Laverde

Escuela de Ingeniería Electrónica, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Grupo de Investigación DSP,  
\*andresfejim@gmail.com

(Recibido 9 de septiembre de 2009 y aceptado 3 de marzo de 2010)

## Resumen:

Actualmente, los ingenieros están trabajando en hacer más pequeñas y fáciles de usar las maquinas existentes, en vez de desarrollar nuevas. En agricultura, su finalidad es optimizar el uso de maquinaria para asistir al operador en tareas repetitivas, debido a que estos deben concentrarse en manejar de forma precisa la maquinaria agrícola en recorridos paralelos y de alta precisión, para evitar el sobrepaso en el campo. Con los sistemas de guianza de GPS, comúnmente conocidos como guianza con barra de luces o banderillero satelital, el operador manipula la maquinaria, con precisiones de hasta 5 pulgadas en el campo. Este trabajo presenta el estado del arte del uso de sistemas de guianza con GPS en maquinaria, y su aplicación en agricultura de precisión.

**Palabras clave:** agricultura, electrónica, computación, GPS.

**Abstract:** These days, engineers are working on making existing machines smarter and easier to use rather than trying to develop new ones. In agriculture, their aim is to let machines either do the job or assist the operator in repetitive tasks due to operators must concentrate on driving accurately the agriculture machinery on parallel paths and with high precision in order to avoid overlaps in the field. With GPS guidance-aided systems, commonly known as light-bar guidance, the operator steers the machinery, with an accuracy of 5 inches in the field. This work presents the art study for the use of GPS guidance-aid in machinery and its application in precision agriculture.

**Key words:** agriculture, electronics, computation, GPS.

## 1. INTRODUCCIÓN

La agricultura de precisión es una tecnología emergente con promesa sustancial para ayudar a los agricultores y la sociedad. Como tecnología, permite el manejo de información para optimizar la aplicación de insumos agrícolas basada en las condiciones específicas encontradas en cada sitio dentro del campo. Los reportes de los investigadores de la Universidad de Ohio (Arnholt, et al., 2001), han permitido determinar los factores que llevan a los agricultores a adoptar sistemas de agricultura de precisión en sus fincas, entre los que se encuentran los siguientes:

- Incremento de las utilidades, tomando mejores decisiones de manejo de campo;
- Mejoramiento del conocimiento de la variabilidad de parámetros del cultivo y del suelo (fertilidad, nutrición, pH, etc.);
- Posibilidad de estar a la vanguardia de la tecnología disponible para asistir el manejo de los campos;
- Decrecimiento del riesgo en el manejo de los cultivos;
- Conducción de experimentos en las fincas;
- Competitividad frente a leyes y regulaciones;
- Proyección de un status líder en la comunidad;
- Preservación de cultivos y del medio ambiente;

- Incremento del rendimiento en campo y la cuantificación precisa de áreas de alto o bajo rendimiento;
- Mejor conocimiento para la selección futura de híbridos y variedades;
- Mejoramiento de la información para el manejo de rotación de cultivos;
- Identificación de problemas de drenaje;
- Reducción de compactación del suelo;
- Conocimiento preciso de problemas de malezas, y
- Reducción en el uso de fertilizantes, herbicidas, insecticidas y fungicidas.

El fundamento de la agricultura de precisión en Argentina, Brasil, algunos países Europeos, Canadá, Australia, Estados Unidos y otros países del mundo, se basa en poder manejar la variabilidad, que -según algunos autores- puede ser: natural (topografía, génesis de suelo, etc.), inducida (manejo de la fertilidad, rotaciones, etc.) o la combinación de las dos variabilidades. En la actualidad, la agricultura de precisión en Argentina posee todas las herramientas que se encuentran disponibles para el resto del mundo, desde la base de esta herramienta, que es el GPS, continuando con el monitor de rendimiento, software, monitores de siembra, equipamiento para la aplicación de semilla y fertilizante, dosis variable, banderilleros satelitales y sensores remotos (como fotografía

aérea, imágenes satelitales, etc.) (Bragachini, 2006, et al., 1998). Los componentes que más se han adoptado en Estados Unidos son los sistemas de muestreo de suelo y la aplicación variable de insumos (Tasa variable de fósforo, potasio, nitrógeno, micronutrientes, herbicidas, pesticidas y plaguicidas), además del análisis de imágenes satelitales (Arnholz, et al., 2001).

