

## AGRICULTURA DE PRECISIÓN

## Usos y Potencialidades en Chile

Rodrigo Ortega B.  
raortega@puc.cl  
Departamento de Ciencias Vegetales

Desde hace algunos años se ha venido escuchando en Chile el término Agricultura de Precisión (AP) o Manejo Sitio Específico (MSE), sin embargo aún existe cierta confusión respecto a que significa efectivamente la AP y cuales son sus potencialidades y limitaciones.

En su sentido más amplio, la AP podría definirse como el uso de las lla-

madas Tecnologías de Información para la toma de decisiones de manejo técnica, económica y ambientalmente adecuadas. A diferencia de la agricultura tradicional, la AP se aleja, en lo posible, de los manejos fijos y tiende a la aplicación de prácticas agronómicas, tales como fertilización, control de malezas, control de plagas y enfermedades, de forma variable en el tiempo y dentro del potrero o sitio de producción, en función del análisis de la información recolectada.

Potencialmente, el uso de algu-

nas prácticas de AP pueden contribuir al mejoramiento de la eficiencia productiva y la disminución del impacto ambiental de la agricultura. En términos prácticos la utilización del MSE permitiría obtener una mayor cantidad de producto y/o mayor calidad por cada peso invertido, tanto en cultivos tradicionales como de exportación.

En el presente artículo se presenta en detalle el concepto de Agricultura de Precisión y se discuten sus usos potenciales en la Agricultura Chilena.

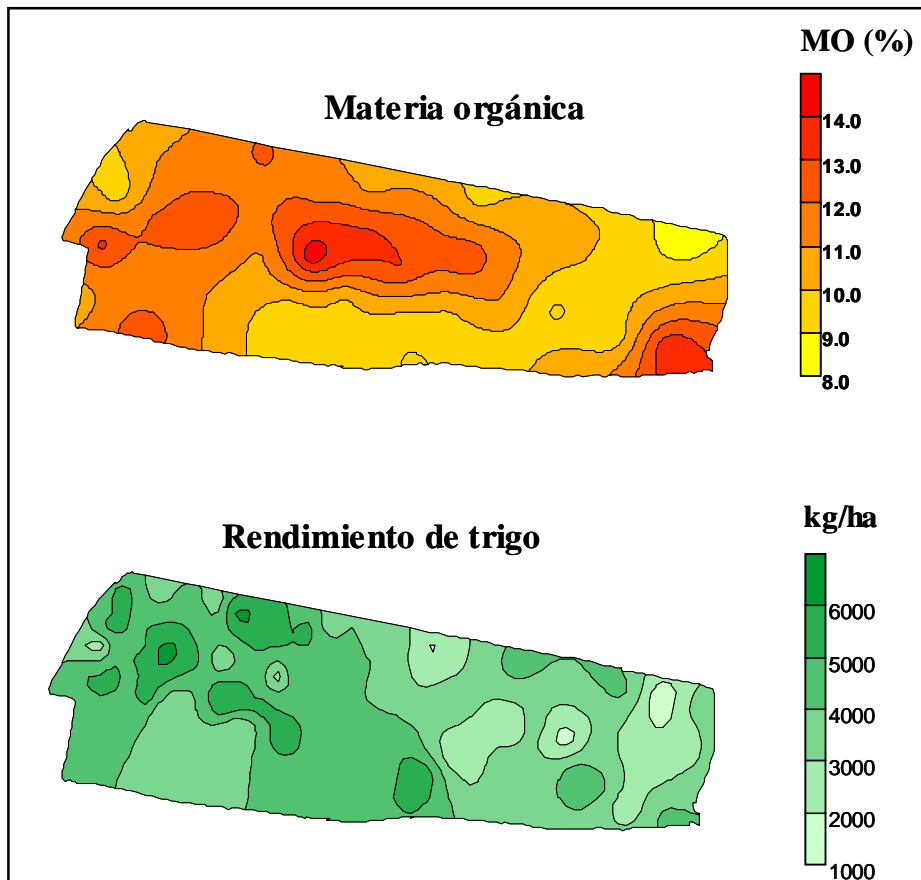
## Definiciones de Agricultura de Precisión

La definición más simple de AP es: un grupo de tecnologías de punta que permiten la aplicación de insumos agrícolas, tales como fertilizantes, semillas, plaguicidas, etc., en forma variable dentro de un potrero o sitio de producción. Las aplicaciones variables se realizan normalmente en función del potencial de rendimiento o calidad del cultivo, que varía dentro del potrero, y pueden abarcar sectores de distinto tamaño, según el nivel de precisión utilizado.

