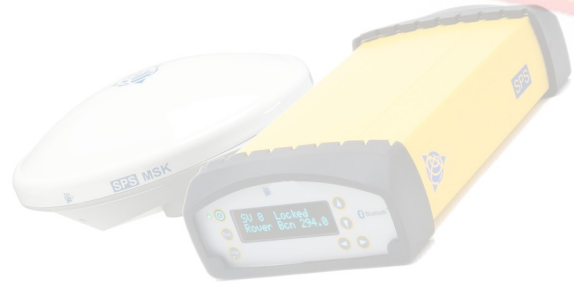




FONDO DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA DE LA REGIÓN DEL BÍO-BÍO  
**CORFO INNOVA BÍO BÍO**  
para el emprendimiento

# Adopción y Desarrollo de Tecnología en Agricultura de Precisión





# ADOPCIÓN Y DESARROLLO DE TECNOLOGÍA EN AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Centro Regional de Investigación Quilamapu  
Chillán, Chile, 2014

## ADOPCIÓN Y DESARROLLO DE TECNOLOGÍA EN AGRICULTURA DE PRECISIÓN

### AUTORES:

Stanley Best S.  
Lorenzo León G.  
Andrés Méndez  
Fabiola Flores  
Hernán Aguilera

### Revisión de contenidos:

Stanley Best S.  
Lorenzo León G.  
Hernán Aguilera C.

### DIRECTOR REGIONAL INIA

Rodrigo Avilés R.

Permitida su reproducción total o parcial con la obligación de citar la fuente y el autor.

### Cita bibliográfica correcta:

Best, S., León, L. Méndez, A., Flores, F., Aguilera, H. 2014. Adopción y Desarrollo de tecnologías en Agricultura de Precisión. Boletín Digital N° 3, Progap-INIA, 100p. Progap-INIA, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chillán, Chile.

### Diseño y diagramación:

Hernán Aguilera Cares

### Impresión:

Impresos Valverde Hnos y Cia. Ltda.

Chillán, 2014.



TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN _____	5
¿QUÉ ES EL PROGAP INIA? _____	6
CAPITULO 1: VISION GENERAL DE LA TECNOLOGÍA _____	7
Stanley Best, Lorenzo León.	
CAPITULO 2: SISTEMAS DE SENSORAMIENTO DE LA VARIABILIDAD _____	13
Stanley Best, Lorenzo León.	
CAPITULO 3: SISTEMAS DE GUÍA POR SATÉLITE, ROBÓTICA Y AUTOMATIZACIÓN AGRÍCOLA Y CONTROLADORES ELECTRÓNICOS _____	21
Stanley Best, Lorenzo León, Fabiola Flores, Hernán Aguilera.	
CAPITULO 4: ADOPCIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN _____	48
Stanley Best	
CAPITULO 5: TIC'S Y BIG DATA ANALISIS _____	56
Stanley Best, Hernán Aguilera	
CAPITULO 6: VISIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN ARGENTINA _____	66
Andrés Méndez	

## Introducción

Actualmente Chile enfrenta la gran oportunidad de convertirse en una potencia agroalimentaria, para lo cual deberá abordar un conjunto de desafíos para avanzar hacia esta nueva etapa. Entre ellos destacan el bajo precio de los productos hortofrutícolas en los mercados de destino y un manejo más homogéneo de la calidad de la producción. Además, es necesario considerar la pérdida de competitividad del sector tradicional debido a las fluctuaciones de precios del mercado. Junto a lo anterior, el continuo incremento de los costos de producción, obliga a dar un salto en las tecnologías más específicas asociadas a la producción agrícola, dentro de la cadena productiva en general (“del Campo al Tenedor”).

Asimismo, es importante destacar que existen diferencias importantes en el comportamiento tecnológico de las principales cadenas agroalimentarias. En primer lugar, porque en algunos casos se trata de commodities en donde, la competencia es principalmente dada por los precios. Por otra parte, en los alimentos con mayor valor agregado (exportación principalmente), aspectos como calidad, sanidad y diferenciación de productos son esenciales.

El mantenimiento o creación de competitividad en este ambiente de competencia, exige nuevos niveles de costos. Lo anterior implica, entre otros aspectos, incrementar los niveles medios de productividad, calidad y coordinación, así como también la adaptación de estos productos a los desafíos de nuevos mercados, tomando así gran relevancia la necesidad de capital humano capacitado para lograr este desarrollo. Al mismo tiempo, la institucionalización de estos mercados a través de convenciones y regulaciones internacionales apunta para una internalización cada vez mayor de criterios de salud, ambientales, sociales, culturales y éticos. En este proceso, el mundo de las exportaciones como un todo está sufriendo crecientes presiones para la diferenciación, con lo que se crean condiciones propicias para el establecimiento de estrategias de segmentación y el desarrollo de especialidades, con un incremento cada día mayor en el uso de tecnología aplicada a la agricultura. En este último Punto la Agricultura de Precisión (AP) está tomando un rol cada día más relevante.

La Agricultura de Precisión es una tecnología de información basada en el posicionamiento satelital; consistente en obtener datos georeferenciados de los predios para un mejor conocimiento de la variabilidad de rendimiento y calidad expresada por los cultivos en los diferentes sitios del mismo. Estos sitios pueden presentar distintos tipos de variabilidad dados por: topográfica, génesis de suelo, distinto tipo de manejo, etc. Así, mientras más diferencias de potenciales de rendimiento posean esos sitios, existe una mayor posibilidad que la aplicación variable de insumos (fertilizantes, semillas, agroquímicos, entre otros) obtenga éxito en los resultados buscados. La aplicación variable de insumos constituye una de las herramientas de base en la Agricultura de Precisión.

Sobre la base de lo expuesto anteriormente, se detalla a continuación algunos avances en desarrollos tecnológicos que se utilizan en la Agricultura de Precisión y que son descritos en mayor detalle en el presente libro.

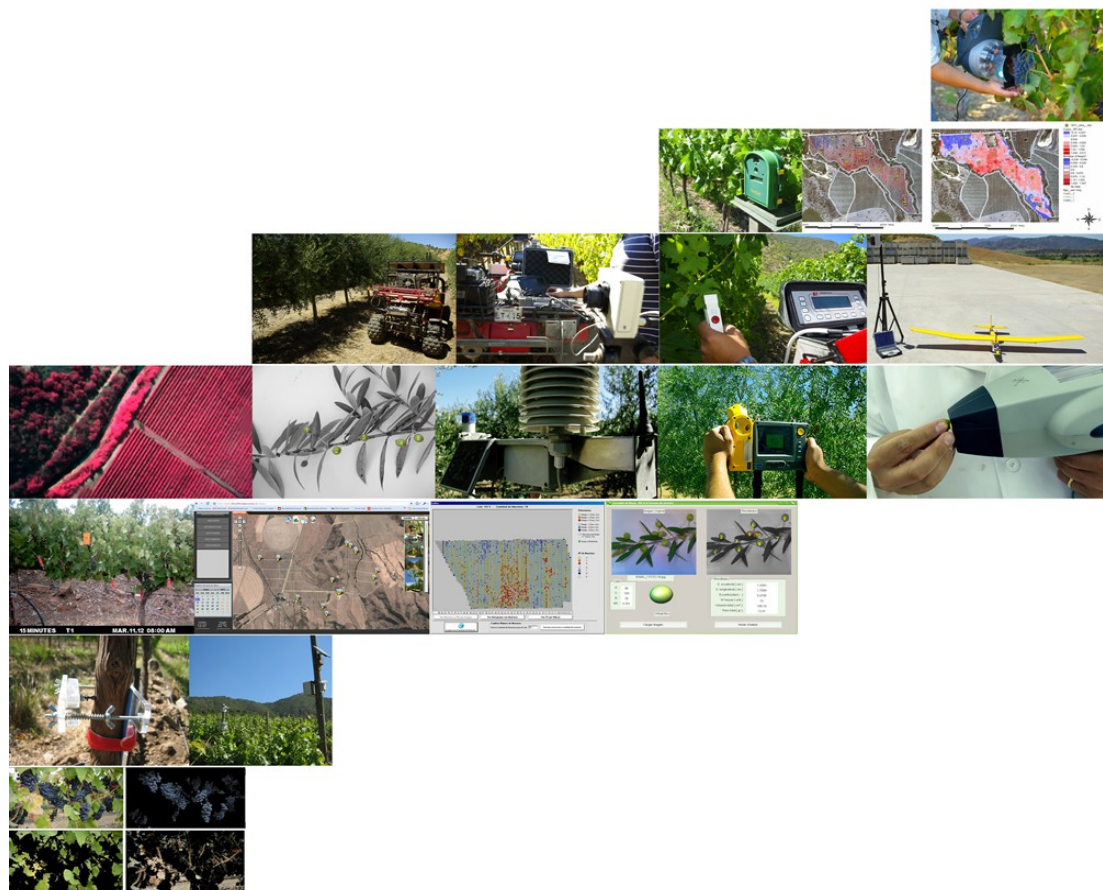
¿Qué es el Progap-INIA?

Producto de la creciente competitividad de los mercados nacionales e internacionales, la necesidad de poder orientar y enfocar los esfuerzos en el estudio y difusión de la Agricultura de Precisión (AP), el Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA, a través de su Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, como respuesta a las necesidades tecnológicas en la agricultura actual, crea el Programa de Agricultura de Precisión, Progap INIA en el año 2002.

El Programa enfatiza el uso de información y de las emergentes tecnologías para sintetizar y entregar herramientas de decisión para mejorar la rentabilidad del agricultor usuario. Estas actividades a menudo dependen de la interacción de distintos sistemas: sensores, Tecnologías de la Información y comunicación (TIC's), procesamiento de imágenes, análisis y modelos matemáticos estadísticos y ingeniería mecánica. La introducción de tecnologías de precisión dentro de las operaciones normales involucran costos adicionales, el resultado se expresa en la disminución de los costos de operación, aumento de la eficiencia, mejora la calidad de los productos, y reducir el impacto medioambiental negativo. Utilizando eficientemente la tecnología de la información se pueden obtener ventajas competitivas, pero es preciso encontrar procedimientos acertados para mantener tales ventajas.

El sistema de información tiene que modificarse y actualizarse con regularidad si se desea percibir ventajas competitivas continuas. El uso creativo de la tecnología de la información puede proporcionar a los administradores una nueva herramienta para diferenciar sus recursos humanos, productos y/o servicios respecto de sus competidores.

En resumen, Progap INIA promueve las mejoras de los procesos productivos a través del uso de tecnologías emergentes, en una visión de reducción de la brecha tecnológica para cumplir con las exigencias internacionales y posicionar a las empresas a un nivel de competitividad igual o superior que los países desarrollados, aumentando el horizonte de competencia de la agricultura chilena.



CAPITULO 1

VISION GENERAL DE LA TECNOLOGÍA

## Introducción

Actualmente Chile posee la gran oportunidad de convertirse en una potencia agroalimentaria, para lo cual deberá abordar diversos desafíos para avanzar en esta nueva etapa. Entre ellos destacan el bajo precio de los productos hortofrutícolas en los mercados de destino, un manejo más homogéneo de la calidad de la producción y un necesario incremento de la competitividad del sector tradicional debido a las amplias fluctuaciones de precios del mercado. Junto a ello, el continuo incremento de los costos de producción, obliga a dar un salto en las tecnologías más específicas asociadas a la producción agrícola en particular y dentro de la cadena productiva en general, todo lo cual puede ser desarrollado bajo el concepto “del Campo al Tenedor”.

También es necesario destacar que existen importantes diferencias en el comportamiento tecnológico de las principales cadenas agroalimentarias. Así, en el caso de los commodities, la competencia se ha establecido principalmente por precios, mientras que en los alimentos con mayor valor agregado (vinculados a exportación principalmente), los aspectos como la calidad, sanidad y diferenciación de productos son esenciales.

Sin embargo, la mantención o creación de competitividad en este ambiente, exige nuevos niveles de costos, lo que implica, entre otros aspectos, incrementar los niveles medios de productividad calidad y coordinación. De la misma forma es necesaria una adaptación de estos productos a los desafíos de nuevos mercados, tomando gran relevancia la necesidad de capital humano capacitado para lograr este desarrollo. Simultáneamente, la institucionalización de estos mercados a través de convenciones y regulaciones internacionales apunta hacia una internalización cada vez mayor de criterios de salud, ambientales, sociales, culturales y éticos. En este proceso, el mundo de las exportaciones como un todo sufre crecientes presiones para la diferenciación, que a su vez crean condiciones propicias tendentes a estrategias de segmentación y el desarrollo de especialidades.

En resumen, Los escenarios futuros del Sistema Agroalimentario y Agroindustrial (SAA), apuntan a tres grandes desafíos, que deben estar presentes en las decisiones sobre prioridades de I&D:

- La adaptación de la competitividad de los commodities; principalmente en lo referente a reducción de costos de producción y resguardo del medio ambiente.
- Adecuación al nuevo marco regulatorio principalmente en términos de calidad, inocuidad y sustentabilidad, todo lo que que estará definiendo el perfil institucional de los mercados en las próximas décadas;
- Las nuevas formas de coordinación del SAA, que aseguren trazabilidad, “identity preserved products”, entre otros.

Adaptación de las cadenas agroalimentarias a las nuevas exigencias de los mercados:

Esta temática tiene diferentes niveles, que van desde los requerimientos de aumentos de productividad, la homogeneización/estandarización de productos en niveles mínimos de calidad, hasta la trazabilidad y sistemas de aseguramiento de calidad.

En primer lugar, se requiere consolidar la competitividad de las cadenas tradicionales de commodities, con el desarrollo de variedades más productivas, tratando además de tornar menos impredecible la producción. Lo anterior implica el lograr una producción más controlable y más eficiente a costos menores. Este objetivo está relacionado en general con innovaciones de tipo incremental, con tecnologías generadas por el sector privado y/o con líneas de investigación tradicionales en los institutos de investigación públicos de la región, como es el caso de mejoramiento genético, nutrición animal, así como tecnologías de manejo que requieren ajustes para una implementación más eficiente (por ejemplo, agricultura de precisión).

En cuanto a la calidad, el primer nivel está dado por la homogeneización de la producción cumpliendo los estándares requeridos para acceder a los mercados internacionales, en donde adquiere especial importancia la adaptación o adopción de sistemas de clasificación que permitan competir en mejores condiciones de precios. Un aspecto central a remarcar en este tema consiste en el desarrollo de productos con elevado estándar de seguridad de los alimentos, asociados a técnicas de control de calidad desarrolladas para garantizar al comprador la “calidad del producto” (“identity preservation”), su trazabilidad y factores como la huella del carbono y agua, en que las oportunidades residen en la reducción de las barreras de acceso a los mercados. Esta línea de investigación merece ser destacada debido al crecimiento de las barreras no-tarifarias impuestas a los productos provenientes de los países en desarrollo, cada vez más importantes en el mercado internacional. Por otra parte, los mercados asiáticos representan el mayor desafío de competitividad para el país, ya que además de las exigencias



de calidad, las distancias mayores colocan en cuestión la frontera de la tecnología de preservación de alimentos y momentos oportunos de cosechas que deberán ser trabajados.

Nuevas formas de coordinación: exigencias tecnológicas, logísticas y de informatización

El Mercado Europeo se propone imponer la trazabilidad en las cadenas Agroalimentarias. Según la reglamentación de la OMC, una vez adoptada por razones de seguridad alimentaria, este sistema puede ser exigido también para los países exportadores. Sistemas de coordinación que permiten la trazabilidad, por lo tanto, serán imprescindibles en el nuevo cuadro de competitividad internacional.

El concepto de “Identity preserved products” fue inicialmente pensado para captar el alto valor agregado de especialidades. Hoy, sin embargo, la competitividad, aún en el mundo de las commodities, exige la capacidad de organizar y monitorear sistemas separados de producción, cosecha, almacenaje, transporte y entrega.

Los aspectos de aseguramiento de la calidad y trazabilidad imponen nuevas formas de coordinación económica en todos los sectores, con una mayor articulación entre producción, industria y distribución. Se requiere un programa de capacitación en formas de coordinación económica (coordinación en programas de calidad, entrenamiento en logística y formas contractuales), factores que deberán ser abordados con sistemas digitales y alto soporte de TIC's, lo que a su vez que supone otra barrera de adaptación por productores y empresarios. Por otra parte, las presiones de la demanda en dirección a la descomoditización en las principales cadenas analizadas, esto es, materias primas que den lugar a productos más saludables, “light”, productos diferentes según usos funcionales específicos, exigen la organización de partidas separadas en todos los ejes de la cadena de la pos-cosecha, con la adopción y difusión de nuevas tecnologías y formas de clasificación de los productos, así como inversiones importantes en sistemas de almacenamiento y transporte.

#### **Descripción de la situación actual en Chile**

A nivel de campo, Chile recientemente ha empezado a incorporar tecnologías de punta en los rubros agropecuarios nacionales, un ejemplo de esto es la Agricultura de Precisión. Hace apenas una década se empezó a hablar en Chile de la “agricultura de precisión”, también llamada “tecnología de dosis variable (TDV)” o “manejo sitio específico”. Por entonces pocos sospechaban los espectaculares alcances que podría tener esta modalidad de producción agrícola, que en términos simples no era otra cosa que aplicar manejos agronómicos en forma variable y dentro de un mismo predio, con la valiosa ayuda de las tecnologías de información y comunicación (TICs). A diferencia de la agricultura convencional, esta modalidad de producción se aleja en lo posible de los manejos fijos o uniformes y tiende a la aplicación de prácticas agronómicas –siembra, fertilización, aplicación de agroquímicos, cosecha– de forma variable, en función del análisis de la información recolectada.

Las tecnologías básicas que han permitido el desarrollo de la agricultura de precisión son los sistemas de posicionamiento global (GPS) y los sistemas de información geográfica (SIG). El GPS permite la localización instantánea (latitud y longitud) de cada sector del campo mediante el uso de una constelación de satélites, cuyas posiciones en un momento dado son conocidas. Por otro lado, los SIG permiten el manejo de toda la información generada en el terreno, en forma de mapas georreferenciados. A ellas se suman los sensores remotos, maquinaria especializada, biosensores, entre otras. Todos los anteriores elementos permiten mejorar la toma de decisiones productivas debido a un mejor conocimiento de los procesos y fenómenos que ocurren en el campo. Definitivamente este corresponde a uno de los nuevos paradigmas de la producción agrícola, cuyo uso permite aumentar la productividad y la eficiencia productiva, reducir el impacto ambiental y cumplir con las exigencias de trazabilidad.

Sin embargo, en Chile esta tecnología no ha tenido avances sustanciales debido a la falta de estructuras de servicios, capacitación e integración adecuada al sector productivo, lo cual incluye las cadenas completas de producción). Además, las iniciativas asociadas a esta temática han sido escasas (ver cuadro 1) las cuales han generado el interés y han permitido difundir los beneficios de su utilización y sentar las bases para futuros desarrollos pero adolecen de la parte ejecutora que permita hacer llegar a los productores un servicio útil y amigable en su implementación y rentabilización final. Así, tal como se mencionara anteriormente, los avances en materias de implementación de agricultura de precisión se han quedado en realizar diagnósticos que permitan medir la variabilidad en un huerto y no han avanzado lo suficiente en la fase de interpretación de datos y recomendaciones.

Cabe destacar, como ya se ha demostrado, que actualmente la agricultura nacional, se encuentra en un punto de inflexión por la necesidad de la incorporación de innovaciones tecnológicas basadas en la utilización multidisciplinaria de ciencias (Agronomía, Ingeniería, química, física entre otras) que tradicionalmente no están bien integradas.

Es claro que en el mundo que vivimos hoy en día, debe haber una gestión del conocimiento tal que permita generar una mayor competitividad del sector, pero para esto ocurra, se debe articular un formato orgánico lo suficientemente práctico para que gatille mayor iniciativa o pro actividad del sector privado a partir del impulso que se desarrolle desde el sector público.

Por otra parte, se visualiza un incremento de brechas tecnológicas entre el sector productivo empresarial y los agricultores de menores dimensiones, ya que no existe en la actualidad un desarrollo cabal de capacitación e información de estas tecnologías, principalmente, por falta del recurso humano capacitado para llevarla a cabo, lo que repercute en la carencia de empresas de servicios y consultores que puedan dar un servicio integral asociado a las tecnologías existentes a nivel mundial.

Una de las decisiones claves que tienen que tomar los productores que quieren adoptar nuevas tecnologías es si van a contratar los servicios, o si se van a capacitar para desarrollar por sí mismos las habilidades necesarias para la recolección de datos, análisis y manejo de variables. En ciertos casos, los consultores o empresas de servicios pueden ofrecer el servicio en forma más económica, como cuando se exige una gran inversión de capital que debe distribuirse sobre varios campos para que sea rentable, ej.: una cosechadora con monitor de rendimiento y GPS. En otros casos, la decisión es una cuestión de tiempo disponible, y como todo productor ya sabe, el tiempo es dinero.

Sin embargo, hay dos factores principales a considerar: ¿hay consultores o empresas de servicios en el tiempo y lugar adecuado, y con los conocimientos adecuados?; ¿se cuenta con la mano de obra necesaria para hacer el trabajo extra que requieren las nuevas tecnologías? y ¿se posee la capacidad de servicio técnico adecuado y eficiente para mantener el sistema operativo en los tiempos que se requiere?. Por lo general, se limita a una elección entre dos opciones, una de bajo nivel tecnológico que requiere más tiempo, y otra de alto nivel tecnológico que es más rápida, pero más cara, eso sí, se debe tener en cuenta la calidad y la confiabilidad del trabajo realizado.

Por otra parte, es difícil para las empresas navegar a través de la extensa experiencia mostrada por los centros y universidades asociadas a investigación para adquirirlos productos que son requeridos por ellas en un formato práctico requerido. En efecto, no es raro imaginar que la demanda por la adquisición de conocimiento no sea de efecto automático. Ya que como describe Dr. Meijer, en la apertura de año académico 2009 de la Universidad de Wageningen UR, el principal interés de los investigadores es el desarrollo de investigación que presenten un mérito intelectual de algo nuevo y no tan interesados en aplicar o ayudar a aplicar descubrimientos de algo que ya está realizado. Es por eso la necesidad de impulsar iniciativas que permitan desarrollar una red organizada que se focalice en reducir la distancia entre el sector privado y el mundo del conocimiento.

Sobre la base de lo expuesto en cuanto a la visión futura del mercado agrícola y su asociación con la producción predial, se ve claramente la existencia de brechas importantes en cuanto a las necesidades para desarrollar una mayor competitividad y la situación actual del sector no sólo en cuanto a sus necesidades, sino más bien a la visión de este sector en cuanto al uso de tecnologías, el soporte actual que poseen en servicios e investigación, dejando en claro una gran preocupación de la complejidad del sistema para llevarlo en adelante en un formato orgánico y funcional.

El problema se produce ya que las áreas productivas se encuentran dentro de variaciones de topografía, textura y profundidad de suelos, drenaje y fertilidad entre muchas otras, las cuales integradas producen los problemas de desarrollo de las plantas y este finalmente de la producción y calidad. El manejo estandarizado u homogéneo de los predios, hace que estas variabilidades naturales edáficas se manifiesten en las diferencias de vigor, calidad y rendimiento de los predios. Así, la tecnología de manejo variable o agricultura de precisión (AP en adelante), toma una relevancia como tecnología que permitiría corregir los problemas anteriormente expuestos. La Agricultura de Precisión es una tecnología de información basada en el posicionamiento satelital; consiste en obtener datos georeferenciados de los predios para un mejor conocimiento de la variabilidad de rendimiento y calidad expresada por los cultivos en los diferentes sitios del mismo. Estos sitios pueden presentar distintos tipos de variabilidad dados por: topográfica, génesis de suelo, distinto tipo de manejo, etc. Mientras más diferencias de potenciales de rendimiento tengan esos sitios, existe mayor posibilidad que la aplicación variable de insumos (fertilizantes, semillas, agroquímicos, etc) obtenga éxitos en los resultados buscados. La aplicación variable de insumos constituye una de las herramientas de la Agricultura de Precisión.

Tecnologías de Información con aplicación en la Agricultura

La maquinaria agrícola del presente y el futuro se diferenciará por la electrónica, el electro hidráulico, la robótica, la calidad de sus sensores y actuadores, el desarrollo de las comunicaciones, mayores automatizaciones incorporando inteligencia agronómica y mecánica (interdisciplinar) al servicio de la prestación. Las máquinas realizarán cambios sobre la marcha que mejoren su prestación mecánica o agronómica a través de sensores y software que incorporen decisiones inteligentes que muchas veces superan por lejos la inteligencia del operador, con una repetitividad exacta durante la jornada. Así, hoy en día existen un sin número de problemas en las labores normales de los productores las cuales las podemos definir y evaluar su solución tecnológica como sigue:

Problema: Localización en el espacio a ser integrado con diferentes sensores y herramientas tecnológicas.

Solución AGP: Identificación Precisa de Sitios mediante uso de GPS-DGPS-RTK.

Problema: Deficiente Localización de Sitios de Alto y Bajo potencial Productivo asociada a condiciones de suelo

Solución AGP: Identificación Precisa de variabilidad de suelos. Mejor Focalización de recursos

Problema: Deficiente Localización de Sitios de Alto y Bajo potencial Productivo. Inadecuada Focalización de los recursos

Solución AGP: Identificación Precisa de Sitios de Alto y Bajo Potencial Productivo. Mejor Focalización de recursos

Problema: Incapacidad para realizar pronósticos Acertados de Rendimiento. No es posible realizar buena gestión comercial con antelación a cosecha

Solución AGP: Pronósticos Acertados de Rendimiento meses antes de cosecha. Permite mejor gestión comercial de la Producción.

Problema: Manejo Deficiente de los fertilizantes. Localización inadecuada, Cantidades excesivas o insuficientes.

Solución AGP: Manejo Eficiente de la Fertilización. Localización y Cantidades Adecuadas de los Fertilizantes según la variabilidad de los potreros.

Problema: Manejo Deficiente de los Agroquímicos. Localización inadecuada, Cantidades excesivas o deficientes. Posibles Daños por exceso de producto y mayor vulnerabilidad al ataque de plagas

Solución AGP: Manejo más Eficiente de la de los Agroquímicos. Localización y Cantidades Adecuadas mediante la Obtención de Índice de Área Foliar. Menor riesgo de Daños

Problema: Cosecha Pareja, sin considerar sectores de mejor calidad. Sin información de Localización de mejores rendimientos y calidad.

Solución AGP: Cosecha Considerando la Variabilidad. Obtención de Mapas de Rendimiento y Calidad, para Análisis Actuales y Temporales

Problema: Incapacidad para realizar gestión logística de productores en base a su variabilidad y necesidad de soporte.

Solución AGP: Pronósticos Acertados de variabilidad predial y multipredial mediante uso de información satelital que permite organizar la logística de una agroindustria con sus proveedores.

Sobre la base de lo antes expuesto, en los siguientes capítulos se detallan diversos avances en desarrollos tecnológicos que permitirán solucionar los problemas antes expuestos.

CAPITULO 2

SISTEMAS DE SENSORAMIENTO DE LA VARIABILIDAD

## Introducción

### Monitoreo de suelo.

Para poder entender la variabilidad en un sitio y como esto puede estar afectando la productividad y por ende la rentabilidad del cultivo es clave poder conocer cuales son las características de suelo tanto en condiciones físicas (topografía, textura, retención de humedad, profundidad, etc.) como químicas (nivel de fertilidad, CIC, % materia orgánica, etc.). Sin embargo, es muy curioso que raramente se encuentre este tipo de información dentro de los registros de los productores, teniendo en cuenta que este tipo de evaluación se realiza quizás una sola vez, como es el caso de las características físicas. La explicación que se puede dar a esto es que muchas veces el agricultor considera que esta información es muy cara de obtener y no visualiza claramente el beneficio que su obtención y manejo le puede reportar en el corto, mediano y largo plazo para mejorar la productividad y calidad de su producción.

Por otra parte, es importante destacar que esta información por si sola no será útil sino es utilizada para gestar las normas de manejo de los cultivos, ya que la producción no solamente se limita por las condiciones naturales, sino también por la variabilidad inducida por el propio productor al no realizar las acciones adecuadas en las diferentes zonas productivas que posee o en los momentos adecuados para cada una de ellas. Así, se hace muy importante el tener herramientas de monitoreo que permitan al productor tener conocimiento de la condición del terreno para poder así poder definir las condiciones de variabilidad productiva que posee en sus terrenos, que le permitan tomar las acciones correctivas necesarias tanto en siembra, aplicaciones de insumos y seguimiento posterior del cultivo en su evolución.

### Medición de variabilidad espacial de características físico – químicas.

El equipo de medición de conductividad eléctrica de los suelos asociada a la altimetría existente (Figura 1), es usado como una herramienta de apoyo para la caracterización físico-hídrico de suelo, de manera de entregar información que permita medir su variabilidad y de esta forma explicar la variación espacial del stress hídrico detectado en las plantas.

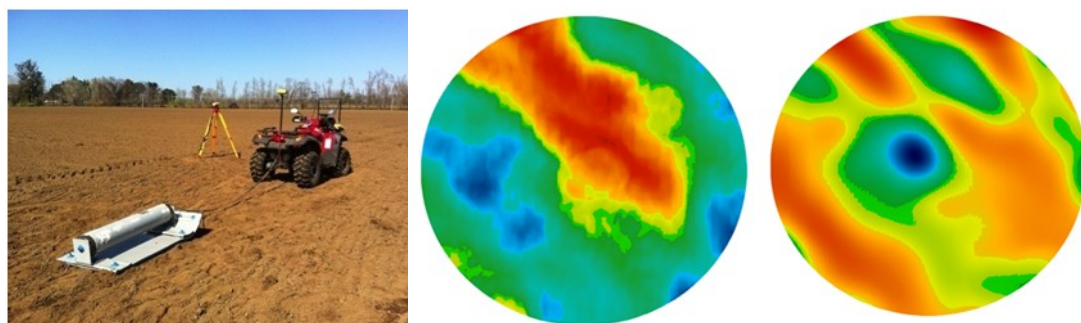


Figura 1. a) Unidad sensor electromagnético EM-38 + Sistema RTK para medición de topografía; b) Mapa de variabilidad CE de suelo c) mapa topográfico de suelo.

Este equipo es de gran utilidad para la definición de zonas de condiciones disímiles dentro de un potrero, lo que permite localizar con gran exactitud puntos de medición para obtener una caracterización edáfica del sector (Figura 2). Lo anterior es muy útil para evaluar las condiciones en las cuales se desarrolla un sistema de riego variable y también para la definición de la fertilización óptima con el apoyo de equipos adecuados.

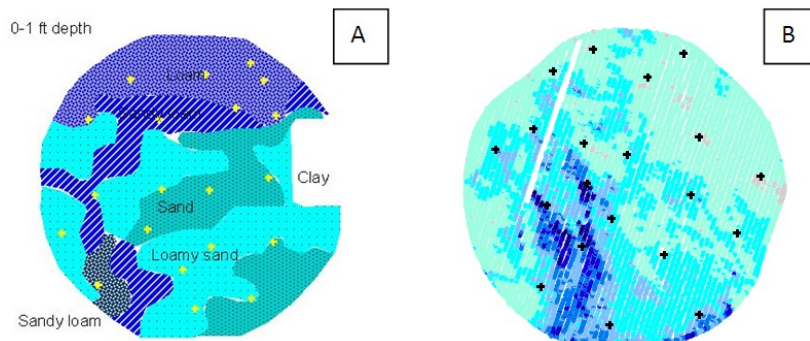


Figura 2. Clasificación textural de suelo (A); Punto de monitoreo mediante uso de EM38 (B) en un pivote central. Medición espacial de compactación de suelos.

La compactación resulta de la compresión mecánica de partículas de suelo y agregados (muchas partículas de suelo juntas en un solo grupo o trozo). La descompactación tiene como resultado el rompimiento de los agregados de suelo más grandes, y el aumento de espacio porosos mayores entre las partículas de suelo. Esto facilita mayor movimiento de aire y agua, requerido tanto por las raíces de las plantas como por los organismos vivos en el suelo.

La compactación del suelo puede medirse con un penetrómetro de suelos. Mientras más profundo y con facilidad penetre el suelo la sonda de este instrumento, menor será la compactación, y, por consiguiente, mejores las condiciones desuelo. Una fuerza baja (bajo número de libras/cm<sup>2</sup>) significa que el suelo no está muy compactado. Menos compactación permite el desarrollo de raíces profundas, fácil flujo vertical de agua y aumento en los espacios (poros) de suelo. El aumento de los espacios (poros) de suelo, también, se correlaciona con una mayor estructura de agregados y un contenido de materia orgánica más elevado. Cabe destacar, que si existe compactación de las capas superficiales, esta restringirá el crecimiento de las raíces y el flujo vertical en el suelo produciéndose por esta situación una gran merma de producción.

En la actualidad existen penetrómetro móviles que permiten el desarrollo de planos espaciales de compactación (figura 3), factor muy importante para evaluar la necesidad de subsolado del predio en aquellos sectores requeridos y no en su totalidad como muchas veces se realiza, para así evitar costos innecesarios al productor por concepto de esta práctica. Por otra parte, existen equipos que puede evaluar sectores compactados en profundidad que finalmente definirán la profundidad efectiva del suelo, factor relevante ya que tiene importante incidencia dentro de la respuesta productiva y finalmente económica del cultivo como lo podemos visualizar en la figura 4.



