

*Nuevas herramientas para mejorar la gestión tecnológica en la empresa agropecuaria*

Evandro Chartuni<sup>1</sup>, Francisco de Assis de Carvalho,  
Daniel Marçal<sup>2</sup> y Emilio Ruz<sup>3</sup>



## PALABRAS CLAVE

Variabilidad espacial y temporal  
Manejo localizado  
Sistema de posicionamiento global  
Sistemas de información geográfica  
Percepción remota  
Tecnologías de dosis variable  
Geoestadística



productos agrícolas permite significativos avances en el área de producción de alimentos. Por ello, en la década de los noventa, se dispuso de un nuevo concepto agronómico de gestión de predios o terrenos agrícolas, basado en el conocimiento e interpretación de la variabilidad espacial en el campo, al cual se le ha denominado agricultura de precisión.

A lo largo de su historia, el Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur (PROCISUR) y el IICA, se han preocupado por contribuir a la instalación de los nuevos descubrimientos y avances tecnológicos en la región. Desde hace seis años, cuando recién se comenzaba a hablar de este tema, el PROCISUR y el IICA han apoyado las actividades de cooperación tendientes a difundir y desarrollar las tecnologías de la agricultura de precisión según las condiciones de los países de la región. Al mismo tiempo, la contribución de expertos de países más avanzados permitió disponer de distintas visiones y experiencias en una tecnología de incipiente desarrollo para la región. Esta primera etapa culminó con la publicación de libro *"Agricultura de precisión: Integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable"*, el cual se tomó como base para la preparación del presente documento, cuyo objetivo es presentar los conceptos básicos sobre agricultura de precisión y algunos resultados relevantes de investigación relacionados con los antecedentes y la adopción de esta tecnología en el mundo.

**L**a modernización de las prácticas agrícolas surge como un nuevo desafío, principalmente en relación con el concepto de sostenibilidad ambiental y económica del proceso de producción. La respuesta de la investigación, innovación y extensión de los segmentos vinculados con el área agrícola ha sido generar tecnología que permita cuantificar y manejar diferenciadamente la variabilidad natural del área productora. Además, el manejo adecuado de nuevas máquinas y equipos agrícolas para preparar, sembrar, cultivar, cosechar y procesar los

<sup>1</sup> Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria (EMBRAPA), Brasil, evandro.mantovani@embrapa.br

<sup>2</sup> UFV, Brasil, facpinto@ufv.br, queiroz@ufv.br

<sup>3</sup> PROCISUR-IICA, emilio.ruz@iica.int

**Concepto de agricultura de precisión se refiere al conjunto de técnicas orientado a optimizar el uso de los insumos agrícolas en función de la cuantificación de la variabilidad espacial y temporal de la producción agrícola.**

### **Aplicación del concepto de agricultura de precisión**

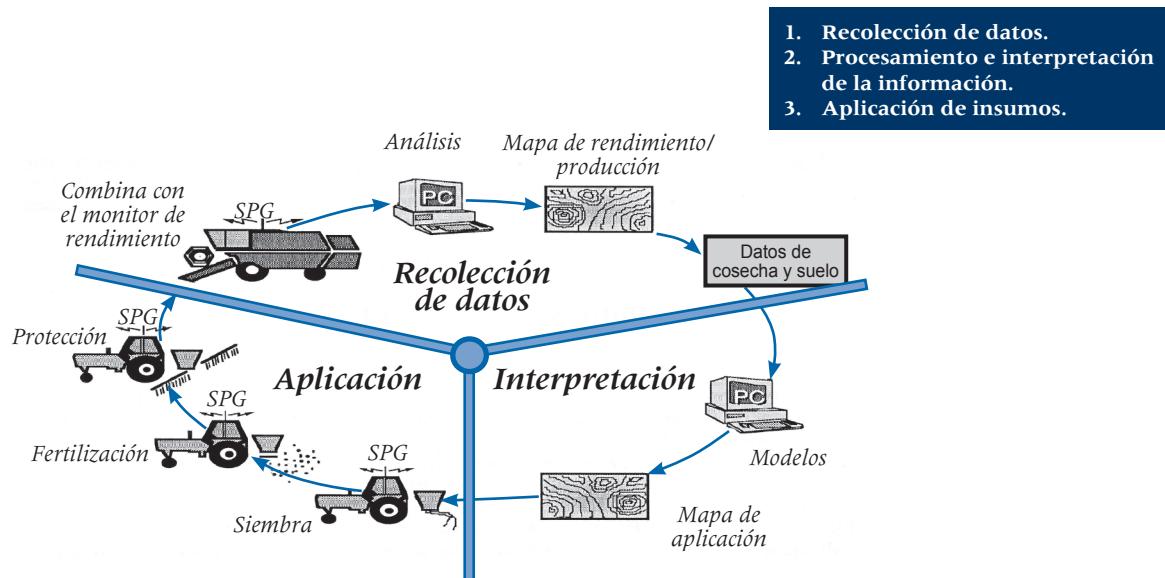
A partir de la década de los setentas, se comenzó a delinear una nueva forma de hacer agricultura con los estudios sobre automatización de máquinas agrícolas. Posteriormente, a finales de la década de los ochentas y comienzos de los noventas, con la liberación del sistema de posicionamiento global por satélite para uso civil, fue posible desarrollar equipos inteligentes que permitieron el manejo localizado de las prácticas agrícolas, con una mayor eficiencia de aplicación de insumos. Esto redujo el impacto ambiental y, como consecuencia, disminuyeron los costos de la producción de alimentos.