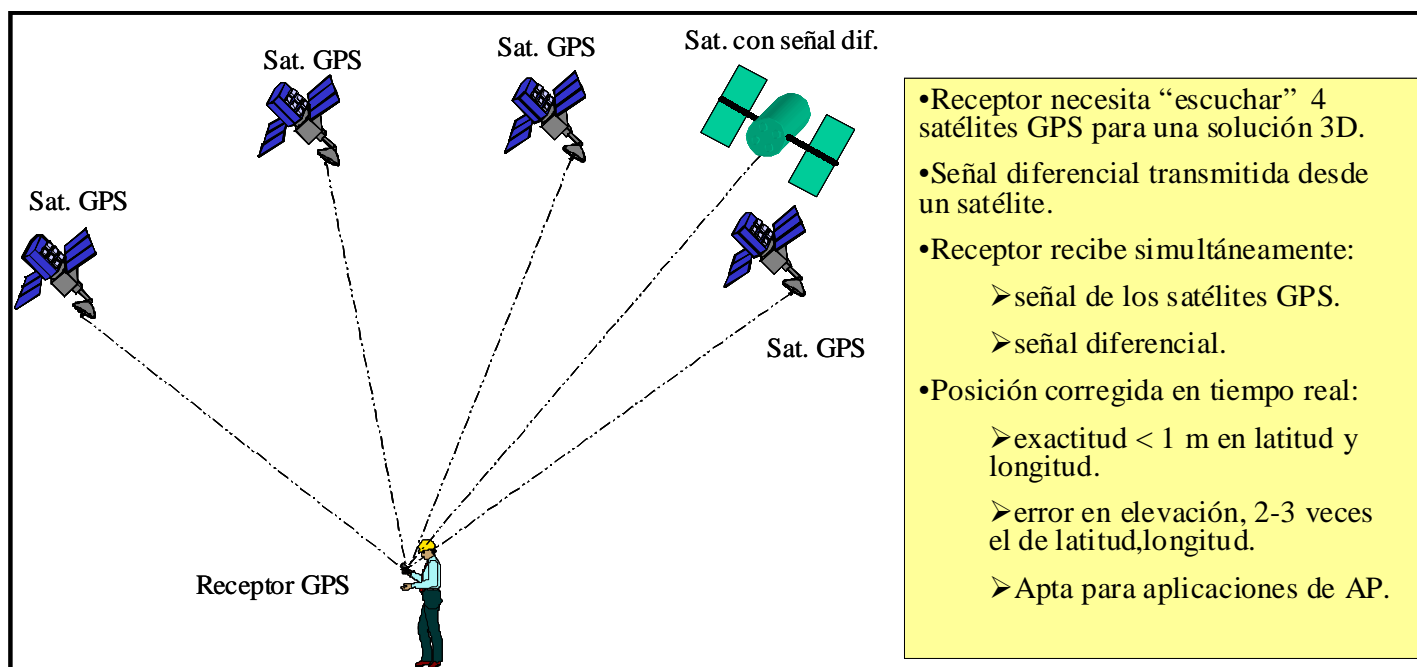
Una definición más integral señala que la AP es un conjunto de actividades que incluyen la recolección y manejo de información que permiten tomar decisiones técnica, económica y ambientalmente apropiadas para la producción de cultivos. La recolección de información se hace espacialmente, con la ayuda de sistemas de posicionamiento global (GPS), mientras que el manejo de la misma (gestión), se realiza a través de sistemas de información geográfica (SIG). A diferencia de la agricultura tradicional, en la cual normalmente se aplican

Figura 1

Variabilidad espacial de la materia orgánica del suelo y del rendimiento de trigo en un potrero de 23 ha sobre un suelo aluvial. Chillán, 2000



**Figura 2**  
Esquema de funcionamiento de GPS con corrección diferencial en tiempo real



- Receptor necesita “escuchar” 4 satélites GPS para una solución 3D.
- Señal diferencial transmitida desde un satélite.
- Receptor recibe simultáneamente:
  - señal de los satélites GPS.
  - señal diferencial.
- Posición corregida en tiempo real:
  - exactitud < 1 m en latitud y longitud.
  - error en elevación, 2-3 veces el de latitud, longitud.
  - Apta para aplicaciones de AP.

programas fijos en tiempo y espacio, la AP considera la aplicación de programas de manejo flexibles y “a la medida”, de acuerdo al análisis de la información recolectada y manejada con las tecnologías de información.

El área de mayor desarrollo dentro de la AP es el Manejo de Nutrientes Sitio-Específico (MNSE), también llamado Tecnología de Dosis Variables (TDV), que corresponde a la aplicación variable de dosis de fertilizantes dentro del potrero. Existen otras áreas dentro del MSE tales como, control sitio específico de malezas, insectos y enfermedades, aplicación variable de plaguicidas y aplicación de dosis variables de semilla de acuerdo al potencial productivo del suelo.