Otros sistemas que también tienen utilidad para control de aplicaciones son los registradores de actividades en campo, por cualquier maquinaria (sembradora, pulverizadora, cosechadora, etc.), sistemas de guía (como el autoguía y el volante hidráulico), “NIRS” sensores en tiempo real de proteína en grano (toma 5 mediciones por minuto y el sensor va colocado en la noria de la cosechadora), y sensores de nitrógeno (se basan en sensores que leen biomasa e índice verde del cultivo, y tienen la posibilidad de hacer la aplicación variable de fertilizante nitrogenado a medida que atraviesan la variabilidad) (Brogliani, 2006).

## 2. BANDERILLERO SATELITAL

Al mismo tiempo que la agricultura de precisión incrementa su popularidad y disponibilidad, también lo hace el uso de los sistemas guiados. Por años, los agricultores y operadores de maquinaria han usado diferentes métodos para la guianza de la aplicación de insumos agrícolas en campo, tales como marcas mecánicas o marcas de espuma, o seguimiento de líneas o hileras del cultivo, mientras que otros se fundamentan en la experiencia del productor para mejorar la precisión de operaciones paralelas del sistema (Ehsani, 2001).

Actualmente, los ingenieros están trabajando para hacer más inteligentes y fáciles de usar las máquinas existentes, que para tratar de desarrollar máquinas nuevas. En la agricultura, su objetivo es el de hacer más eficientes las tareas repetitivas de trabajo o asistencia al operador de la maquinaria (Ehsani, 2001). La necesidad de mayor precisión y menos estrés físico de los operarios es el aspecto más importante de este procedimiento, y el camino más efectivo para aumentar la eficiencia de estas tareas es usando sistemas de guianza con Sistemas de Posicionamiento Global, proceso conocido como Banderillero Satelital. Estos sistemas de guianza están definidos por el uso de receptores de corrección diferencial DGPS y de mecanismos de guianza, que pueden usar luces, pantallas visuales o tonos audibles (Sullivan, 2001).

### 2.1 Sistema de Posicionamiento Global GPS

El sistema GPS, concebido originalmente como auxiliar para la navegación de las fuerzas militares de EEUU, posee tres subsistemas o segmentos que lo componen: el segmento espacial o subsistema satelital, el segmento de control o subsistema de control y el segmento de usuario o subsistema del usuario. Este sistema está constituido por 24 satélites operativos de la constelación NAVSTAR (GPS), que se hallan distribuidos en 6 órbitas elípticas. Los satélites tienen un período de casi 12 horas, y orbitan aproximadamente a 20.000 km de altitud (ver figura 1).

La configuración de la constelación asegura que siempre haya un mínimo de 4 satélites visibles desde cualquier punto de la tierra, que emiten un código pseudoaleatorio (PRN) en su señal, mediante el cual son identificados por sus receptores. El subsistema de control manipula la información de los satélites y puede corregir errores de posicionamiento, y el segmento usuario es el que realiza el trabajo en la base terrestre (Srinivasan, 2006).

Existen varias fuentes de error en un receptor GPS: errores en los relojes atómicos (están en los satélites), errores de órbita (pueden ser controlados desde el segmento de control), errores del receptor de GPS (según la calidad), atmósfera terrestre (ionosfera de 400 km y tropósfera de 80 km de espesor), multitrayectoria (obstáculos o árboles que interfieren la señal que debe llegar al receptor GPS), geometría satelital (ubicación de los satélites) y la disponibilidad selectiva (inducida por el departamento de defensa de los EE.UU. desde el segmento de control) (Bragachini, 2006).