Figura 3. Penetrómetro móvil y planos de compactación espacial y en profundidad.

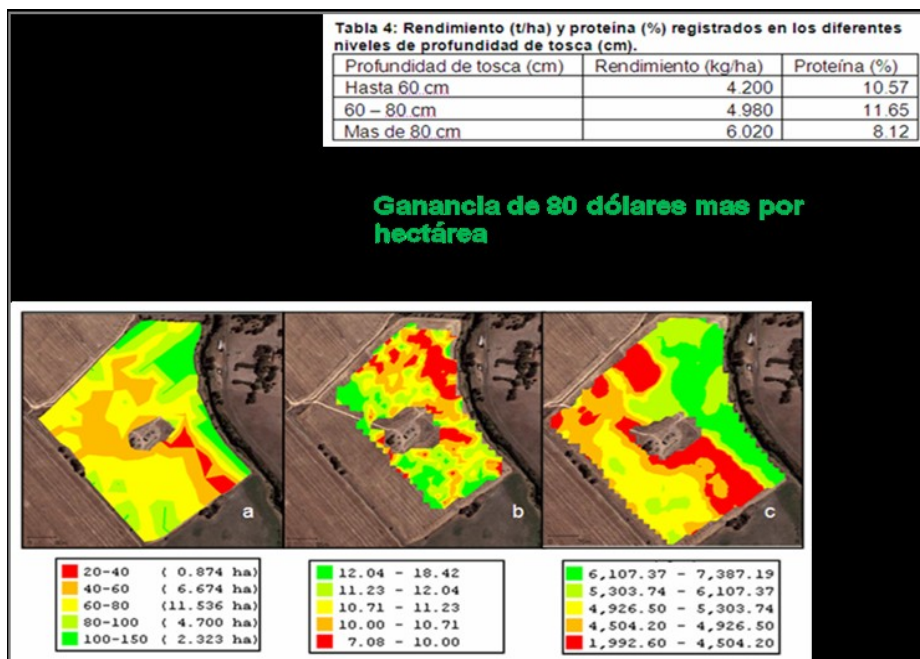


Figura 4. Efecto de profundidad efectiva de suelo sobre el rendimiento y calidad de trigo.

**Sensores remotos**

Hoy en día es muy común en las actividades productivas utilizar sensores para captura de reflectancia de las plantas, información que pueden ser provenientes de satélites, aviones o de captura terrestre (ver figura 5). Este tipo de información está siendo ampliamente utilizada ya que se han encontrado buenas correlaciones entre las producciones y la respuesta espectral de las plantas, lo cual puede generar una definición de variabilidad de suelo, útil en especial por su bajo costo.

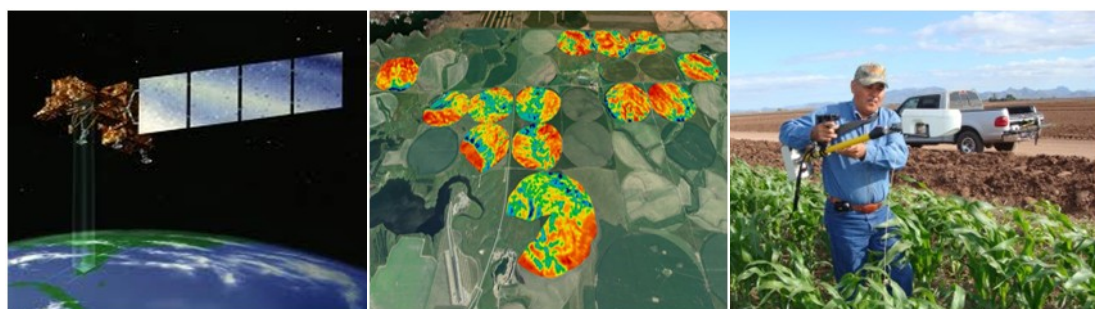


Figura 5. Satélite Landsat (USA) para monitoreo de recurso naturales, imagen capturada con sensor multispectral aéreo y sensor activo de terreno, respectivamente.

Así, hoy podemos encontrar sensores remotos diseñados para el estudio de fenómenos meteorológicos, cuyas imágenes destacan particularmente las formas y tipos de nubes; los hay con radares que proveen información de condición de humedad de cobertura; y están aquellos que detectan la luz reflejada sobre el terreno y permite la identificación de cobertura (edificaciones, cultivos, bosques, agua, etc.) y su estado. Es en este último grupo de satélites donde se encuentra las mayores aplicaciones para el sector agrícola y donde destacan: Landsat, NOAA, SPOT, IKONOS. Por otra parte, también están los sistemas aéreos transportados, los cuales son cada vez más usados por su buena relación costo/beneficio, y con bastante mejor resolución en la captura de la información de terreno. En cuanto a sensores remotos terrestres activos (es decir que emiten



su propia luz para reflejar y obtener la lectura del cultivo), encontramos equipos como el Green Seeker, WeedSeeker, CropScan, Dualex, entre otros, los cuales son herramientas que permiten diagnosticar de manera instantánea el NDVI (índice verde) de cultivos permitiendo obtener un diagnóstico del estado nutricional de la planta y poder efectuar una refertilización en función de la demanda de la planta y del estado fenológico en que se encuentre.

En cuanto al acceso de esta tecnología en la agricultura, podemos decir que la reducción de los costos de operación de los satélites y el rápido incremento de una mayor oferta de sensores (aéreos y activos), ha abierto la posibilidad para sectores de menores recursos, como empresas de no tan alto nivel de superficie. Hoy de modo incipiente, se están empleando para una gran variedad de tareas agropecuarias rutinarias, como es el seguimiento de los cultivos en todas sus etapas críticas de desarrollo (figura 6).

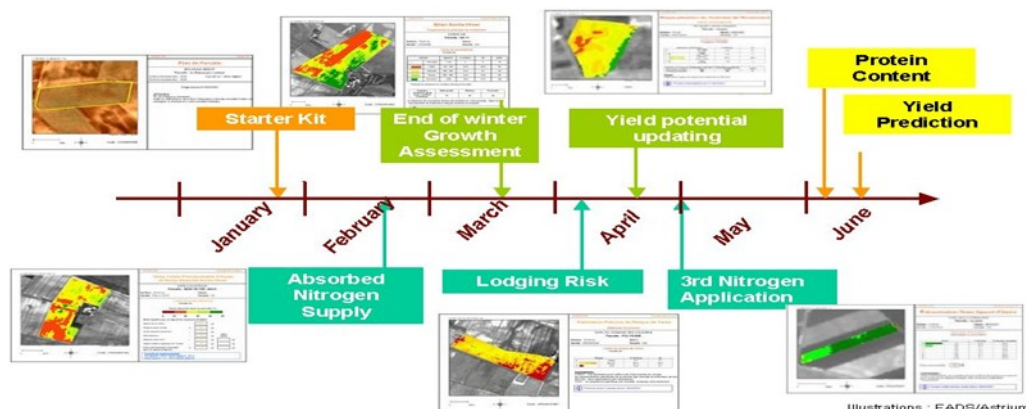


Figura 6. Ejemplo de ciclo estacional de captura de información satelital para el monitoreo del cultivo de trigo (SPOT Image).

**Problema de gestión de información para la determinación de variabilidad y evolución de esta en el tiempo dentro de los sistemas productivos.**

Es importante poder obtener la información asociada a la variabilidad como se ha mostrado en el ejemplo anterior, y por otra parte, poder gestionarla dentro de los departamento técnico de la empresas agrícolas y por parte de los productores. Así se hace necesario poder contar con herramientas que permitan determinar esta variabilidad a un bajo costo. Así , por ejemplo la información derivada de los satélites Landsat 7 y 8 (figura 7), puede ser obtenida en forma gratuita y con una frecuencia de cada 15 días, lo que permite generar este tipo de análisis y a la vez ver evoluciones en el tiempo del estatus de los cultivos. Sin embargo, algunas estas imágenes poseen limitaciones, ya que poseen un bandeoado (caso de Landsat 7) en la imagen que podrían dejar fuera del análisis a determinados predios en ciertas fechas, lo cual se ha resuelto en 2013 con la disponibilidad de imágenes de Landsat 8. Por otra parte, también se pueden usar otras imágenes dispuestas gratuitamente a la comunidad, siendo de menor resolución per que permiten un análisis por zonas macro. Finalmente , si se requiere mayor detalle se deben comprar imágenes de un costo alcanzable (aprox. 100 US\$ y 60X60 km con resolución de 15 m, Aster cada 15 días o 700 US\$ de sport 60X60 km con resolución de 10 m cada 3 días).

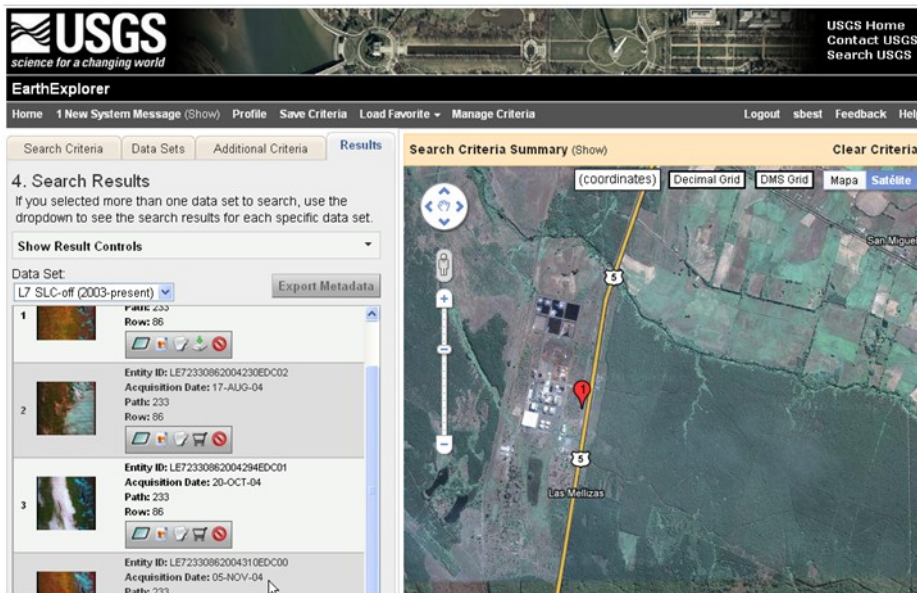


Figura 7. Plataforma del USGS para bajar las imágenes Lansat 8.

El uso de este tipo de información permitirá gestionar la información de variabilidad por productor (Figura 8) permitiendo a los departamentos técnicos el trabajo de concientización y soporte a los productores.

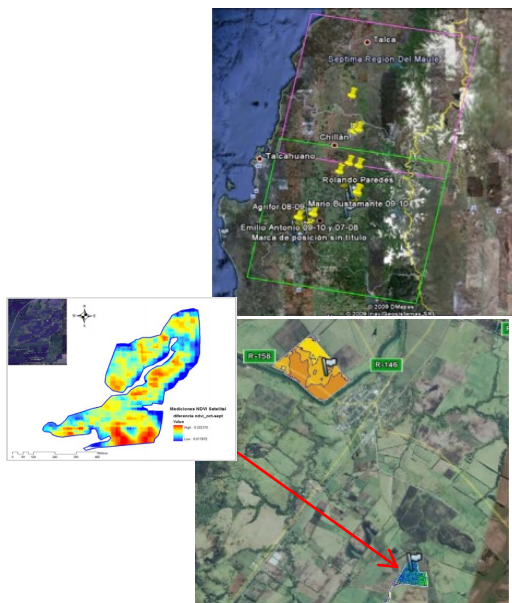


Figura 8. Esquema de visualización de productores espacial y visualización de variabilidad predial.

Además, el uso de este tipo de imagen puede ser utilizada para determinar evapotranspiración de cultivos y ver estatus hídrico de real importancia en el manejo predial (figura 9). Sin embargo, se debe incorporar los algoritmos ya desarrollados en EEUU dentro de una estructura de desarrollo que pueda generar los productos a nivel local.

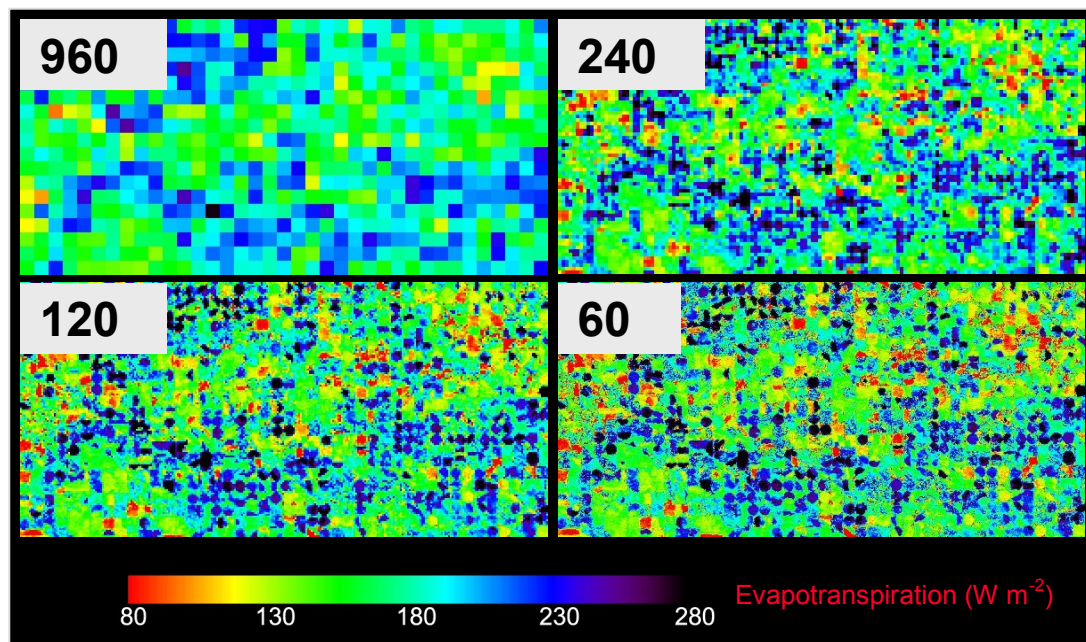


Figura 9. Evaluación de diferentes satélites que permiten captura de Evaporación en forma gratuita (desarrollo para EEUU), siendo el Landsat 8 el de mejor resolución (esquina inferior derecha).

Al igual que en el caso anterior, se puede utilizar imágenes compradas para mejorar la frecuencia y calidad de imagen dado el problema de poca resolución que presenta Landsat y de otras (MODIS, AVHRR, ATSR, etc.).

Sin embargo, se debe poseer estas integraciones en una plataforma de gestión multiusuarios del tipo mapserver para poder manejar esta información que se vincule en forma fácil con los usuarios, factor importante y clave a ser desarrollado.

Bajo lo antes expuesto, es importante tener en cuenta la calidad de la información a obtener y lo que se puede esperar de ella. Un caso típico es el de obtención de índices verdes (mapas de NDVI), entre satélite y en plataformas aéreas, en los que se puede obtener errores sustanciales si se usan incorrectamente, como por ejemplo, planos con satélite para trabajos de detalle (Figura 10).

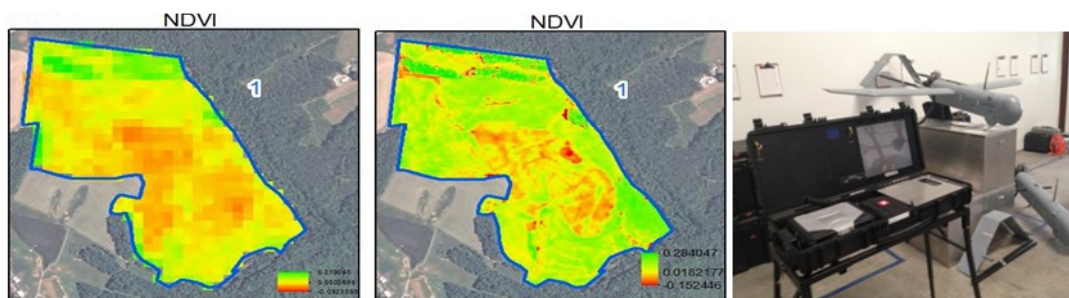


Figura 10. Imagen de índice verde o NDVI obtenida por Landsat 8 (izquierda) y por formato aéreo (derecha) y UAV de 6 hrs de vuelo.

En este contexto, se dice que la Agricultura es el próximo gran benefactor de los UAV. Los UAV's ofrecen el mismo tipo de datos georeferenciados que se pueden obtener con otro medio de adquisición, como los satélites o por avión, pero son más precisos, rentables y eficaces (esto es verdad para cierto tipo de UVA's de alto rango de vuelo y payload). Con la nueva generación de UAV's existirá una oferta de prestaciones tales como mapas de Índice de vegetación precisos, índice de estrés hídrico de cultivos, ofrecer un plan para optimizar los insumos (fertilizantes, pesticidas, agua, etc) y en el último periodo de los cultivos (estimación de rendimiento, optimización de la planificación de la cosecha), que pueden ser vistos como mapas de índice que derivarán en recomendaciones técnicas concretas hacia los productores. Sin embargo, a pesar de que la agricultura es un mercado prometedor para los UAV, este todavía no está lo suficientemente maduro para generar volúmenes de negocios necesarios para el desarrollo de UAV de la envergadura requerida para el trabajo comercial en agricultura.

#### Problema de manejo de la variabilidad

Ya conocida la variabilidad, esta puede ser manejada con equipamiento tecnológico que existe pero no ha sido incorporado en el mercado, generándose un gran problema de cómo incorporar estas tecnologías a nivel predial. Es necesario atacar escalonadamente la incorporación tecnológica a nivel predial, para poder tener éxito en su incorporación. Así, una de las primeras tecnologías que deben incorporarse, es la del monitor de rendimiento, la cual permitirá evaluar económicamente la variabilidad detectada en la etapa anterior y permitirá a los departamentos técnicos generar la credibilidad requerida para pasar a una segunda etapa que es la incorporación de la tecnología de manejo variable como siembra, fertilización entre otras la cual al tener una visión de las pérdidas existentes los productores estarán más accesibles a incorporar.

### CAPITULO 3

SISTEMAS DE GUÍA POR SATÉLITE, ROBÓTICA Y AUTOMATIZACIÓN AGRÍCOLA Y CONTROLADORES ELECTRÓNICOS.

## Introducción

Tal como ha sido mencionado anteriormente en el presente volumen, la agricultura de precisiones unapromisoria tecnología para el mejoramiento del sector productivo a nivel predial. Esta herramienta asociada a las tecnologías de la información y basada en el posicionamiento satelital, consiste en obtener datos georeferenciados de los predios para un mejor conocimiento sobre su variabilidad espacial a nivel de rendimiento y calidad. En general los sitios pueden presentar distintos tipos de variabilidad, dados por: topográfica, génesis de suelo, distinto tipo de manejo, etc. Mientras mayor sean los diferenciales de rendimiento existente en un sitio, mayor será el éxito de obtener resultados con una estrategia de aplicación variable de recursos (agua, fertilizantes, semillas, agroquímicos, etc).

En la actualidad las tecnologías asociadas a la aplicación variable de insumos son una realidad y pueden estar al alcance de todos. Estas herramientas de la agricultura de precisión corresponden a máquinas y equipos inteligentes que ejecutan tareas precisas con el apoyo de la informática, la electromecánica, el GPS, etc; las cuales integradas a los sistemas comunicacionales permiten una gestión oportuna de las acciones productivas. Estas máquinas o equipos reciben en su computadora las órdenes de aplicación variable de insumos que están debidamente georeferenciadas, las cuales hacen que actuadores hidráulicos o electrónicos realicen la labor de aplicar los insumos en el lugar y la cantidad correcta (agua, semilla, fertilizante y pesticidas). Este factor que permite generar registros de las acciones desarrolladas como certificación de calidad, sí son integradas a herramientas comunicacionales pueden ser evaluadas a tiempo real. Entre estas herramientas electrónicas se encuentran el monitor de rendimiento, el banderillero satelital, el sistema autopiloto, entre muchos otros que se explican a continuación.

### Sensores de nitrógeno para la medición y aplicación en el cultivo en tiempo real.

Para la aplicación de prescripciones nitrogenadas variables espacialmente, existen dos aproximaciones principales. Una primera metodología para esta aplicación está basada en las propiedades de los cultivos anteriores, tales como la distribución de los índices vegetativos y los rendimientos de las últimas campaña en cada uno de los lotes. Estas características pueden ser obtenidas mediante el uso de los monitores de rendimiento o sensores de canopia. Adicionalmente, las propiedades físico hídricas de los suelos y su distribución espacial contribuyen a establecer este tipo de prescripciones basadas en información anterior. En este sentido, y tal como lo ha manifestado recientemente Hegge (2013), con esta aproximación se pueden generar importantes fuentes de error asociadas a la prescripción nitrogenada a ser desarrollada. Según Hegge(2013), esta desventaja está asociada principalmente a la escala de tiempo entre la captura de los datos de las capas correspondientes a propiedades del suelo, al rendimiento del cultivo y a la fertilización a desarrollar en la presente temporada. Esta problemática es de especial cuidado en la fertilización nitrogenada de los cultivos, para lo cual es necesario contar con elementos de toma de decisión adicionales. Cabe mencionar que en el caso de nutrientes tales como el fósforo, cuya disponibilidad no cambia abruptamente en el tiempo, esta metodología presenta menores errores en cuanto a las prescripciones desarrolladas.

Es en este contexto donde surge una segunda aproximación o metodología, desarrollada principalmente para la fertilización nitrogenada, la que está basada en el sensoramiento y aplicación en tiempo real en función del estado actual del cultivo. En virtud de dicho sensoramiento, se realiza una prescripción nitrogenada tomando en consideración un algoritmo o fórmula de cálculo, la cual puede operar bajo distintos principios agronómicos. Para desarrollar el sensoramiento de cultivo requerido en esta metodología, distintos sensores han sido puestos a disposición del sector productivo en los últimos años. Al igual que en el caso de los algoritmos de cálculo de prescripción, estos sensores poseen diferentes principios de funcionamiento, siendo algunos más adecuados para el uso en determinadas condiciones de cultivo.

En el presente capítulo se desarrollará una breve reseña de los principios involucrados en la definición de la aplicación nitrogenada en tiempo real, y una exposición más detallada de los sensores disponibles a nivel de mercado para incorporar dicha metodología de medición y aplicación nitrogenada en tiempo real.

### Principios de la metodología de medición de propiedades del cultivo y aplicación nitrogenada en tiempo real

Esta metodología posee distintos principios de funcionamiento, que representan al mismo tiempo una activa área de investigación y desarrollo para optimizar el sistema. Según Hegge (2013), en términos generales la aplicación ideal para este método está asociada con el uso de sensores proximales para la determinación de las características del cultivo y en el control en tiempo real. Lo anterior significa que este método se puede adaptar bien a los nutrientes, para los que el cambio en el suministro hacia los cultivos es bastante rápido, siendo el N el caso que ha tenido un mayor número de experiencias exitosas. De

¿Qué

la misma forma, se ha considerado como una ventaja muy importante de basar el control sobre las propiedades de los cultivos, que las señales que se obtienen de este modo dependen de una interacción entre las plantas y suelo.

Esquema general de funcionamiento

Según Taylor y Fulton (2010), un sistema de tasa de aplicación variable en tiempo real de N basado en sensores debería estar constituido por los siguientes elementos principales: sensores de planta, un módulo de visualización y control y un controlador de velocidad de la aplicación (Figura 11). Los sensores pueden ser utilizados para medir adicionalmente las propiedades del suelo. Sin embargo, en el presente capítulo el análisis está limitado a la función de sensoramiento para la aplicación de la tasa variable de N.

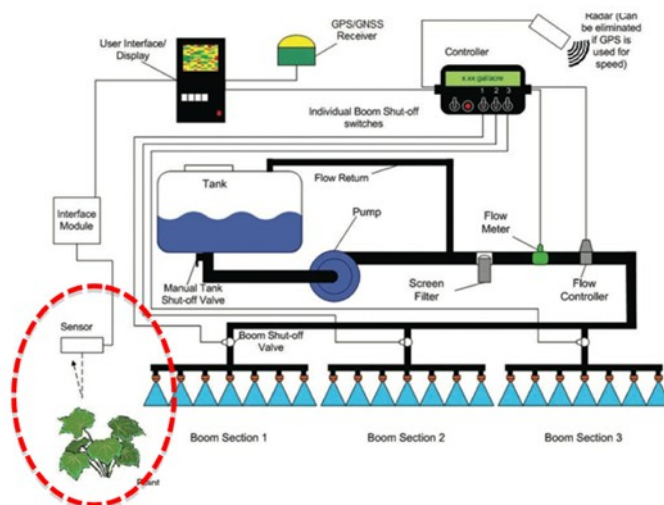


Figura 11. Esquema general del funcionamiento y los principales elementos del sistema de aplicación de dosis variable de N. En el círculo rojo se aprecia la posición del sensor en el sistema de aplicación. Fuente imagen: Taylor y Fulton (2010).

El controlador de tasa de aplicación consiste en los siguientes elementos: una interface de control del usuario, un medidor de flujo, una válvula de control de flujo y un sensor de velocidad. Es importante destacar que en algunos casos el módulo de display y control puede ser el mismo para el sistema de sensoramiento y el controlador de tasa de flujo. Adicionalmente, si existe un módulo de GPS (lo que regularmente ocurre en la implementación actual de estos sistemas), éste es usado con finalidades de mapeo de las características del cultivo, las dosis prescritas en tiempo real y las velocidades de trabajo.

**Sensores e índices vegetativos**

Los sensores que pueden ser utilizados en el sistema antes descrito, se pueden dividir en dos tipos principales: pasivos y activos. Aquellos correspondientes al primer tipo, dependen de la luz ambiental para recibir la reflectancia de los cultivos, necesaria para el cálculo de los índices vegetativos. Por otra parte los sensores activos poseen una fuente de luz propia, con lo que la reflectancia recibida depende de estas fuentes de iluminación artificial. En términos comerciales, actualmente predominan aquellos sensores de tipo activo, dado que sus prestaciones son mayores, en tanto que, actúan bajo diferentes condiciones de iluminación, incluyendo el sensoramiento nocturno, sin necesidad de un ajuste en función de la luz existente al momento de la aplicación. Por su parte, los sensores pasivos necesitan de un sensor de radiación para el ajuste de las lecturas y su empleo a nivel comercial no ha resultado ser masivo. Consecuentemente, en el presente capítulo se analizarán únicamente los sensores de tipo activo.

Según la descripción de McGrath (2012), los principales sensores activos utilizados comercialmente emiten luz en las longitudes de onda (1) rojo y (2) infrarrojo cercano (NIR, por su sigla en inglés). La reflectancia es calculada en función de la luz que se recibe desde los cultivos, obtenidos los valores promedios en cada segundo de marcha y sensoramiento. A partir de esta información es posible calcular distintos índices vegetacionales, que inmediatamente alimentarán los algoritmos de cálculo

## ¿Qué

en tiempo real. El índice vegetacional más conocido y de mayor uso en este tipo de aplicaciones corresponde al Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, de su sigla en inglés):

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red})$$

Donde,

NIR: reflectancia del cultivo en el infrarrojo cercano

Red: reflectancia del cultivo en el rojo.

Las plantas sanas y vigorosas absorben la luz roja y reflejan la luz del infrarrojo cercano, y el valor de NDVI se acercará a 1. Contrariamente, un cultivo con bajo status de nitrógeno o enfermo, presentará un valor de NDVI más cercano a 0. En condiciones de campo el rango real observado se encuentra típicamente entre 0,7 y 0,8 para un cultivo sano y con suficiente N, y en el rango entre 0,25 y 0,3 para un cultivo que presenta una deficiencia extrema de N. Cabe mencionar que otros colores tales como verde o ámbar también se han utilizado en lugar del rojo al calcular el NDVI. En la sección 3 del presente capítulo se mostrará con mayor detalle distintos sensores con los que es posible calcular estos índices vegetacionales en tiempo real como información base para la realización de las prescripciones.

### Algoritmos de cálculo para la prescripción nitrogenada

Recientemente, Taylor y Fulton (2010), han señalado que la elaboración de una prescripción basada en sensores considera dos elementos principales. En primer lugar, se debe tener claramente establecida la relación entre la propiedad de la planta de interés y su relación a la información entregada por los sensores. Este primer paso es necesario de ser considerado, ya que los sensores disponibles en el mercado pueden no medir en la misma forma o utilizar el mismo principio para el cálculo del índice vegetativo empleado para determinar la tasa de aplicación en tiempo real. Si bien en la mayoría de los casos esta relación no es perfecta, es probable que ella se pueda aplicar en un amplio intervalo de condiciones con algún error aceptable. En este sentido, distintos grupos de investigación de la agricultura de precisión en el mundo, actualmente trabajan para optimizar el empleo de dicha información y algoritmos asociados bajo condiciones de alta variabilidad espacial en las propiedades del suelo y comportamiento del cultivo.

El segundo paso corresponde a determinar la tasa de aplicación como una función de la información entregada por el sistema de sensoramiento, tal como las diferencias en los niveles de NDVI. Para poder desarrollar dicha tasa de aplicación, uno de los métodos más usado corresponde a la aplicación en función de una superficie o franja de referencia, que es un área donde se aplica suficiente nitrógeno para asegurar que este elemento no sea un factor limitante en el crecimiento del cultivo. De esta forma, esta franja se emplea para determinar la contribución del medio ambiente de nitrógeno. En la Figura 12 se puede observar el establecimiento de una de las mencionadas franjas en un cultivo de maíz.



Figura 12. Franja de referencia de N para el cálculo de la prescripción en tiempo real. La zona sin limitación de N se muestra entre las líneas amarillas en la figura. Fuente imagen: Shannon et al. 2010.



### Consideraciones generales

Es necesario considerar que el requisito de N es complejo, por lo que es recomendable comprender los principios de acción de los sensores activos a ser empleados y, asimismo, la agronomía detrás de los algoritmos de cálculo. Actualmente varios de los fabricantes de estos sensores ofrecen determinados algoritmos robustos de cálculo para facilitar el uso en el terreno. Sin embargo, es deseable contar con una o varias experiencias específicas de prueba de dichos sensores en el área agroclimática y el cultivo en donde serán empleados.

Lo anterior es una consecuencia del hecho de que el requerimiento de N para alcanzar el máximo rendimiento en un cultivo determinado está definido por distintos factores, tales como la capacidad de respuesta de N, su disponibilidad y el potencial de rendimiento bajo las condiciones agroclimáticas específicas. Además, se debe tener en cuenta que estos factores varían espacio – temporalmente y que en la mayor parte de los casos son independientes uno de otro. Otros factores de importancia corresponden a las características físico hídricas del suelo, las condiciones del clima y de la gestión predial. Estos últimos influyen notablemente el potencial de rendimiento, la disponibilidad de N y la capacidad de respuesta de la aplicación de N.

En lo que concierne al momento de aplicación, algunos de los principios básicos que señalan distintos autores son: en primer lugar la parcialización de la aplicación nitrogenada en los periodos en que el nutriente es más requerido. En segundo lugar, es necesario considerar variables ambientales tales como la tendencia climática de la temporada en curso, es decir, si esta es húmeda o seca respecto del valor histórico y la relación de esta condición ambiental con las variables edáficas del campo. Estas consideraciones ayudarán notablemente a incrementar la eficiencia del uso de nitrógeno aplicado a través de este sistema.

### Uso de algoritmos de prescripción en tiempo real

Se han generado distintos algoritmos de cálculo para la prescripción de N en tiempo real. Estos algoritmos consideran dos tipos principales de entrada de información. En primer lugar están aquellas realizadas por el usuario y en segundo lugar, las derivadas del uso de los sensores de N que forman parte del equipamiento y que son motivo de análisis en el presente capítulo.

Según McGrath (2012), dentro de las entradas de usuario se pueden incluir los días transcurridos desde la plantación, el rendimiento esperado a ser obtenido y las tasas de N aplicadas con anterioridad. Según Roberson (2013), otras entradas posibles de ser implementadas corresponden a la eficiencia del uso del N y la acumulación térmica a partir de la fecha de siembra. Por su parte, dentro de las entradas derivadas de los sensores, podemos considerar la información de la franja de referencia de N (ver Figura 2), y el valor actual de NDVI en donde la maquinaria se encuentra en un momento determinado en el campo. La variación de este u otro índice a medida que la maquinaria se mueve a través del campo genera la información necesaria para el desarrollo de la aplicación diferencial de N.

La dosis de prescripción en tiempo real es calculada mediante una fórmula que considera la información de entrada (usuario y sensores) antes mencionada. Dicha fórmula representa la parte central del algoritmo de cálculo. Existen distintos tipos de fórmula, dependiendo de la información empleada, el equipamiento en uso y el cultivo a ser fertilizado. En la Figura 13 (a y b) se puede observar dos relaciones que vinculan el NDVI medido por los sensores y la prescripción finalmente desarrollada en tiempo real. En la Figura 3 (a) se muestra una relación lineal de cálculo en donde la dosis a ser prescrita de N, sube linealmente desde un cultivo pobre en nitrógeno hasta un cultivo de nivel medio ( $NDVI = 0,67$ ) y decae en forma lineal a medida que NDVI sube para los rangos en donde se encuentran las plantas que tienen mejores estatus de nitrógeno ( $NDVI > 0,67$ ). Por su parte, en la Figura 3(b) se muestra la relación entre NDVI y la tasa prescrita para otro algoritmo de cálculo y cuya relación entre la lectura de NDVI y dicha prescripción nitrogenada es no lineal. En ambos casos, el método tiene como resultado privilegiar a las plantas que no han alcanzado un nivel óptimo de nitrógeno, pero que tampoco están con un NDVI demasiado bajo que corresponde a aquellas con un potencial de rendimiento muy reducido.