### ¿Porqué Agricultura de Precisión?

La necesidad de utilizar prácticas de AP nace del hecho que muchos de los factores que determinan el rendimiento y la calidad de los cultivos son variables en tiempo y espacio, por lo tanto, las decisiones de manejo deben ser sitio y tiempo específicas y no rígidamente programadas. Por ejemplo, una dosis fija de fertilización para todo un potrero causa ineficiencias por sobre-aplicación en

algunos sectores y sub-aplicación en otros.

La variabilidad espacial, de las propiedades del suelo, de las malezas, de las plagas y enfermedades y de los rendimientos de los cultivos ha sido reconocida desde los inicios de la agricultura. En el caso del suelo, la variabilidad espacial está determinada por factores intrínsecos, como los procesos de formación del suelo, y externos, como el manejo histórico de las explotaciones (forma y tamaño de los potreros, pastoreo, aplicación de materiales orgánicos, etc.). En el caso de las malezas, plagas y enfermedades, la variabilidad espacial en el campo es el resultado de la interacción entre estos organismos y su ambiente, incluyendo el manejo agronómico.

La TDV podría ser usada con éxito cuando se dan las siguientes condiciones:

1. los potreros varían ampliamente en cuanto a las propiedades del suelo que afectan el rendimiento, y
2. los rendimientos efectivamente varían en respuesta a la variación de las propiedades del suelo.

En la Figura 1 se muestra como varían los rendimientos de trigo en relación al contenido de materia orgánica, en un suelo aluvial de riego. En general, los rendimiento varían en fun-

ción de muchas propiedades del suelo, siendo algunas de ellas más importantes que otras. La delimitación de áreas de manejo homogéneo dentro del potrero puede hacerse según varios criterios:

1. De acuerdo a la variación espacial de los rendimientos y calidad del cultivo.
2. En función de la variación espacial de la propiedad del suelo más importante en la determinación de los rendimientos y calidad.
3. En función de la variabilidad espacial de la calidad del suelo determinada a partir de todas las propiedades del suelo que explican el rendimiento y calidad.

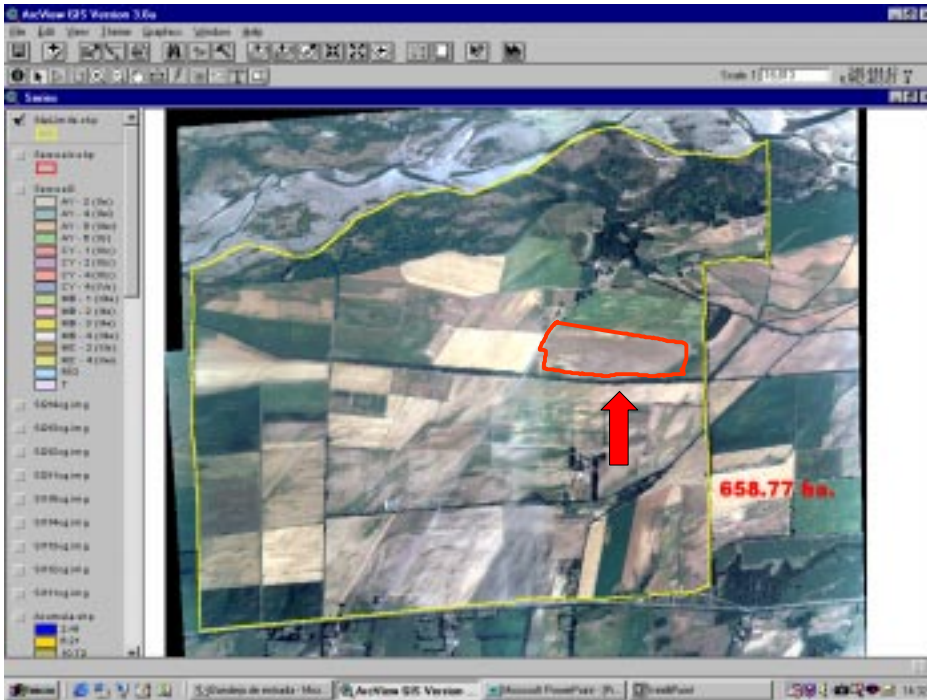
### Tecnologías base para la Agricultura de Precisión

Existen tres tecnologías básicas, o grupos de ellas, para la implementación de prácticas de Agricultura de Precisión:

#### Sistemas de posicionamiento global (GPS):

Permiten la localización instantánea (latitud, longitud) dentro de un sitio o potrero de producción. Normalmente, y partir de la eliminación de la llama-