Todo esto permitió ir configurando el concepto de agricultura de precisión como el conjunto de técnicas orientadas a optimizar el uso de los insumos agrícolas (semillas, agroquímicos y correctivos) en función de la cuantificación de la variabilidad espacial y temporal de la producción agrícola.

La tecnología no consiste solamente en medir la variabilidad existente en el área, sino también en la adopción de prácticas administrativas que se realicen en función de esa variabilidad. De acuerdo con Robert (1999), no es una novedad la observación de la existencia de variabilidad en las propiedades o factores determinantes de la producción en los agroecosistemas. Lo que es diferente, en realidad, es la posibilidad de identificar, cuantificar y mapear esa variabilidad. Más aun, es posible georeferenciar y aplicar los insumos con dosis variables en puntos o áreas de coordenadas geográficas conocidas.

De esta forma, se definen prácticas agrícolas orientadas a sustituir la recomendación habitual de insumos con base en valores promedio, como ocurre en la agricultura tradicional, por una más precisa, con manejo localizado, que considera las variaciones del rendimiento en toda el área.

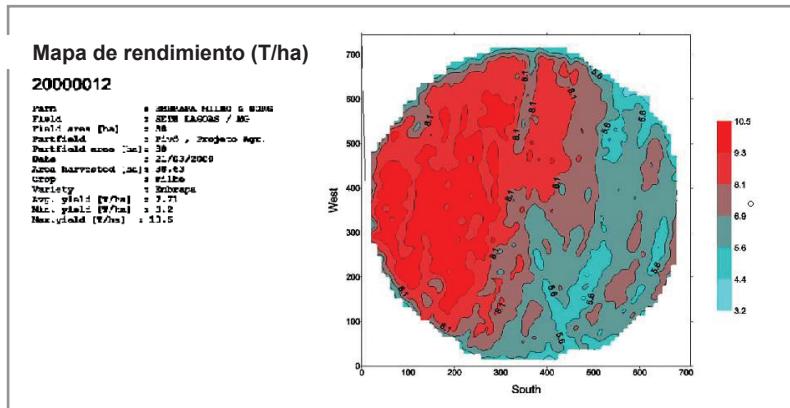
Los agentes involucrados en el desarrollo y adopción de las prácticas de agricultura de precisión suelen dividir este conjunto de tecnologías en tres etapas diferentes (**Figura 1**):



*Fig. 1. Las tres etapas de la agricultura de precisión.*

**Fuente:** AGCO 2005

La aplicación del concepto de agricultura de precisión puede comenzar, por ejemplo, a partir de la cosecha con el mapa de rendimiento o del conocimiento de la variabilidad del suelo representada en los mapas respectivos (**figura 2**).