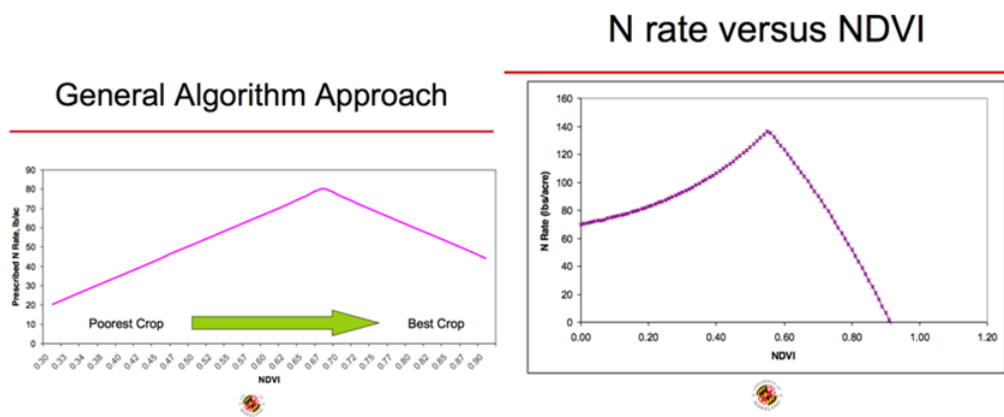


Figura 13. Relación entre el índice NDVI medido por sensores y la tasa de aplicación calculada y aplicada en tiempo real para los dos ejemplo de algoritmo de cálculo. Fuente figura: McGrath (2012).

Es necesario recalcar el hecho que distintos autores han señalado recientemente que esta metodología puede ser optimizada ostensiblemente a través de la implementación de variables, como la conductividad electromagnética de los suelos. En este sentido, la eficiencia de la nutrición nitrogenada sería un punto central a considerar en los algoritmos de cálculo. Con esto, el uso de mapas de conductividad electromagnética así como la prescripción en tiempo real basada en las propiedades de los cultivos han sido propuestos como una vía para optimizar los algoritmos de cálculo.

Finalmente, es necesario mencionar que actualmente, hay distintos aspectos y técnicas dentro de este esquema que siguen bajo evaluación en orden de optimizar esta metodología de cálculo. Así, por ejemplo, Holland y Schepers (2013) han probado un método para reducir la dependencia del cálculo de la prescripción nitrogenada al uso de la franja de referencia. En tanto, otros grupos han visto altamente necesario el indagar sobre nuevos índices vegetativos capaces de evidenciar de mejor forma la variabilidad espacial del estatus de N en el campo (Raper et al. 2013).

Controladores y sus ajustes

Según Taylor y Fulton (2010), un aspecto clave para la aplicación variable de N corresponde a un controlador de la tasa de aplicación correctamente calibrado. En general dichas tasas prescritas se pueden actualizar a cada segundo. Por esto, la calibración del controlador de flujos es de primera importancia para seguir con precisión los resultados de esta prescripción basados en sensores y la aplicación en terreno, sin ningún tipo de desfase temporal. El controlador de dosis debe ajustarse para responder lo más rápidamente como sea posible mientras todavía se mantiene cierta estabilidad en el sistema.

La capacidad de sintonizar un controlador de velocidad varía entre los fabricantes y modelos, y puede poseer desde varios ajustes a ninguno. La mayoría de los sistemas de control de tasa usan la velocidad de válvula para ajustar el tiempo de respuesta, mientras que algunos pueden utilizar otras configuraciones. El manual del operador debe utilizarse como una referencia para los controladores de ajuste. En este sentido, hay que tener en cuenta que la configuración predeterminada para la mayoría de los controladores es para el mantenimiento de la estabilidad en el sistema. Probablemente no son los mejores ajustes para el tiempo de respuesta óptimo y algún tipo de afinación o ajuste específico probablemente se requiera para mejorar el rendimiento del controlador para la aplicación de la tasa variable de N.

Sensores disponibles a nivel comercial

La mayoría de los sistemas de aplicación variable de N basados en sensores poseen al menos cuatro unidades de sensoramiento. Las investigaciones recientes han demostrado que existe una variabilidad de campo a una escala muy pequeña, por lo que, consecuentemente, la información utilizada para alimentar el algoritmo de cálculo es mejor, sí se dispone de más sensores en la maquinaria que se encuentra desarrollando la aplicación. Sin embargo, debe considerarse al mismo tiempo un compromiso entre la obtención de más y mejor información adquirida al tener más sensores y el coste final del sistema. En términos técnicos, los aplicadores de un ancho superior a 15 m deberían tener por lo menos seis sensores para la correcta caracterización de dicha microvariabilidad espacial. Esto proporcionaría un mejor promedio a través de todo el brazo. Dicho

valor medio se envía a la interfaz de usuario donde se convierte a una tasa de aplicación, según lo señalado en el punto Uso de algoritmos de prescripción en tiempo real.

A continuación se mostrará las características correspondientes de varios de los sensores disponibles a nivel comercial.

#### **N-Sensor Yara**

El N-Sensor Yara corresponde a un sensor activo que opera montado en la maquinaria y que mide la reflectancia del cultivo a medida que esta se mueve a través del campo. Dicho sensor cuenta con un ángulo de visión oblicuo (Figura14), con lo que ha sido considerado de especial utilidad para los cultivos en sus primeros estadios de desarrollo.

De esta manera, este sensor y su sistema asociado, es capaz de variar la tasa de aplicación de N asegurando la velocidad correcta y la óptima cantidad de N aplicado en cada punto en el campo, según la prescripción desarrollada. La experiencia práctica ha demostrado que su empleo ha permitido aumentar los rendimientos en relación a las prácticas agrícolas convencionales en los lugares donde ha sido implementado, minimizando la pérdida y el consecuente impacto sobre el medio ambiente. Gil y Jiménez (2001), manifestaron que las ventajas más importantes del sistema N-Sensor son: el incremento obtenido del margen bruto por hectárea, la posibilidad de aplicación y respuesta en tiempo real, la mejora de la calidad, la cantidad de producto obtenida y una mejor gestión y eficiencia en el uso del nitrógeno. Sin embargo, también se ha mencionado que el elevado coste de adquisición de este equipamiento hace difícil su amortización en muchas explotaciones, especialmente en aquellas situadas en zonas con producciones reducidas.

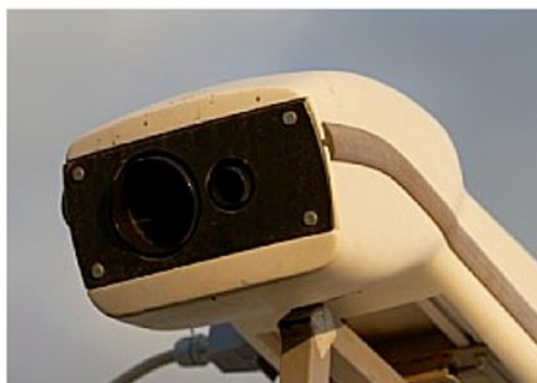


Figura 14. N-Sensor de Yara. (a) el sensor para el sensoramiento de los índices vegetativos va montado en el techo de tractor. (b) Dicho sensor mide en forma oblicua a medida que se realiza el escaneo y la aplicación en tiempo real en el campo. Fuente imagen: Yara Internacional

#### **GreenSeeker**

El GreenSeeker es producido por NTech Industries, corresponde a un sistema de detección y aplicación, óptico integrado, que mide el estado nutricional nitrogenado en los cultivos, siendo capaz de aplicar en tiempo real y en tasa variable los fertilizantes según las necesidades de N del cultivo.

Los sensores utilizan LED para generar luz de color rojo y el infrarrojo cercano, siendo posicionados en el frente de la maquinaria y perpendiculares al cultivo. La luz generada se refleja en el cultivo y se mide para el cálculo del índice NDVI, utilizando las bandas rojo y NIR.

Las recomendaciones de N se basan en el potencial de rendimiento del cultivo para la temporada en curso y la capacidad de respuesta de los cultivos a la aplicación de N. El sistema modifica en cada sector del campo la tasa de aplicación según su algoritmo de cálculo interno. Este sistema es compatible con varios tipos de controladores de aplicación variable y sistemas de entrega. Los sensores GreenSeeker se pueden montar en varias configuraciones en la maquinaria, considerando una amplia gama de pulverizadores y esparcidores.



Figura 15. (a) montaje de sensores GreenSeeker al frente de la maquinaria. (b) detalle de sensor, el cual es ubicado en forma perpendicular al cultivo. Imagen Fuente: Vellidis y Lincopresicion.

### CropCircle

El CropCircle corresponde a un sistema producido por de Holland Scientific y distribuido por Ag Leader, que incluye sensores de canopia, equipos de mano y sistemas de mapeo. El sensor ACS-210 deCropCircle proporciona los datos del índice de vegetación, junto con la información básica de reflectancia del dosel de las plantas, en función de la cual se puede desarrollar la prescripción nitrogenada. Entre otras utilidades, la información del sensor se puede utilizar para cuantificar el impacto de los nutrientes, del agua, de las enfermedades u otras condiciones de crecimiento.

El sensor ACS-210 se puede montar en cualquier tipo de vehículo para detectar de forma remota la biomasa de la planta o el cultivo durante la conducción a través del campo, para la ejecución de la prescripción en tiempo real. Su tamaño compacto y su peso permiten a CropCircle adaptarse fácilmente a distintas configuraciones en la maquinaria. Actualmente, están disponibles dos modelos de sensores que proporcionan amarillo / NIR o sensor IR rojo.



Figura 16. (a) montaje de sensores CropCircle ASC-210 al frente de la maquinaria. (b) detalle del sensor, el cual es ubicado en forma perpendicular al cultivo. Fuente imagen: Schepers.

Con un rango de medición de 30cm-2m, el equipamiento CropCircle ACS-210 tiene otras características; incluye una señal con poco ruido, una buena resistencia al polvo y al agua, una rápida tasa de salida de datos, bajo consumo de energía y peso ligero del hardware

Este sistema se puede utilizar para múltiples aplicaciones, tales como: estudios de mapeo de césped, nutrientes de respuesta de cultivos a los fertilizantes, efectos de herbicidas, detección de enfermedades, selección de híbridos y de predicción de biomasa forrajera.

### OptRx

La alianza entre los fabricantes de sensores asociados a la agricultura de precisión, AgLeader y Holland Scientific, presentaron la primera versión del sensor OptRx on-the-go, siendo uno de los más recientes que apareció en el mercado, y se podría considerar una completa actualización del sistema CropCircle antes presentado. Este instrumento corresponde a un sensor de cultivos diseñado para uso en la cartografía y la recopilación de datos, así como la aplicación de tasa variable de N en tiempo real, sirviendo además para la prescripción de productos asociados a la protección de cultivos. OptRx cuenta con una avanzada tecnología patentada, de detección de luz que no depende de la luz ambiente, por lo que el sistema se puede utilizar de día o de noche al igual que los sensores presentados anteriormente.

Este sistema genera activamente luz sobre las plantas en crecimiento, leyendo la luz reflejada de nuevo al sensor (Figura 17). Luego, al utilizar una pantalla de Ag Leader compatible, el sistema de sensores de cultivos OptRx puede generar una prescripción, la que varía a su vez la velocidad de aplicación de nitrógeno sobre la marcha, según el algoritmo de cálculo que este posee. En algunas evaluaciones recientes, se ha visto que la tecnología de tasa variable de OptRxes es capaz de proporcionar una eficiencia de costes de entrada y un menor impacto ambiental.



Figura 17. Montaje de sensores OptRx al frente de la maquinaria y detalle de sensor, el cual es ubicado en forma perpendicular al cultivo. Fuente figura: Holland Scientific y AgLeader

### CropSpec™.

El CropSpec™ es un sensor activo de canopia fabricado por Topcon. Como fuente de luz utiliza pulsos de diodos láser, lo cual supone una diferencia sustancial en el tipo de fuente de luz activa en relación a los sensores antes presentados. Este sensor, al igual que el N sensor de Yara, está diseñado para observar el cultivo en una vista oblicua (Figura 18) desde una altura de hasta 4 metros, lo que permite una gran huella de medición y el aumento del grado de precisión en el sensoramiento de diversos cultivos. CropSpec™ ha sido desarrollado en colaboración con Yara Internacional. Este fue diseñado para su uso con las consolas X20 o X30 de Topcon, CropSpec funciona con el programa VRC (Map LINK) o cualquiera de las aplicaciones de controlador de X20 o X30. Permite al usuario controlar la variabilidad en el campo y solucionarla sobre la marcha, o guardar los datos para su análisis futuro o para la aplicación de la prescripción.

Este sistema cuenta con dos sensores ligeros y fáciles de instalar. Los sensores se montan en el techo de la cabina, para evitar daños al cultivo. Con una tecnología basada en la competencia óptica de Topcon, CropSpec utiliza diodos láser para su detección. El sensor mide la reflectancia de las plantas para determinar el contenido de clorofila.

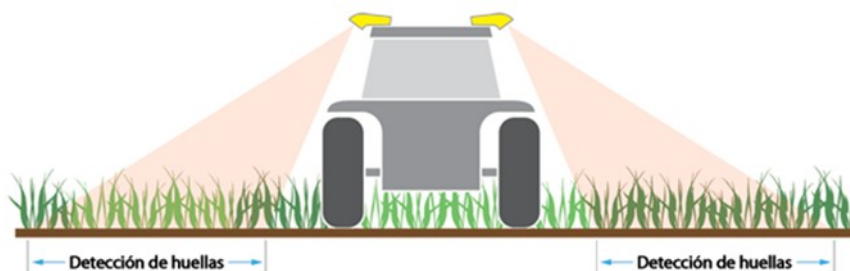


Figura 18. CropSpecTM de Topcon (a) el sensor va montado en el techo del tractor para el sensoramiento de los índices vegetacionales. Este sensor mide en forma oblicua a medida que se realiza el escaneo y la aplicación en tiempo real en el campo. Fuente imagen: Topcon

Los usuarios pueden leer y grabar los datos para analizarlos y crear reglas. La exploración de la cosecha crea un mapa que indica los niveles de nitrógeno, incluyendo tanto las áreas ricas como aquellas deficientes en nitrógeno. Esta información puede ser utilizada para llevar a cabo una prescripción de flujo variable para ser utilizada inmediatamente o en una fecha posterior. Con una simple calibración de dos puntos, el usuario puede definir puntos altos y bajos, y luego efectuar la aplicación real utilizando el promedio del campo. El flujo deseado puede ser determinado por el usuario.

Para la recopilación de información en condiciones de campo, este sensor de cultivos se puede montar en distintos tipos de maquinaria agrícola.

Además de la prescripción en tiempo real de N que puede ser desarrollada con este sensor, es posible utilizar la información recogida en el campo, para evaluar el impacto de la aplicación de nutrientes, de agua, de enfermedades y otras condiciones de crecimiento de los cultivos.

#### Comentarios finales

- Los sensores activos para la aplicación de N en tiempo real montados en la maquinaria agrícola representan el estado del arte para las mediciones de las características de cultivo en condiciones de campo
- Existen varios tipos de estos sensores activos, siendo una de las mayores diferencias entre ellos, si la medición se realiza en forma oblicua o perpendicular al cultivo. Los primeros presentarían ventajas en los cultivos en sus primeros estados de desarrollo o en aquellos más espaciados. Los ejemplos de estos sensores corresponden al N-Sensor de Yara y CropSpec de Topcon. Por otra parte, aquellos sensores cuya medición es perpendicular al cultivo (Cropcircle, Greenseeker y OptRx) tendrían mayores ventajas en cultivos establecidos o que presenten una mayor densidad de follaje.
- Los algoritmos de cálculo y principios de sensoramiento son en la actualidad objeto de estudio, con lo que a nivel comercial, es posible la aparición de nuevas versiones o actualizaciones de los sistemas mencionados en este capítulo para las próximas temporadas. La evaluación de dichos algoritmos en condiciones de campo y cultivos locales es un paso a dar para su implementación a nivel productivo. En este sentido, el trabajo en conjunto de los servicios de investigación en agricultura de precisión locales y en conjunto con expertos en el área adquiere especial relevancia.
- De la misma forma, el hardware asociado a emisores y controladores cuenta con una permanente optimización, siendo necesario también las evaluaciones técnico-económicas respectivas antes de su implementación.

¿Qué

e. De lo anterior se desprende, que si bien es cierto que este capítulo presenta un estado del arte de los sensores en tiempo real asociados a la aplicación nitrogenada, es necesario mantener la atención sobre los nuevos desarrollos ofrecidos a nivel comercial para su implementación en condiciones productivas.

**Monitores de Rendimiento**

Los monitores de rendimiento (Figura 19) han sido diseñados con el objetivo de recolectar datos para su posterior análisis. Los datos almacenados por hectárea son alrededor de 600 puntos dependiendo de la frecuencia, los que son grabados en la tarjeta de memoria. La superficie que abarcan los puntos de rendimiento está compuesta por el ancho de la plataforma de la cosechadora y la distancia recorrida en el tiempo que tarda en grabar un dato y otro. Cuando el monitor de rendimiento de la cosechadora está conectado a un GPS, se puede componer un mapa de rendimiento a partir de dicha información.

Los monitores son muy similares en cuanto a la información que brindan pero tienen una serie de diferencias en cuanto su calibración. Todos los monitores miden rendimiento, humedad, flujo, velocidad, evaluación de superficie, entre otros. En lo que respecta a calibraciones todos los monitores deben ser calibrados en peso, humedad (excepto AGCO, Figura 19) y distancia (se debe corroborar en caso de no ser medida por GPS).



Figura 19. Monitores de rendimiento más difundidos.

Los mapas de rendimiento permiten cuantificar la variabilidad de rendimiento existente durante la cosecha de un cultivo dentro del potrero, quedando grabada espacialmente. Los mapas de rendimiento son uno de los principales componentes en la agricultura de precisión debido a su utilidad tanto en el desarrollo como en las estrategias del manejo de precisión. El contar con información georeferenciada es un paso importante en la aplicación variable de insumos, permite determinar la variabilidad presente en el potrero. Para ello existen diferentes herramientas que pueden llevar a una mejor definición de los ambientes homogéneos presentes en un potrero, tales como: carta de suelos, fotografías aéreas, imágenes satelitales, entre otras. Una de las herramientas más destacadas es el mapa de rendimiento, debido a que permite saber no sólo la variabilidad presente en el potrero sino también cuantificarla, así, metafóricamente, es una radiografía del potrero. Esta herramienta tecnológica facilita la cuantificación de la variabilidad natural de un potrero. Además mediante ensayos debidamente programados aporta datos de respuesta variable a la aplicación de insumos. Si esos datos son interpretados correctamente y apoyados con un muestreo de suelo por sitios homogéneos, guiado y posicionado adecuadamente, aportarán claridad en la toma de decisiones para la aplicación variable de insumos. Existen en el mercado diversas herramientas para medir caracteres específicos, con el objetivo de dejar de utilizar dosis uniformes y pasar a utilizar dosis variables, sin embargo, es necesario tener en cuenta ciertos parámetros para evitar errores.

La recomendación a realizar en cada zona en particular, depende de la adecuada prescripción y éxito de la dosis variable asociada. Este es uno de los puntos clave que se debe estudiar para desarrollar una metodología práctica para ser usada por los



productores.

Algunos productores han incorporado activamente esta tecnología a sus sistemas de gestión, mientras que otros han sido más pasivos, pero a medida que la tecnología se ha convertido en una parte del procedimiento de operación estándar más bien dicho en una práctica común, como es el caso del banderillero satelital en la pulverizadora. En este caso la adopción ha sido lineal debido a sus ventajas directas, al reemplazar el trabajo rudimentario de los banderilleros humanos y al permitir el trabajo nocturno.

El banderillero satelital permitió reemplazar el trabajo insalubre y rudimentario de los banderilleros humanos y habilitó el trabajo nocturno, lo que ha llevado su instalación en gran cantidad de pulverizadoras y en todos los aviones aeroaplicadores (figura 20).



Figura 20. Ejemplo del moderno panel de control de un banderillero Satelital

También es creciente la cantidad de sembradoras cuyas funciones son monitoreadas mediante controladores de siembra. Estos equipos informan sobre la dosificación de semilla y fertilizante. También permiten conocer valores entre los que se destacan la velocidad de avance, la capacidad de trabajo y la densidad de siembra. También detectan anomalías en la entrega de semillas, asociados a dosificaciones menores o mayores al objetivo o cuerpos obturados que no entregan semillas. Estas ventajas directas sobre la performance de la maquinaria y del operario han producido la adopción de este tipo de equipos sea inobjetable, logrando un alto incremento de adopción por los agricultores de EEUU y de diferentes países de Europa y de América Latina.

**Aplicador variable de agroquímico**

Los sensores de aplicación variable de agroquímicos permiten dosificar en forma eficiente la cantidad de pesticidas según el área foliar de los cultivos, conectados a DGPS permiten obtener mapas precisos de la distribución espacial del producto aplicado.



Figura 21. Monitor de aplicación variable de agroquímicos.

Monitoreo de siembra de precisión

En la actualidad son muchas las compañías tanto locales como internacionales que desarrollan y comercializan este tipo de equipos, permitiendo al agricultor y prestador de servicio poder monitorear la gestión de siembra. Estos equipos poseen una serie de sensores los que permiten monitorear las caídas de fertilizantes y semillas para evitar taponamientos u mala dosificación de insumos. Entre estos sistemas de monitoreo de siembra se destacan por su buena relación precio/calidad los desarrollados por la empresa argentina Control Agro y Plantium entre otros en la región, como Precisión Planting en EEUU por nombrar algunos. Por otra parte, este tipo de sensores también pueden ser utilizados en conjunto con cajas reductoras para el control de siembra y fertilización variable. Estas últimas, responden a las variaciones de diagnóstico agronómico geoposicionado dentro de un potrero, y por otra parte también a prescripciones de diferentes densidades de siembra (también pueden ser incluidos los fertilizantes asociados), o sea que, una vez cargado el mapa de prescripción del potrero, se puede establecer en el potrero diferentes sitios de rendimientos potenciales. Ya cargadas las prescripciones de semilla y fertilizantes para cada sitio (Mapas) y calibrada la sembradora; la máquina al ser posicionada por señal de GPS o DGPS (GPS Diferencial o submétrico) realiza la aplicación variable de acuerdo a la prescripción. En América del Sur ya existe este tipo de máquinas de fabricación local (Brasil y Argentina, Figura 22).

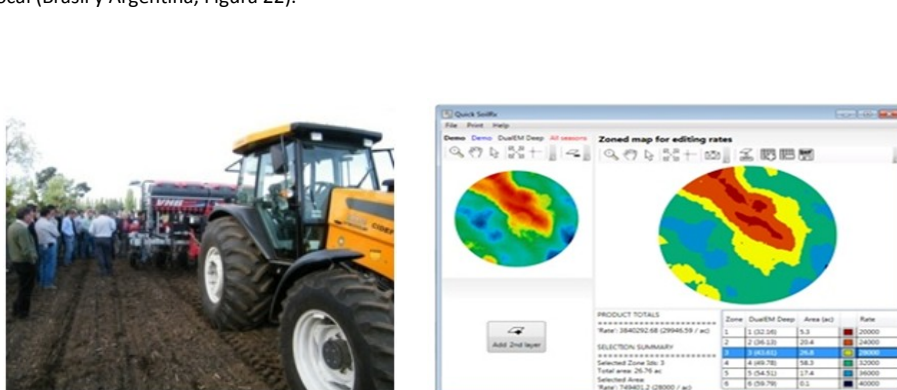


Figura 22. Sistema de monitoreo y de siembra variable montado en una sembradora de la empresa BHV, dinámica presentada en Chile, (derecha) y sistema incorporado en plataforma digital (izquierda).

Sistema autopiloto de guía.

Un piloto automático (Figura 23) es un sistema electro-mecánico e hidráulico, utilizado para guiar un vehículo sin la asistencia de un ser humano. Actualmente este tipo de equipos es utilizado con el apoyo de un sistema de posicionamiento del tipo Tiempo Real Cinemático (RTK, por su sigla en inglés) que permiten direccionar al tractor con altísimas precisiones, evitando los errores en las líneas de siembra y pulverizaciones. En general este sistema podría ser implementado en los prestadores de servicio de siembra y fumigación quienes a través de esta tecnología verían incrementar los rendimientos de su trabajo y entregarían un servicio de calidad para el productor de achicoria que se traduciría en mejores rendimientos del cultivo.



Figura 23. Sistema autopiloto montado en tractor y siembra realizada con autopiloto.

**Sistema de visión artificial de auto guía**

Los sistemas de guía automática o autopiloto pueden reducir en gran medida la fatiga de conductores y tienen como resultado el aumento de la productividad y la seguridad de las operaciones agrícolas. Diferentes enfoques se han estudiado para la realización del guiado automático de las máquinas agrícolas. En los sistemas de autopiloto se usan una combinación de soluciones existentes, incluyendo el DGPS, RTK y sistemas de visión por computadora. Por otro lado, los sistemas de navegación y guía basados en la visión artificial no son complicados y sólo utilizan los marcos de imagen capturados por una cámara fija del tractor. Este último sistema ha demostrado tener bajos errores y su uso no depende necesariamente de las condiciones climáticas, como ocurre algunas veces con los sistemas satelitales (DGPS, RTK). Los sistemas de guía por visión artificial, se basan en realizar el trazado de guía acorde a la orientación de objetos visibles en el terreno (tales como hilera de siembra, surco, etc., Figura 24). La tecnología de visión artificial de la máquina tiene la ventaja de utilizar las características locales para afinar el curso de navegación del vehículo. Así, los sistemas de guía por visión artificial poseen características tecnológicas son muy parecidas a las que posee un operador humano, sin que exista la posibilidad de que este se canse y por ende cometer errores.

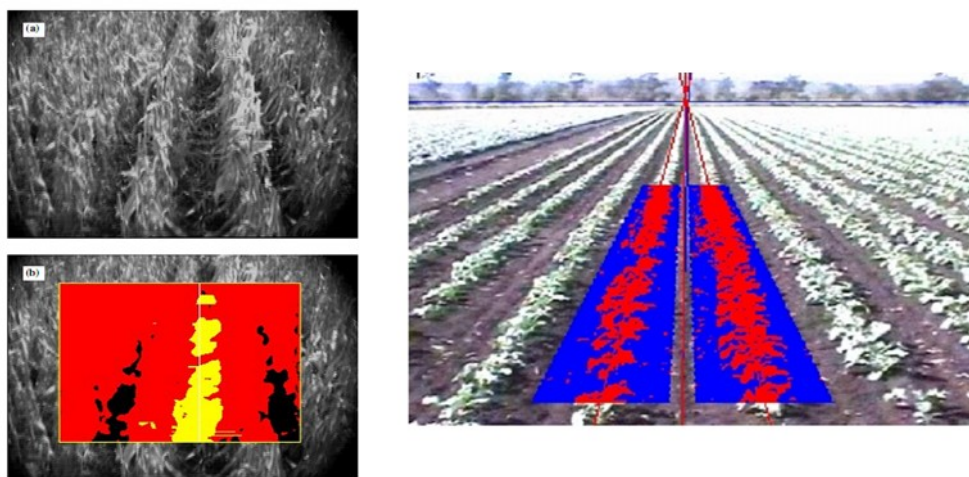


Figura 24. Ejemplos de sistemas de guía por visión artificial.

El SmartSteer (Figura 25) es un sistema de autoguiado para las cosechadoras New Holland CX y CR que permite controlar de manera automática la dirección de la cosechadora, aprovechando al máximo la anchura de corte del cabezal. Para ello utiliza un láser de infrarrojo que detecta el borde del cultivo que está sin cosechar. Los cambios de la señal y en el rastreo son reflejados en el cultivo e informan sobre la posición de la cosechadora respecto al borde de la cosecha. El sensor se encuentra situado en el lado izquierdo de la cabina, debajo de la extensión del techo, el cual puede detectar la línea siega (difícil para el operador) a ambos lados de la cosechadora. Se puede cambiar de cabezal, en función del tipo de cultivo sin que sea necesario modificar la posición del sensor de alineación. Se trata de un sistema autónomo e independiente de las señales externas, aunque compatible si se desea con los sistemas de GPS.

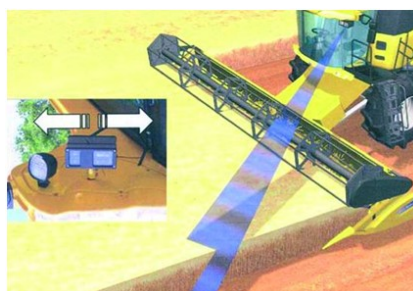


Figura 25. Sistema de auto guiado para cosechadoras: SmartSteer

Sembradoras variables de alta precisión

Este tipo de sembradoras (fig. 26) a diferencia de las expuestas anteriormente, utilizan un sistema RTK de guía en la siembra y un sistema de alta precisión en la localización de la semilla, permitiendo lograr una siembra altamente precisa, útil para el uso de maquinaria de control de malezas mecanizadas que se expone más adelante en este capítulo.



Figura 26. Sembradora de alta precisión de la empresa Precision Planting (EEUU).

Control de malezas de alta precisión

El control integrado mecánico se utiliza para la eliminación de maleza en cultivos hilerados sembrados con alta precisión. El crecimiento de las malas hierbas dentro de las filas de cultivos es el principal problema para la respuesta en producción (en especial en los primeros estadios de la planta), debido a su alto costo y muchas veces a la imposibilidad de utilizar herbicidas. Hoy en día se han desarrollado maquinarias que en conjunto con una siembra altamente precisa y uso de un sistema de visión por computadora, procesan la información que se va captando en línea y ubican las plantas sembradas mientras los cortadores se van moviendo para eliminar malezas (Fig. 27). En las pruebas realizadas se han obtenido resultados sorprendentes, como por ejemplo, la eliminación de más del 80% de maleza en el cultivo sin daño al cultivo madre.



Figura 27. Control mecánico de malezas tradicional (no automatizado) vs. utilizando maquinaria automatizada (<http://www.thetechnology.co.uk/>)

Paralelamente a la anterior orientación descrita hacia una automatización en el equipamiento de control mecánico de malezas, es muy importante el destacar por esfuerzos por racionalizar el uso de agroquímicos en maquinaria utilizada actualmente. En este sentido, esta línea de desarrollo enfatiza el reconocimiento de la distribución espacial de distintas especies de malezas en el campo mediante tecnología de visión digital (figura 29) y, al mismo tiempo, del uso de umbrales económicos para aplicaciones de carácter diferencial.

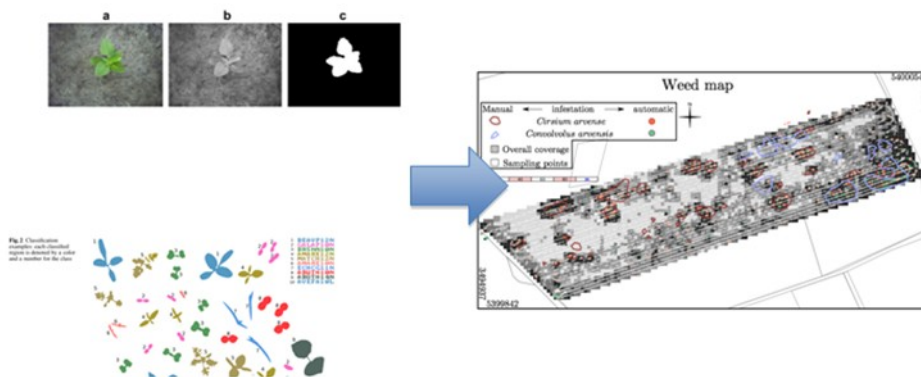


Figura 29. Ejemplo de Reconocimiento de malezas en su estado de plántula mediante visión artificial y posterior localización espacial en terreno.

Dicha distribución espacial y umbrales de daño ponderados para los distintos grupos de malezas reconocidos en el campo da pie al establecimiento de mapas de control, los cuales pueden ser incorporados en la maquinaria de aplicación de herbicidas en forma de prescripciones. (figura 30).

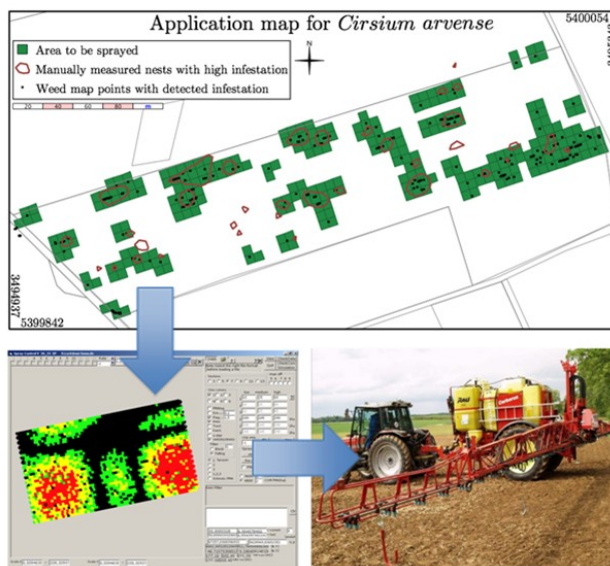


Figura 30. Ejemplo de Mapa de aplicación de herbicidas, mapa de prescripción para maquinaria y equipamiento de aplicación diferencial de herbicidas.