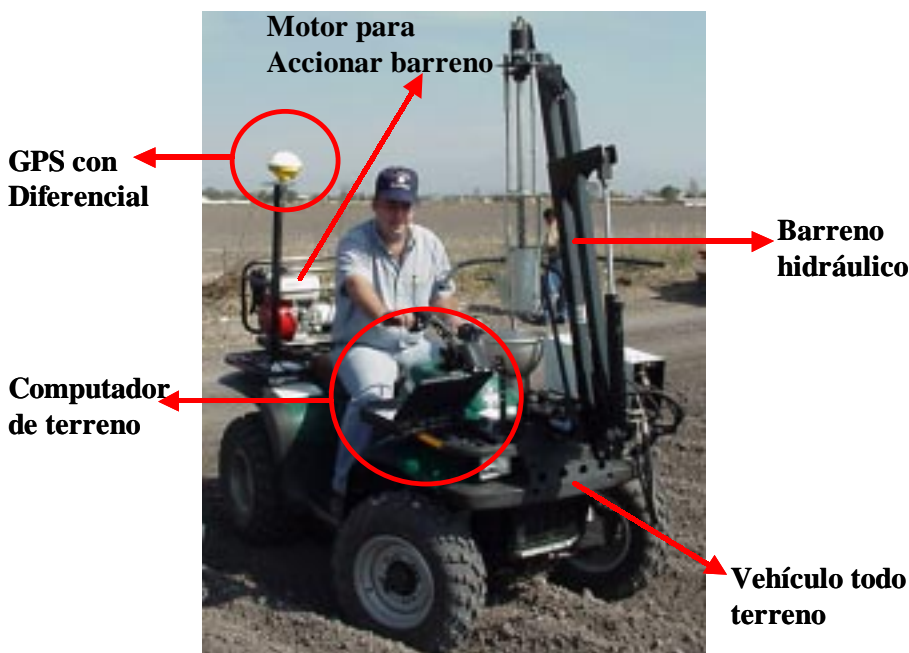
**Figura 3**  
Sistema de información geográfica mostrando el perímetro de un predio de 650 ha y un potrero de 23 ha



da disponibilidad selectiva por parte de Estados Unidos, el año 2000, que aumentaba el error de posicionamiento cuando estaba activada, los receptores comerciales de GPS alcanzan una exactitud cercana a los 10 m como máximo. Esto no es suficiente para

prácticas de AP, por lo que deben usarse equipos GPS con corrección diferencial en tiempo real (DGPS). Estos receptores, además de las señales de los satélites GPS, reciben una señal de corrección, alcanzando exactitudes menores a 1 m, en tiempo real (Figura 2).

**Figura 4**  
Equipo para el muestreo georeferenciado de suelos



### Sistemas de información geográfica (SIG o GIS):

Estos sistemas corresponden a bases de datos georeferenciados que permiten el manejo y análisis de la información recolectada, a nivel de potrero y predio. Existen en la actualidad numerosos programas de SIG que pueden ser utilizados para el manejo de la información predial en computadores personales (Figura 3).

### Sensores, equipos y maquinaria especializada:

Permiten la recolección de la información en terreno y la aplicación variable de insumos (Figura 4). Esta última se realiza con un equipo especial que es controlado por computador y guiado por DGPS. En la actualidad, la mayoría de estas tecnologías están disponibles en el país.

### Etapas y prácticas de Agricultura de Precisión

Existen numerosas prácticas o actividades de manejo consideradas parte de la AP, en sus diferentes etapas de aplicación. Estas prácticas son realizadas a través de diferentes tecnologías e incluyen tanto actividades de terreno como de oficina y pueden agruparse en las siguientes etapas (Figura 5):