### 2.2 Sistemas de corrección de la señal GPS

Existen cinco tipos principales de corrección de errores de la señal de GPS, como se explican a continuación:

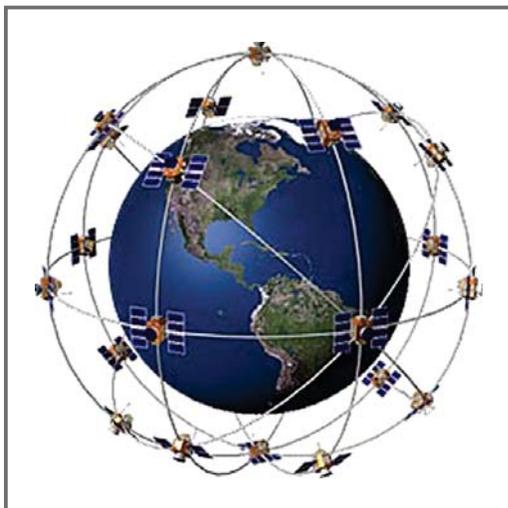
*Mediante antenas Beacon:* son antenas fijas de coordenadas conocidas (bases GPS), correctoras de la señal de los satélites. Las correcciones las realizan mediante radiotransmisión (onda FM) en la banda que va desde los 200 Mhz a los 500 Mhz (Bragachini, et al., 2006), con un costo promedio de USD\$30.000 por antena.

*Mediante satélite geoestacionario:* son satélites que se encuentran fijos en el espacio, cuyo servicio debe suscribirse y pagarse anualmente. En Colombia se utilizan: Omnistar, con un costo anual de USD\$1.000, e Inmarsat, compañía del Reino Unido que cuenta con una constelación de 11 satélites geoestacionarios, que cubren casi todo el planeta y que son empleados por los sistemas Jhon Deere, para su maquinaria agrícola (Bragachini, et al., 2006);

*Mediante corrección interna del receptor GPS:* Determina y minimiza el error ionosférico en el receptor. No genera ni transmite por radio una corrección típica RTCM, pero permite obtener posiciones válidas diferenciales con excelentes resultados en guía de maquinaria. Aunque el sistema es gratuito (Bragachini, et al., 2006), los dispositivos para acceder a él sí tienen un elevado costo;

*Combinación de satélites geoestacionarios y estaciones de referencia:* obtiene una precisión del orden de los 3 m, y la señal es gratuita. WAAS (EEUU), EGNOS (Europa), MSAS (Japón) y GLONASS (Rusia) (Bragachini, et al., 2006);

*Mediante red de sensores inalámbricos LCD-GPS:* es un sistema de comunicación entre receptores de tipo estándar GPS, capaz de mejorar su precisión, y puede ser usado para vehículos móviles (Kara et al., 2007).



**Figura 1.** Constelación de Satélites del Sistema de Posicionamiento Global GPS.  
Fuente: [www.tecnoprojectltda.com](http://www.tecnoprojectltda.com)

## 2.3 Sistema de guianza

Existen dos tipos de sistemas de guía satelital basados en GPS: los sistemas de guía con ayuda y los sistemas de guianza con GPS autopilot o de manos libres, en el que el conductor se encarga solamente de supervisar la labor en campo, mas no de la conducción como tal. El sistema autoguía es capaz de manejar al tractor a través del campo, en una línea recta, con una precisión lateral de menos de una pulgada. Estos sistemas usan la cinemática en tiempo real de alta precisión fundamentada en GPS. Este sistema puede trabajar con cualquier operación de campo, incluyendo plantación, labores de campo y cosecha. Su costo en el mercado puede llegar a ser de USD\$ 50.000 (Ehsani, 2001).

En el sistema de guiado con ayuda, comúnmente conocido como sistema de guianza con barra de luces, el operador maneja la maquinaria. Son sistemas de mucho menor costo, promediando unos USD\$ 5.000, con una precisión de 8 a 20 pulgadas, y son usados para la aplicación de fertilizante, pesticidas y sistemas de drenaje (Ehsani, 2001).