Cabe señalar que la maquinaria utilizada para este propósito también requiere ser modificada para que la misma cuente con distintas opciones de mezclas de herbicidas para su aplicación. Mediante el uso de esta metodología se ha logrado ahorros de aplicación de herbicidas en el orden del 60%.

#### Sistemas de monitoreo y control de maquinaria agrícola

Una innovación interesante es el sistema de control de maquinaria agrícola, que posibilita tener un seguimiento de las labores realizadas por los vehículos que están en el campo. Estos sistemas también trabajan bajo plataformas en PC de escritorio y "Smart Phones", es decir que es posible seguir el funcionamiento del implemento del campo en tiempo real y a través del teléfono celular o una tablet ("Tracking" de Maquinaria). Un ejemplo de este sistema es ConnectedFarm, un nuevo producto de Trimble (Figura 31).



Figura 31. Esquema de funcionamiento de Connected Farm.

Por su parte, las novedades en comunicación, internet y telefonía celular permiten que el productor visualice lo que sucede en su campo, comande sus equipos a distancia y acceda a mapas de rendimientos, aplicación y siembra en tiempo real.

### Sistemas de monitoreo de déficit hídrico

Unos de los principales factores productivos que afectan el rendimiento de los cultivos es el agua, la cual puede ser manipulada agronómicamente mediante el riego. Las plantas cultivadas requieren de un aporte de agua que reemplace la que se evapora principalmente desde las hojas, para el desarrollo de la planta y finalmente, también para la producción. Este requisito se debe a que las hojas están expuestas a una fuerte demanda evaporativa (flujos de radiación solar y déficit de vapor ambiental) mientras que la superficie interna esta saturada de vapor de agua. Así, el estrés hídrico de las plantas es el indicador más importante para la evolución de los rendimientos. El estrés por falta de agua ocurre cuando la transpiración desde las hojas excede la absorción de agua por las raíces por tiempo suficiente prolongado para que ocurra una disminución del ensanchamiento celular y disturbios en los procesos fisiológicos fundamentales, lo que repercute en una disminución de la producción y su calidad. El monitoreo de la condición hídrica en el continuo planta-atmósfera es muy importante. Dentro de los modernos sistemas, y a la vez prácticos, con que actualmente se cuenta para el monitoreo de déficit hídrico podemos mencionar los siguientes.

### Información de humedad de suelo

La utilización de sensores de humedad de suelo a tiempo real (Figura 32) es una gran herramienta, que aporta información sobre el contenido de humedad en el perfil del suelo. Dicha información nos acerca a resultados aproximados a la hora de manejar un sistema de riego. Dentro de estos sensores podemos mencionar: FDR y TDR. Lo importante de estos sistemas, es que actualmente realizan mediciones a tiempo real, permitiendo una adecuada oportunidad de la información para la toma de decisiones de riego, la cual es hoy canalizada por internet (web y smart phones) o uso de sistemas de alerta (sms y emails).

### Estación Meteorológica

La información meteorológica es necesaria para una evaluación del desarrollo del cultivo, asociado a las condiciones medio-ambientales que los circundan y su demanda evaporativa (cálculo de la Evapotranspiración teórica a partir de data meteorológica, Figura 32). Actualmente, la información meteorológica es obtenida desde estaciones meteorológicas automáticas, que permiten tener una rápida respuesta a las condiciones ambientales adversas que puedan presentarse, lo que es altamente importante no solo para evaluar déficit hídrico sino también para determinar alertas tempranas de probabilidades de apariciones de enfermedades de cultivos, riesgos de heladas, condiciones de crecimiento adverso, etc. Esta información asociada a la información espacial vegetativa, podrá evaluar en mejor forma las zonas de mayor riesgo, permitiendo ser la base para el desarrollo de un monitoreo eficiente y efectivo.

### Uso de Termografía infrarroja

La termografía infrarroja es una metodología que permite la detección remota del estrés hídrico, no detectable visualmente, a partir de la interacción de la radiación con la vegetación. La mayor parte de la energía absorbida por la hoja es disipada en forma de calor lo que ha provocado que se esté investigando en la transferencia de calor entre la vegetación y el ambiente, y su efecto en el déficit hídrico en las plantas, con ajustes de esta metodología muy promisoría (Best et al., 2009) tanto a nivel predial (Figura 32) como a mayores escalas con el uso de modelos como METRICS, actualmente bastante utilizados en países como EEUU, Canadá, entre otros.

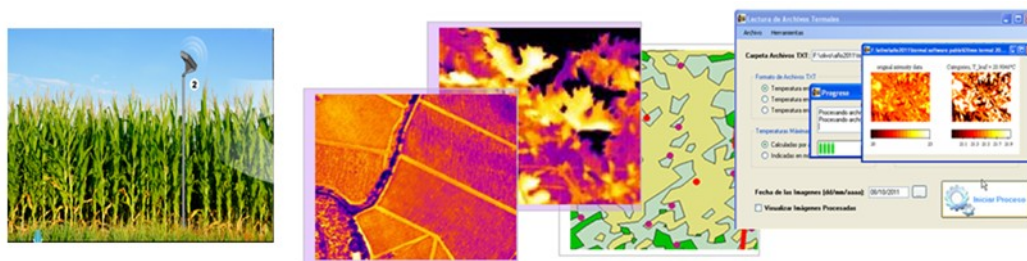


Figura 32. Estaciones meteorológicas automáticas y Medición termográfica del estrés hídrico, respectivamente.

Tecnologías de Visión Artificial y Automatización

Los seres humanos perciben el mundo a través de un pequeño espectro (Visible o RGB) de lo que realmente existe. Sin embargo, a pesar de lo limitado del campo de visión del hombre, simularla es un proceso altamente complejo y aún más tomar acciones sobre el resultado del análisis de este. En la actualidad las escenas reales del mundo pueden ser vistas a través de un dispositivo digital (CCD) conectadas a un microprocesador, que puede obtener la información del mundo real y procesarla a través de complejos modelos matemáticos. Debido a la necesidad de automatizar procesos en busca de reducir el costo de mano de obra, ha existido un rápido crecimiento de la visión inteligente por computadora, esta mantiene una estrecha relación con disciplinas como inteligencia artificial, robótica, gráficas por computadora, procesamiento de imágenes, fotogrametría, entre otras (Katsumata, 2005). La segmentación de imagen es un procesado digital que consiste en reconocer de forma automática los objetos de una escena. Es uno de los elementos más importantes de cualquier sistema automatizado proporcionando estructuras útiles tales como regiones y bordes. Los algoritmos de segmentación generalmente están basados en dos criterios importantes a considerar: uno es la homogeneidad de la región y otro es la discontinuidad entre regiones disjuntas adyacentes (González y Woods, 2008). Los métodos para llevar a cabo la segmentación varían ampliamente dependiendo de la aplicación específica, tipo de la imagen, y otros factores. La clasificación de objetos puede realizarse a través de distintas características como son la Medición de objetos, color, forma, tamaño, textura, etc.

Sistemas de Visión Artificial

La aplicación de visión artificial en la agricultura ha aumentado considerablemente en los últimos años. Hay muchos campos en los que se está involucrando la visión por computadora: cartografía terrestre y aérea de recursos naturales, monitoreo de cultivos, agricultura de precisión, robótica, orientación automática, inspección no destructiva de las propiedades del producto, control de calidad y clasificación en líneas de procesamiento y en general en automatización de procesos (Sun, 2008). Los sistemas de visión artificial proporcionan información importante acerca de la naturaleza y atributos de los objetos presentes en una escena y además permiten explorar regiones del espectro electromagnético donde los ojos humanos no pueden operar, como las regiones del ultravioleta o infrarrojos, los cuales son de alto interés para la detección temprana de enfermedades o condiciones fisiológicas de las plantas tempranas cuando el ojo humano no es capaz de evaluar (Figura 4). Así, según los espectros en análisis podemos evaluar diferentes cosas como sigue: luz visible detección de la mayoría de daños que el ojo humano puede percibir; Infrarrojo Cercano, detección de podredumbre, identificación de daños en piel, estimaciones de madurez, etc; Ultravioleta, detección de micro fisuras, fungosis, pudriciones, etc.; Luz estructurada, estimaciones 3D, detección de formas irregulares, etc.; Laser, madurez, espesor de piel, etc. Finalmente, este tipo de equipamiento está siendo altamente estudiado para llevar a cabo equipos de evaluación y monitoreo de tipo portátil, con una práctica aplicación a nivel de campo, lo que se espera estén a nivel comercial en no más de 5 años.



Figura 34. Detección de problemas fungosos en vegetación mediante Visión Artificial, effects of viral infection on tobacco.



### Robotización de la Agricultura

Actualmente, el sector agroalimentario es objeto de especial atención en cuanto a la incorporación de tecnologías avanzadas, debido a las exigencias cada vez mayores de producción, diversidad y calidad de los productos, así como de la presentación de los mismos. A lo anterior, se suma el problema creciente de la falta de mano de obra. Cabe por lo tanto, hacer un análisis del estado actual y de las ventajas y posibilidades de robotización de las tareas agrícolas. Los objetivos que se plantean con la robotización agrícola son:

- Permitir la sustitución de operarios en tareas peligrosas para la salud, como la pulverización de productos fitosanitarios.
- Abordar la realización de tareas repetitivas y tediosas, como la recolección de frutos.
- Realizar tareas en horas nocturnas, lo cual permite el ahorro de tiempo, por ejemplo, en la recolección.
- Mejorar la precisión en algunas de las tareas agrícolas, como las relacionadas con la biotecnología, y en concreto la multiplicación de plantas a partir de tejido vegetal.
- Optimizar la eficiencia y calidad de algunas de las tareas como la uniformidad en la realización de huecos para el trasplante.
- Lograr la disminución de riesgos ambientales como la reducción de la cantidad de producto fitosanitario que se emite al aire.
- Reducir costes, ya que se disminuye la cantidad de combustible y de productos utilizados en algunas tareas.
- Elevar la calidad de los productos como por ejemplo, la utilización de menos pesticidas.

Existen hoy en día claros ejemplos de la tendencia global en la incursión de la robótica, como se detalla a continuación.

Algunos ejemplos de robots recientemente introducidos para el control mecánico de malezas se pueden apreciar en la figura 35.



Figura 35. Dos ejemplos de robots ya desarrollados para el control de malezas

Fuente: [http://www.sdu.dk/en/om\\_sdu/fakulteterne/teknik/nyt\\_fra\\_det\\_tekniske\\_fakultet/radrenserrobottilandbruget](http://www.sdu.dk/en/om_sdu/fakulteterne/teknik/nyt_fra_det_tekniske_fakultet/radrenserrobottilandbruget)  
<http://www.newscientist.com/gallery/farm-robots>

Dentro de las ventajas de este tipo de sistemas se encontraría la autonomía de los mismos, esto es, sin la necesidad de operadores y la precisión de los mismos en donde la aplicación de control mecánico o químico está orientado ya no un área completa si no al control “planta a planta”.

Otro ejemplo de estos sistemas corresponde al equipo "Robocrop, el que corresponde a un tractor robotizado con visión por computadora basado en un sistema de orientación del control de químicos en malezas, desarrollado por la empresa Tillett and Hague Technology Ltd., Inglaterra. Este robot usa navegación por guiado a través de las líneas de cultivo y al detectar una mala hierba por medio de la visión artificial, éste la elimina a través de un corte realizado en forma mecánica. Este robot se comercializa como Robocrop, ver Figura 36.



**Figura 36.** Robocrop, tractor robotizado de la empresa *Tillett and Hague Technology Ltd.*, para eliminar la maleza de forma mecánica sin dañar el cultivo útil.

Robot utilizado para la preparación del cultivo de viñedos: este robot podador desarrollado por la empresa Vision Robotics Corporation (VRC), se especializa en el corte preciso y limpio de los viñedos. La clave de la robótica aplicada a viñedos, es el uso en el robot de cámaras estereoscópicas de exploración que realizan 15 fotogramas por segundo. El análisis de toda la vid y del trabajo a realizar se procesa antes de que las tijeras del robot comiencen a podar la vid. A bordo del robot, un equipo procesa y utiliza la superposición de múltiples fotos para crear un modelo 3D de la vid y, a continuación, se aplican normas de poda, que fueron programadas en el software, guiados por un experto. Estas normas son procesadas, para luego indicarle a los brazos robóticos hidráulicos con tijeras, la forma en que deben podar y dónde hacer los cortes (Figura 37).



**Figura 37.** Brazos robóticos del Robot podador de viñedos.

El avance en el área de la robótica es cada día más importante, en especial en países avanzados que poseen un alto costo de mano de obra, tales como Japón, Corea y EEUU entre otros. En la Figura 38, se visualiza una proyección en la evolución de la robótica en la agricultura.

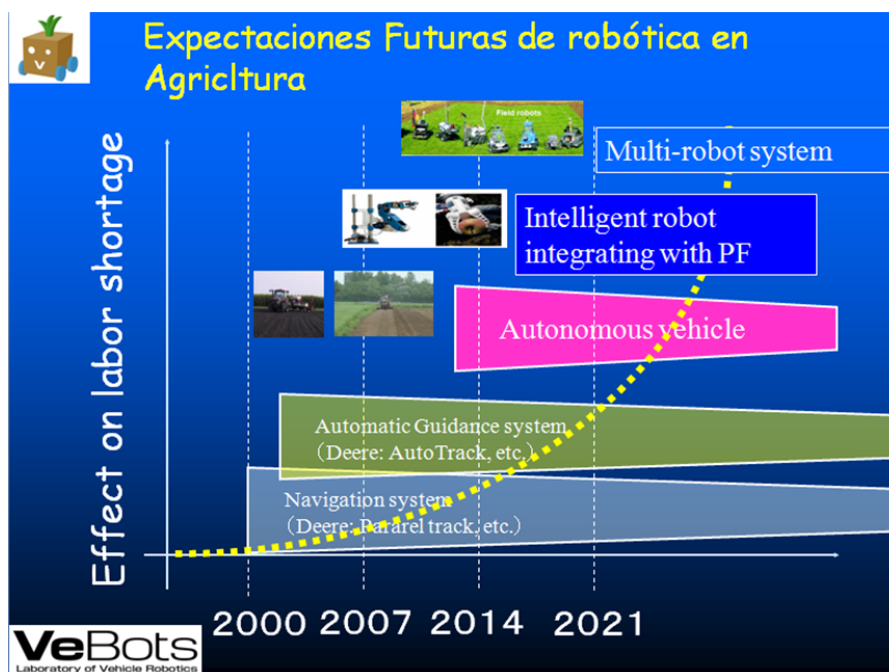


Figura 38. Proyección de la robótica en la agricultura. Fuente: N. Noguchi, 2013.

Finalmente, es claro que la necesidad de alimento sano, ambientalmente sustentable y económicamente rentable, está guiando un cambio en el desarrollo de la agricultura. En la cual no solo la genética tendrá un rol importante, sino también se visualiza un rol fundamental de las tecnologías asociadas a la automatización de equipamiento agrícola, relacionadas al mundo globalizado de la información. Las grandes corporaciones internacionales tales como John Deere, CNH, Monsanto, Bayer entre otras, están invirtiendo en estas líneas y abriendo espacios a nuevos desarrollos. Por otra parte, se están creando un sin número de pequeñas empresas tecnológicas y de servicios de agricultura de precisión, que están forjando el cambio de paradigma de producción agrícola, gestando un nuevo salto que quizás sea mayor al de la revolución verde.

### Tecnología de riego variable

La alta variabilidad espacial en las condiciones físicas del suelo se traduce en una desuniformidad del agua de riego aplicada en el predio. Este problema generalmente no es considerado tanto para el diseño de nuevas obras de riego (aspersión, goteo y riego superficial) sino en las ya existentes. Dicha ineficiencia en la aplicación del agua de riego finalmente conlleva a pérdidas de fertilizante nitrogenado y posterior contaminación de los acuíferos subterráneos por lixiviación. El conocimiento de áreas uniformes en propiedades físicas y el uso de modelos computacionales, permiten un mejor manejo del recurso hídrico, con un aumento de la eficiencia de uso, tanto del agua como de fertilizantes nitrogenados, protegiendo así las aguas subterráneas de contaminantes.

Información de variabilidad sobre la cual se asociarán los cambios en propiedades físicas (textura, velocidad de infiltración, capacidad de retención, etc.) es de alta relevancia para la sectorización de zonas de producción que permitan evaluar o modificar el uso de sistemas de riego.

### Sistema de aplicación variable de riego para sistemas presurizados

El Pivote Central es uno de los sistemas más usados en la agricultura tradicional de riego, debido a su poca necesidad de mano de obra y mantenimiento, y alta flexibilidad de operación. Bajo un adecuado diseño el sistema genera aplicaciones de agua de alta eficiencia, conservando tres preciados recursos: agua, energía y tiempo.

Hoy en día, los pivotes son impulsados por motores eléctricos o de aceite hidráulico situado en cada torre y guiado por un

panel de control. Este sistema utiliza bajas presiones de operación entre 10 a 15 psi (en la línea principal de pivote), las que suelen ser suficientes para el correcto funcionamiento de pivotes diseñados por LESA (aplicación de pulverización de baja elevación) y LEPA (baja solicitud de precisión y energía), con pivotes de hasta 400 m de largo en el nivel operativo y con una moderada inclinación de campos. Poseen una eficiencia de aplicación de agua de 85 a 98 por ciento.

Los avances en riego tecnificado han sido un importante factor para la agricultura, optimizando un recurso limitado y dando seguridad de riego para la producción de cultivos. Si bien los avances en esta área son importantes, es factible aplicar tecnología de avanzada que permita realizar mejoras al sistema. En el caso de la aplicación variable de riego en pivotes, para la cual se identifica la variabilidad espacial de los requerimientos hídricos bajo el área cubierta por el pivote, ya sea por la existencia de diferentes cultivos o por diferentes condiciones de suelo. En el caso de riego variable en pivotes existen dos grandes incorporaciones tecnológicas que están asociadas, al riego por zonas angulares (trozos de torta) o la que incorpora la variabilidad también en la línea de riego. Ambos incorporan la posibilidad de riego variable y son los de mayor precisión en cuanto a capturar la variabilidad de riego pero poseen la desventaja de poseer un altísimo costo (cercano a los US\$ 30 000).

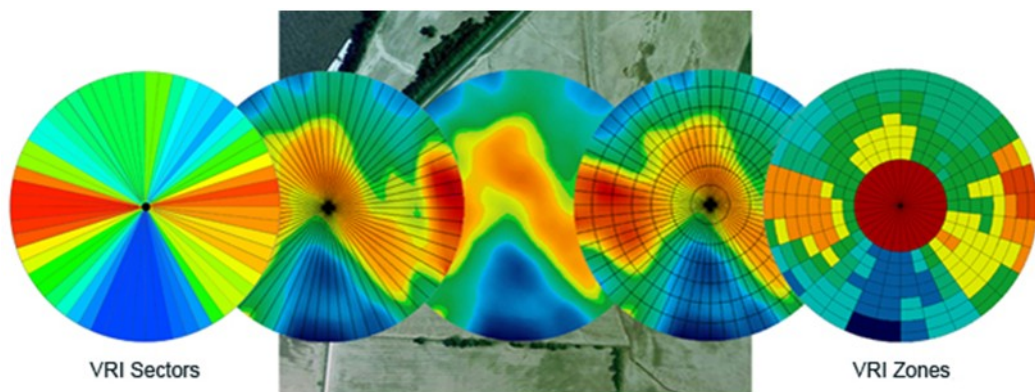


Figura 39. Sistemas de aplicación variable de riego por sectores angulares (izquierda) y por zonas (derecha).

En el caso del sistema de riego variable por zonas existen actualmente dos grandes marcas, el sistema australiano canlink3000 (figura 40) y el sistema Valley Zone Control (figura 41). Ambos sistemas se basan en la definición de la variabilidad del suelo, como ya lo hemos descrito, sobre la generación de una segmentación por trazos del pivote para la aplicación de riego, según tipo de suelo y necesidad de los cultivos.

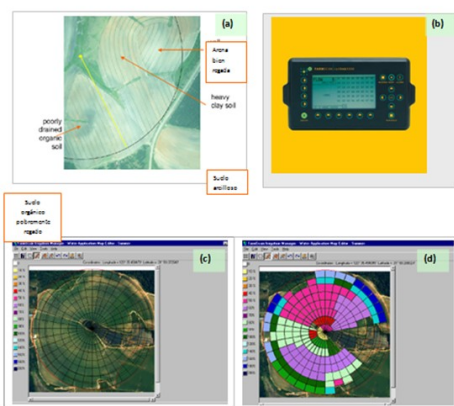


Figura 40. Sistema de riego diferencial FarmScan (a) desuniformidad del suelo (b) panel de control, sistema FarmScan (c) vista aérea y subdivisión de áreas de riego (d) mapa de aplicación de cargas de agua.

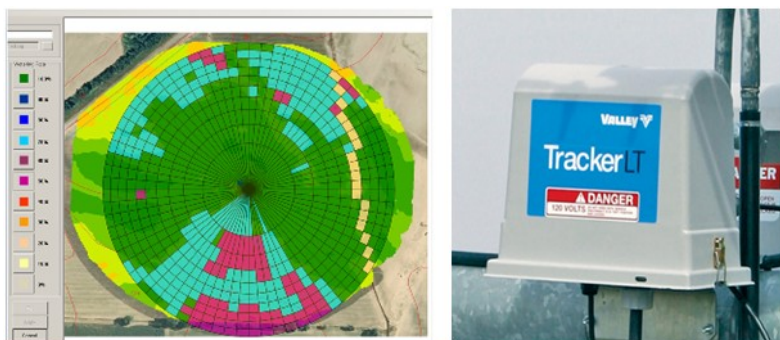


Figura 41. Sistema de riego diferencial Valley (a) desuniformidad del suelo, evaluado con EM38 (superficial y profundidad); (b) panel de control de la aplicación diferencial Valley.

El uso de este tipo de tecnología permite un ajuste de las cargas de agua cercanas a la variabilidad existente en el predio. En las imágenes siguientes (figura 42) se visualiza un ejemplo de un predio que utilizó el sistema Valley, se puede observar una mejora gradual de la cobertura del suelo, que finalmente terminó sin zonas débiles particulares, a excepción de las áreas donde el cultivo fue volado por el viento al inicio de la temporada.

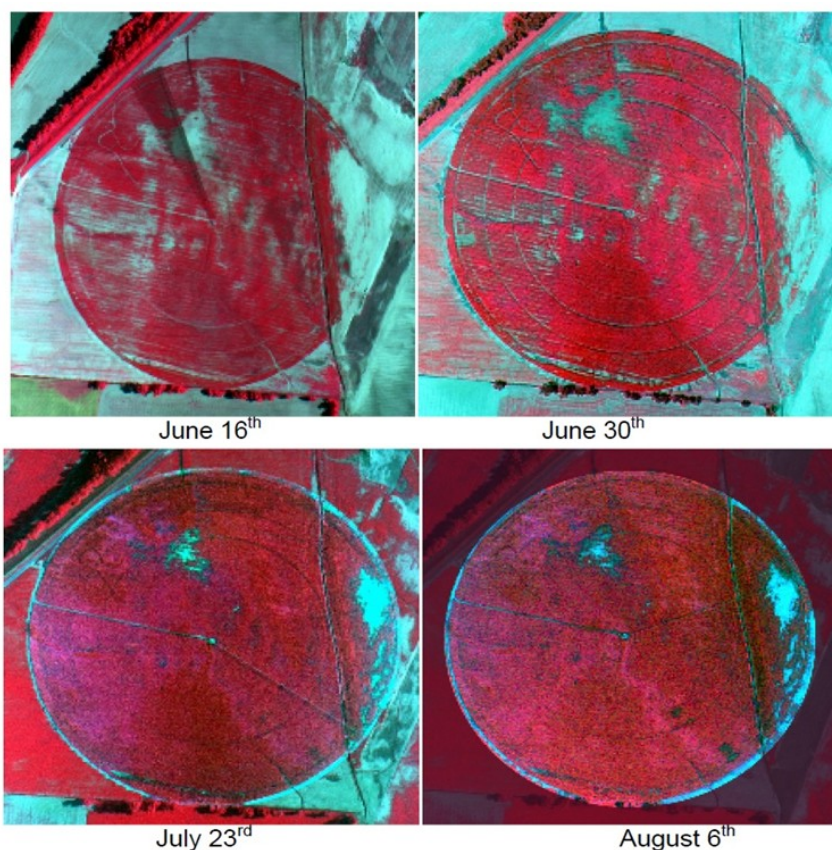


Figura 42. Visualización del magen multispectral de un pivote utilizando el sistema Valley de aplicación variable de riego.

Otra forma es la utilización de riego por zonas angulares, ajustando los ángulos de riego a la variabilidad del suelo existente (Figura 43).



Figura 43. Equipos comerciales de manejo diferencial por ángulos AGsense (superior) y Linsey (inferior).

Este tipo de equipos de control por ángulos (Figura 43) puede ser utilizado para realizar aplicaciones en función de diferentes parámetros como por ejemplo aplicar agua después de una lluvia, por topografía, por tipo de suelo, pivotes con dos cultivos, o según densidad de siembra (VRT), entre otros (figura 44).

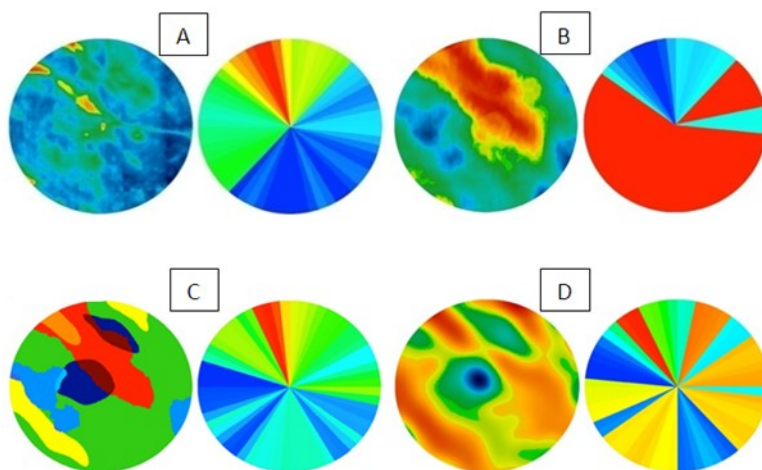


Figura 44. Zonificación de riego según: rendimiento (A), posterior a lluvia y tipo de suelo (B), dosificación variable de semillas (C), y topografía (D).

## Bibliografía

Best S., G. Gatica, L. León. 2009. Development of an assessment model of water stress of vineyard Var. Merlot, based on the use of infrared thermography. Proceeding of the 8th Fruit, Nut and Vegetable Production Engineering Symposium. Frutic 09, Chile. P. 140-149.

Gil, E., A. Giménez. N-sensor. Sistema de aplicación selectiva de nitrógeno en tiempo real. En <http://ocw.upc.edu/download.php?file=15013140/28037-3962.pdf%E2%80%8E>

Hegge, H. 2013. Site-specific fertilizing. In : H.J. Heege (ed.), Precision in Crop Farming: Site Specific Concepts and Sensing Methods: Applications and Results. Springer Science+Business Media. Chapter 9. Pp: 193-272.

Holland, K. And J. Schepers. 2013. Use of a virtual –reference concept to interpret active canopy sensor data. Precision Agric. 14: 71-85

Katsumata N. and Y. Matsuyama. 2005. Data Base retrieval for similar images using ICA and PCA bases. Engineering Application of Artificial Intelligence. 18:705-717.

McGrath. 2012. Sensor Guided variable rate nitrogen. En InCCA Conference Presentation . <http://www.indianacca.org/presentation/3/108/>

Raper, T., J. Varco and K. Hubbard. 2013. Canopy-based normalized difference index sensors for monitoring cotton nitrogen status. Agr. Journal. 105: 1345-1354

Roberson, G. T. 2013. Map Based vs. Sensor based nitrogen application technology. En: [http://www.infoag.org/abstract\\_papers/papers/abstract\\_145.pdf](http://www.infoag.org/abstract_papers/papers/abstract_145.pdf)

Shannon, K. 2010. Working with Farmers to Advance Sensor Technology for In-Season N Management. <http://www.ksre.ksu.edu/waterquality/2010/Presentations/Workshop/Shannon.pdf>

Sun, D-W. 2008. Computer vision technology for food quality evaluation. Academic Press/Elsevier, San Diego, California, USA, 583 p.

Taylor, R and J. Fulton. 2010. Sensor – based variable application for cotton. <http://www.cottoninc.com/fiber/AgriculturalDisciplines/Engineering/Precision-Crop-Management-for-Cotton/Sensor-Based-Variable-Rate-App/Sensor-Based-App-Oct-2010.pdf>

Weis, M., Gutjahr, C., Rueda Ayala, V., Gerhards, R., Ritter, C., & Schölderle, F. (2008). Precision farming for weed management: techniques. Gesunde Pflanzen, 60(4), 171–181. doi:10.1007/s10343-008-0195-

CAPITULO 4

ADOPCIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN



Adopción de la Agricultura de Precisión

Como no se presenta información en Chile cuantificable de los alcances de la agricultura de precisión en cuanto a su implementación, se puede visualizar en mejor forma los alcances que se han tenido en el concierto internacional. Así, en el mundo desarrollado el alcance de la agricultura de precisión se ha expandido fuertemente, englobando actualmente el control de la automatización de los procesos productivos.

La AP se ha utilizado durante varios años en Europa en diversas formas. En los primeros años la mayor atención estaba en la recopilación de datos y sistemas de detección (nivel en el cual se encuentra Chile). Más tarde en los sistemas de mapeo de rendimiento (tabla 1), sistemas de control automático y diferentes técnicas para administrar nutrientes sitio-específico estuvieron disponibles para los agricultores. En la actualidad, alrededor del 32 por ciento de los agricultores alemanes y 9 por ciento de los agricultores daneses han adoptado sistemas auto guía. Por otra parte, 12 por ciento de los agricultores daneses han adoptado monitoreo de rendimiento con GPS, así como varios de los agricultores daneses han adoptado diferentes tecnologías específicas para la realización de tratamientos específicos del sitio con varios nutrientes y pesticidas.

**Tabla 1.** Tipo de cultivo, de sensor, localización del sensor en la cosechadora, estado de desarrollo, y localización geográfica de varios tipos de monitores de rendimiento.

Crop	Sensor Type	Sensor Location	State of Development	Geographical Location
Corn	IP, R, OV	Clean grain auger	C	Worldwide
Soybeans	IP, R, OV	Clean grain auger	C	Worldwide
Potatoes	LC	Under conveyor	C	N. America and Europe
Onions	LC	Under conveyor	C	N. America
Tomatoes	LC	Under belt	Exp	CA
Forages (hay)	LC, SG	Tongue and axle	Exp	Germany
Oranges	LC	Under truck bed	Exp	Florida
Grapes	LC	Under conveyor	Exp	WA, CA
Sugarcane	DMS	Crop intake area	Exp (pat.)	Australia

IP: Impact plate, R: Radiometric techniques, OV: Optical volumetric measurement, LC: Load cell, SG: Strain gauge, DMS: Direct mass sensor, C: Commercial, Exp: Experimental, Pat: Patented.

Fuente: [http://classes.css.wsu.edu/css403/8\\_PrecisionAg.pdf](http://classes.css.wsu.edu/css403/8_PrecisionAg.pdf)  
 The Role of Precision Agriculture in Cropping Systems (Bradley Koch and Rajiv Khosla, 2003)

Ejemplo de introducción de AP en Dinamarca

Fuente: [http://www.futurefarm.eu/system/files/FFD5.8\\_Socioeconomic\\_Impact\\_PF\\_CTF\\_final.pdf](http://www.futurefarm.eu/system/files/FFD5.8_Socioeconomic_Impact_PF_CTF_final.pdf)  
 Integration of Farm Management Information Systems to support realtime management decisions and compliance of management standards. Lars-Bo Jacobsen (UCPH), FUTUREFARM, European Project (2011).

Uso de tráfico controlado

Según Videnscenteret Landbrug (documento interno de Videnscenteret para Landbrug, 2010) en Dinamarca en los cultivos de trigo de invierno, raps, maíz y remolacha azucarera, se obtiene una reducción de los costos de maquinaria y de labores entre 3 y 5 % por uso de sistema de auto guía debido a que este sistema no produce la superposición que se genera cuando se utiliza la agricultura tradicional o convencional. Además, con el uso de auto pilot existe un ahorro de combustible que se estima en un 25 % (Yule y Radford, 2003) debido a la reducción de la superposición y menor compactación del suelo en combinación con un movimiento más fácil a lo largo de las líneas de trabajo. Los beneficios adicionales relacionados con el tráfico controlado agrícolas incluyen un aumento en el rendimiento entre un 5 y 10 % (Tullberg et al 2007; Qingjie et al 2008, McPhee 2009). Por otra parte, el manejo de malezas sitio específico permitiría una reducción de herbicidas entre el 40 y el 60 % (Gerhards y Oebel 2006) con el uso de mapas de distribución espacial de malezas en las aplicaciones.

