

FUNDAMENTOS, APLICACIONES Y EQUIPOS

1 La agricultura de precisión

Uno de los grandes problemas detectado en la agricultura es la falta de información exacta sobre la desigual distribución en el huerto de factores productivos tales como suelos, agua, nutrientes, microrrelieve, etc. Ello hace que el manejo agronómico de los cultivos tienda a ser homogéneo. Hasta hace poco, la falta de herramientas simples y de bajo costo que entregaran el detalle de estas variaciones sólo dejaba al agricultor la opción de incrementar los insumos productivos para mejorar el rendimiento y la calidad, lo cual sube los costos y riesgos de inversión asociados, muchas veces innecesariamente.

Sin embargo, hoy la organización de toda la información en sistemas digitales permite hacer análisis que identifican la variabilidad espacial de calidades, rendimientos y factores productivos, gracias a la incorporación del aspecto espacial (geográfico) y temporal (evolución), con los cuales se puede sectorizar los problemas.

Estas nuevas tecnologías ya son aplicadas normalmente en países desarrollados, y se basan en los avances computacionales e instrumentación electrónica. Es lo que se conoce como "agricultura de precisión".

Dicho concepto supone el uso de tecnologías tales como sistemas de posicio-

Internacionalmente la agricultura de precisión ha sido definida como la "optimización de la calidad y cantidad de un producto agrícola, minimizando el costo a través del uso de tecnologías más eficientes para reducir la variabilidad de un proceso específico en forma ambientalmente limpia"

Stanley Best S.
Ingeniero Agrónomo, Ph.D.
sbest@quilamapu.inia.cl

Marcelino Claret
Biólogo, Dip.

INIA Quilamapu

namiento geográfico (GPS), sistemas de información geográficos (SIG), sistemas de análisis de información de alto nivel (redes neuronales, celulares autómatas, agentes, etc.), sensores electrónicos y controladores, entre otros, con los cuales los agricultores pueden crear un muy detallado plano de su operación agrícola.

La meta es el manejo espacial no uniforme de los predios, con el fin de reducir el uso de agroquímicos y mejorar la productividad agrícola en forma ambientalmente limpia. Así, los campos se dividen en zonas que presentan condiciones similares de producción y, por lo tanto, zonas de manejo homogéneo.

La disponibilidad de herramientas que han permitido avanzar en el conocimiento de las variaciones espaciales existentes en los cultivos contribuye a una producción precisa y eficiente. Los instrumentos más utilizados y exitosos se describen a continuación.

Sistema de posicionamiento global

Conocido por su sigla en inglés, GPS, el "global positioning system" es un sistema de radionavegación satelital operado por el Departamento de Defensa de los EE.UU. Está diseñado para que un observador pueda determinar cuál es su posición en la Tierra. Tiene una cobertura sobre todo el planeta, en todo momento y bajo cualquier condición climática.

Si bien fue diseñado con fines militares, su uso civil se ha difundido debido a su utilidad en disciplinas que van desde las netamente científicas, como la geodesia y tectónica, hasta las comerciales, como el geomarketing, pasando por fines puramente recreacionales. Otro factor importante: el sistema es gratuito. Sólo se necesita un receptor GPS, cuyo precio varía según su nivel de precisión, normalmente entre 90.000 y 300.000 pesos.

30

Figura 1. Esquema de la constelación NAVSTAR.

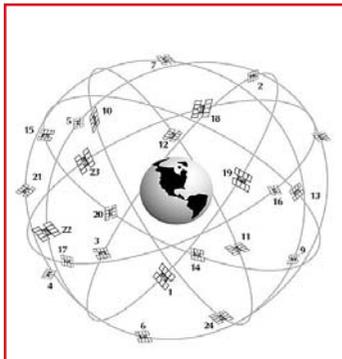
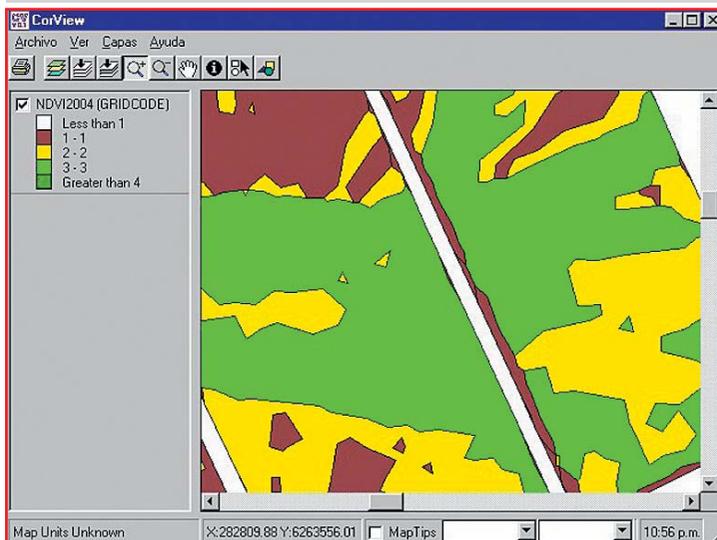