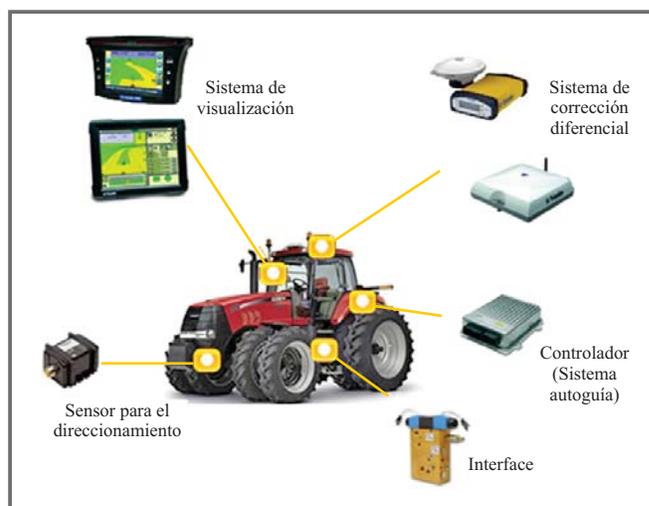
En el banderillero satelital, un receptor de DGPS es colocado en la maquinaria agrícola, como un sistema de guía sobre el tractor, el aspersor y las aplicaciones de fertilización, que pueden mejorar la precisión y eficiencia de los equipos de aspersión y fertilización, la habilidad para generar filas rectas, el manejo de los equipos a mayor velocidad con menor fatiga del operador y menor tensión visual, además de permitir el uso de datos descargados, para validar la aplicación en áreas de referencia futura (Boman, et al., 2001)

Los banderilleros satelitales se constituyen en una herramienta muy útil en cuanto a seguridad y calidad de aplicación, a tal punto que no se justifica tener una pulverizadora autopropulsada, sin banderillero satelital. El proyecto de Agricultura de Precisión del INTA (Instituto Nacional de

Tecnología Agropecuaria de Argentina) viene realizando en Córdoba y Santa Fe, desde 1998, ensayos exploratorios que dan buenos resultados en cuanto a la información base que se genera de lotes con variabilidad o sin variabilidad (lomas, medias lomas y bajos, suelo sódico e influencias del ambiente, entre otras). Se sabe que esto implica conocimientos agronómicos y utilización de herramientas de agricultura de precisión, que cada día están más al alcance de una mayor cantidad de usuarios (Bragachini, et al., 2006). Seguramente, en un país como Colombia, en el que se subfertiliza o sobrefertiliza, que aplica los insumos químicos de forma homogénea y que no rota adecuadamente los cultivos, hablar de manejo de la variabilidad dentro de un lote no parece adecuado; sin embargo, conocer los resultados de ensayos exploratorios e investigaciones e iniciarse en el tema resulta prioritario a corto plazo.

### 2.3.1 Componentes de un sistema de guianza

Los componentes básicos de un sistema de guianza son: el Sistema de Posicionamiento Global con corrección Diferencial (DGPS, por sus siglas en inglés), la antena, el controlador y la pantalla de guianza, el data logger, los dispositivos de sonido y la pantalla de visualización, tal como se aprecia en la figura 2 (Sullivan, 2001). Las antenas GPS se usan para recolectar las señales de GPS, son resistentes al agua y tienen montajes magnéticos; deben colocarse en la parte superior del vehículo, con completa visibilidad a todos los ángulos del cielo; generalmente se ubican en la parte superior del tractor o aplicador, según indicaciones del fabricante.