Las consecuencias macroeconómicas del uso de la AP se presentan en el tabla 2. Todos los indicadores macroeconómicos son en general positivos. Con el uso de los sistemas de AP se espera que proporcione un efecto positivo sobre todos los escenarios planteados, y en especial en el de uso de todas las tecnologías estudiadas con un aumento del PIB de hasta 26,4 mill. Euros. En relación con la agricultura danesa y el medio ambiente es de interés señalar el mayor retorno a la tierra y la reducción general en el uso de plaguicidas.

Tabla 2. Resultados Macroeconómicos del uso de la AP.

	Controlled traffic		All technologies		
	2005, Bill EUR	low	high	low	high
		----- Real changes, mill EUR -----			
Household	100,3	2,4	6,8	-0,1	7,5
Investment	34,9	6,2	8,3	9,7	13,3
Public consumption	54,1	1,2	3,6	-0,1	4,0
Stocks	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0
Absorption	190,6	9,8	18,8	9,5	24,8
Export	83,1	-0,5	0,1	-4,4	-3,2
Import	56,8	-1,5	-1,6	-4,4	-4,8
GDP	216,9	10,7	20,7	9,5	26,4
		----- Percentage change -----			
CPI		0,00	0,01	0,01	0,02
Wages		0,01	0,02	0,02	0,04
Rental rate capital		0,01	0,01	0,01	0,02
Rental rate land		1,93	3,81	2,02	5,43
Pesticide treatment index		-0,21	-0,33	-2,63	-3,94

Finalmente, se espera que el mayor potencial económico de las tecnologías en los cultivos será aumentar el rendimiento y el ahorro de los costos de combustible y herbicidas. En general, los resultados muestran claramente que los beneficios para la economía danesa de adoptar esta nueva tecnología es positiva, con aumento de los ingresos a los agricultores y una reducción en el consumo de combustible y el uso de plaguicidas. Los resultados obtenidos reflejan el efecto a largo plazo económico de la aplicación de estos nuevos métodos de producción en Dinamarca. Usan los gastos nacionales brutos como indicador para una plena aplicación se puede proporcionar un aumento de 24,8 mill. Euros (0,013 por ciento) y un aumento del PIB de hasta 26,4 mill. Euros. Para la agricultura, la adopción de estas tecnologías mejorará la renta agraria y aumentar la producción en el complejo industrial agrícola.

Ejemplo de introducción de AP en EEUU

Distribuidores en los EE.UU. estiman que el 20% de su área de mercado ha recibido muestreo de suelos guiados por GPS, el 11% aplicaciones variable de un solo nutriente (Tabla 3), y el 15% de tasa variable de enclado (Whipker y Akridge 2003). En Casi el 70% de los minoristas de EE.UU. la prestación de servicios agronómicos usa al menos algunas tecnologías AP. La mayoría de los servicios comunes que se ofrecen incluyen el muestreo georeferenciados de rendimiento, de suelo, análisis de datos, recomendaciones agronómicas, y la aplicación de tipo variable de fertilizantes, siembra y de plaguicidas, o la teledetección son tecnologías ampliamente usadas, pero su adopción es muy variable. Sin embargo, importantes inversiones en hardware, software y principalmente desarrollo del capital humano son limitantes en la introducción de estas tecnologías. El mayor freno a la adopción de la AP es el costo de los equipos junto con la falta actual de información de su rentabilización, y las ganancias o beneficios ambientales. Otro desincentivo importante es el tiempo y capacidades necesarias para trabajar en la información recopilada por las diferentes herramientas tecnológicas. Así, hacer rentable AP (42%), reducir el costo de la adopción (28%), desarrollo y mantención de personal capacitado (21%) y la venta de la "idea" (11%) fueron nombrados como los mayores desafíos visualizados por el Agricultural Businesses Surveyed en los EE.UU. (Whipker y Akridge 2003). Encuestas de los primeros usuarios en los EE.UU., Dinamarca y el Reino Unido demostró que muchos productores son muy optimistas acerca de una mayor eficiencia en el uso de insumos y la rentabilidad con uso de la agricultura de precisión, pero se cree que se llevará de 5-10 años para alcanzar su nivel esperado de la rentabilidad (Pedersen et al 2001.; Pedersen et al 2003). Factores como el tamaño de las explotaciones y la alfabetización informática influirán positivamente en la probabilidad de adopción de la AP (Daberkow y McBride 2003).

Tabla 3. Resultados de fertilización nitrogenada tradicional y variable obtenidos en partes del mundo.

Crop, location	N treatment <sup>1</sup>	Decision tools <sup>2</sup>				N applied		Yield	NUE <sup>3</sup>	Crop, location	N treatment <sup>1</sup>	Decision tools <sup>2</sup>				N applied		Yield	NUE <sup>3</sup>
		S	Mr	Mt	D	kg ha <sup>-1</sup>	t ha <sup>-1</sup>					kg kg <sup>-1</sup>	S	Mr	Mt	D	kg ha <sup>-1</sup>		
Maize, NE, USA <sup>4</sup>	Conventional	x	-	-	-	142	10.3	73	Wheat, triticale, Germany <sup>6</sup>	Conventional	x	-	-	-	175	9.2	53		
	Site-specific 1 (p)	x	-	-	-	141	10.4	74		Site-specific (p)	x	-	-	-	166	9.1	55		
	Site-specific 2 (p)	x	-	-	-	113	10.2	90		Wheat, UK <sup>7</sup>	Conventional	x	-	-	-	174	7.4	43	
Maize, CO, USA <sup>5</sup>	Conventional	x	-	-	-	152	12.8	84	Site-specific (p)		x	-	-	-	155	7.2	46		
	Site-specific 1 (p)	x	-	-	-	163	12.4	76	Wheat, OK, USA <sup>8</sup>	Conventional	-	-	-	-	90	2.1	23		
	Site-specific 2 (p)	x	-	-	-	109	12.9	110		Site-specific (c)	-	-	-	x	109	2.3	21		
Wheat, Netherlands <sup>10</sup>	Conventional	x	-	-	-	240	9.4	39	Wheat, Germany <sup>9</sup>	Site-specific 1	x	-	-	x	178	6.3	35		
	Site-specific (p)	x	x	x	-	189	9.5	50		Site-specific 2 (p)	x	x	x	-	138	6.3	46		
Rice, Philippines <sup>11</sup>	Conventional	-	-	-	-	130	7.6	58											
	Site-specific (c)	-	-	-	x	87	7.5	86											
Rice, India <sup>12</sup>	Conventional	x	-	-	-	142	5.0	35											
	Site-specific 1 (c)	-	-	-	x	110	5.0	45											
	Site-specific 2 (c)	-	-	-	x	108	4.9	45											
Rice, China <sup>13</sup>	Conventional	-	-	-	-	171	6.0	37											
	Site-specific (p, c)	x	x	-	x	126	6.4	52											

Fuente: [http://www.cropscience.org.au/icsc2004/symposia/4/3/217\\_dobermanna.htm](http://www.cropsscience.org.au/icsc2004/symposia/4/3/217_dobermanna.htm)

1-Conventional: uniform N rate and fixed splitting of N (existing recommendation or farmers’ practice); Site-specific: various approaches.

2-Decision tools used: S – assessment of N supply using soil sampling or other techniques; Mr – soil/crop model to predict N rate; Mt – soil/crop model to predict splitting/timing of N applications; D – in-season diagnosis and adjustment of plant N using sensing tools.

3-Nitrogen use efficiency = kg grain per kg N applied.

4-Irrigated, average of 13 site-years. Site-specific 1: variable N rates based on a standard N prescription utilizing a uniform yield goal and grid maps of soil nitrate and soil organic matter; site-specific 2: reduced variable N rate, 15 to 25% less than site-specific 1 (Ferguson et al. 2002).

5-Irrigated, one site, two years. Site-specific 1: variable N prescription based on a uniform yield goal and grid soil sampling. Site-specific 2: variable N prescription based on a variable yield goal and soil sampling by management zones (Hornung et al. 2003).

6-Two sites, one year. Both N approaches included three N applications. Site-specific: variable N rates adjusted according to management zones with different expected yield and soil characteristics (Ebertseder et al. 2003).

7-Six site-years. Site-specific: variable N adjusted to management zones with different yield goal based on yield map history (Welsh et al. 2003b).

8-Dryland, average of four sites, one year. Conventional: 45 kg N ha<sup>-1</sup> preplant + 45 kg N ha<sup>-1</sup> midseason; Site-specific: 45 kg N ha<sup>-1</sup> preplant + variable sensor-based midseason amount at 1-m spatial resolution (Raun et al. 2002).

9-One site, two years, Site-specific 1: soil test-based preplant N + two variable rate applications using on-the-go Hydro N

sensor; Site-specific 1: HERMES simulation model used for determining grid-cell specific N recommendations (Kersebaum et al. 2003).

10-Two site-years. Site-specific: timing and rates of N based on simulated change in NO<sub>3</sub>-N by management zones (van Alphen and Stoorvogel 2000).

11-Irrigated, average of four crops at two sites. Site-specific: no preplant N, field-specific post-emergence N doses based on weekly chlorophyll meter readings using a SPAD threshold of 35 (Peng et al. 1996).

12-Irrigated, average of 20 sites in Tamil Nadu, 1998 DS. Conventional: soil-test based N recommendation; Site-specific 1: no preplant N, field-specific post-emergence N doses based on weekly chlorophyll meter readings using a threshold of 35; Site-specific 2: no preplant N, field-specific post-emergence N doses based on weekly leaf color chart readings using a threshold of 4 (Balasubramaniam et al. 2000).

13-Irrigated, 21 sites x 6 consecutive rice crops, Zhejiang Province, China. Conventional: farmers' fertilizer practice; Site-specific: field-specific NPK rates pre-determined using a simple model; in-season adjustment of N rates at key growth stages using a chlorophyll meter (Wang et al. 2004).

En Australia, la adopción de PF ha sido lento, no por falta de beneficios o por el conservadurismo por parte del agricultor, sino por las dificultades de la entrega de estas tecnologías a través de grupos tales como asesores o prestadores de servicios (Cook et al. 2000).

En Filipinas también se pueden encontrar ejemplos claros de beneficios económicos a la aplicación variable de fertilizantes mediante el uso de la AP en el cultivo de arroz, tal como se puede ver en la figura 14.

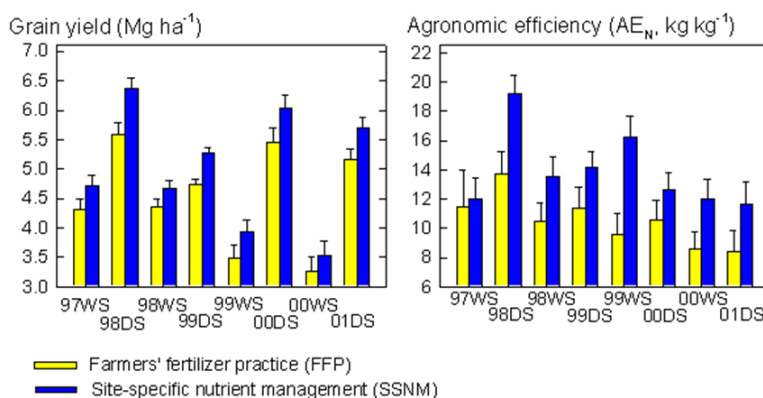


Figura 45. Ganancias de la producción de arroz de riego y la eficiencia agronómica del fertilizante nitrogenado (kg de incremento de rendimiento de grano por kg de fertilizante N aplicado) a través de manejo de nutrientes sitio-específico en provincia de Nueva Ecija, Filipinas. Los valores mostrados son medias y errores estándar de 27 campos trabajadas desde 1997 a 2001, incluyendo arroz de la temporada húmeda (WS) y seca (DS) (Fuente: RTOP base de datos del proyecto, el IRRI).

En general, la adopción de la AP en América del Norte, Europa, Australia y otras partes del mundo ha progresado irregularmente. En Monitores de rendimiento en todo el mundo, se ha superado claramente la adopción en relación a otros componentes de AP. Así, más de 30.000 monitores de rendimiento están actualmente en uso en América del Norte, 800 en Australia, más de 12000 en América Latina (principalmente en Argentina), y alrededor de 1300-1500 en Europa (Lambert and Lowenberg-DeBoer, 2000, los valores anteriores han diferido en la actualidad pero no se poseen las cifras exactas). Alrededor del 40% de la superficie de maíz en EE.UU., el 30% de la superficie de soja, y el 15% de la superficie sembrada con trigo se cosechan con los monitores de rendimiento.

Para visualizar un poco el desarrollo de los temas antes expuestos, podemos ver un caso exitoso como el Argentino, que sirve de ejemplo a la forma en como se difunden nuevas tecnologías agropecuarias, con una rápida adopción. La Agricultura de Precisión lleva 18 años de desarrollo en la Argentina. El impulso inicial lo dio el INTA Manfredi en el año 1995. En dos décadas, la aplicación concreta de la tecnología se puede apreciar con sólo dar un recorrido por los campos del país. En la tabla 4, se presenta la Evolución de las ventas de equipos de Agricultura de Precisión en la Argentina.

Tabla 4. Evolución del crecimiento de ventas de maquinarias precisas en Argentina.

	1998	1999	2001	2003	2005	2007	2009	2010	2011	2012
Monitores de Rendimiento	200	300	560	850	1600	3600	6200	7450	8415	8915
Dosis Variable en sembradoras y fertilizadoras (sólidos)	4	5	10	25	80	700	1400	1804	2079	2339
Dosis Variable	0	0	0	0	50	215	450	600	750	750
Monitores de siembra	500	700	1300	1800	3000	6500	9500	12560	15105	17305
Banderillero Satelital en aviones	60	100	200	300	480	680	700	800	900	900
Banderillero Satelital en	10	70	400	2000	4000	7600	10500	12298	13270	14589
Guía Automática	0	0	0	0	25	190	650	1150	2110	3610
Sensores de N	0	2	4	6	7	15	22	27	30	30
Sensores de	0	0	0	0	0	4	6	6	10	10
Cortes por Sección Pulverizadoras y Sembradoras	0	0	0	0	0	0	300	650	1091	1491

Fuente: INTA Argentina. \*hasta septiembre 2012.

Algunas conclusiones importantes de empresas argentinas que pueden ser aplicables a nuestras condiciones son:

El mercado encuentra un mecanismo de retroalimentación a medida que las bondades de la agricultura de precisión se difunden. Según Leonardo Carroli<sup>3</sup>, del Dpto. Técnico de Agrojet, “La demanda está impulsada por los contratistas que, a su vez, reciben la presión de los productores. Hoy en muchos lugares un contratista ya no entra a trabajar si no tiene un banderillero satelital. Entonces, sí o sí tiene que actualizarse”.

Según Matias Abadie<sup>3</sup>, gerente comercial de la empresa D&E, “Hay algunas aplicaciones que se pueden llevar a la práctica, como georeferenciamiento de predios, imágenes satelitales y trabajos en pasturas para maximizar rendimientos y hacer más eficiente la relación entre consumo de alimento y conversión en carne”.

Según Germán Martos<sup>3</sup>, de John Deere, “Con la agricultura de precisión se va cerrando un círculo completo que integra el trabajo de la sembradora, la pulverizadora, la fertilizadora y la cosechadora. Es posible controlar todo en forma integral desde una computadora”.

Según Mario García<sup>3</sup>, gerente comercial de Landtech “Como en todo proceso, hay sectores en que una novedad se impone primero y marcan la tendencia. A nosotros como desarrolladores de equipamiento tecnológico, hay productores de punta que nos van marcando el camino y son nuestros referentes. A partir de ahí la tecnología se va difundiendo”.

Según Andrés Méndez<sup>3</sup>, Investigador del INTA Manfredi, “durante los últimos tres años, el productor comprendió que esta tecnología de alta complejidad industrial es cada día más amigable con el operario, que se dispone de mayor servicio post venta y resulta más fácilmente amortizable”.

Finalmente, en cuanto a las principales limitaciones que frenan la implementación de estas y otras tecnologías de apoyo a la gestión predial, se puede decir que:

- Estas tecnologías se encuentran en una fase inicial de introducción en el país y por lo mismo requiere de una mayor atención en el proceso de su evaluación e implementación, de manera de no producir un desanimo por falta de información y apoyo.
- En general las empresas que brindan servicios de sensoramiento no entregan un buen soporte postventa. A modo de ejemplo podemos citar el caso de las empresas de servicios de agricultura de precisión quienes actualmente se

limitan a realizar estudios y diagnóstico sobre la variabilidad existente dentro de un cuartel o potrero, pero muy poco respecto de la interpretación de datos y entrega de recomendaciones de manejo sitio específico.

- La falta de Capital humano entrenado en estas tecnologías limita en las empresas cualquier adopción de tecnologías. Por ejemplo en los cultivos tradicionales el uso del monitor de rendimiento no se ha masificado en su uso pese a que muchas cosecheras hoy la incorporan, esto porque no hay una adecuada transferencia de los proveedores de equipo hacia los usuarios, los que finalmente por desconocimiento no lo aplican.
- La necesidad de crear una masa crítica de empresas de servicios y equipos que permita bajar los costos de esta tecnología.
- La falta de herramientas que incentiven la inversión de nuevas tecnologías en una primera fase. (Compartir el riesgo inicial de implementarlas).
- La falta de una organización público-privada orientada a cubrir las brechas de productividad y calidad de la industria, a través de la transferencia de estas tecnologías.

En general podemos decir que el avance tecnológico (en comparación a lo existente como veremos más adelante en este informe) ha sido lento y tortuoso, en general por una falta de coordinación y direccionamiento adecuado de todas las partes que se involucran en el sistema productivo nacional. Por otra parte, podemos decir que la aversión al cambio de los productores, en general es por falta de conocimiento o entendimiento de las soluciones, agravado por la falta de soporte técnico de calidad que finalmente redundan en un alto riesgo de inversión para los productores. Así, se ve la necesidad de comunicación e integración, bajo una lógica secuencial de las distintas instancias de subsidios, con una mejor vinculación y estructuración de los referentes de I+D, asociadas a estructuras de transferencia adecuadas, permitan facilitar la implementación y rentabilización de los recursos fiscales aportados, para que sean un real catalizador de la competitividad del sector. Así, para poder alcanzar lo antes mencionado, iniciativas integradas como la que se presenta en el presente proyecto son de alta necesidad para la generación de la estructura orgánica que se requiere en el sector productivo para dar paso a la utilización de estas tecnologías.

## Bibliografía

- Cook SE, Adams ML and Bramley RGV (2000). In 'Proceedings of the 5th International Conference on Precision Agriculture and Other Resource Management, July 16-19, 2000, Bloomington, MN. [CD-ROM]'. (Eds. P.C. Robert, R.H. Rust and W.E. Larson) (ASA,CSSA,SSSA, Madison, WI).
- Daberkow SG and McBride WD (2003). Farm and operator characteristics affecting the awareness and adoption of precision agriculture technologies in the US. *Precision Agriculture* 4, 163-177.
- Gerhards R and Oebel H (2006): Practical experiences with a system for site-specific weed control in arable crops using real-time image analysis and GPS-controlled patch spraying. *Weed Research*, No 46 pp 185–193.
- Lambert D and Lowenberg-DeBoer J (2000). Precision agriculture profitability review. (Purdue University, West Lafayette, IN). <http://mollisol.agry.purdue.edu/SSMC>.
- Mcphee J (2009): The benefits of Controlled Traffic Farming to assist adaptation to climate change for Australian crop production industries. Submission to House Standing Committee on Primary Industries and Resources.
- Pedersen SM, Ferguson RB and Lark RM (2001). A multinational survey of precision farming early adopters. *Farm Mgmt.* 11, 147-162.
- Pedersen SM, Fountas S, Blackmore BS, Pedersen JL and Pedersen HH (2003). In 'Precision agriculture'. (Eds. J.V. Stafford and A. Werner), pp. 533-538. (Wageningen Academic Publishers, Wageningen).
- Qingjie W, Hao C, Hongwen L, Wenying L, Xianoyan W, Mchugh A D, Jin H, Huanwen G (2008): Controlled traffic farming with no tillage for improved fallow water storage and crop yield on the Chinese Loess Plateau, *Soil & Tillage Research* 104 (2009) 192-197, China, Australia, 196.
- Tullberg J N, Yule E D F, Mcgarry D (2007): Controlled traffic farming-From research to adoption in Australia, *Soil & Tillage Research* 97 (2007) 272-281, Australia, 273 pp.
- Videnscenteret for Landbrug, 2010: Budgetkalkuler 2010.  
[http://www.landbrugsinfo.dk/Oekonomi/Budget/Budgetkalkuler/Sider/Budgetkalkuler\\_2010-2011\\_okt10.aspx](http://www.landbrugsinfo.dk/Oekonomi/Budget/Budgetkalkuler/Sider/Budgetkalkuler_2010-2011_okt10.aspx) (in danish)
- Whipker LD and Akridge JT (2003). 2003 precision agricultural services dealership survey results. Staff paper no. 3-10. (Purdue University, CropLife Magazine, West Lafayette, IN).
- Yule D, Radford B (2003) Controlled traffic farming, Case Study 9, Queensland Department of Primary Industries, Rockhampton, 165 pp.

CAPITULO 5

TIC'S Y BIG DATA ANALISIS



Introducción

Hoy en día hay una revolución silenciosa en la agricultura. Con un nuevo grupo de especialistas e innovadores entrando en el mercado, a los que les espera un escenario global distinto con gran cantidad de tecnologías de soporte (UAV, Autopiloto, etc.), que también incorporan mayores desafíos en el uso coordinado de estas.

El uso de la tecnología para mejorar la eficacia y eficiencia de las prácticas de cultivo no es nada nuevo y ha sido una práctica habitual desde la revolución agraria golpeó a Europa y Américas a fines del siglo 18. Como la ciencia y la tecnología tuvieron grandes avances en los dos siglos siguientes, los nuevos inventos y descubrimientos han permitido a la comunidad agrícola utilizar eficazmente los datos terrestres a tiempo real, maquinarias sofisticadas y modernas prácticas de siembra. Sin embargo, como la oferta de tierra y agua ha ido constantemente decreciendo con el aumento de la urbanización y la industrialización, la comunidad agrícola está como nunca antes visualizando que la tecnología será el camino para alimentar a una población mundial cada vez mayor (figura 46).

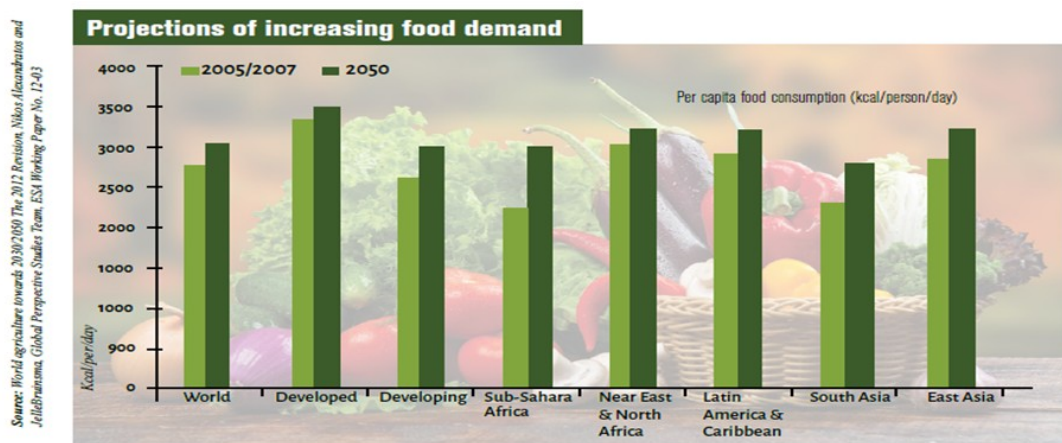


Figura 46. Proyecciones en el incremento por demanda alimenticia.

Como la mayoría de las políticas agrícolas nacionales fueron formuladas antes de que la revolución geoespacial despegara, el primer caso en el que el valor económico de las imágenes de satélite no militar se realizó en 1970, cuando la NASA descubrió que podía monitorear el crecimiento de trigo en la entonces Unión Soviética, los países empezaron la adopción de nuevas formas más innovadoras e integrables de desarrollo de políticas agrícolas más holísticas (China’s CropWatch y CropExplorer del intergovernmental Group on Earth Observations (GEO)son interesantes ejemplos) .

Sin embargo, al igual que con todos los sectores, la adopción de tecnologías en la agricultura está claramente dividida en un mundo de dos velocidades. Mientras que los mercados emergentes todavía están atrapados en las políticas a nivel macro con tecnologías como la observación de la tierra y los SIG para su aplicación en áreas como la gestión de tierras y recursos hídricos y vigilancia de los cultivos, etc., el mundo desarrollado ha avanzado a gran velocidad con herramientas como GIS móvil, vehículos aéreos no tripulados (UAV), y el estado de las máquinas de la técnica. En este nuevo contexto global de la agricultura nos vemos enfrentados a la necesidad de un reimpulso de los rendimientos y calidades hacia los consumidores, lo cual no obstante se debe producir sin un aumento de los costos sino de mejorar la eficiencia productiva permitiendo un aumento de las ganancias al productor. En este contexto nos enfrentamos a un Nuevo paradigma tecnológico y organizacional, Nuevas formas de hacer las cosas (redes, buenas prácticas, flexibilidad, responsabilidad), Nuevos productos (genéticamente modificados, ingredientes funcionales e insumos de alto valor), que nos llevan a una Nueva frontera de oportunidades y desarrollo de riqueza. Sin embargo, por otro lado tenemos barreras en cuanto a la existencia de un potenciamiento recíproco tecnológico (avances de una tecnología aceleran drásticamente los avances de la otra) pero con una gran carencia de “Combinación sinérgica de tecnologías” (figura 47), más bien desarrollo de tecnologías puntuales con una carencia de estructura lógica de operación a nivel predial, focalizadas en el formato adecuado que debe existir frente a los diferentes usuarios que interactúan en el contexto productivo. Así nos enfrentamos a una Revolución organizacional, de la gestión del conocimiento y de las convergencias tecnológicas, concepto que debe extenderse a toda la cadena (industria de alimentos de precisión).

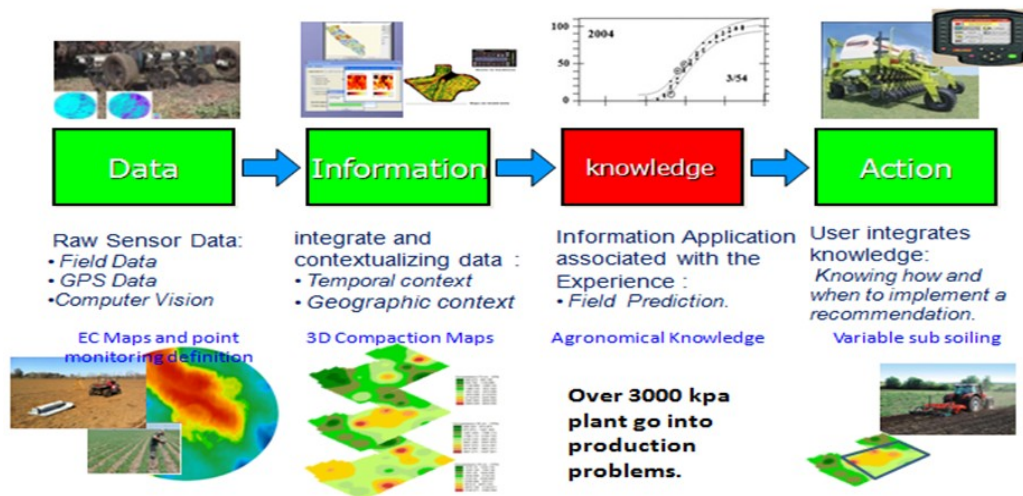


Figura 47. Esquema de transformación de datos en acciones productivas.

Bajo lo antes expuesto, a nivel productivo nos encontramos no solo la problemática del nivel de conocimiento de las personas asociadas a la cadena de producción frente a estas tecnologías, sino también la problemática de carencia de información estructurada de tipo espacio – temporal que permita una clara y muy simple visualización de los problemas en forma oportuna para poder gestar un adecuado diagnóstico y por ende acciones de corrección en donde entran a actuar las tecnologías de actuadores para dar la solución.

La incorporación de la innovación en los procesos productivos y económicos permitirá sin duda la dinamización de la economía nacional, lograr aumentar la productividad y calidad, incrementar el ingreso per cápita y el bienestar de los habitantes de nuestro país. En este sentido la innovación puede ser aplicada perfectamente para dar respuesta eficiente y efectiva a los nuevos requerimientos del mercado y mantener o mejorar nuestra posición competitiva en el ámbito de los productos agroalimentarios. El aumento de la producción y calidad, puede ser logrado mediante prácticas de riego, fertilidad, incorporación de mecanización moderna, entre otras herramientas de manejo. Sin embargo, el diagnóstico de las variables que definen el resultado potencial de la producción, en mayor parte hoy están basados sobre criterios cualitativos, los que poseen un éxito en su aplicación muy dependiente de la experiencia de los asesores y administradores de cada campo, la cual no siempre es exitosa. Este esquema de diagnóstico tiene una aplicación cuya eficiencia es limitada, ya que se ha visto que existe una tendencia hacia la subestimación o sobreestimación de la variación asociada a la variabilidad que existe en los predios, por lo que se obtiene un diagnóstico sólo parcial cuando se intenta generar una visión completa de un predio para fines de manejo. Bajos lo antes expuesto vemos que la línea secuencial de avance en la introducción tecnológica es en faces las cuales deben disponer de las adecuadas sinergias tecnológicas en cada una de estas como sigue:

- Fase I : Diagnóstico Predial
- Fase II : Monitoreo espacio temporal Predial
- Fase III : Integración en la logística y trazabilidad predial
- Fase IV : Automatización en la mecanización predial

Esta secuencia lógica se debe principalmente a que los productores y asesores agrícolas poseen un bajo conocimiento de estas tecnologías y por otra parte estas tecnologías deben asociarse al desarrollo biológico complejo en el cual el conocimiento práctico de estos es altamente necesario y es ahí donde debe producirse la sinergia tecnológica. Así, se debe iniciar el proceso con una apertura desde el conocimiento predial en cuanto a la variabilidad existente en su condición edáfica climática y el impacto de estas en los cultivos. Esto parte por el uso de tecnologías asociadas a la determinación de esta variabilidad tanto en las condiciones físicas (Conductividad eléctrica de suelos, compactación, agua disponible en el perfil, textura, etc., Capítulo 2) como químicas de suelo (mapas de variabilidad de fertilidad) y su impacto en los cultivos (planos de NDVI, Mapas de rendimiento, etc., Capítulo 2).

Así, hoy en día hay numerosos desafíos al abordar las demandas de los usuarios. Ellos incluyen el desarrollo de aplicaciones orientadas al mercado para los agricultores que requieren de la evaluación de sus necesidades con rigor, ser capaz de soportar el peso financiero de las tecnologías geoespaciales, dar frente a barreras técnicas de procesamiento de datos, y cumpliendo con las tendencias del mercado.

Si bien existen hoy en el mercado estructuras de gestión de información agrícola, estas deben derivar a los usuarios en sistemas prácticos de visualización e interacción entre los actores del sistema predial (productor, consultor, agro industrias) en plataformas de visualización e interacción vía web (pc y smart phones, Figura 48) que permitan al usuario la evaluación visual de la variabilidad y potenciales problemas.



Figura 48. Esquema de plataforma de visualización de información predial (estadística de mapas, etc.) de dos empresas (americana y europea, respectivamente).

Así, los sistemas actualmente diseñados de trabajo (Figura 48), opera en cuanto a una orientación estadística de puntos de monitoreo, obtenidos con sistemas modernos de captura, y con una integración coordinada de la data de terreno en un solo sistema de almacenamiento y análisis, el cual permite mejorar la gestión de la información para la toma de decisiones (Figura 49).



Figura 49. Esquema del modelo de integración de captura, análisis e interpretación del PROGAP INIA.

Sistema de gestión on-line

Un ejemplo de Plataforma de sistema integración de información automatizada desde el huerto ha correspondido a la iniciativa en Olivicultura de Precisión. En el sitio asociado el productor puede ver diferentes análisis en tiempo real, así como la interacción de los usuarios con accesos a esta información.

En esta plataforma podemos ver diferentes sistemas integrados entre ellos:

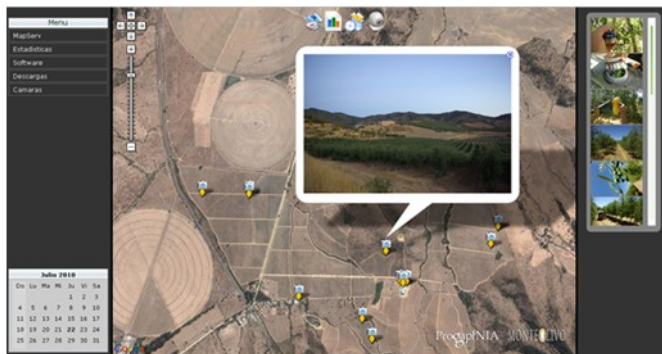


Figura 50. Plataforma de gestión predial.

Mapserver: Gestor de mapas de internet.

Estadísticas: Sistema de gestión grafica de la información del huerto.