Figura 2. SIG (CorView, desarrollado por el programa de agricultura de precisión INIA) visualizando un mapa de Índice de vegetación diferencial normalizado, NDVI.



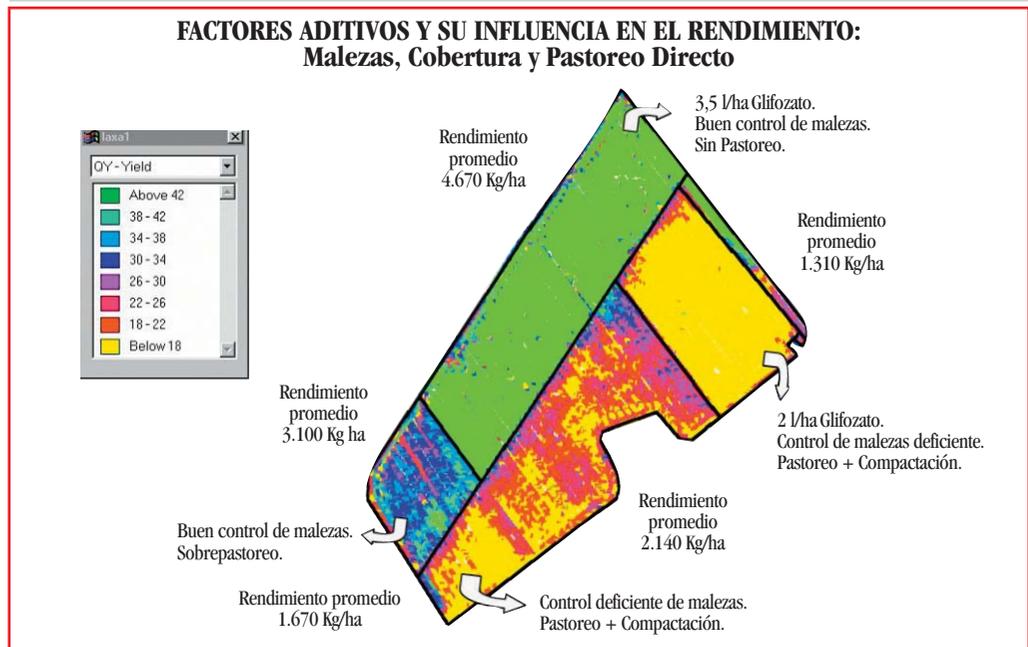
El sistema se basa en la constelación de satélites NAVSTAR (navegación por satélite en tiempo y distancia), que comenzó su operación en 1978 con el lanzamiento de cuatro satélites. Luego se llegó a un total de 24, ubicados en seis planos orbitales, que tienen una inclinación de 55° con respecto al Ecuador. Se encuentran a una distancia aproximada de 20.200 km de la Tierra y describen una órbita elíptica, casi circular, de doce horas de duración (figura 1). Con esta configuración se garantiza que en cualquier lugar de la Tierra en todo momento habrá al menos cuatro satélites sobre el horizonte, número mínimo requerido para obtener una posición mediante un receptor GPS.

El sistema está compuesto por tres segmentos: espacial, control y usuario (receptor).

Para utilizar los satélites como punto de referencia es necesario saber exactamente dónde están en el momento en que se realiza la medición. Esta posición será el centro de una esfera de radio igual a la distancia al receptor que, intersectada con otras esferas, dará nuestra posición en el globo. Cada satélite está en una órbita sumamente estable y a la misma distancia del planeta, por lo que su ubicación también es predecible mediante ecuaciones matemáticas.

Los receptores GPS tienen en su memoria un almanaque que indica dónde está cada satélite en un momento determinado. Este almanaque es actualizado con los datos de las efemérides que el segmento de control transmite a cada satélite, lo que permite determinar, con un error aceptable, la altura, posición y velocidad de cada uno de ellos, con un nivel de error no mayor a 15 metros. Para corregir estos errores se puede utilizar la metodología conocida como "corrección diferencial postproceso" o, cuando se requiere una información inmediata de alta precisión, se puede utilizar el método de "corrección diferencial en tiempo real" o DGPS (errores submétricos de posición). Para aplicar esta metodología se puede recurrir a empresas de servicios, consultores o algunas empresas privadas

Figura 3. Mapa de rendimiento (soya) y explicación de variabilidad de rendimiento obtenido.