**Figura 2.** Componentes básicos de un sistema de guianza.  
Fuente: [www.trimble.com](http://www.trimble.com)

El receptor GPS determina la locación de la información, y la envía al sistema de guianza, para crear un camino preciso de navegación. El receptor DGPS tiene varias opciones disponibles para la fuente de señal de corrección diferencial estudiadas en la sección 2.3.2. Cuando se escoge un receptor GPS, se debe estar seguro que éste provea la señal de acuerdo

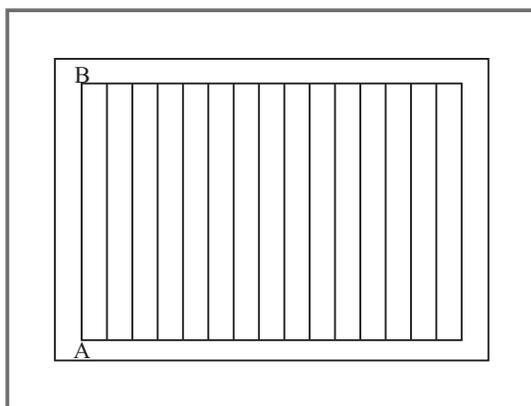
con el país en el que se va a utilizar. La rata de actualización del receptor GPS es el número de veces que el receptor envía la información de posición por segundo; por ejemplo, un GPS de 5 Hz enviará la información de posición cinco veces por segundo. La mayoría de los sistemas de guía necesitan una rata de actualización de 5 Hz para su correcta operación, debido a la velocidad de la información que se necesita procesar. (Sullivan, 2001).

Existen diferentes tipos de visualización para el sistema de guía, que dependen de la preferencia del usuario: barra de luces, líneas en movimiento o dibujos en la pantalla de la dirección de la aplicación (Bragachini, et al., 2006). Por su parte, los controladores son usados para seleccionar las opciones de menú en un sistema de guía. El sistema busca que el agricultor u operario de la máquina maneje de forma más amigable la información (Sullivan, 2001).

### 2.3.2 Características de guía

Un prediseño de caminos o recorridos que debe realizar el tractor, elaborados mediante un software especializado establece el camino que debe seguir el sistema de guía durante las operaciones de campo. Cuando se comienza a realizar alguna aplicación en campo con este sistema, se ubica el vehículo en un punto de comienzo, preferentemente contra un alambrado o camino, y se ingresa como punto A en el receptor. Luego se va hasta el final del lote, haciendo la primera pasada paralela al alambrado, y se ingresa el punto B. Hecho esto, y previo ingreso del ancho de trabajo, la computadora traza infinitas líneas paralelas a la original A-B, con una separación igual al ancho de trabajo de la maquinaria utilizada, dato que será ingresado al equipo por el operador (ver figura 3) (Bragachini, et al., 2006).

Al realizar una pasada por el lote y girar el equipo hacia la otra, el display indica la distancia que falta y, con la barra de luces, determina la dirección para encontrar la próxima pasada.



**Figura 3.** Definición de Recorridos de la maquinaria agrícola, mediante banderillero satelital.  
Fuente: Los Autores.

Una vez encontrada la línea correspondiente, se prenden las tres luces centrales de la barra guía, que son verdes, e indican que el trayecto del vehículo es correcto. Si se desvía hacia cualquiera de los lados, se prenden las luces rojas hacia el lado corres-pondiente, indicando una distancia determinada de desvío, que se debe programar con antelación; por ejemplo, cada luz puede indicar un desvío de 1 m, 0,5 m, 0,1 m, o la que le parezca conveniente al usuario, siendo 0,3 m la medida más común para maquinaria autopropulsada (Srinivasan, 2006).

Recientemente, los banderilleros permiten trabajar en un modo que el equipo puede grabar exactamente el recorrido inicial, y luego hacer líneas imaginarias paralelas a una distancia igual al ancho de la máquina. Esto posibilita trabajar en círculos, siguiendo curvas de nivel paralelas, con lo que se obtienen buenos resultados para aplicaciones en círculos de riego. En estos casos, siguiendo la huella del último tramo del pivote, se aplica con total exactitud hacia adentro o hacia afuera de la marcación.