Softwares: Implementación de softwares.

Descargas: Implementación de softwares y información de los sistemas.

Cámaras: Muestra cámaras IP y cámaras 360°.

Servidor de la plataforma:

La plataforma antes mencionada cuenta con un servidor, el cual posee una DATA BASE que es alimentada de datos de monitoreo tanto desde ICAS, WINGIS (MapServer) y de Estaciones Meteorológicas Automáticas (conexión interactiva) que son ingresadas al sistema de base de datos. Por otro lado, está el proyecto web de la plataforma el cual consiste en un sitio web (Figura 49), que permite a través de este sitio a los usuarios al registrarse tener acceso a la Intranet, esta cuenta con diferentes herramientas de comunicación tales como: dimdim (videoconferencias) telefonía IP (teléfonos skype) y un menú con las siguientes herramientas que apoyan en la investigación tales como: Mapserver, estadística, zona de descarga, cámaras IP, etc. Así, este sistema (Figura 50) permite el ingreso de usuarios involucrados en el área para un mayor control, orden y una accesibilidad a la información a la hora de tomar una decisión sobre el trabajo ha realizado en el campo.



Figura 51. Esquema de integración del sitio.

SITIO WEB - INTRANET:

La Intranet de la plataforma, posee un menú con diferentes opciones a disposición del usuario. En la Figura 51, se muestra el esquema de cómo opera el sistema, en esta ocasión hacer referencia a la opción de estadística, esta permite ver los datos de muestras realizadas en Olivos. El sistema de gráficos muestra la evolución temporal de la variable PFFA (peso fruto promedio por árbol).

Toda esta información esta almacenada en la base de datos.

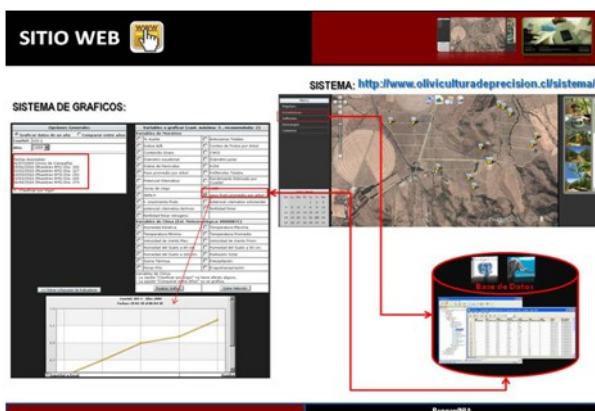


Figura 52. Diagrama de funcionamiento de plataforma en su integración con la intranet de la plataforma.

USO DE MAPSERVER:

Dentro del sitio en la Intranet, se encuentra la opción de MapServer, herramienta fundamental para la visualización de variabilidad espacial de las variables mediante Mapas (Figura 53).

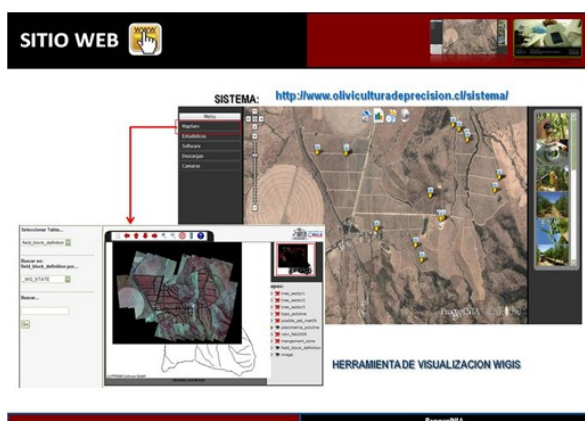


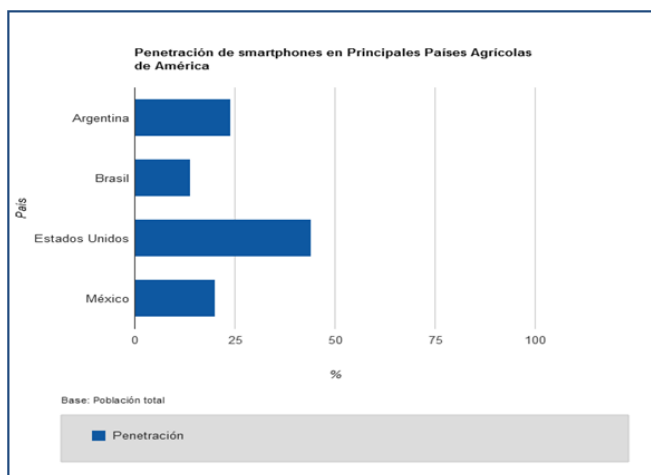
Figura 53. Sistema MapServer de la Plataforma PROGAP INIA.

Sin embargo, si bien se han realizado grandes esfuerzos por articular un sistema integral, actualmente existen distintos problemas en relación a la introducción de estas metodologías en el sector hortofrutícola y de ellas, el principal es que dependen de protocolos poco transferibles y de alto costo de implementación (equipos de alto costo), que solo pueden ser desarrollados por expertos en esta disciplina. Por lo anterior, el sector no ha incorporado estas tecnologías dentro de sus sistemas productivos ya que esta complejidad y costo han hecho que esta tecnología solo quede a nivel de I+D y no sea utilizada por las empresas (o solo por una muy pequeña porción de ellas). Analizando la problemática, se visualiza que el nivel de capacidades técnicas en el entendimiento de estas tecnologías y por otra parte, el cómo hacer que estas se integren dentro del proceso normal de la industria han sido la principal barrera de su introducción, mucho más importantes que el costo de esta per se. De lo antes expuesto, se ve que la tecnología actual, si bien ha alcanzado lo requerido, los sistemas que permiten la

captura de datos y los de gestión de la información para facilitar su entendimiento y aplicación no existe en la actualidad a un nivel apropiado, en especial en el área de conexión con el usuario (actuadores apropiados) para su uso en gestión de decisiones. Así, el monitoreo en tiempo real, capacidades de sistematización, analíticas y técnicas de visualización de información ofrecen la oportunidad de mejorar los flujos de información y la autonomía de las empresas dentro de la cadena de suministro, proporcionando herramientas para monitorear y responder a las exigencias del mercado. La rentabilidad es una preocupación clave para los participantes en la cadena de suministro que es una función del valor del producto, cantidad vendida y los costos de producción. Por lo tanto, una combinación de diversas tecnologías que proporcionan las herramientas para satisfacer la calidad del producto, seguridad y rentabilidades necesaria para mantenerlas cadenas de suministro y puede formar parte de una aproximación de precisión a la gestión de la agricultura.

Es importante destacar, que el lograr solucionar los problemas antes mencionados, puede ser la incorporación en los sistemas de gestión a los nuevos Smartphone que están saliendo al mercado, con un gran potencial de proceso y de interconectividad (internet móvil), que pueden ser utilizados como actuadores, entre los sistemas complejos de gestión, y una plataforma usuario amigable y de bajo costo.

Según estadísticas de la International Telecommunication Union – ITU, Al año 2011 a nivel mundial existen más de 5.481 Millones de Celulares en funcionamiento, con una tasa de un 86,7% de penetración en la población.



Por otra parte sólo en los principales países agrícolas de América, según datos de Google al 2012, la penetración de los Smartphones, supera en promedio el 25% de todos los celulares en funcionamiento.

Además, dentro de estos, el principal sistema operativo utilizado es Android. Por otro lado, según un estudio desarrollado por la Horticulture Industry Network, en febrero del 2012, sobre Las Aplicaciones Móviles para la Agricultura, se indica que el mercado de las aplicaciones (APPS) para Smartphone en los próximos años es estimado en 25 mil Millones de Dólares a nivel mundial.

Por otra parte, las empresas de telecomunicaciones son ahora agresiva comercialización y venta de teléfonos inteligentes y su adopción sigue creciendo de forma espectacular. Esto sugiere que la penetración de usuarios de teléfonos inteligentes dentro de este grupo objetivo se elevará por encima del 75% en el corto y mediano plazo, según el mismo artículo antes mencionado.

Sobre lo expuesto, en los últimos años se ha visto un auge la telefonía inteligente (Smartphone), en la cual ha existido un gran nivel de desarrollo tanto en los sistemas electrónicos asociados a estos (potentes procesadores, cámaras de alto nivel, entre otros), como en el nivel de aplicaciones informáticas asociadas a estos equipos, principalmente vinculadas a los market de aplicaciones que poseen las compañías desarrolladoras de telefonía. Ambas potencialidades antes descritas han abierto una nueva línea de desarrollos asociados a este tipo de equipos como sensores de temperatura, ultrasonidos (<http://www.geekwire.com/2011/mobisante-release-smartphonebased-ultrasound-system/>), monitoreo de azúcar para diabéticos (<http://www.geek.com/articles/geek-cetera/iphone-4-and-a-sensor-tattoo-creates-diabetic-blood-monitor-20110727/>), microscopios (<http://www.salientshop.com/mini-digital-microscope-for-iphone-4-60x-magnification-2-leds-1-uv-light-p-2765.html>), cámaras de alta resolución (<http://www.cultofmac.com/132116/nice-iphone-would-you-like-a-camera-with-that-concept-apple-stuff-2/>), entre otros muchos sensores (Figura 54).



Figura 54. Algunas aplicaciones de Smartphone integradas con herramientas tecnológicas. Ecógrafo portátil (A), Sensor de Temperatura (B), Sensor para medir azúcar en la sangre (C), y sensor térmico para iPhone.

El uso de ordenadores e Internet es cada vez más alto como lo demuestra la penetración de Internet en los diferentes sectores siendo la agricultura no una excepción. Hay también un número significativo de agricultores con el teléfono inteligente. Estos propietarios de teléfonos inteligentes está interesado en aplicaciones, y dispuestos a pagar por ellos, tal como lo demuestra el estudio del Horticulture Industry Network Australiano (Mobile Application, Helping Agriculturalists Make Better Decisions, 2012).

Por otra parte, esta integración con los Smartphones puede ser de alta utilidad al utilizar la capacidad instalada de estos dispositivos en posicionamiento (GPS y sistemas SIG existentes en market) y de conectividad internet que permitiría no solo lograr identificar la calidad del fruto sino también integrarlo dentro de un sistema de posicionamiento para el logro de mapas los cuales podrían integrarse fácilmente a un sistema de gestión geográfico y a la logística de la empresa en una forma muy dinámica y de bajo requerimiento de conocimiento por usuarios que daría solución a los problemas planteados con anterioridad y que son la base de la barrera de entrada tecnológica.

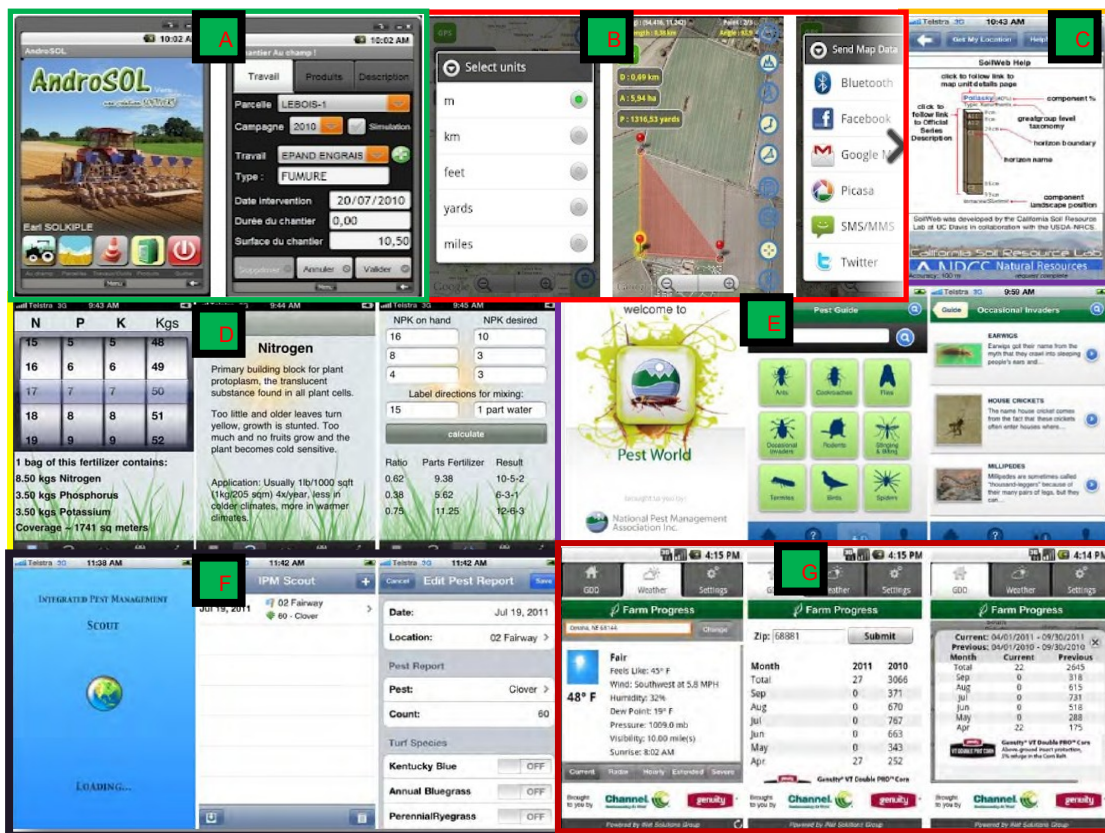


Figura 55. (A) AdroSOL App, (B) Mide Maps App, (C) Soil Web App, (D) Cobb's Fert Calc App, (E) NPMA (US) Pest World App, (F) The Keystone IPM Scout para Manejo Integrado de Plagas, (G) Growing Degree Days App.

Dentro de las posibilidades de uso que podría tener el desarrollo de una herramienta de este tipo podemos mencionar:

A nivel de Campo:

- APP con los datos de calibración para vincular los datos multiespectrales con la calidad que al incorporar el uso de GPS (incorporado en todos los Smartphone) da la potencialidad de espacializar la información de variabilidad de la calidad en el viñedo.
- Uso de procedimientos de muestreo APP y fotografías aéreas, altamente incorporadas ya en el sector vitivinícola (más del 50% de las empresas ya usan esta herramienta) para determinar qué sector se deberá medir.
- Ver a tiempo real la variabilidad de la calidad de la fruta en una planta (puede ayudar para la cosecha diferencial o la planificación de la empresa).
- La Interpretación de la información al incluir las condiciones ambientales locales (T, HR, etc.) puede gestar importante información de manejo.

En el área de la conexión a Internet (potencialidad de Smartphone, cloud computing):

- Debido a la posibilidad de conectividad e Internet se puede tener una indicación del cambio de calidad y la variabilidad asociada.
- Puede a través de red inalámbrica de sensores o 3G o conectarse a la base de datos de trazabilidad y servir de extensión a los requisitos de Buenas Prácticas Agrícolas para el uso por los consumidores y compradores en la identificación del producto.
- Procesamiento de la información local: reducir el tráfico de datos, oportunidad en la toma de decisiones
- Por otra parte, como progap INIA hemos avanzado en el desarrollo de una aplicación del tipo APP Android, que permita levantar los planos que sean desarrollados, para que el usuario pueda validar en campo sin necesidad de tener conexión internet (Figura 56), factor importante para la gestión productiva en su conexión a la realidad de campo.

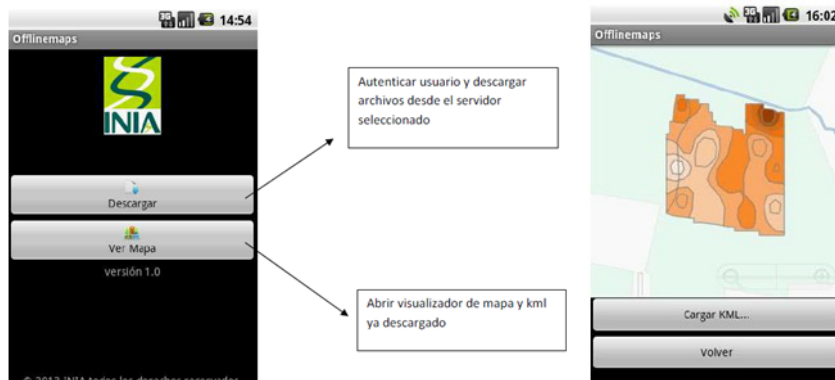


Figura 56. Pantallas de trabajo software android de navegación out line (si internet solo usa gps del smartphone).

Todo lo antes expuesto permite una clara visualización del Diagnostico predial pero no permite ayudar al productor en la pregunta de ¿QUE DEBO HACER?, ¿CUANDO DEBO HACERLO ?, ¿COMO DEBO HACERLO ?; esta son preguntas al no ser respuestas por los sistemas actuales, explican en gran medida el por qué la Agricultura de Precisión no ha penetrado lo suficiente, ya que si bien existen las máquinas de aplicación variable, sensores de todo tipo, lo que no existe es un real y bien diseñado sistema de monitoreo que den respuesta a estas preguntas, las cuales deben ser incorporadas en plataformas que permitan un buen modelo de seguimiento del cultivo para llevar este seguimiento en forma espacial y temporal de variables productivas (riego, desarrollo de biomasa, evaluación de problemas de plagas, enfermedades, malezas, fertilidad, calidad, rendimiento, etc).

Logrado el objetivo de impulsar las fases 1 y 2, el productor ya está en posición de tomar conciencia del valor agregado de la información y se da cuenta que debe poseer un orden en cuanto a cómo llevar esta estructura en un formato integrado a su logística predial es así que pasamos a la fase 3 que está asociada a logística de las acciones, es decir, si el sistema de monitoreo me dice que debo hacer una acción y se debe generar una orden dentro de la administración predial que gaste la orden y permita obtener la trazabilidad de estas acciones. Finalmente, cuando ya las estructuras de diagnostico, monitoreo y de



Integración en la logística y trazabilidad predial se genera una clara necesidad de automatizar y mejorar la eficiencia de las acciones de campo, aquí es donde tiene toda la lógica de recién entrar los sistemas de Automatización en la mecanización predial que hoy existen dados por diferentes actores del mercado como John Deer, Case New Holland, Valtra, Trimble, entre otras muchas empresas que podemos usarlos en paralelo como también integrarse dentro del sistema de gestión desarrollado para lograr una sola plataforma de gestión autónoma y coherente con la realidad de los agricultores y empresarios agrícolas que existen hoy en el mundo.

#### Bibliografía

Best S., I. Zamora y I. Quiroz. 2009. Tecnologías Aplicables en Agricultura de Precisión: Uso de tecnologías de agricultura de precisión en evaluación, diagnóstico y solución de problemas productivos. Santiago, Chile. Boletín FIA, ISBN N° 978-956-7874-903. 98p.

Best S., 2011. Handbook de Agricultura de Precisión.

<http://www.elsitioagricola.com/CultivosExtensivos/LibroIniaAP/libro3.asp>. 251 p.

Fraisse, C.W., K.A. Sudduth, and N.R. Kitchen. 2001. Delineation of site-specific management zones by unsupervised classification of topographic attributes and soil electrical conductivity. *Trans. ASAE* 44(1):155-166.

León, L., B. Kemps, B. De Ketelaere, S. Best and Josse de Baerdemaeker. 2009. Development and evaluation of a model based on VIS/NIR spectroscopy for determination of fruit quality associated variables and the use on precision viticulture. *Proceedings of the 8th Fruit, nut and vegetable production engineering symposium. Frutic 09 Chile*. p 208-213.

Taylor, J.A. (2004). Precision Viticulture and Digital Terroir. PhD Thesis. The University of Sydney.

Valente M., R. Leardi, G. Self, G. Luciano, J. P. Pain. 2009. Multivariate calibration of mango firmness using vis/NIR spectroscopy and acoustic impulse method. *Journal of Food Engineering*, Volume 94 (1), Pages 7-13.

CAPITULO 6

VISIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN ARGENTINA

Andrés Méndez / INTA Manfredi



### Agricultura de Precisión y Maquinas Precisas

características del sistema producto agropecuario argentino y la necesidad del productor por lograr la mayor eficiencia, precisión y productividad se reflejan en la constante demanda de herramientas e información referida a la Agricultura de Precisión (AP). Este concepto que desde sus inicios ha obtenido muchas definiciones, se refiere al manejo variable de los insumos según ambientes, incluyendo a herramientas y demás factores que manejan la productividad y calidad de los cultivos, lo que permite avanzar en la trazabilidad de los productos con “valor agregado”.

Con esta realidad como contexto, las empresas nacionales e internacionales permanecen desarrollando nuevas tecnologías, equipos y maquinaria específica para llegar al productor agropecuario con actualizaciones permanentes y con las últimas innovaciones que se adoptan a nivel mundial. Las acciones desde INTA en Agricultura de Precisión, conjuntamente con empresas, pueden relacionarse con la evolución de la adopción de esta temática, tomando como indicador la venta de equipamientos característicos (Cuadro 1). Alguno de estos elementos, como los monitores de rendimiento, son indicadores de las tasas de adopción en Argentina. Para este caso, desde los comienzos en 1997 hasta 2003, la adopción se mostró gradual, mientras que en los últimos años la venta de estos equipos se incrementó de manera muy marcada. Otros componentes característicos como los banderilleros satelitales, monitores de siembra y equipos de dosificación variable de fertilizantes líquidos han mostrado una evolución similar.

Cuadro 1: Evolución de Agrocomponentes de AP en Argentina.

	1998	1999	2001	2003	2005	2007	2009	2010	2011	2012
Monitores de Rendimiento	200	300	560	850	1600	3600	6200	7450	8415	8915
Dosis Variable en sembradoras y fertilizadoras (sólidos)	4	5	10	25	80	700	1400	1804	2079	2339
Dosis Variable	0	0	0	0	50	215	450	600	750	750
Monitores de siembra	500	700	1300	1800	3000	6500	9500	12560	15105	17305
Banderillero Satelital en aviones	60	100	200	300	480	680	700	800	900	900
Banderillero Satelital en	10	70	400	2000	4000	7600	10500	12298	13270	14589
Guía Automática	0	0	0	0	25	190	650	1150	2110	3610
Sensores de N	0	2	4	6	7	15	22	27	30	30
Sensores de	0	0	0	0	0	4	6	6	10	10
Cortes por Sección	0	0	0	0	0	0	300	650	1091	1491
Pulverizadoras y Sembradoras										

El INTA es una institución referente en esta temática y coordina una red de Agricultura de Precisión pública privada, que mediante la extensión, le acerca al productor y profesionales, los resultados de investigaciones, tecnologías desarrolladas, las formas de implementarlas y sus beneficios. Esto a nivel nacional e internacional, ya que otros países también se interesan por los desarrollos nacionales, debido a que se adaptan fácilmente a las necesidades de cada uno. El banderillero satelital permitió reemplazar el trabajo insalubre y rudimentario de los banderilleros humanos y habilitó el trabajo nocturno; hoy instalado en casi la totalidad de las pulverizadoras y en todos los aviones aeroaplicadores (calidad de trabajo).

Los números que muestran el cuadro de evolución de agrocomponentes, ponen de manifiesto que la incorporación de equipos de Agricultura de Precisión es constante todos los años. Hay rubros que marcan tendencias de adopción, tal es el caso de la incorporación de Pilotos Automáticos, en distintas herramientas, desde 2009 la inclusión de esta tecnología ronda el 40%. Pero también es importante resaltar que en función de los datos consultados que conforman este cuadro se observa un marporar sistemas de Cortes por Sección, tanto en la pulverización

como en la siembra, en estos últimos años. La incorporación de esta tecnología ha tenido un incremento en 2012 cercano al 28% respecto al año 2011, lo que marca una línea de trabajo sobre el control eficiente de insumos.

En menor medida, pero sin restar importancia, se han observado incrementos en varias herramientas, tal es el caso de los Monitores de Rendimiento con GPS, los cuales han incorporado en 2012 un 5,6% más respecto a 2011, representando más del 60% del potencial de mapeo del área cosechada, ya que hay que considerar que las cosechadoras que cuentan con monitor de rendimiento son las de mayor capacidad de trabajo.

En Dosificación Variable el aumento en equipos fue mayor, ya que se contabilizó un crecimiento cercano al 12% en 2012, incluyendo a sembradoras y fertilizadoras en este rubro. También se observaron incorporaciones de tecnología en Monitores de Siembra y Banderilleros Satelitales en Pulverización, 12,7% y 9,04% respectivamente.



Los monitores de siembra representan uno de los segmentos de mayor adopción en el mercado de la Agricultura de Precisión, es una herramienta que desarrollada en su gran mayoría por empresas nacionales y con electrocomponentes fabricados en el país, de ahí su incremento y su rápida inclusión en el mercado de sembradoras. Estos equipos informan sobre la dosificación de la semilla y fertilizante, al tiempo que destaca el avance, la capacidad de trabajo y la densidad de siembra. A través de monitores es posible certificar la calidad del trabajo, sumando información a la trazabilidad de los cultivos.

Por su parte, las novedades en comunicación, Internet y telefonía celular permiten que el productor visualice lo que sucede en su campo, comande equipos a distancia y acceda a mapas de rindes, aplicación y siembra en tiempo real. "La tecnología sigue avanzando y la impresión es que ocurre más rápido que la asimilación de la misma".





Fotografías aéreas y satelitales, mapeos de suelos y sensores de índice verde son también instrumentos que cada vez más colaboran con la toma de decisiones en el manejo de insumos y demás prácticas agrotécnicas.

Es importante también resaltar el interés creciente en adopción de alta tecnología en otras actividades, además de la agricultura extensiva tradicional, tales como el sector minifundista, la fructicultura y la ganadería, actividades en donde la tecnología de avanzada en electrónica tiene gran potencial.

Otros aspectos impulsados desde la generación y uso de prácticas de AP, y de la disponibilidad de gran cantidad de información georreferenciada, será facilitar la trazabilidad de los procesos y productos en la producción agropecuaria, dando posibilidad a la gestión de precisión.

En síntesis, la red liderada por INTA pretende transformar a la AP en una herramienta de utilidad práctica que beneficie la producción, productividad y competitividad de la cadena de agroalimentos de Argentina y que lo logre con sustentabilidad social y ambiental.

En el marco actual de análisis de estas tecnologías debe considerarse que Argentina, al igual que el mundo, se enfrenta a nuevos paradigmas, originados en el encarecimiento y escasez de energía, agua y tierra.

El Proyecto de Agricultura de Precisión, denominado ahora "Tecnologías de Agricultura de Precisión para Mejorar la Eficiencia de la Producción Agropecuaria", forma parte del Proyecto nacional de "Procesos Tecnológicos para Agregar Valor en Origen en forma Sustentable", que junto a otros proyectos forman parte de la estructura de Programa Nacional de Agroindustria y Agregado de Valor de INTA

- El Proyecto de Agricultura de Precisión está compuesto por cuatro módulos: Tecnologías para el Equipamiento de la Agricultura y Ganadería de Precisión.
- Tecnologías para el Manejo Sustentable de Cultivos e Insumos por Ambiente.
- Tecnologías para el Manejo Sustentable de los Procesos de Cosecha de Granos, Forrajes y Cultivos Industriales.
- Tecnologías para el Manejo Sustentable de Procesos de Poscosecha de Granos, Forrajes y Sub- productos Industriales.

Procesos Tecnológicos para Agregar Valor en Origen en forma Sustentable

El desarrollo de innovaciones tecnológicas en maquinaria y herramientas de Agricultura de Precisión no se detiene, el abanico de equipos disponibles que tiene el productor, para hacer más eficiente su sistema productivo, es amplio y se encuentra en permanente actualización. La generación de información va desde la caracterización de cada ambiente dentro del lote a través de un muestreo de suelo dirigido, pasando por el análisis de una imagen satelital, una fotografía aérea o un muestreo de NDVI, que le puede definir una refertilización de un cultivo hasta la obtención y análisis de datos de un mapa de rendimiento.

En Argentina la demanda en capacitación es alta, tanto en la operación de las herramientas como así también, y en mayor medida, en el análisis de la información obtenida a través de la Agricultura de Precisión. En este sentido el INTA organiza año a año un Curso Internacional de Agricultura de Precisión en INTA EEA Manfredi. Es un evento que integra un curso de capacitación con charlas en auditorios simultáneos, con talleres específicos de diferente nivel de capacitación en software, una muestra estática de maquinaria y herramientas específicas, junto a dinámicas a campo.



Novedades y tendencias, en el mercado de maquinaria y herramientas de Agricultura de Precisión.

En el rubro sembradoras una de las novedades más importantes, con altas expectativas de adopción en Argentina, es el sistema de amortiguadores para cuerpos de siembra. Se trata de una innovación desarrollada con la colaboración de técnicos del INTA que consiste en un sistema de amortiguación hidroneumático, que realiza un mejor copiado del terreno y permite una mayor uniformidad en la profundidad de siembra.

Son importantes los beneficios de la incorporación de un amortiguador hidroneumático al tren de siembra, ya que permite disminuir los efectos de la siembra a velocidades elevadas, algo que en nuestro país, por sembrar sobre rastrojos constituye una problemática importante. En la actividad a campo, es común ver un cuerpo de siembra que ende a saltar a mayor velocidad y variabilidad del terreno, causando una alta desuniformidad en la profundidad y distribución de la semilla.

Actualmente, el mercado argentino de sembradoras dispone de productos que permiten reducir esta problemática, existe un sistema de pulmón neumático (Precision Planing) y uno de amortiguación hidroneumática (Agrometal/Baratero), ambos están siendo evaluados por el INTA en la Estación Experimental Manfredi.

En cuanto a sensores remotos, la novedad es que ya se encuentran instalados como herramienta de algunas empresas de servicios los equipos Green Seeker, WeedSeeker y Weedit. Green Seeker es una herramienta que permite diagnosticar de manera instantánea el NDVI (índice verde) de cultivos como trigo y maíz principalmente, a través de sensores activos, es decir que emiten su propia luz para reflejar y obtener la lectura del verdor actual del cultivo. Esto permite obtener un diagnóstico del estado nutricional de la planta y poder efectuar una refertilización en función de la demanda de la planta y del estado fenológico en que se encuentre. Es una tecnología que ya fue probada por especialistas del INTA, pero aún no ha logrado gran adopción en el país. Esta línea de herramientas se completa con los sensores activos como WeedSeeker y Weedit, que en gran



repercusión debido a la problemática actual de malezas resistentes y aplicación controlada de agroquímicos, especialmente en zonas periurbanas. Estos equipos están siendo utilizados en barbechos, ya que permiten detectar la presencia de malezas en el lote aplicando selectivamente el caldo utilizado, logrando ahorros de producto que están entre el 20 y el 50%, dependiendo el estado de infestación en que se encuentre el campo.

El sensor Weedit es un desarrollo holandés importando a nuestro país por las firma Geosistemas, la cual en conjunto con AGD (Aceitera General Deheza) está realizando pruebas para evaluar sus beneficios en diferentes situaciones de malezas. Los resultados de estos ensayos se publican en el sitio web: [hps://agrotresgo.crowdmap.com/main](https://agrotresgo.crowdmap.com/main) Otro rubro que en estos últimos años logró un fuerte crecimiento con aumento de adopción es el de señales correctoras a través de antenas RTK. El sistema está compuesto por bases que permiten reducir el error del GPS a 2,5 cm, lo que con- viente a una herramienta de amplia inclusión en implementos de gran ancho de labor, como sembradoras y cosechadoras principalmente.

En tecnología de aplicación y pulverización se puede destacar la novedad de la tecnología Selettron, que es un sistema electrónico que regula una boquilla o la combinación de las mismas automáticamente, para lograr la dosificación solicitada manteniendo la presión dentro de los límites ideales, en función de la velocidad de avance y en el menor tiempo posible. Esta tecnología es soportada por la computadora de pulverización Bravo 400S de Arag.



Desde hace algunos años existen equipos relacionados al muestreo y la caracterización de ambientes, que si bien ya fueron presentados años anteriores siguen marcando una innovación considerable en el área temática y su adopción seguirá en crecimiento. Se trata de la rastra de conductividad eléctrica (VERIS) y el muestreador hidráulico automatizado de la firma Verion, ambos implementos permiten caracterizar la variabilidad dentro de los lotes para planificar una posible aplicación variable de insumos.

Una innovación interesante de destacar presentada este año por la firma D&E es el sistema de gerenciamiento Connected Farm, un nuevo producto de Trimble que se trata de una plataforma web gratuita, que posibilita tener un seguimiento de las labores realiza- das por los vehículos que están en el campo. Este sistema también



trabaja bajo plataforma Android, es decir que es posible gerenciar el funcionamiento del implemento que se encuentra en el campo, en tiempo real y a través del teléfono celular o una tablet. Connected Farm también permite generar mapas de límites, marcar situaciones en el campo y cargar valores de NDVI medidos por Green Seeker para obtener una dosis de nitrógeno recomendada en función del estado nutricional del cultivo.

Es importante destacar, como novedad, la presentación del sensor manual Green Seeker, con el cual se puede realizar un muestreo de manera dirigida en diferentes ambientes, dentro del cultivo, para obtener un diagnóstico nutricional sitio específico y de esta manera generar una recomendación de fertilización o refertilización, dependiendo del caso.





Si bien el monitor de rendimiento ya dejó de ser una novedad en Argentina, la gran adopción y la fuerte participación en el mercado hacen que el desarrollo de innovaciones, en este rubro, sea constante. Actualmente se puede destacar que la mayoría de los equipos nacionales envían de manera remota a una página web todos los datos sensados, un verdadero beneficio para el administrador del equipo que recibe la información en tiempo real, especialmente por la confiabilidad que brindan estando bien calibrados.