#### Diagnóstico:

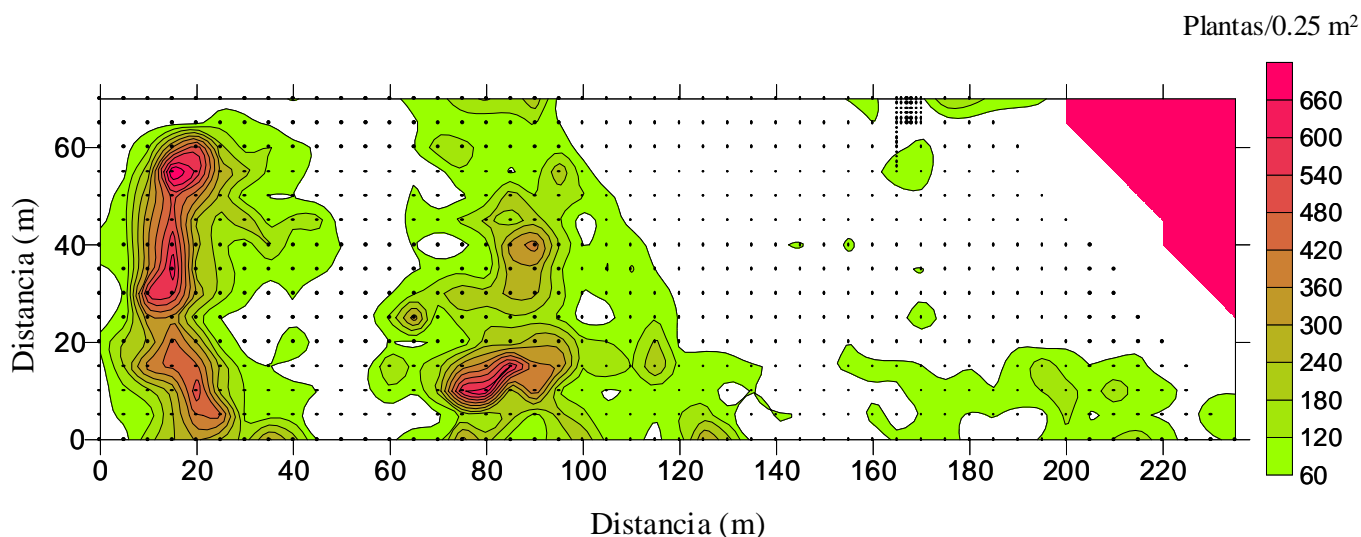
Contempla la recolección espacial de datos en terreno a través del uso de GPS, sensores directos o sensores remotos y su ingreso a un SIG. Entre las actividades más comunes se pueden mencionar: muestreo de suelos en grilla para análisis físico-químico, sensoriamiento directo o remoto de suelos y cultivos, “scouting” de cultivos para la identificación de malezas, plagas y enfermedades y monitoreo de rendimientos.

#### Análisis de la información y definición de las prescripciones:

Corresponde al análisis, proceso, e interpretación de la información recolectada e incluye actividades tales como el análisis de dependencia espacial de los datos y la confección de mapas de evaluación y prescripción

**Figura 6**

Mapa de incidencia de malezas en maíz (Adaptado de Vrindts y De Baerdemaeker, 2000)



(manejos a aplicar).

### Aplicación de los manejos diferenciales:

Comprende la aplicación diferencial de insumos en terreno e incluye la aplicación variable de fertilizantes, plaguicidas y semillas.

### Seguimiento:

Es equivalente al diagnóstico, e incluye la evaluación y seguimiento de los tratamientos aplicados, a través de la recolección espacial de datos de terreno. El seguimiento continuo de los tratamientos o prescripciones aplicadas permite mejorar continuamente el nivel de precisión.

### Aproximaciones para la aplicación variable de insumos

Existen, en general, dos formas principales de aproximarse a la aplicación variable de insumos:

**A partir de mapas:** consiste en el muestreo y mapeo de los factores de producción a ser manejados en forma diferencial (fertilidad del suelo, malezas, etc.) y la posterior elaboración de mapas de prescripción para la aplicación variable de los insumos (fertilizantes, herbicidas, etc.) (Figura 6).

**A partir de sensores:** consiste en el sensoriamiento directo o remoto del suelo y/o el cultivo para la aplicación

inmediata de los insumos en forma variable. Por ejemplo, si el sensor detecta la presencia de malezas en un sector dado del potrero, automáticamente se abren las boquillas y se aplica el herbicida. De igual forma, si el sensor directo detectara un pH del suelo, bajo el nivel óptimo, en un sector dado, la maquina encaladora abriría sus compuertas haciendo la aplicación de cal correspondiente.

En el caso del diagnóstico de la fertilidad del suelo, hasta ahora ha sido difícil generar sensores que midan el contenido de nutrientes del suelo en tiempo real, que permitan la aplicación variable de fertilizantes, sin embargo existe una gran cantidad de investigación en esta área.

### Ejemplo de prácticas de Agricultura de Precisión

A continuación se presentan los pasos necesarios para la delimitación de zonas de manejo homogéneo dentro de un predio o potrero de producción (Figura 7). Esta aproximación es muy útil para definir áreas de manejo diferencial en cultivos, viñedos, huertos frutales y plantaciones forestales.

1. Utilizando DGPS y SIG se procede a demarcar el perímetro del potrero o área de interés. Con esta información se puede calcular la superficie del potrero.
2. Utilizando diversas herramientas

de muestreo con la ayuda de GPS y SIG se procede al muestreo y mapeo de las propiedades del suelo (físicas y químicas) y del cultivo (análisis foliar, vigor, calidad de fruto, etc.).