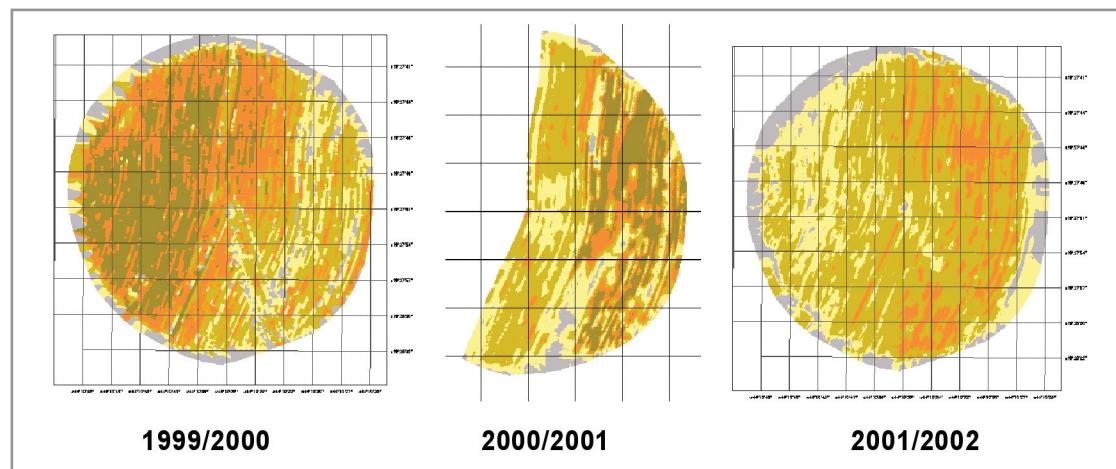


**Fig. 2.** Mapa de rendimiento de maíz, campaña 2002.

**Fuente:** EMBRAPA, Estación Experimental Maíz y Sorgo, Sete Lagoas, MG, Brasil.

El estudio de variabilidad del suelo y de la planta permite establecer tendencias de rendimiento en una misma área y, a lo largo del tiempo, según variaciones climáticas y modificaciones del suelo. Cuando el rendimiento y/o la fertilidad de un lote no varían, es probable que el incentivo para adoptar las técnicas de agricultura de precisión sea escaso

con respecto a la optimización de la producción, no así desde el punto de vista de la gestión de la empresa agropecuaria. Sin embargo, si se detecta una elevada variación de productividad, la adopción de esas técnicas puede ser beneficiosa, pues reduce las distorsiones comprobadas normalmente en el área de producción.



**Fig. 3.** Variabilidad temporal del rendimiento de maíz, cosechas/campañas 2000, 2001 y 2003.

**Fuente:** EMBRAPA, Estación Experimental Maíz y Sorgo, Sete Lagoas, MG, Brasil.

Para comprender y aplicar la agricultura de precisión, es necesario definir los siguientes conceptos básicos:

- **Variabilidad espacial:** expresa las diferencias de producción en un mismo campo, en una misma campaña y cosecha (**Figura 2**).
- **Variabilidad temporal:** formula los cambios de producción en un mismo campo, en distintas campañas de cosecha (**Figura 3**).

Las prácticas de manejo localizado no se basan solamente en mapas de productividad o de fertilidad del suelo. La toma de decisiones en agricultura de precisión puede realizarse a partir de una base de datos, registrada en un mapa, o de información obtenida cuando se lleve a cabo determinada acción, utilizando para ello la información obtenida mediante sensores "en tiempo real".

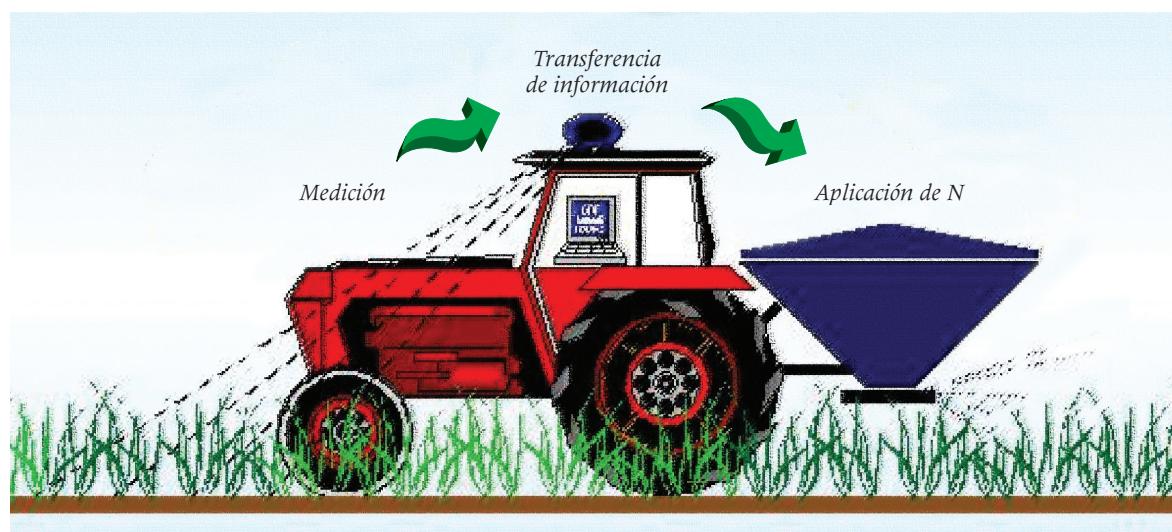
La frecuencia del muestreo se puede producir en intervalos de meses o años, como en el caso de corrección de suelos. Cuando la característica cambia rápidamente, el productor puede medir la variabilidad en tiempo real y proveer instantáneamente el insumo necesario, sin muestreo previo. Un ejemplo