Fuente: Mario Bragachini, INTA Manfredi, Argentina.

de mayor perfil. El uso del instrumento no es difícil; el problema es más bien de costo: US\$3.500 FOB más la señal diferencial US\$1.500 por año.

Sistemas de información geográficos

Para mejorar la gestión y el control de sus actividades, los agricultores pueden usar los sistemas de información geográficos (SIG), herramientas computacionales en pleno desarrollo, que cada día están más al alcance de los usuarios. Además de su intuición y habilidad para explotar sus recursos agrícolas los agricultores cuentan ahora con el apoyo de estas técnicas para aumentar la eficiencia productiva, sobre todo cuando es necesario manejar gran cantidad de variables en la gestión predial.

Existe una amplia gama de usos del SIG. Entre ellos cabe destacar la confección de cartas temáticas prediales; entre otras: capacidad de utilización de suelo, profundidad del suelo, problemas de drenaje, red de canales y caminos, infraestructura predial (casas, galpones, construcciones, tranques, etc.), asociaciones vegetales, zonas frágiles, mapeo de rendimiento por cultivo

y potrero, lectura de superficies y distancias, mapas de vigor u otro índice vegetacional, planificación de nuevas obras de infraestructura al interior del predio, construcción de bases de datos asociadas a labores prediales, planificación y cuantificación de fertilizantes, pesticidas y agroquímicos en general, de una manera racional y económica, evitando pérdidas de dinero y reduciendo los niveles de contaminación.

Cada una de estas capas de información se denomina "mapa temático". El análisis por superposición de mapas temáticos, así como los cálculos matemáticos hechos por software especializados, permiten resolver diversos problemas en forma ágil y eficiente (figura 2).

Monitor de rendimiento y mapeo

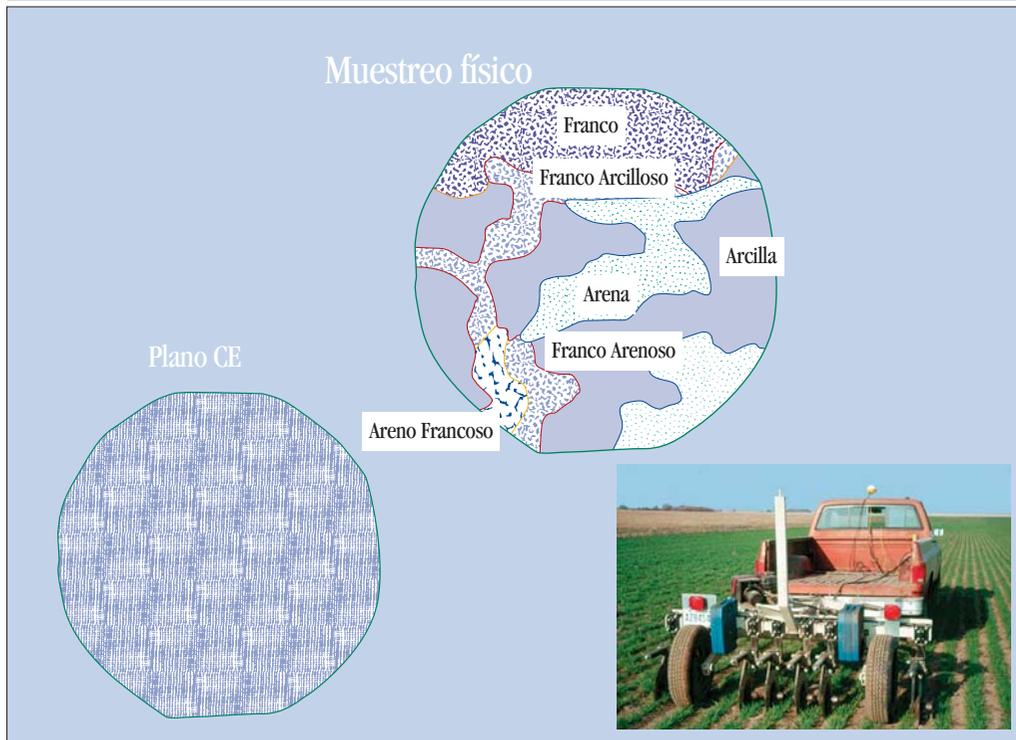
Hay monitores para diferentes cultivos, por ejemplo existen monitores que entregan una representación gráfica de la información de rendimiento y humedad de granos cada cierta distancia (aproximadamente 6 m, figura 3). Los datos se obtienen mediante una cosechadora equipada con un monitor de rendimiento y un receptor DGPS (instrumento que localiza espacialmente la infor-