El mercado nacional actual tiene a las empresas Planum, Exactag y Sensor como referentes en el desarrollo local, sin descartar los equipos americanos que tienen amplia aceptación y logran buena competencia. La firma Planum desarrolló un equipo que puede ser utilizado tanto para siembra, pulverización, piloto automático, computadora de dosificación variable y monitor de rendimiento, cambiando su configuración a través de un pendrive en función del implemento a utilizar. De esta forma el operario de la maquinaria se adapta a un solo formato de visualización y configuración que hace más simple su operación.

**Resultados obtenidos aplicando la Agricultura de Precisión y Buenas Prácticas**

La brecha de conocimientos en la agricultura argentina puede generar pérdidas de hasta 6.700 kg de granos por hectárea, entre quienes son más o menos eficientes, en todos los casos, esas diferencias no están generadas por el grado de inversiones sino por falta de conocimientos y calidad de los procesos, que alcanzan la regulación y puesta a punto de la maquinaria y el manejo operativo. Así, la agricultura de precisión y el manejo de insumos y cultivos por ambientes son herramientas fundamentales.

“Con la agroindustrialización de los granos en origen se busca lograr mayores beneficios económicos y desarrollo regional por más trabajo. Esto debe ir de la mano del aumento en la eficiencia de producción”

Estudios realizados en INTA Manfredi bajo un cultivo de maíz, muestran las pérdidas registradas en seis labores (Cuadro 2) – barbecho, siembra, pulverización, diferenciación por calidad, cosecha y poscosecha– que evidencia, por caso, que en la primera labor un productor de altos rendimientos puede perder unos 200 kg/ha mientras que, mal realizada, las mermas alcanzarían los 1.800 kg/ha. Así, la brecha de conocimientos arroja una diferencia productiva muy amplia: 1.600 kilogramos de pérdidas en un solo proceso.

Cuadro 2: Nivel de pérdidas estimado para cada labor absorbido por un productor de alto rendimiento y de bajo rendimiento. Análisis realizado en un cultivo de maíz de 11000 kg/ha.

Labor	Promedio de Pérdidas en Kg/ha en el cultivo de maíz		
	Productor de Alto Rendimiento	Productor de Bajo Rendimiento	Diferencia entre pérdidas
Barbecho	200	1800	1600
Siembra	100	2700	2600
Pulverización	300	1000	700
Cosecha	150	600	450
Pos cosecha (almacenamiento)	Puede entregar directamente a puerto o a planta procesadora.	600	600
Total	750	6700	5950

El problema de las pérdidas comienza antes de la implantación, en el período de barbecho químico, cuando se acumula agua en el suelo. Con un milímetro de agua se producen en promedio casi 10 kg de grano de trigo, 18 de maíz y 8 de soja. Así, si un barbecho que permita almacenar 120 milímetros de agua útil equivaldría a rindes de 1.200 kg/ha en trigo, 2.160 en maíz y 960 en soja.

“Si el productor quiere sembrar en un suelo donde el agua almacenada está cercana al punto de marchitez para el cultivo y lo decide porque han llovido 20 milímetros, estará mermando su potencial ya desde la siembra”

En la siembra, algunos cultivos son más vulnerables a los errores que otros. Ensayos en maíz realizados por INTA, cultivo susceptible a una mala implantación, se lograron diferencias de rendimiento muy significativas. “Con una profundidad de siembra de 6 cm y una velocidad de 9 km/h, versus un tratamiento de 3 cm y 6 km/h, la diferencia de rinde a favor de este último caso fue de 2.700 kg/ha” (Cuadro 3).

Cuadro 3: Resultados de ensayo de Velocidad y Profundidad de Siembra.

Profundidad (cm)	Velocidad (km/h)	D.E.	Rendimiento (kg/ha)
	4	6.2	9350
	6	5.2	9790
	9	10.3	8420
	4	6.5	8050
	6	6.0	7280
	9	11.6	7080

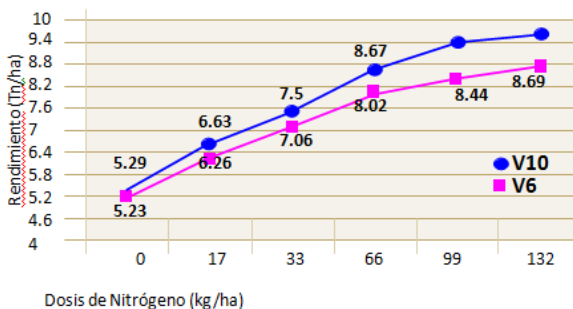
Con respecto a la fertilización en maíz, el estudio registró una diferencia promedio de mil kilogramos por hectárea más, al aplicar igual dosis de nitrógeno en la siembra que en las etapas V10-V12, antes de la floración (Gráfico 1). Además, también se realizaron ensayos donde “se pudieron cuantificar rendimientos en soja de 800 kg/ha comparando lo que se realiza normalmente y lo que se puede hacer ajustando el distanciamiento entre surcos y grupos por ambientes caracterizados”.

Por otra parte, el momento de la cosecha es un punto crítico: el ingreso tardío de la cosechadora al lote puede causar pérdidas muy significativas. “Si el momento es óptimo, las pérdidas totales deben mantenerse debajo de los 85 kg/ha en soja”. En este cultivo, “es muy común cosechar excediendo los límites máximos de la capacidad de la cosechadora y duplicar o triplicar las pérdidas a causa de ello”.

En Argentina, el promedio de pérdidas durante la cosecha y poscosecha supera el 12% y en algunos lotes alcanza el 20%. Si se almacenan en malas condiciones, como el exceso de humedad, o durante más tiempo del indicado, podrían ocasionar pérdidas del 30% en el peso de los granos, de acuerdo con los ensayos de INTA.

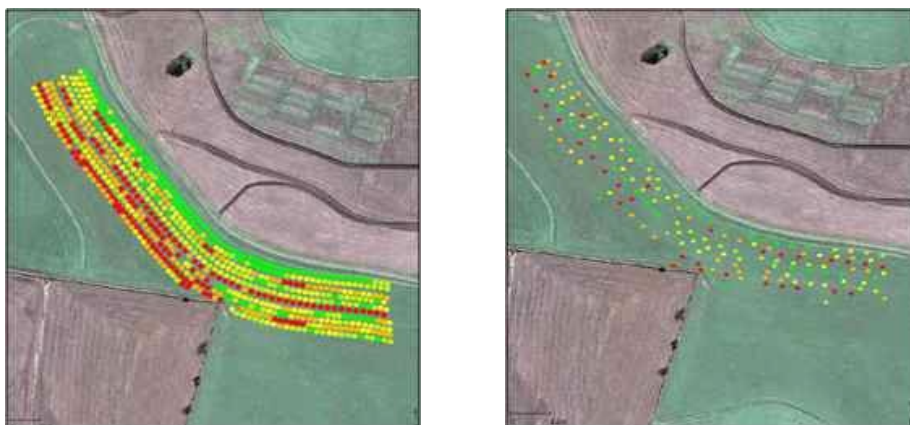
Por ese motivo, “los granos secos, sanos y limpios se conservan mejor” y antes de almacenarlos es importante separarlos según sus diferentes calidades en cuanto a proteína y aceite. “Este paso podría lograr la diferenciación en alimentos partiendo desde el lote, cuando existen ambientes muy distintos, lo cual permitiría lograr calidades que se encuentren dentro de parámetros aceptables para la transformación en proteína animal o bien para la producción de alimentos para consumo humano directo”. Este manejo es posible y el Proyecto de Agricultura de Precisión lo ha demostrado con numerosos ensayos, realizados en la línea de trabajo planteada desde

2006, utilizando el sensor de calidad de grano Zeltex AccuHarvest®. Con el mismo se ha logrado evaluar respuestas en rendimiento y proteína en un cultivo de trigo, utilizando variedades de distintos grupos de calidad y aplicando diferentes dosis de fertilización nitrogenada, concluyendo que la selección de genotipos, por grupo de calidad, y la adecuada fertilización, son necesarios para obtener altos rendimientos con calidad de comercialización (Cuadro 4).



Cuadro 4: Rendimiento (tn/ha) y proteína (%) del grano de trigo de diferentes materiales, en función de la dosis de fertilización

Variedades		BioINTA 1006		Klein Tauro		Klein Zorro		Promedio	
Dosis de N (kg/ha)	Proteína	Rendimiento	Proteína	Rendimiento	Proteína	Rendimiento	Proteína	Rendimiento	
0	9,1	3,10	9,6	2,77	9,6	2,59	9,4 B	2,70 B	
70	10,3	4,22	9,8	3,54	10,0	3,78	10,2 AB	3,64 A	
140	10,7	4,03	10,9	3,50	11,4	3,77	11,1 A	3,75 A	
<b>Promedio</b>	<b>10,0 a*</b>	<b>3,78 a*</b>	<b>10,3 a</b>	<b>3,14 b</b>	<b>10,5 a</b>	<b>3,18 b</b>			



Mapas de rendimiento y de proteína del lote de trigo bajo ensayo

La agricultura está marcando un sentido o dirección claro, la automatización total o robotización será el futuro de la maquinaria, la cual permitirá variar fertilizante y densidad de semillas, permitirá guiar en forma automática a los implementos a través de una línea virtual, realizar cortes por sección, detectar malezas y tratarlas individualmente, regular la velocidad de avance de la cosechadora en función del potencial de rendimiento, segregar el grano cosechado en función de la proteína, entre otras tantas actividades.

Trabajos realizados por INTA en el control selectivo en barbecho, utilizando Weed Seeker se ha medido un ahorro de hasta 48% de insumos en caña de azúcar, por aplicar los insumos según requerimientos específicos de cada unidad homogénea dentro del campo o lote (Cuadro 5).

Cuadro 5: Consumo en aplicación total vs. aplicación con el sensor óptico.

Porcentaje de cobertura con malezas	Aplicación en Superficie Total l/ha	Aplicación con Sensor ópco l/ha	Ahorro de Aplicación %
31,66%	14,00	7,30	47,86%
68,36%	14,52	10,75	25,96%



Los procesos que se realizan normalmente en el campo para lograr la producción primaria, se pueden trazar en tiempo real y agregar valor comercial a dicha actividad. Si a estos procesos registrados se los envía a un sitio web, donde se conozca lo que se hace, puede haber clientes de diversos países del mundo interesados en comprarlos.

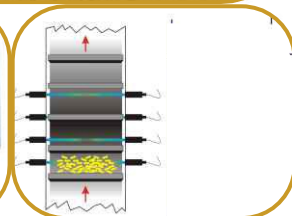
Quando se habla de trazabilidad de procesos se puede implementar con protocolos de trabajo y llevarlos a cabo, y a esas actividades poderlas exponer en una plataforma virtual como puede ser internet, una pc, una tablet o un teléfono móvil. Para ello se necesitarían herramientas de agricultura de precisión que tengan la posibilidad de registrar datos, almacenarlos y después bajarlos en algún sistema, donde puedan ser expuestos a los potenciales clientes o también que estos mismos equipos envíen en tiempo real la información a una plataforma virtual, donde puedan acceder los clientes interesados.

Como ejemplo se podría observar la actividad de un monitor de aplicación variable de insumos y monitor de siembra, el cual enviaría la información de lo que está realizando esa máquina en el campo. En dicha información podría exponerse la densidad de semillas por hectárea, la fertilización realizada por ambientes, la velocidad de trabajo, la hora de trabajo, el lote donde se está sembrando y fertilizando, operario, híbrido, tipo de fertilizante aplicado, etc. Este ejemplo es válido para pulverizadoras, fertilizadoras, cosechadoras, sensores de calidad de granos, etc. Lo



cual teniendo todo el registro de las actividades se puede lograr la trazabilidad de los procesos (determinando como procesos a cada actividad relacionada con la producción de esos granos).

Un buen ejemplo, para lograr mejorar aún más la rentabilidad del cultivo de maní, es lo que se viene realizando durante las últimas dos cosechas de este cultivo, con una cosechadora equipada con monitor de rendimiento volumétrico de la firma Abelardo Cuffia. El maní posee denominación de origen (maní de Córdoba), posee trazabilidad en todo lo que respecta a industrialización, pero no cuenta con la trazabilidad de procesos desde la siembra a la cosecha de los granos en cuanto al uso de monitores de AP, y si se decidiera realizar esa trazabilidad seguramente mejoraría la relación con el precio, dado que el producto está más diferenciado. Hoy se cuentan con las herramientas para lograrlos, sólo falta aplicar la idea. Monitores de siembra con registro de datos y envío en tiempo real existen, pulverizadoras con el mismo sistema también existen, monitor de rendimiento que brinda la productividad del cultivo por ambiente también existe, sólo resta la decisión de aplicar la trazabilidad de procesos.



#### Protocolo de Red de ensayo

Con la idea de hacer extensivos los resultados de las experiencias logradas en INTA, se hace abierta la participación a todos los interesados en incurrir en esta tecnología y que estén dispuestos a realizar sus propios ensayos bajo la tutela del Proyecto de Agricultura de Precisión, con el objetivo de expandir aún más el conocimiento en la aplicación variable de insumos en cultivos de soja, sorgo, trigo y maíz.

Esta iniciativa se rige bajo un Protocolo de Red de Ensayo, de Agricultura de Precisión con el fin de estandarizar la metodología en cuanto al relevamiento de los principales factores de producción en forma común, para que al experimentar en diferentes situaciones agroecológicas y de suelo se puedan confrontar los resultados.

Las diferentes experiencias llevadas a cabo bajo el protocolo, finalmente serán asociadas bajo una plataforma WEB, potenciando el valor científico que poseen individualmente cada uno de los ensayos, logrando en conjunto un aporte importante para el conocimiento de esta herramienta.

#### Descripción del Protocolo

Todos los ensayos que hayan cumplido con el protocolo estarán avalados por el INTA, y se publicarán en el libro del curso de agricultura de precisión y máquinas precisas que se realiza anualmente.

La selección de las dos zonas contrastantes se realiza para simplificar la metodología y concentrarse en cuanto a las variables a determinar en las dos zonas seleccionadas. Las zonas contrastantes deben tener el tamaño suficiente como para que "entre" el implemento (sembradora, fertilizadora, pulverizadora) que generará el tratamiento. Una vez delimitadas las zonas, cada una de ellas se debe caracterizar, mediante el muestreo de suelo dirigido que consiste en tomar muestras guiado con GPS en donde previamente se cargó las coordenadas de los lugares de interés.



El muestreo de suelo sirve para determinar fertilidad química, limitantes físicas y contenido de agua disponible en el perfil de exploración radicular. Esto se debe hacer en presiembra inmediata.

Tabla 1: Datos analíticos a solicitar y clasificación de niveles. Fuente: INTA

Parámetros Químicos	Unidad	Muy Bajo	Bajo	Adecuado	Alto
M.O. (Walker y Black micro)	%	< 2,0	2,0-2,5	2,6-3,2	3,3-4,0
Nitrógeno Total (NT)	%	0,11	0,12 -0,13	0,14 -0,15	0,16 -0,18
N-Nitratos (Harper mod.)	ppm	< 10	10-15	16-20	21-30
Fósforo (Bray y Kurtz)	ppm	< 10	10-17	18-30	31-50
S-Sulfatos (Turb.)	ppm	< 6	6-10	11-15	16-20
Ph actual (1:2,5)		< 5,5	5,5-6,5	6,6-7,2	7,3-8,5
Conducividad eléctrica	mmhos/c m	< 1	< 2	< 4	< 8
CIC o valor T	meq/100g	< 8	8-12	13-20	21-30
Cálcio	% Valor C,I,C	< 50	50-60	61-75	76-80
Magnesio	% Valor C,I,C	< 5	6-8	9-10	11-13
Potasio	% Valor C,I,C	< 1	1-2	3-5	5-8
Sodio	% Valor C,I,C	< 1	1-5	6-10	> 15

Una vez delimitadas la zonas, y caracterizadas a través del muestreo de suelo, se debe cruzar la variabilidad con cada dosis de fertilizante o densidad de siembra en forma fija.

En el momento en que se siembra, se comienzan a registrar las precipitaciones hasta madurez fisiológica, este dato junto con el dato de canda de agua en el suelo del análisis, es uno de los factores más importantes de producción y el que va a explicar en gran medida los resultados del ensayo.

Para la recolección de datos, se utiliza el monitor de rendimiento, correctamente calibrado, como el elemento de recolección de datos y se evalúan las pérdidas de cosecha, en cada trata- miento para descartar el factor “regulación de cosechadora” como una fuente de error, ya que se cosechará el cultivo en diferentes condiciones, en cuanto a la estructura de la planta, y diferentes relación entre grano y hoja tallo con la misma configuración de corte, trilla y limpieza.

Las principal tecnología a testear en forma “sitio específica” es la fertilización y densidad de siembra en trigo, maíz, soja, girasol y sorgo. En soja se pueden estar haciendo ensayos sobre res- puesta del rendimiento al espaciamiento entre surcos utilizando diferentes variedades. Por otro lado, en “fertilización”, tanto en soja, maíz o trigo, es importante encontrar la curva de repuesta completa, para ello es necesario la dosis 0 (cero) del fertilizante a probar y la dosis más alta, con la cual se está seguro de no poner en déficit al cultivo. Entre la dosis más baja y la más alta, toda la gama posible ejemplo: 0, 50, 100, 150, 200 kg/ha de N, por ejemplo en maíz y trigo, y dependiendo el ambiente donde se realicen los ensayos, dado el potencial productivo de los cultivos y la forma de aplicación del fertilizante. En semillas la metodología es la misma, partiendo de la densidad mínima posible.

Resumen:

Datos a tener en cuenta a los que se enfrentan los usuarios de Agricultura de Precisión según el tiempo de adopción. Según encuestas realizadas por INTA Paraná, el uso de técnicas de Agricultura de Precisión ha sido motivado, para disminuir el costo de producción, incrementar el beneficio económico y mejorar la gestión de la maquinaria. Además quienes producen o asesoran superficies mayores a 5000 ha, buscan aumentar el conocimiento del sistema de producción a través de las distintas prácticas de AP.

El rol del INTA ha sido destacado en la difusión de estas técnicas a través del tiempo, sin importar la superficie que trabaja o asesora el encuestado, cerca del 80% conoció la temática de la AP desde el INTA, notándose su presencia, tanto en usuarios de más de 10 años como en los más recientes. También se suman al aporte del conocimiento las Universidades, AACREA, AAPRESID y empresas privadas, entre otras.

De manera mayoritaria (70%), surgió que uno de los aspectos que permitirá mejorar la utilización de las herramientas y tecnologías de AP es la capacitación para profesionales y operarios. Asimismo, el 50% mencionó la necesidad de contar con una mayor información agronómica y la generación de instancias de intercambio y discusión entre usuarios de AP.

Un dato relevante, es que si bien el porcentaje de utilización de AP es alto, la mayor proporción de usuarios han tomado contacto reciente con las técnicas, el 80% de los casos hace menos de 6 años que usa la AP. En muy escasa proporción estas técnicas son utilizadas desde hace más de 6 años.

Este relevamiento evidencia el rol preponderante del INTA en la difusión de la Agricultura de Precisión. También se pone de manifiesto la importancia de la continuidad de las capacitaciones, generando nuevas instancias y modalidades de intercambio, orientadas a los profesionales y operarios de la maquinaria, para asegurar la calidad tanto del procesamiento como de la información que se genera en el campo. También será relevante ampliar e intensificar el trabajo de los próximos años, para incrementar el conocimiento agronómico de los sistemas de producción precisos, adecuando la información a las necesidades de los territorios que abarca el Proyecto de Agricultura de Precisión.

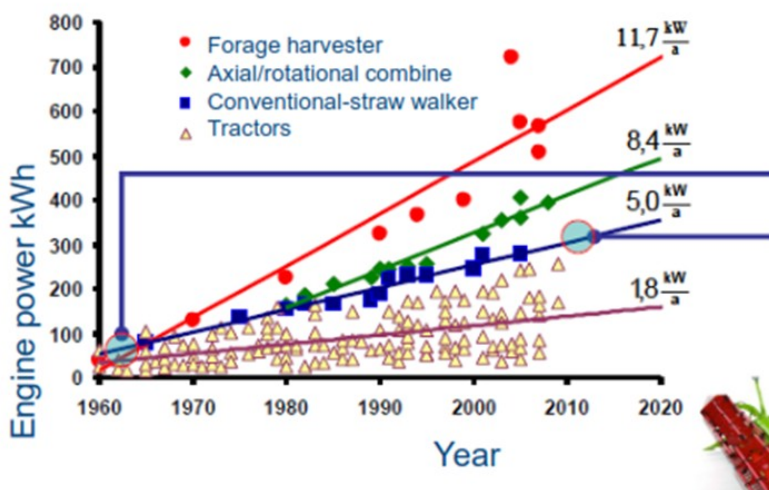
**Evolución de la Capacidad de Trilla y Tecnologías de las Cosechadoras**

Andrés Méndez, Juan Pablo Vélez; Fernando Scaramuzza, Diego Villarroel

EEA IINTA Manfredi

La evolución de la cosechadora en los últimos 20 años viene de la mano de un incremento de la potencia de los motores el cual aumentó 17 hp por año en promedio, actualmente los últimos modelos lanzados por John Deere, Claas, Case y New Holland ya superan los 500 CV de potencia logrando una capacidad de trilla de más de 110 Toneladas de grano por hora en un cultivo de maíz. La evolución actual no coincide con lo que anticipaban los especialistas que la potencia de los motores no crecerían más porque encarecerían aún más la maquinaria y que los desarrollos iban a pasar solo por la parte tecnológica para mejorar la eficiencia de trabajo. En el 10° Curso de Agricultura de Precisión llevado a cabo en el año 2011 se explicaba que iba a pasar con las cosechadoras de grano estimando al 2020 su crecimiento (Gráfico 1). La realidad indica que en el año 2014 existe una potencia superior a la estimada y con alta incorporación de tecnología de Agricultura de Precisión para mejorar la eficiencia.

Gráfico 1: Proyección De La Evaluación De La Potencia De Maquinaria Agrícola, Fuente: Josse De Baerdemaeker, 2010.



En el caso de John Deere la motorización máxima se alcanzó con la Cosechadora S690, cuya capacidad de trilla es de alrededor de 110 Tn/h de cultivo de Maíz y un motor de 13 lt que puede alcanzar una potencia máxima de 626 CV, esta capacidad permite incrementar tanto el ancho de la plataforma como la velocidad de avance, en ambos casos se necesita un esfuerzo extra por parte del operario por mantener la máquina al 100 % de la capacidad de la plataforma, y en el caso de que coseche a mayor velocidad el operario debe actuar rápidamente sobre los factores de regulación de la máquina para evitar una cosecha ineficiente en caso de que las condiciones del cultivo varíen. Es aquí en donde aparece el automatismo en la regulación, la cosechadora para esto posee un sistema de ajuste automático de los parámetros, que permite ajustar automáticamente la velocidad del cilindro, la separación del cóncavo y la velocidad del viento en función de las características del material que ingresa y el Harvest Smart (control automático de alimentación) permite, a través de la velocidad de avance, ajustar la entrada de material al sistema de trilla para mantener el flujo del cultivo en forma constante, manteniendo el régimen de trabajo en los rangos óptimos en toda la cosecha independientemente de las condiciones del cultivo.

Gráfico 2: Evolución de la Capacidad de Trabajo de las Cosechadoras Axiales JOHN DEERE

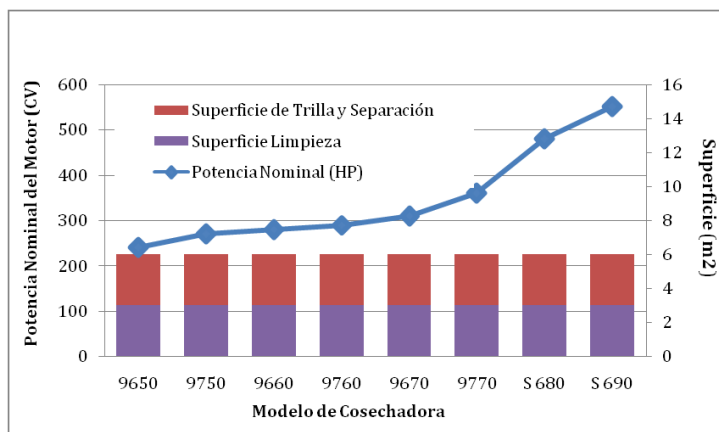
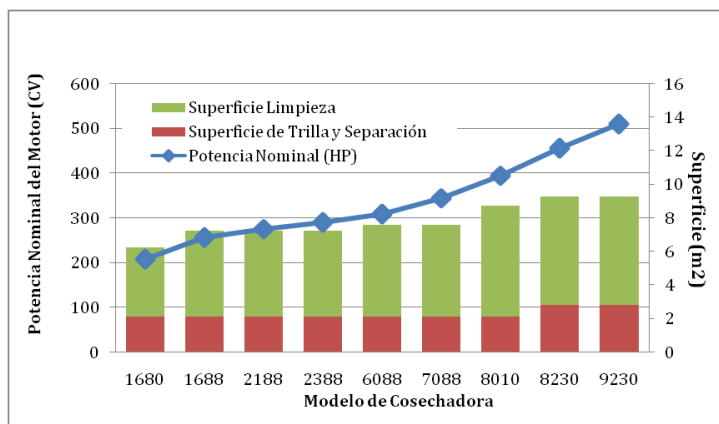


Gráfico 3: Evolución de la Capacidad de Trabajo de las Cosechadoras Axiales CASE



Otro sistema de control automático de trilla es el Cebis de Claas que ajusta los parámetros en función del rendimiento, tipo de cultivo y condiciones de recolección (velocidad de avance, suelo, meteorología, etc.). Está compuesto por una computadora la cual informa sobre el posible ajuste a realizar para optimizar el rendimiento de la máquina, pudiendo el operario aceptarlo, rechazarlo o ajustarlo. Si decide aceptar el ajuste prefijado, el sistema hará los correspondientes cambios en la máquina de forma automática y efectuará una comprobación del resultado final.

Así mismo a pesar de todos los avances en la tecnología de regulación de la cosechadora los motores siguen incrementando su potencia y las máquinas son cada más eficientes, sin embargo esto es solo gracias al incremento de la capacidad motora y algo del incremento del sistema de limpieza. En los últimos 20 años el incremento de la superficie de trilla y separación fue de solo un 10%, la superficie de limpieza un 35%, mientras que la potencia de los motores se incrementó un 100%.

Estos datos respaldan lo que afirma Dr. Luis Márquez, en donde determina que la conformación de las cosechadoras actuales permite todavía un incremento de la capacidad sin cambios mayores en su parte externa, ya que las cosechadoras poseen un margen en cuanto a su capacidad y que se alcanzara su máximo desempeño solo incrementando la potencia del motor, y tal como se ve en los gráficos incrementando la superficie de limpieza, para evitar pérdidas por cola. Sin embargo conviene tomar precauciones para evitar que aumente el grano partido en el cilindro.

Durante los últimos años se ha hecho hincapié en el crecimiento del tamaño de los motores de las cosechadoras, su capacidad de trilla y el ancho de las plataformas o cabezales para recolectar los granos de los cultivos.

Analizando datos sobre cosechadoras de diferentes tamaños y evoluciones de las mismas durante los últimos 18 años empiezan a surgir algunos factores a tener en cuenta. Desde el punto que una máquina con una capacidad de trilla en maíz de 28 toneladas hora y con un motor de 230 HP comparada con alguna cosechadora de 110 toneladas hora y un motor que en su máximo esfuerzo puede llegar cerca de 600 HP y se hace una simple relación estaríamos en la situación que se cuenta con



una capacidad diferencial de 3 veces más, o sea que la cosechadora de mayor tamaño equivale a tener 4 cosechadoras de menor tamaño.

Pensando en que para una misma capacidad de trilla se cuadruplica el personal y el equipo de cosecha, decidir la compra de una cosechadora de mayor tamaño siempre sería favorable. A su vez, la eficiencia de los HP si se comparan ambos motores también sería favorable para los motores más grandes que brindan mayor capacidad de trilla.

Desde otro punto de vista es importante saber que las cosechadoras con alta capacidad de trilla serán mejor aprovechadas con cultivos de altos rendimientos, dado que para lograr una capacidad de trilla de 110 toneladas hora si los rendimientos son bajos la cosechadora debería compensarlo con velocidad, con lo cual es prácticamente imposible aumentar la velocidad a más de 7 km/h en soja o más de 8 km/h en maíz debido a las pérdidas de cosecha comienzan a ser mayores a las fijadas como toleradas. A medida que los rendimientos son más bajos, la situación ideal para lograr la capacidad teórica de trilla se aleja más del objetivo.

En una cosecha podemos tener tres situaciones.

**Cosecha con Flujo óptimo**

En donde las condiciones del cultivo permiten a la maquinaria trabajar en forma óptima en cuanto a velocidad de trabajo y a cantidad de material que ingresa al sistema de trilla, separación y limpieza.

**Cosecha con flujo óptimo por velocidad compensatoria**

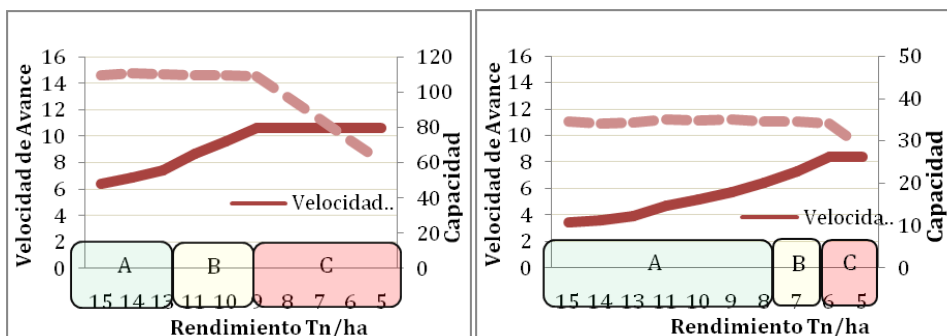
Es cuando las condiciones de cultivo (menor rendimiento) no alcanzan para una correcta alimentación de la cosechadora, y para lograr el flujo óptimo se incrementa la velocidad de avance. Esta situación hace que si bien la cantidad de material que ingresa a la cosechadora sea la correcta para un correcto funcionamiento de la trilla, separación y limpieza, el trabajo de la plataforma sea demasiado violento y se incrementen las pérdidas por plataforma o cabezal.

**Cosecha con flujo subóptimo**

Es cuando ya habiendo incrementado la velocidad hasta el máximo de las posibilidades, las condiciones del cultivo aún son de bajo rendimiento para lograr una compensación en la alimentación, haciendo que de todos modos la alimentación sea insuficiente para un correcto desempeño del sistema, por lo tanto no solo se tendrán pérdidas por plataforma por exceso de velocidad sino que también habrá pérdida por cola a causa de una insuficiencia en el índice de alimentación, lo que produce que todos los parámetros de cosecha quedan descompensados.

Si dos cosechadoras de distinta capacidad de trabajo (110 Tn/h y 35 Tn/h) entran en una zona del lote con menores rendimientos, la cosechadora de mayor capacidad entra en flujo subóptimo antes que una de menor porte, por ejemplo, con un rendimiento de 12 Tn/ha ambas cosechadoras estarán trabajando en un régimen óptimo aunque a velocidades diferentes, ambas se encuentran en la zona de flujo óptimo o zona "A" de la figura 4, cuando el rendimiento del cultivo se encuentra en un promedio de 10 Tn/ha ambas cosechadoras se encuentran en el flujo óptimo pero en el caso de la cosechadora con alto régimen de trilla estaría compensando con una velocidad proporcionalmente mayor a la cosechadora de menor porte, como se observa en la zona "B" del gráfico. La zona "C" del gráfico estaría ilustrando como un rendimiento promedio de 5 Tn/ha en la cosechadora de mayor porte aparecen dos puntos a destacar: 1) que debe compensar el flujo aún más con el aumento de la velocidad de avance lo cual sería erróneo dado que empieza originar excesivas pérdidas por cabezal; 2) la máquina trabaja con muy bajo material en todo el sistema de trilla, separación y limpieza, lo cual también comienza a originar pérdidas por cola de la cosechadora.

Gráfico 4: Comportamiento de una cosechadora con capacidad operativa de 110 Tn/h (izq.) ancho de plataforma 11.44 y con capacidad operativa 35 tn/h (der), ancho de plataforma de 6.66 m en un cultivo de maíz con variabilidad en el rendimiento de 15 Tn/ha a 5 Tn/ha.



Si se comparan cosechadoras de 230 HP con plataformas de 7 metros para soja y trigo o de 13 surcos para maíz, respecto a cosechadoras con 550 HP y plataformas de 12.2 metros para soja y trigo o 22 surcos para maíz, lo que puede indicar la realidad es que aún no se ha cuadruplicado el ancho de cosecha, con lo cual para un mismo rendimiento de los cultivos la máquina debería avanzar a mayor velocidad.