de esta situación sería la aplicación de nitrógeno basada en la información de los sensores en tiempo real (**Figura 4**).

La aplicación del concepto de la agricultura de precisión es posible gracias a la evolución de cinco tecnologías:

1. Sistema de posicionamiento global (SPG)
2. Sistemas de información geográfica (SIG)
3. Percepción remota
4. Tecnologías de dosis variable (sensores, controladores y otros)
5. Análisis de datos georeferenciados (geoestadística, econometría espacial, análisis multifactorial, análisis de cluster y CART, entre otros)

Esta nueva filosofía de producción agrícola que utiliza tecnología de información responde a las exigencias de un mercado competitivo, que requiere de un mayor volumen de producción y precios más bajos. Además, este mercado prefiere técnicas y sistemas que disminuyan la contaminación ambiental.



**Fig. 4.** Sensor en tiempo real para la aplicación de nitrógeno con dosis variable.

**Fuente:** Yara 2005

## *Aplicaciones de la agricultura de precisión en sistemas de cultivos tradicionales*

Los sistemas tradicionales de producción tratan las propiedades agrícolas de forma homogénea. Con base en las condiciones promedio de las extensas áreas de producción, implementan las acciones correctivas de los factores limitantes. Para obtener sistemas de producción más competitivos y aumentar la eficiencia agronómica del sector productivo, se han incorporado nuevas técnicas que permiten incrementar y/o mantener la productividad de los cultivos y al mismo tiempo reducir los costos de producción. En este sentido, la agricultura de precisión constituye una nueva forma integrada de gerenciamiento de la información de los cultivos, basada en la existencia de la variabilidad espacial y temporal de la unidad mínima de manejo en la agricultura tradicional (Saraiva *et al.*, en Borém *et al.* 2000).

Como ejemplos de aplicación de tecnologías de la agricultura de precisión, Cigana (2003) señala que el resultado de la cosecha de dos lotes con soja y maíz que suman 265 hectáreas en la región del Planalto Médio "Gaúcho", en Río Grande del Sur, Brasil, confirma el aumento de productividad y la reducción de costos. En un lote de 132 hectáreas cultivado con maíz, el rendimiento alcanzó 5.880 kg/ha. El resultado es 20% superior al promedio regional, 4.680 kg/ha. El número también es 13% superior al promedio de 5.100 kg/ha obtenido en otros cultivos de la misma propiedad, la

Hacienda Anna, donde se aplicaron los métodos convencionales. En las 124 hectáreas sembradas con soja, la productividad llegó a 2.880 kg/ha. El promedio de la región fue de aproximadamente 2.040 kg/ha (29% menos) y el de la propiedad, 2.520 kg/ha (12,5% menos).

Según el mismo autor, la comparación con los demás cultivos de la propiedad muestra también una reducción de costos en los insumos. En el área cultivada con maíz, se alcanzó un ahorro de 18% en la aplicación de fertilizante, mientras que en el cultivo de 124 hectáreas de soja, el ahorro fue de un 23%.

## *Aplicaciones en agricultura intensiva: vitivinicultura*

En sistemas intensivos, las mayores aplicaciones de la agricultura de precisión se han concentrado en la vitivinicultura. Los viticultores de Estados Unidos, Australia y más recientemente de Chile son los que han encontrado en estas técnicas una herramienta favorable para el manejo más eficiente de las vides.

Hasta hace poco, los profesionales y productores vitivinícolas no poseían suficientes herramientas para caracterizar y representar en un mapa la variabilidad espacial de las propiedades del viñedo, específicamente en cuanto a:

- Características del suelo (profundidad, retención de humedad, contenido de nutrientes, acidez, etc.)
- Características de la planta (cantidad de m<sup>2</sup> de hojas por m<sup>2</sup> de suelo [o índice de área foliar], relación hojas frutos, entre otras).