mación). Estos dispositivos se pueden poner en una automotriz normal. Los mapas de rendimiento contienen información muy valiosa para localizar sectores de mayor o menor rendimiento dentro de los potreros. Con ella es posible analizar los problemas existentes en cada sector, que se tradujeron en mermas de rendimiento o éxitos productivos. Dichos monitores son ampliamente utilizados en países como EE.UU., Europa, Australia o Argentina, entre otros. Su uso en Chile es más bien limitado, esperándose que en el corto plazo pueda incrementarse. El sistema más barato es el Agrleader de US\$2.500 FOB.

Muestreo de suelo y análisis

Una nueva herramienta que actualmente es estudiada para la subdivisión de suelos en áreas de propiedades semejantes, es la conductividad eléctrica de los suelos (CE, figura 4). La CE puede definirse como la aptitud de éstos para transmitir la corriente eléctrica. Esta propiedad de los suelos se ha determinado a través de mediciones estandarizadas de la conductancia de los suelos (resistencia -1) para una distancia y área transversal conocida a través de la cual viaja una corriente eléctrica. Las mediciones de CE han sido relacionadas a factores individuales que limitan el uso y productividad de los suelos, tales como salinidad, contenido de arcilla, pro-

Figura 4. Mapa de relación de textura y de conductividad eléctrica de suelos. Datos del autor, INIA Quilamapu.



fundidad y humedad, entre otras. Existen dos equipos que se utilizan para la medición de la CE: el Veris 3100 que inyecta electricidad al suelo y el EM38 que es electromagnético.

Teledetección

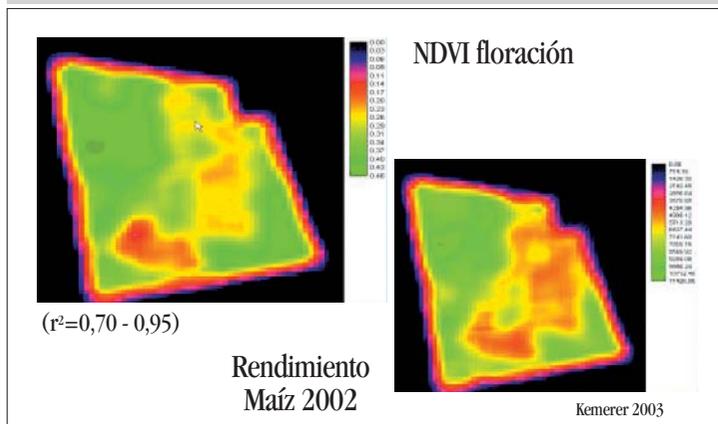
La teledetección incluye todos los conocimientos y técnicas que permitan obtener cualquier información de un objeto,

escena o fenómeno, a través de mediciones remotas con sensores. En agricultura, las imágenes obtenidas a través de la teledetección utilizan la interacción entre la radiación electromagnética y la superficie de las plantas en los espectros visible, infrarrojo y termal. Así se provee de una información cuantitativa de la luz reflejada por esas superficies.

Las plantas reflejan la luz según su arquitectura y estado fenológico, contenido de clorofila en las hojas, contenido de humedad de las hojas, presencia de plagas y enfermedades, y otros factores.

Un método rápido y económico para obtener imágenes multispectrales es a partir de sensores multispectrales aérotransportados (cámaras digitales especiales). A la fecha cuesta como máximo \$3.000 por hectárea para superficies de hasta 40 ha, siempre y cuando estén dentro del valle viñatero central. Los sensores registran la luz reflejada por los cultivos, refracción radiométrica que se separa en bandas espectrales con las cuales se obtienen índices espectrales (muchas veces llamados

Figura 5. Relación entre mapa de índice verde (NDVI) y mapas de rendimiento en cultivo de maíz. En el recuadro se puede apreciar el valor estadístico de r^2 de 0,7 - 0,9, lo que significa que la peor correlación (NDVI y Rendimiento) en el área de estudio fue un sector con r^2 de 0,7 y la mejor fue de 0,9, lo cual es muy bueno.



Fuente: Mario Bragachini; INTA Mafredi.