3. Con el uso de monitores montados en la maquina cosechadora (o bien muestreo manual), se mapean los rendimientos.
4. Cruzando las capas de información y de acuerdo a los objetivos perseguidos (mayor rendimiento, mayor calidad, etc.) se determinan las zonas de manejo homogéneo, las que tendrán un manejo diferencial en forma posterior. Este manejo diferencial permitirá una mayor eficiencia productiva.

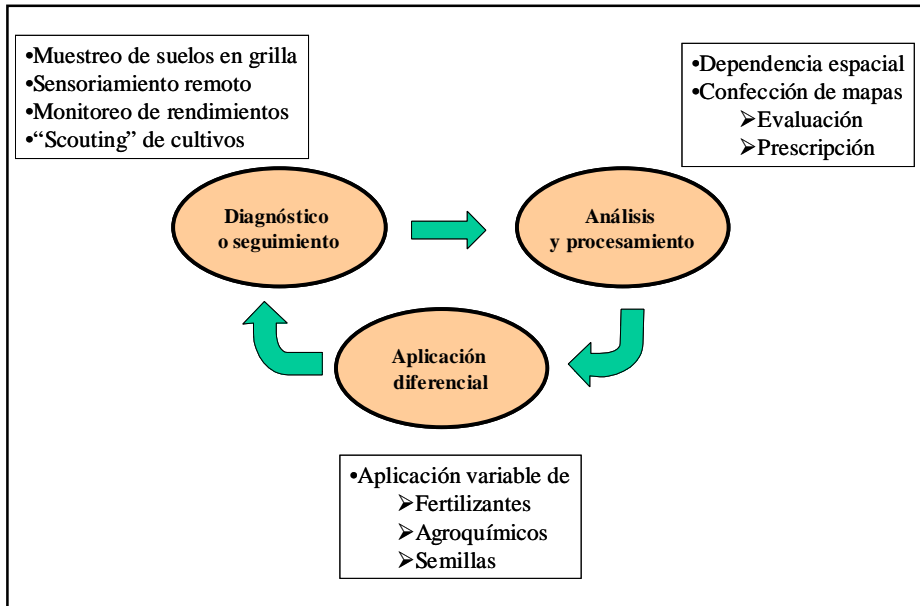
### Tecnologías de Agricultura de Precisión con mayor potencial en Chile

En la Tabla 1 se presentan las tecnologías de Agricultura de Precisión de mayor potencial y facilidad de adopción en Chile, con sus usos, beneficios y limitaciones. El beneficio global de cada una de ellas es el aumento de la eficiencia productiva.

### Sistemas de información geográfica (SIG):

Constituyen uno de los pilares de la AP por lo que su implementación a nivel predial debería ser una de las prioridades para comenzar a avanzar

**Figura 5**  
Etapas del Manejo Sitio Específico (MSE)



en el MSE. Entre los beneficios que trae el uso de los SIG a nivel predial está el mejor conocimiento del predio

y la rápida obtención de información histórica. Además, permite el control productivo de manera muy eficiente.

Existen programas de SIG básicos que pueden ser programados según las necesidades de cada productor.

### Monitores de rendimiento:

Al igual que en el caso anterior, esta es una tecnología de relativamente fácil adopción. Se estima que en Sudamérica habrían alrededor de 500 monitores de rendimiento de grano, de los cuales casi el 97 % se encuentra en Argentina (80%) y Brasil. En Chile, existen solo alrededor de cuatro de ellos. Los productores individuales y las empresas prestadoras de servicios de cosecha pueden montar monitores de rendimiento en sus cosechadoras combinadas, lo que permitiría los siguientes beneficios:

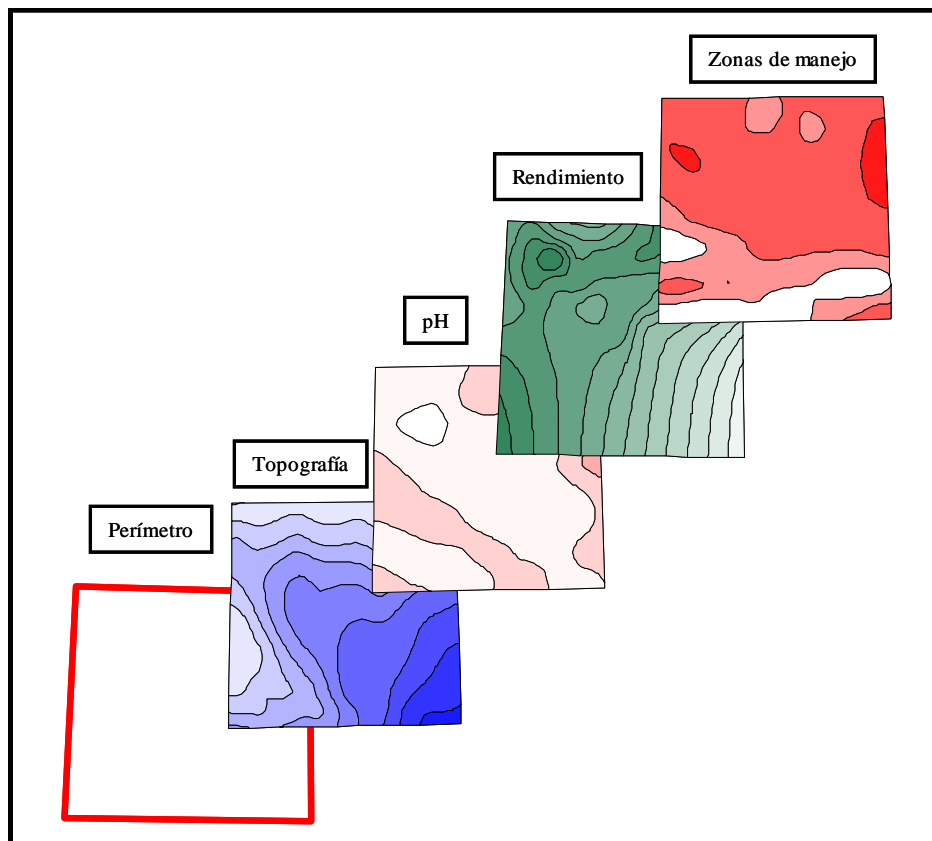
1. Control exacto de la superficie cosechada
2. Control exacto del producto cosechado a partir de estadísticas de productividad
3. Datos sitio-específicos que pue-

**Tabla 1**  
Tecnologías de Agricultura de Precisión de mayor potencial de uso en Chile

Tecnologías	Usos	Beneficios	Limitaciones de uso
Sistemas de información Geográfica (SIG) predial	Manejo de la información predial en forma de bases de datos georeferenciadas (mapas)	-Manejo de la información de manera rápida y efectiva -Control productivo Insumos Productos	
Monitores de rendimiento	Permiten medir la superficie y la variación de los rendimientos de los cultivos dentro del área (potrero) cosechada	-Conocimiento de las superficies exactas de cosecha -Conocimiento de la variabilidad de los rendimientos permite diseñar manejos agronómicos “a la medida”	
Sistemas de aplicación de agroquímicos guiadas por GPS	Permiten la aplicación precisa de agroquímicos en el lugar deseado	-Mejor uniformidad de aplicación -Evita la aplicación sobre potreros o predios vecinos -No requiere personal en tierra para aplicaciones aéreas	
Muestreo de suelos con GPS	Determinar la variabilidad espacial de la fertilidad del suelo para definir zonas de manejo homogéneo	-Conocimiento exacto de la superficie del potrero -Eficiente sectorización del potrero -Mayor eficiencia en la fertilización	Costo de los análisis de suelo
Medición de conductividad eléctrica del suelo (CE) en tiempo real	Delimitación de áreas de manejo homogéneo en función de la CE que se relaciona con la textura del suelo	-Sectorización del potrero en diferentes clases texturales -Mayor eficiencia en el riego y la fertilización	CE no solamente varía con la textura del suelo
Medidores de clorofila conectado a GPS	Determinar el nivel de nitrógeno de los cultivos	-Aplicación racional de nitrógeno -Aumento de eficiencia de uso del nitrógeno -Disminución del riesgo de contaminación del agua por nitratos	

Figura 7

Capas de información para la delimitación de zonas de manejo homogéneo en maíz



den ser usados con fines de recomendación de fertilizantes.

Junto a los monitores de rendimiento para granos, se han desarrollado equipos para tubérculos (papa), raíces (remolacha) y uva vinífera.

Estos monitores de rendimiento pueden ser utilizados con o sin GPS. En el último caso, no es posible construir mapas georeferenciados de rendimiento.

### Sistemas de aplicación de agroquímicos guiados por GPS:

Es una tecnología de relativamente fácil adopción por parte de prestadores de servicio de aplicación de agroquímicos. El uso de los denominados “banderilleros satelitales” para las aplicaciones de plaguicidas, tanto terrestres (en reemplazo de los marcadores de espuma) como aéreas, permite una aplicación más eficiente de los productos (menores errores de

Figura 8

Sistema Veris® para la medición de la CE del suelo



traslape), eliminando la necesidad de banderilleros humanos y protegiendo la salud de las personas que viven alrededor de la zona de aplicación. Además, en el caso de las aplicaciones aéreas, se protege a los cultivos adyacentes de posibles errores en la localización del potrero. Esta es una práctica de alto nivel de adopción en algunos países latinoamericanos como Argentina, en el que se indica que existen más de 130 unidades al año 2000.