Actualmente, en la viticultura de precisión se pueden determinar las subáreas de calidad de uvas uniformes a través del uso imágenes aéreas, denominadas "imágenes multiespectrales", obtenidas mediante cámaras especializadas y las técnicas utilizadas en SIG. Luego de que las imágenes son capturadas, se someten a diversos análisis que permiten obtener los denominados "índices de vigor vegetativo", entre los que se encuentra el índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI), que además permite obtener una variable altamente asociada a la calidad de la uva por ser vinificada. Estos índices finalmente se representan en "planos de vigor" para distintos sectores.



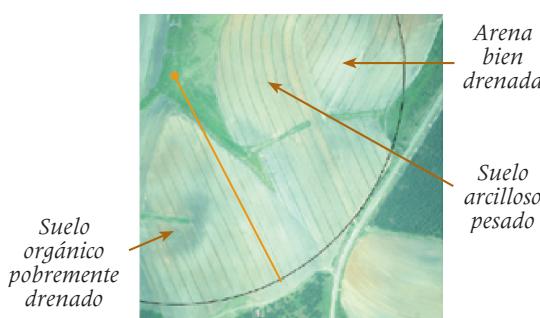
## Aplicaciones en sistemas de riego

La alta variabilidad espacial en las condiciones físicas del suelo se traduce en falta de uniformidad del agua de riego aplicada en el predio, problema que generalmente no se considera en el diseño de nuevas obras de riego (aspersión, goteo y riego superficial). Esta ineficiencia conduce a pérdidas de fertilizante nitrogenado y a la posterior contaminación de los acuíferos subterráneos por lixiviación (Best y Duke 2001).

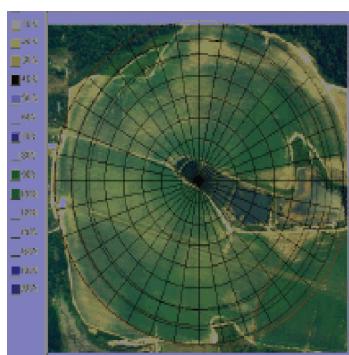
El conocimiento de áreas uniformes en propiedades físicas y el uso de modelos computacionales permitirán un mejor manejo del recurso hídrico con un aumento de la eficiencia de uso del agua y de fertilizantes nitrogenados, lo que a su vez protegerá las aguas subterráneas de contaminantes.



El mayor uso de las tecnologías de aplicación variable de agua y fertilizantes se da en los sistemas de riego por pivote central. Éstos han constituido un importante factor para el desarrollo de la agricultura, ya que optimizan un recurso limitado y brindan seguridad de riego para la producción de cultivos.



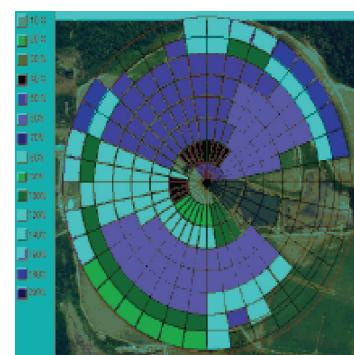
a) Falta de uniformidad del suelo.



c) Ejemplo de vista aérea y subdivisión de áreas de riego según el sistema instalado de aplicación diferencial.



b) Panel de control sistema canlink3000 de la empresa FarmScan, donde se pueden programar los riegos diferenciales en los emisores del pivote.



## Comentarios finales

Aún existen áreas que necesitan desarrollarse para que la agricultura de precisión pueda ser consolidada como una solución amplia y plenamente viable para todos los segmentos de la agricultura. Su adopción representa un potencial para la racionalización del sistema de producción agrícola moderno, pues permite:

- Optimizar la cantidad de agroquímicos, fertilizantes o correctivos aplicados en los suelos y cultivos.
- Establecer la magnitud de la correlación de la variabilidad espacial y/o temporal entre los factores asociados al suelo y el desarrollo de los cultivos.
- Determinar la disponibilidad de nutrientes, materia orgánica, acidez, disponibilidad de agua, textura, distribución de enfermedades, plagas, malezas, entre otros.
- Reducir los costos de producción y de la contaminación ambiental.
- Mejorar calidad de las cosechas.