Figura 6. Monitores utilizados para siembra inteligente, ubicados dentro de la cabina del tractor



vegetacionales) asociados a imágenes. Los índices vegetacionales expresan el de vigor, el área foliar y la sanidad de las plantas.

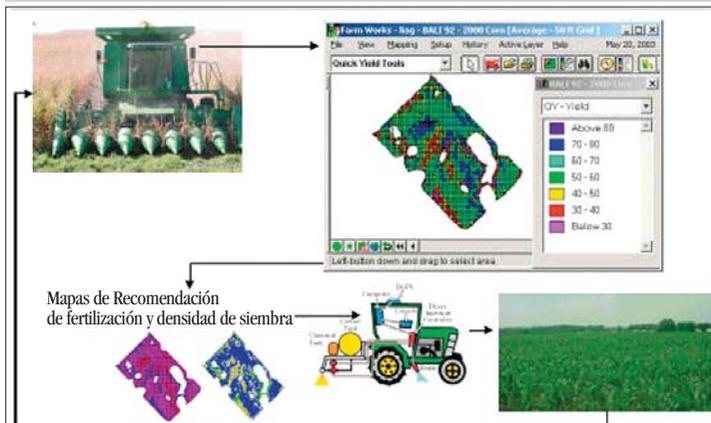
Lamentablemente la manifestación de vigor es producto de la acción combinada de todos los factores productivos, hecho que complica la individualización del factor o factores principales que inciden sobre él. Por ello, las áreas de igual vigor deben ser estudiadas por separado, con el fin de identificar el factor que está afectando en cada lugar. En la figura 5 se presenta una imagen multiespectral clasificada en diferentes niveles de vigor y la relación con el rendimiento final obtenido en un cultivo de maíz.

También existe la posibilidad de satélites que realizan el mismo trabajo que los sensores aerotransportados, pero todavía es una tecnología muy cara, ya que se vende por escena de 7x7 km, que cuesta US\$ 1.700. En la medida que el uso de esta tecnología se masifique puede llegar a ser una buena alternativa.

Tecnologías de aplicación variable

Para manejar áreas homogéneas y definidas, existen equipos comerciales

Figura 7. Optimización espacial de aplicación de fertilizantes y densidad de siembra.



Fuente: Mario Bragachini; INTA Mafredi.

(figuras 6 y 7) dotados de instrumentos con los que se puede determinar las aplicaciones de pesticidas, fertilizantes, dosis de semillas, etc. según los requerimientos del área afectada. Aunque estos instrumentos están siendo utilizados en países desarrollados, no son de uso masivo pues no se ha demostrado su viabilidad económica. En la medida que se siga incrementado las exigencias ambientales y de mercado (calidad, sanidad, etc.), se visualizan como una alternativa bastante atractiva para mejorar eficiencia y efectividad de las labores desarrolladas.

Los pasos que vienen

Hemos mostrado algunos de los adelantos que actualmente se utilizan en la agricultura, tanto en Chile como en otros

países. A su vez la investigación está avanzando a pasos agigantados en nuevas líneas de desarrollo, como son los temas de detección de estado hídrico mediante uso de información termal, la detección de plagas a través de información térmica y fluorescencia, la detección automática de malezas, entre otros.

La visión de futuro pasa, objetivamente, por transformar la actual agricultura, poco informada y de manejo más bien intuitivo, a un manejo en la que la toma de decisiones y gestión de la empresa se base en información de calidad y oportuna. El uso de herramientas que optimicen la productividad de los cultivos y del personal, constituye un gran reto a los investigadores de poder traducir sus estudios a productos factibles de ser utilizados comercialmente. 

PROGRAMA DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN INIA

Dados los buenos resultados de las investigaciones desarrolladas y el interés mostrado por diversas empresas privadas, se ha creado el Programa de Agricultura de Precisión INIA (Progap, www.progap.cl), en el Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, con colaboración de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción. Dicho programa se ha orientado a la agricultura de precisión en diversos rubros, destacándose el vitivinícola, pomáceas, carozos, paltos y frutales menores. Actualmente se encuentran en desarrollo proyectos que cubren cada uno de estos rubros, inte-

grando a otras entidades de investigación, como es la Universidad de Talca (frutales). El INIA, además, desarrolla actividades de intercambio de experiencias con centros de agricultura de precisión de países en donde estas metodologías fueron implementadas antes que en el nuestro. En 2004 se efectuó un Seminario Internacional en el que se dio a conocer las experiencias nacionales y extranjeras, constatándose allí el excelente estado actual de la agricultura de precisión en Chile, en relación con importantes precedentes extranjeros, tales como el proyecto Vintage en EE.UU.