### Muestreo de suelos con GPS:

Esta es otra de las tecnologías de rápida transferencia a las empresas comercializadoras de fertilizantes y agentes privados y públicos que prestan servicios de análisis de suelo. A través del muestreo de suelos intensivo en grilla con DGPS (0,5 – 1 muestra/ha), para análisis químico o físico, es posible delimitar zonas de manejo homogéneo para su posterior manejo diferencial en términos de riego o fertilización. Actualmente, este servicio está siendo prestado por empresas distribuidoras de fertilizantes o empresas afines, en algunos países como Chile, Argentina, Brasil y México (Figura 4). La principal limitación para la adopción de esta tecnología es el costo del análisis de laboratorio.

### Medición de conductividad eléctrica del suelo (CE) en tiempo real:

Se realiza mediante el uso de un equipo similar a una rastra de discos que permite la medición continua de la CE del suelo a dos profundidades (0-30 cm y 0-90 cm), en forma simultánea. La CE eléctrica del suelo se relaciona, entre otros, con la textura, el contenido de materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico del suelo. Este sistema, permite una fácil delimitación de zonas de manejo homogéneo por clases texturales. Su principal limitante es que la CE puede variar debido a numerosos factores y no solo con la textura del suelo (Figura 8).

### Medidor de clorofila conectado a GPS:

Permite medir la intensidad del color verde de las hojas de los cultivos, la cual está asociada al contenido de ni-

**Figura 9**

Medidor de clorofila con DGPS y mapa de lecturas de clorofila en remolacha



trógeno de las mismas. Utilizando algún diseño de muestreo, se recorre el potrero de cultivo realizando las lecturas correspondientes con el clorofilómetro. Posteriormente se construyen mapas de lecturas de clorofila, permitiendo la aplicación de dosis variables de nitrógeno, principalmente en segundas aplicaciones (Figura 9).

### Economía de las prácticas de Agricultura de Precisión

En general, cuando el factor productivo a manejar (malezas, fertilidad, etc.) tiene una alta incidencia en el costo de producción y/o sobre los rendimientos y calidad del cultivo, las

prácticas de agricultura de precisión son rentables. Además del impacto económico directo que el MSE puede tener, existe un impacto ambiental positivo, difícil de cuantificar en términos económicos. Esto se debe, en algunos casos, a una reducción en los “inputs” de agroquímicos y en otros a un mejor uso de ellos. Estudios preliminares realizados en Chile han confirmado lo señalado anteriormente, coincidiendo con numerosos estudios realizados en el extranjero.

### El futuro de la Agricultura de Precisión en Chile

Dada la alta variabilidad de los factores que determinan los rendimien-

tos y calidad de los productos y el elevado costo de los insumos, especialmente en cultivos intensivos, el futuro de la AP se estima auspicioso. Por otra parte, el impacto de las prácticas de AP sobre la eficiencia productiva las hacen indispensables en la tarea de aumentar la competitividad de la Agricultura Chilena.

Para fomentar el uso de la AP en Chile, la Pontificia Universidad Católica de Chile, con el apoyo del Fondo de Innovación Agraria (FIA), ha creado el primer Centro de Agricultura de Precisión en el país. Este Centro será el encargado de realizar actividades de investigación y transferencia de tecnología para promover el uso de las tecnologías de la información en la agricultura, y, particularmente en cultivos tradicionales. El Centro actuará como nexo entre todos los actores del desarrollo agrícola nacional y las tecnologías de información disponibles a nivel mundial. Entre sus actividades principales se pueden mencionar:

1. Desarrollo de las bases técnicas de la AP (sistemas e intensidades de muestreo, definición de áreas de manejo homogéneo, etc).
2. Prueba de maquinaria y equipos.
3. Formación de profesionales.
4. Capacitación a empresas y usuarios finales.

Desde el presente año el Departamento de Ciencias Vegetales dicta el primer curso de Agricultura de Precisión en el país, y uno de los pioneros a nivel latinoamericano. **FAF**



## Laboratorio de Enología

### Sede Colchagua

Av. Bernardo O'Higgins 0220 C  
San Fernando

#### Servicios:

Análisis de yemas uva de mesa y vinífera

Análisis de Vinos

Para mayor información: Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal  
Teléfonos (56-72) 722 036 - 722 222 Email: [fundo@fundacionagrouc.tie.cl](mailto:fundo@fundacionagrouc.tie.cl)