A pesar de que el tema de la agricultura de precisión es relativamente nuevo, se han logrado significativos avances que pueden ser modelos por seguir, principalmente en el desarrollo de máquinas e implementos que permiten el manejo localizado con base en mapas. Cada vez se encuentran disponibles en el campo más recursos avanzados en tecnología de información, como los sistemas de posicionamiento global (GPS), los de información geográfica (SIG), de control y adquisición de datos, sensores y actuadores, entre otros.

## Referencias bibliográficas

- AGCO. 2005. <http://www.fieldstar.com/agco/FieldStar/FieldStarUK/System/DataCollection.htm>
- Bongiovanni, R.; Mantovani, E. C.; Best, S.; Roel, A (Ed.). 2006. Agricultura de precisión: integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable. Montevideo, Uruguay, PROCISUR/IICA.
- Best, S.C. y Duke, H.R. 2001. Spatial distribution of water and nitrogen application under center pivot sprinklers. Proceedings of Central Plains Irrigation course and exposition. Kearney, Nebraska, Central Plane Irrigation Association. p. 58-65.
- Blackmore, S. 1997. An Introduction to Precision Farming. Silsoe College, UK. Disponible en <http://www.silsoe.cranfield.ac.uk/cpf/papers/precfarm.htm>
- Borém, A. et al. 2000. Agricultura de precisão. Viçosa, MG, p.108-145.
- Cigana, C. A. 2003. Redução de custos prometida pela agricultura de precisão. Consultado 16 nov. 2003. Disponible en <http://www.portaldoagronegocio.com.br/index.php?p=noticia&&idN=3665>
- Morgan, M.; Ess, D. 1997. The Precision-Farming Guide for Agriculturalists. John Deere Publishing, Moline, IL. 117 p.
- Robert, P. C. 1999. Precision Agriculture: An information revolution in agriculture. Agricultural.
- UIUC (University of Illinois at Urbana-Champaign). 2005. Smart sprayer. Disponible en <http://ageweb.age.uiuc.edu/remote-sensing/VariableRate.html>
- Yara. 2005. The three stages of the N Sensor System. Disponible en [http://fert.yara.co.uk/en/crop\\_fertilization/advice\\_tools\\_and\\_services/n\\_sensor/the\\_three\\_stages/index.html](http://fert.yara.co.uk/en/crop_fertilization/advice_tools_and_services/n_sensor/the_three_stages/index.html)

## *Abstract / Résumé*

### **Precision agriculture: New tools to improve technology management in agricultural enterprises**

**P**recision agriculture is an approach to agricultural land management that is based on the identification and interpretation of in-field spatial variability. It involves the use of a number of new technologies such as global positioning systems (GPS), sensors and

satellite and aerial imagery, in conjunction with geographic information systems (GIS). In this document, readers will be introduced to the concepts behind these technologies and information on their application in different areas, with a view to promoting their use, fostering their analysis and understanding, and explaining the benefits, complexities and limitations of their use.

### **Agricultura de precisão: novas ferramentas para aprimorar a gestão tecnológica na empresa agropecuária**

**A**gricultura de precisão é um conceito agronômico de gestão de edificações ou terras agrícolas, baseado no conhecimento e na interpretação da variabilidade espacial no campo. Para tanto, requer o uso de uma série de tecnologias relacionadas com os sistemas de

posicionamento global (GPS), sensores, imagens de satélite e imagens aéreas, juntamente com os sistemas de informação geográfica (SIG). Esta publicação apresenta aos leitores uma série de conceitos dessas tecnologias e sua aplicação em diferentes âmbitos com vistas a difundi-las e incentivar sua análise e compreensão, bem como apresentar seus benefícios, suas complexidades e as limitações para seu uso.

### **Agriculture de précision : nouveaux outils pour améliorer la gestion technologique dans l'entreprise agricole**

**L**'agriculture de précision est un concept agronomique de gestion des domaines ou terrains agricoles, fondé sur la connaissance et l'interprétation de la variabilité spatiale dans la parcelle. Elle requiert l'utilisation d'une série de technologies liées aux systèmes de

positionnement mondial (GPS), aux capteurs, aux images satellites et aux images aériennes, conjugués aux systèmes d'informations géographiques (SIG). Le présent article vise à présenter aux lecteurs une série de concepts et d'applications de ces technologies dans divers domaines, dans le but de les faire connaître, de stimuler leur analyse et leur compréhension, et de montrer leurs avantages, leurs complexités et les limites de leur utilisation.