Desde los años noventa, se han desarrollado sistemas de aplicación de insumos mediante el concepto de “Manejo a Escala de Planta”, en los que el tratamiento es aplicado de acuerdo con los requerimientos de cada planta en un cultivo (Hague et al., 1997). El sistema de Hague y compañeros permite trabajar con resoluciones de 50 mm usando sistemas basados en imágenes y guía inercial, y está equipado con aspersores de precisión que pueden usarse para discriminación dinámica de plantas individuales de malezas, suelo y otro material de la superficie. Este método puede llegar a resoluciones de 5 mm en el sistema de guía, usando cinemática de tiempo real con DGPS, y también se han desarrollado sistemas a nivel de hoja, en los que el tratamiento diferencial es aplicado a diferentes partes de la planta.

## 3. CONCLUSIONES

La agricultura de precisión utiliza las nuevas tecnologías de la informática, la electrónica y la geomática para optimizar las operaciones en campo que se realizan en un cultivo, como labranza, fertilización, aplicación de fitosanitarios, irrigación, seguimiento de variables fenológicas del cultivo y medición de rendimientos en producción. En la actualidad, debido a las legislaciones ambientales internacionales, el agricultor debe buscar la optimización en el uso de los recursos naturales, por lo que las tecnologías de la agricultura de precisión son importantes para alcanzar estos propósitos.

Los equipos desarrollados con tecnologías de banderillero satelital y los denominados autoguía permiten la aplicación de insumos agrícolas en la cantidad y el lugar adecuados, integrando e interpretando, mediante un sistema de soporte a decisiones, la información espacio temporal de un cultivo, para obtener mapas digitales de aplicación *in situ*, que permiten al agricultor reducir el uso de agroquímicos, y los costos en el manejo del cultivo, y aumentar los rendimientos en la producción.

#### 4. REFERENCIAS

- Arnholt, M.; Batte, M., and Prochaska (2001). *S. A Survey of precision farming adopters in central Ohio: primary motives for adoption researchers*: AEDE-FR-0009 Issued: 12.20.01 Expires: 6.1.02. AEDE Agricultural, Environmental, and Development Economics Ohio Agricultural Research and Development Center.
- Brogliani, M.; Masia G., y Onorato A. (2006). *Tecnología para las aplicaciones terrestres de fitosanitarios*. Instituto de Ingeniería Rural - Castelar - Buenos Aires Nacional de Tecnología Agropecuaria de Argentina INTA Manfredi. Aplicar eficientemente los agroquímicos. ISBN 987-521-172-9.
- Boman R., et al. (2001). *The agricultural program*. The Texas A&M University. Systems Cotton Yield Mapping and Guidance Systems on the Texas High Plains.
- Bragachini M.; Méndez A., y Scaramuzza F. (2006). *Agricultura de precisión: una realidad en el campo argentino*. Proyecto Agricultura de Precisión. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de Argentina INTA Manfredi. Aplicar eficientemente los agroquímicos. ISBN 987-521-172-9.
- Ehsani R. (2001). *Introduction to GPS guidance systems*. Department of Food, Agricultural, and Biological Engineering The Ohio State University.
- Hague, T.; Marchant J., and Tillett N. (1997). *A system for plantscale husbandry*. In Proceedings of the 1<sup>st</sup> European Conference on Precision Agriculture (2:635-642), J.V. Stafford (ed.) BIOS Scientific Publishers, Oxford, UK.
- Kara M., et al. (2007). *Low cost differential GPS receivers (LCD-GPS): a local cooperative differential GPS solution*, NOTERE' 07 Nouvelles technologies de la repartition, workshop on wireless sensor networks, pp. 29-34, Marrakesh, Morocco, June 4th.
- Legg, B. and Stafford J. (1998). *Precision agriculture-new technologies*. In Proceedings of the brighton crop protection conference-pest and diseases. (pp. 1143-1150). Farnham, UK: British Crop Protection Council.
- Srinivasan A. (2006). *Handbook of Precisión agriculture: principles and applications*. Food Products Press.
- Sullivan M. (2001). *GPS guidance systems – an overview of the components and options*. Extension Program Specialist M. Reza Ehsani-Assistant.