Si tomamos como ejemplo que una cosechadora citada como pequeña 28 toneladas/h en este escrito en un cultivo que rinde 7 toneladas/ha iría aproximadamente a 6 km/h con un cabezal de 11 surcos hay que pensar que una cosechadora que tiene una capacidad de trilla de 110 toneladas/hs en un maíz de 7 toneladas/ha debería tener un cabezal de aproximadamente 40 surcos para ir a 6 km/h, o en su defecto ir a una velocidad considerablemente mayor que no permitiría llegar a su capacidad de trilla dado las pérdidas que originarían las plataformas o los cabezales.

A su vez también hay que conocer que la capacidad teórica de trilla debe estar afectada por un coeficiente que puede ir entre el 0,7 o 0,85 según las condiciones en que se cosecha y esto hace bastante menos eficiente el cálculo de los costos teóricos de los costos reales sino se lo tiene en cuenta. A veces es hasta menor el coeficiente de 0,7 si se cuenta el primer día en que se empieza la trilla hasta el último día de cosecha y se divide por la cantidad de horas trabajadas.

También hay que tener en cuenta que una cosechadora de 110 toneladas horas está cargando casi 4 camiones por hora y si esa máquina trabaja 10 horas por día hay que pensar que están saliendo del campo 40 camiones por día solo para una cosechadora con lo cual es difícil lograr semejante logística. A su vez, si se decidiera realizar silo bolsa hay que contar con por lo menos 2 tolvas de 25 Toneladas para que la cosechadora no se encuentre parada en el lote en algún momento.

La tolva de una cosechadora de este tipo posee una capacidad cercana a los 14 mil kg de carga, si tenemos un cultivo de maíz de 10.000 kg/ha y si la máquina se encuentra trabajando en su capacidad plena de trilla, estaría llenando su tolva en 10 minutos de trabajo, por lo que descargaría granos casi constantemente. Otros datos interesantes surgen de analizar para éste mismo rendimiento y una velocidad de 7 km/h que por cada segundo de cosecha con un cabezal de 18 surcos están ingresando 23,3 kg de granos, en 10 segundos 233 kg de granos y 1.398 kg de granos por cada minuto de cosecha. Con lo cual a un camión de 30 Toneladas lo llena en aproximadamente 20 minutos lo que exige una logística muy precisa.

Teniendo en cuenta estos datos se puede inferir que una cosechadora de casi 600 HP debería trabajar en zonas de altos rendimientos para no tener que compensar con velocidad el logro de la capacidad teórica de trilla, dado que el exceso de velocidad de trilla genera pérdidas de cosecha.

El contratista de punta que en la actualidad posee una cosechadora de 420 o 450 HP con una capacidad de trilla de 80 toneladas horas, el cambio que analiza es pasar a una cosechadora de 550 o 600 HP con 100 o 110 toneladas de capacidad de trilla. Pero por lo general a este cambio lo piensa en que puede hacer unas 500 has extras respecto a la máquina de 80 Toneladas por horas, o aún más por campaña y porque el personal se ve más motivado a la hora de pensar en hacer 100 hectáreas por día como potencial. Las empresas de contratistas tratan de estar al tope de la tecnología para tener mejores propuestas de trabajo y por marketing.

Lo que hay que tener en cuenta, es que la adquisición de una cosechadora que ronda en valores cercanos a 700 mil dólares debe tener un buen análisis sobre los rendimientos promedios donde va a cosechar, dado que si estos rendimientos son bajos será prácticamente imposible lograr las capacidades de trilla teóricas y será muy difícil su amortización. Un ejemplo a comparar es el que aplican en Australia cuando se brinda un servicio de cosecha, cobran alrededor de U\$S 700 la hora de cosechadora más la cantidad de tractores afectados que sumarían U\$S 220 por tractor, lo que daría aproximadamente U\$S 1150 por hora, en otros países se parten de una base de rendimiento a partir del cual se cobra un extra por toneladas de granos cosechados. En nuestro país, para un cultivo de maíz de 10 Toneladas por hectárea debería ser de alrededor de U\$S 100 por hectárea según tarifa de FACMA.

#### Conclusiones

A medida que las cosechadoras incrementan su tamaño son más eficientes, pero el logro de esta eficiencia depende de las condiciones de los cultivos y de las capacidades logísticas. Una cosechadora de gran capacidad trabajando en una zona en donde los cultivos están por debajo del rendimiento medio del país, seguramente estará subutilizada lo que la hará más ineficiente. Por lo cual probablemente sería conveniente optar por una cosechadora de menor tamaño.

Es indispensable incorporar tecnologías de agricultura de precisión que ayuden a sacarle el mayor provecho a la capacidad de trabajo de las cosechadoras y para ello se trabaja y se supera día a día la tecnología aplicada.

La capacitación es un punto que no se debe descuidar tanto en los operarios de cosecha como los dueños a la hora de decidir la compra de una maquina como las actuales.

#### Bibliografía

Dr. J. De Baerdemaeker, 2010, Developments in Combine Harvester, 12° Curso de Agricultura de Precisión, pag 31.

Dr. Luis Marquez, 2013, Maquinaria Para la Recolección de Granos y Semillas, Cap II.

#### Agradecimiento.

Ricardo Garbers, Director Nacional de Contratista Rurales y de Insumos Agrícolas del Ministerio de de Agricultura Ganadería y Pesca de la Nación.

Sergio Marinelli, Contratista Rural y Profesor de Agrotécnica.

Dr. Josse De Baerdemaeker. Profesor de la Universidad Católica Leuven, Bélgica

Dr. Luis Marquez, Profesor de la Universidad Politécnica de Madrid, España.

### Importancia de la tecnología en las prestaciones de las sembradoras

Andrés Méndez

EEA IINTA Manfredi

Observando los nuevos avances americanos en equipamientos en cuerpos de siembra hoy una de las grandes novedades es que las empresas han logrado reemplazar al sistema distribuidor de semillas convencional que puede ser mecánico o neumático más el caño de bajada que traslada la semilla desde la placa al suelo por los nuevos sistemas que trasladan la semilla desde la parte que se encuentra cerca del depósito de semillas o en el caso de sembradoras air drill desde la carga de semillas a prácticamente muy cerca del suelo por medio de una noria con cangilones de goma (Precision Planting) o un cepillo pegado sobre una banda de goma (John Deere). Ambos sistemas recorren todo el largo del caño de bajada de las semillas pasando a ser el nuevo sistema de distribución.

La problemática actual respecto a la distribución se centra en que cuando la densidad de siembra es alta la distribución de semillas comienza a ser un factor a tener en cuenta porque una deficiente distancia entre semillas causa competencia entre las mismas y una disminución en los rendimientos potenciales de los cultivos. La peor condición de competencia entre plantas se da en las duplicaciones de semillas (caen dos semillas juntas).

Los sistemas convencionales tienen la problemática de la velocidad de avance de la sembradora y el aumento de la densidad de siembra. O sea, si la velocidad aumenta y a su vez aumenta la densidad comienzan a notarse deficiencias en la siembra dadas por la gran velocidad a la que debe girar la placa de siembra y esto se suma a los rebotes de las semillas en el caño de bajada.

Si se analiza el factor distribución para nuestro país por lo general las densidades de siembra más elevadas no superan las 5,5 semillas/m lineal y en las densidades más bajas puede estar en un promedio menor a 3 semillas/m lineal hasta en algunos ambientes se llega a poner una semilla/m lineal. O sea, en un planteo de siembra con una sembradora a 52 cm entre surcos y en el caso de que haya (105.600 semillas/ha) 5,5 semillas en el metro lineal el distanciamiento entre ellas debería ser de 18,2 cm y en el caso que haya (57.600 semillas/ha) 3 semillas/m lineal la separación sería 33,3 cm, mientras que lo más normal es que haya (76.800 semillas/ha) 4 semillas/m lineal y ahí el distanciamiento entre semillas es de 25 cm. Estas densidades de siembra entre 4 o 5 semillas/m lineal marcan un distanciamiento que el desvío estándar no sería el gran problema a resolver a la hora de regular la distribución de siembra. Básicamente toda sembradora regulada logra tener desvíos de 6 o 7 cm con lo cual ese desvío nunca dejaría en competencia entre plantas al cultivo si se toma la fórmula de EEUU que las semillas comienzan a competir cuando están en menos de 13 cm entre ellas.

En cambio EEUU siembra densidades entre 85.000 y 105.000 semillas/ha pero a 76 cm entre surcos lo que representa a 6,5 y 8 semillas/m lineal respectivamente y la separación entre semillas en 6,5 daría que si las semillas estuviesen equitativamente distribuidas estarían separadas a 15,4 cm entre ellas y en la densidad de 8 semillas/m lineal la separación sería 12,5 cm. Esto explica porque EEUU trabaja en mejorar constantemente el desvío estándar de la siembra y su mejor distribución dado que no le queda margen de error porque el cultivo comienza a competir. Si a su vez se requiere de mayor velocidad de siembra entonces se explica el trabajo en los nuevos sistemas de distribución.

El reemplazo de los distribuidores con placas alveoladas más el caño de bajada, por los sistemas donde existe una noria de goma que recoge las semillas desde el punto más alto y la transporta al punto más bajo del caño de bajada sin que se generen rebotes en ese recorrido permiten mejorar notablemente la distribución de las semillas en la línea de siembra. De tal manera que en EEUU se habla que estas sembradoras pueden sembrar entre 13 a 20 km/h.

Si aumentar la velocidad dependiera solo de la distribución, sería muy simple y se reemplazarían los distribuidores convencionales por los sistemas nuevos. Se podría decir que entonces estos sistemas podrían adaptarse en nuestro país sin mayores problemas. Pero en realidad ensayos realizados por INTA indican que hay un factor más determinante en el rendimiento de los cultivos y es la estabilidad en la profundidad de siembra. Diferencias en profundidades causan apariciones de las plántulas a destiempo y eso genera una mayor competencia entre plantas y una merma mayor en el rendimiento del cultivo de maíz.

También hay otras diferencias en los cuerpos de siembra americanos y que no solo consisten en la distribución, sino que poseen otro tipo de tecnología diferente a las sembradoras argentinas en lo que respecta el copiado del cuerpo de siembra (reemplaza los resortes convencionales por pistones hidráulicos), poseen celdas de carga que regulan la presión de las ruedas

limitadoras en el suelo dado que si el cuerpo ejerce muchos kg de presión en las ruedas limitadoras se compactará la zona de crecimiento radicular y las plantas crecerán con deficiencia nutricionales y de agua. Además poseen barrerastrojos regulables según necesidad del terreno y un monitor de siembra muy completo que arroja valores de distribución de las semillas, lo que brinda una idea si la siembra se realiza bien o mal en tiempo real.

Uno de los puntos que no se puede obviar en la discusión, es la condición del suelo en donde sembrará la máquina. Cuando la recomendación americana expresa que la sembradora puede ir entre 13 a 16 km/h aproximadamente, está mencionando una condición de suelo movido (no siembra directa) donde la sembradora va planchada al piso y donde prácticamente los cuerpos no saltan porque generalmente penetran con menos kg que en el promedio de los campos de nuestro país. Por otro lado en EEUU se siembra con lotes con mayor humedad y en muchos casos hasta en condición casi con barro. En Argentina esa condición no es la que más se presenta. Por ende los factores que cobran mayor importancia en nuestro país son en primer lugar lograr que las semillas queden a una misma profundidad de siembra o lo más pareja posible y para lograr esa condición el factor que hay que tener en cuenta es darle al doble disco y sus ruedas limitadoras la superficie de siembra lo más pareja posible.

En siembra directa para lograr la condición de superficie pareja se necesitaría el uso de barrerastrojos que realicen una muy buena limpieza de los rastrojos en la línea de siembra y el ancho de copiado que estará determinado por el ancho de las ruedas limitadoras de profundidad.

Con el planteo de esta problemática lo que se quiere destacar es que en Argentina con las condiciones actuales de rastrojo en superficie no se puede adoptar la tecnología americana tal cual viene desde EEUU. Por ello si se quisiera evaluar una sembradora en condiciones similares a cómo trabaja en EEUU se debería partir de una limpieza previa con barrerastrojos eficientes en la línea de siembra, otro factor sería poner las ruedas limitadoras de profundidad lo más finas posibles para que no copien el rastrojo que no logra mover de la línea el barrerastrojos, por otro lado las empresas de sembradoras argentinas podrían adelantarse y empezar a desarrollar algún dispositivo diferente para el copiado de la profundidad de siembra, y porque no desarrollar algún componente electrónico combinado con sensores para que la medición de la profundidad sea más dinámica, precisa y que no se vea condicionada por algún tipo de rastrojo que no sea removido por el barrerastrojo.

Si se logran solucionar estos puntos mencionados y básicamente un buen copiado en la profundidad de siembra, el aumento de velocidad empieza a tomar mayor fuerza dado que permitirá sembrar a prácticamente más del doble que la velocidad actual y eso permitirá tener sembradoras con mayor capacidad operativa, lo que a su vez logrará que la inversión se destine más a tecnología que a tener que aumentar el ancho de siembra.

Estos factores hay que tenerlos en cuenta por parte de las empresas de sembradoras y comenzar rápidamente a adaptarse al cambio que se desarrolló en EEUU porque no tenerlo en cuenta puede dejar fuera del mercado global rápidamente a las empresas de sembradoras que no tengan una alternativa competitiva.

Hoy nuevamente los desarrollos tecnológicos demuestran que son más importantes que los desarrollos en tamaño de la maquinaria.

## Sistema productivo americano e innovaciones en agricultura de precisión en el FarmProgress Show EEUU 2014

Ing. Agr. Andrés Méndez - INTA Manfredi

En el Farm Progress Show 2014 no se vieron grandes novedades a nivel agricultura de precisión, pero sí una fuerte tendencia de lineamientos de maquinaria, software y manejo con las herramientas que brinda esta tecnología. Hubo algunas tendencias diferentes a otros años respecto a la manera de trabajar en el campo con la tecnología disponible y como ésta se impondrá en el futuro cercano. Empresas y productores se van adaptando muy rápidamente a los cambios que se proponen en la producción agropecuaria a nivel mundial de avanzada. La temática agricultura de precisión conjuntamente con la maquinaria agrícola con aplicaciones tecnológicas muestra mejoras constantes y rápidas que se producen en EEUU. Las empresas deciden muy rápido sus cambios y estos se producen en el transcurso de un año, por no decir 6 meses en la mayoría de los casos. Los productores también poseen la mentalidad de adquisición, utilización y cambio de tecnología rápidamente y sin cuestionarse demasiado. Parece ser que tener esa pro actividad al cambio genera competitividad a los productores frente a sus vecinos y frente al mercado global.

Durante el 2013 lo más impactante fue observar cómo se estaba implementando la idea de trabajar con toda la maquinaria interconectada y enviando información a una nube (de datos) donde se cuelga la información a disposición de las personas que la necesitan y puedan utilizarla. Esto genera una mejora importante en la eficiencia de trabajo a campo, como así también a una generación de datos muy importantes para quienes sepan sacarle provecho. Este punto hace aproximadamente 5 años era totalmente inesperado y hasta el año pasado fue incipiente su aparición, pero este año ya es una realidad y una herramienta de marketing para todas las empresas de agricultura de precisión, empresas de venta de insumos, maquinaria con innovación técnica, etc.



Figura 1. Agco muestra cómo piensa el futuro de sus equipos funcionando en el campo mediante comunicación a distancia con el envío de datos a un teléfono celular o página de internet.

Respecto a esta metodología de recolección de datos es muy interesante como la compañía de insumos Monsanto se transforma en una empresa de servicios para los productores y adquiere varias empresas para ser competitivo a nivel mundial. Entre las empresas adquiridas los rubros son eficiencia de siembra y componentes de agricultura de precisión, una empresa de meteorología y una empresa de software como climate corporate. Con esta variedad de empresas de servicios puede mejorar sustancialmente el desempeño de sus híbridos y variedades a campo, dado que el gran desafío de las empresas que venden semillas es acercarse al potencial de rendimiento de los materiales que poseen y se prueban en laboratorio. Se entiende que parte del logro en el acortamiento de la brecha entre laboratorio y el desempeño en el campo se debe a factores de manejo, por lo cual la mejora de rendimiento es rápidamente cuantificable.

A su vez empresas como John Deere, Case, AGCO, Pioneer, Trimble entre otros van por el mismo camino para lograr una mejor fidelización con los clientes.

Tendencias que se imponen

Un ejemplo a citar es la tendencia en un rubro que los fabricantes americanos se sentían consolidados y seguros que duraría varios años más, referido a la utilización de los sistemas hidráulicos en las sembradoras. Durante el año 2013 se pudieron observar cambios de manera abrupta en la utilización de los motores eléctricos implementados surco por surco y colocados en el distribuidor de semillas, lo que brinda una independencia del ancho variable de la sembradora respecto a la densidad de siembra y al manejo surco por surco de las semillas. En el Farm Progress Show 2012 recién se lanzaban al mercado de EEUU los motores eléctricos y con una perspectiva poco clara, durante el año 2013 explotó en empresas líderes en uso de tecnología innovadora como precisión planting y Kinze. Durante el año 2013 en la empresa Case dijeron que la utilización de motores eléctricos instalados en el dosificador de las sembradoras iba a tardar varios años en incorporarse y este año 2014 la sembradora de la empresa Case que estaba en el stand poseía motores eléctricos en sus distribuidores de semillas. Queda claro que el avance del uso de los motores eléctricos fue contra todos los pronósticos e inclusive contrario al mensaje de los referentes técnicos de las empresas. A su vez la compañía John Deere también puso motores eléctricos en las sembradoras con lo cual, queda demostrado que el cambio se logra en menos de 2 años y de ésta manera se impone rápidamente el mercado de motores eléctricos en EEUU.



Figura 2. motores eléctricos de 3 amperes que producen el giro de los distribuidores.

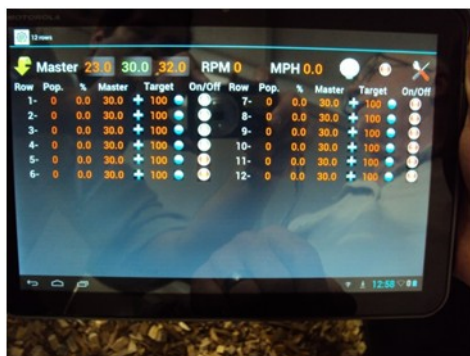


Figura 3. I pad que posee el control de los motores eléctricos.

Otro tema de relevancia y que se vio implementado, funcionando en conjunto y demostrando que ahora se pueden conectar diferentes monitores y sensores de diferentes marcas fue el sistema Iso Bus, y un ejemplo de esto fue la empresa Class que mostraba conectado a su monitor y sensores un monitor de la empresa Ag Leader donde visualizaban los datos que iban recolectando los sensores de su empresa. Con lo cual ya se ve como viable y aplicable este nuevo sistema en EEUU.

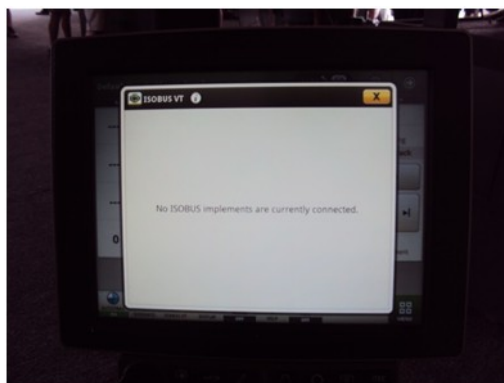


Fig. 4: monitor preparado para comunicarse con plataforma Iso bus.

La empresa Trimble mostró en el 2013 prácticamente lo mismo que en el 2012 pero que hoy está más que vigente dado que fue la que más rápido produjo cambios significativos. Sigue siendo una novedad la conexión a una nube de datos como muchas otras empresas que pretenden mostrar que los equipos están todos conectados y generando datos virtualmente. El monitor FMX es el caballo de batalla de la empresa y este monitor consiste en tener 4 cámaras filmadoras, 4 entradas de puertos USB y 2 receptores GPS, por el CFX 750 que posee entrada para 2 cámaras filmadoras, 2 entradas de puertos USB y un solo receptor GPS.

También tienen implementado la utilización del sistema RTX que permite ampliar las posibilidades de tener precisión a un menor precio y todo de manera satelital, o sea posee un error de no más de 4 cm y con un sistema Omnistar en otra banda de mayor precisión de trabajo.

Otra mejora en el producto easy pilot es que posee tecnología T3 que consiste en tener 3 giróscopos y 3 acelerómetros que le dan mayor confiabilidad al trabajo del piloto dado que sabe cuanto se mueve el implemento y por ende la antena GPS instalada en la parte superior del vehículo. RTX 4 cm y RTK 2,4 cm.

Mejoraron e intensificaron el sistema connected farm donde por medio de un teléfono celular con sistema android pueden seguir todas las actividades que transcurren en el campo trabajando con GPRS.



Figura 5. Sistema que hace posible que la maquinaria tenga comunicación en tiempo real por un sistema virtual.



Figura 6. sensor Green seeker para mediciones manuales de índice verde.



Siguen comercializando el avión que utilizan para obtener el mapeo de altimetría y posteriormente realizar la nivelación del terreno. Este avión funciona muy bien, por lo cual quieren adaptarlo para el agro y de esa manera sensor con cámaras multi-espectrales los cultivos en momentos más avanzados de su ciclo, además de lograr autonomía de trabajo.



Figura 7. Fotografía del avión que posee Trimble para relevar áreas de trabajo. Guiado por piloto automático.

Trimble además posee los controladores de dosis variable para estiércol líquido como sólido y donde están tomando gran importancia dado que el estiércol es muy variable en sus calidades, como así también los tipos de suelo son muy variables en los contenidos de P y si se fertiliza en dosis fija pueden aumentar los niveles de P del suelo haciéndose contaminantes. Los niveles de P admitidos como contaminantes son los que exceden las 200 ppm en el suelo, y ya existen algunos campos con esos niveles debidos a la aplicación de estiércol y/o purín de manera desmedida.

La firma Ag Leader mostró algunas mejoras en los equipos de guía automática, en algunos monitores, en el software con el que trabajan con envío de datos a una plataforma web y conectividad en el lote. Se sigue observando la tendencia a cambiar el sistema de copiado convencional como lo son los resortes en los cuerpos de siembra o el sistema ya conocido de pulmones neumáticos, por sistemas de mayor velocidad de acción como lo son los sistemas hidráulicos que responden prácticamente de manera instantánea en la reacción del cuerpo de siembra sobre las variaciones que le proponen los diferentes tipos de suelo. El sistema hidráulico demora centésimas de segundo, y en un segundo hace 5 mediciones de las condiciones de dureza del suelo y de la presión que aplican las ruedas limitadoras en el suelo.

El sistema hidráulico de Ag Leader, trabaja con tramos de la sembradora y no cuerpo por cuerpo respecto a la presión que realizara con el cilindro hidráulico. Para el funcionamiento de este sistema hacen falta alrededor de 10 litros de aceite por minuto para el funcionamiento de todo el equipo.



Figura 9. Fotografía de los dos sistemas de copiado de los cuerpos de la sembradora, a la izquierda se encuentra el sistema hidráulico y a la derecha el sistema de pulmón neumático.

La empresa Precisión Planting con la novedad del distribuidor y caño de bajada que posee una noria de cangilones de goma que recorre todo el largo del caño y le da precisión a la siembra dejando una semilla de otra a una distancia casi perfecta, elimina los rebotes y permite sembrar a velocidades elevadas de siembra cercanas a los 15 km/h en el caso de EEUU que la siembra es convencional y la sembradora tiene menos saltos en su cuerpo, pero a su vez deben tener un sistema de copiado como es el sistema de pistones hidráulicos que le brindan mayor estabilidad al cuerpo y eliminan prácticamente los saltos si se lo compara con los sistemas de resortes. A su vez las tendencias en el uso de los motores eléctricos y sistema de copiado de los barre rastrojos que son la sumatoria de factores para aumentar la velocidad de siembra. Esto no sería extrapolable a nuestro país dado que la siembra directa deja más desparejo el suelo y produce mayores saltos de los cuerpos de siembra.

Los motores eléctricos que se vieron en sembradoras Kinze, Case, John Deere, Precision Planting y otras marcas, permiten sembrar en curvas de nivel con una mayor precisión, regulando la diferencia de la densidad de siembra que dejarían las sembradoras con tren cinemático que une todos los distribuidores en el ancho de la máquina. Esto se produce en la siembra en curvas de nivel cuando la curvatura interna con mayores densidades y en la externa una menor densidad. Los motores eléctricos superan ese problema dado que se regula la densidad en cada cuerpo independientemente.

Una innovación fue el sistema de doble distribuidor y dos motores eléctricos en el mismo surco de siembra, para poder sembrar híbridos o variedades diferentes en lotes que poseen gran variabilidad y donde es rentable cambiar híbridos según ambientes de diferentes potenciales de rendimiento. Obviamente que posee dos tolvas donde se ponen los diferentes materiales a sembrar.



Figura 10. Dos distribuidores en el mismo surco de siembra .

El sistema hidráulico en lo que respecta al copiado del cuerpo de siembra es mucho más rápido en su accionamiento, en este caso y a diferencia del AgLeader es surco por surco y copia sin dejar presiones altas en la línea de siembra. El cilindro hidráulico de copiado puede variar desde 240 kg para abajo en presión y 180 kg para arriba.

Según ensayos de la firma precisión planting lograron respecto a las sembradoras convencionales de John Deere una mejora en el rendimiento de los cultivos con el sistema de copiado neumático de 250 a 500 kg/ha más y con respecto al sistema hidráulico versus al convencional fueron entre 400 a 800 kg/ha.

Según Sawyer el creador de la empresa precisión planting el cultivo de maíz se expresa en el desarrollo radicular de la misma manera que la parte aérea, o sea que tiene la misma altura que la profundidad de raíces.

Hacen dosis variable si las variaciones son de 20.000 semillas/ha, incorporaron la Ipad y programa fieldview de la empresa Monsanto para una mejora en el seguimiento de los ensayos (trazabilidad de procesos se podrán lograr con todo este equipamiento). Siembran a 1 pulgada  $\frac{3}{4}$  = 4 cm y para sembrar a esa profundidad el doble disco debe entrar a esa profundidad, la presión del doble disco tiene que variar para entrar a esa profundidad. No le preocupa la presión que hace el doble disco para entrar, sino que le preocupa más la presión que hacen las ruedas limitadoras sobre el suelo y que producen la compactación. La corona se forma a 2 cm por debajo de la superficie del suelo, la planta de maíz vive de la semilla hasta que tiene 13 cm de altura aproximadamente y si hay compactación lateral, las raíces no pueden alimentar a la planta y si las raíces de la corona no pueden atravesar la V se pueden perder 2 hileras y representar más o menos 1.000 kg/ha menos de rendimiento. Los pulmones neumáticos de precisión planting tienen dos pulmones, uno que hace fuerza para abajo y el otro levanta cuando se pasa en fuerza.

El sistema 20/20 delta forcé es un sistema hidráulico de accionamiento surco por surco y las diferencias con respecto al pulmón neumático son el tiempo de reacción que es mucho menor en el hidráulico. En neumático son aproximadamente 15 metros y en el sistema hidráulico es de menos de un metro. El sistema neumático controla por tramos de la sembradora pero sensa en todos los surcos, pero termina promediando, en cambio con el sistema hidráulico logran sensar surco por surco controlándolo rápidamente.

El sistema hidráulico trabaja a muy poca presión mientras esta sea positiva, o sea puede tener 5 libras de presión a 10 libras,

en cambio el sistema neumático puede tener 60 o 75 libras de presión. En el caso que en el sistema hidráulico la presión se tienda a hacer cero o negativa quiere decir que el surco se esta levantando y dejando la semilla mas en superficie. En el caso del sistema neumático le da mucha presión porque es lento para reaccionar.

La celda de carga mide la presión en las ruedas limitadoras de profundidad y en el caso del sistema hidráulico siempre hay que llevar a presiones positivas para su mejor funcionamiento, pero el limite de presiones positivas es mas bajo que en el sistema neumático. El sistema hidráulico testea la presión 10 veces por segundo.

El mensaje del personal de precisión planting diferencia según la capacitación de los usuarios y dicen que un usuario de sembradoras más novato lo primero que debe hacer es lograr que la sembradora trabaje pareja y no salte porque la semilla queda en diferentes profundidades, un usuario con más experiencia se fija en que no haya duplicaciones de semillas (o sea una sola semilla) y lo último que se fija es en la presión de las ruedas limitadoras de profundidad. Todos estos factores determinan rendimientos desde mayor a menor medida.



Figura 11. fotografía izquierda donde se muestra como la sembradora envía datos directamente de lo que va realizando a una pantalla que puede estar ubicada a distancia. La fotografía derecha muestra a través de banderitas como fue la distribución de las semillas en el campo.

La empresa Monsanto ha logrado el sistema integral de información geográfica basado en la agricultura de precisión y por ello es para destacar el trabajo de integración que está llevando a cabo en EEUU mediante la utilización de un software que puede ser compatible con toda la maquinaria que se utilice en el campo y con la genética específica que posee cada una de las empresas que ofrecen semillas a los productores agropecuarios.

Como se reinventa una compañía que ofrece insumos al productor en una empresa que además puede vender su servicio a los diferentes productores que desean ser más eficientes en la producción agropecuaria. Esta manera de reinventarse exige que en el presente y a futuro se deberá contar con una gran cantidad de personal muy diverso e interdisciplinario de diferentes áreas de la ciencia como de otras profesiones que se relacionen a la biología, al suelo, el agua y su movimiento en el terreno, las matemáticas para poder validar los modelos de simulación que posee el software en una de las opciones que le brindará al productor para poder decidir mejor que cultivos, en qué lugares y en qué momentos se deben sembrar.

La realidad hoy ha logrado indicar el verdadero cambio que se viene en los próximos años para la producción de alimentos con un seguimiento, certificación, calidad, eficiencia en la aplicación de insumos en cada uno de los ambientes que presentan los campos, una mejora de la eficiencia del funcionamiento de la maquinaria que realice procesos productivos y un valor agregado que permite diferenciar al productor que siga este camino del que no lo entienda.

El PhD. David Heering comentó como Monsanto diferencia servicios que brindará a los productores de la fecha en adelante y explicó cómo funciona el sistema Climate de la compañía. La diferenciación se mencionó como dos grupos climate basic y climate pro, donde cada uno está compuesto por 2 nombres que componen al sistema: 1- Climate Basic (Solum y Precision Planting) es un sistema solo para recoger datos y 2- Climate Pro (Precision Planting y Field Scripts) que se utilizan para siembra variable de maíz y soja y para ajustes de los cultivos a los ambientes donde se desarrollaran.

El software climate basic es gratis e informa sobre el clima, lluvias, comunican datos de cultivos para saber cuando fertilizar. Genera un informe sobre todo lo que se hace en los cultivos. También lanza alertas al celular por avisos de mal tiempo por ejemplo. Tienen una herramienta de muestreo que permiten guardar en un celular cierto tipo de información recolectada. Para aplicar este sistema necesitan la recolección de datos del estado americano, de los productores que se involucran y del propio Monsanto para mejorar la producción agropecuaria. En este proceso son de una real importancia el uso de los monitores de rendimiento y sensores que determinen cambios en los cultivos o simplemente puedan sensar el desarrollo de los mismos. Como conclusiones es que el software permite hacer la trazabilidad y correcciones futuras.

El sistema climate pro tiene todo lo del basic más otros factores que van a marcar riesgos de calor, temperatura de suelo, sequía, etc. Determinan un pronóstico para la siembra de un cultivo y pone los datos en un software y ese software predice o

recomienda estar sembrando otro híbrido o variedad de más días de maduración en cada lote en particular o en cada ambiente del lote. El software predictor utiliza datos de 30 años para lo referido a pluviometría por ejemplo. Otro predictor que se utiliza es el de la fertilización nitrogenada, dado que hay aplicaciones que en EEUU son contaminantes. Al predictor lo usan para hacer más eficientemente la aplicación del nitrógeno.

Utilizan las imágenes satelitales obtenidas de cámaras multispectrales para detectar enfermedades antes que las detecte el ojo humano. La herramienta se llama field health advisor (predice la sanidad del cultivo). Brindan 4 imágenes satelitales por ciclo del cultivo y el productor a los 2 días de haber pasado el satélite recibe la información ya procesada. No usan drones porque son ilegales en EEUU, pero seguramente esto sea modificado en el corto plazo.

A su vez la empresa Monsanto adquirió una empresa de Clima que justamente es la que permitirá predecir el estado de los cultivos que deberán sembrarse en cada lugar del campo y también adquirieron la empresa más precisa para sembrar que se encuentra en EEUU donde innovan cada año en sembradoras y el control para mejorar la producción del cultivo de maíz. Para ello siempre desarrollan innovaciones que van marcando la tendencia a nivel mundial en siembra. Hoy precisión planting desarrollo la sembradora de 2 híbridos a la vez para un mismo lote, donde a medida que avanza en diferentes ambientes del campo puede cambiar la semilla a colocar según potencial productivo del lote y potencialidad de rendimiento de las semillas a sembrar.

### **Realidad actual del productor americano con el uso de un nuevo planteo en la agricultura**

Para poder realizar un paralelismo entre la situación de los productores americanos y argentinos hay que entender cómo trabaja el promedio de los productores en EEUU.

Primero no se debe desconocer que el que trabaja los campos en EEUU es el mismo productor y su familia, por lo general no poseen empleados dado que tener un empleado en el establecimiento le cuesta 100.000 dólares al año. Por otro lado la unidad necesaria para que una familia pueda vivir en EEUU prácticamente se ha duplicado en los últimos 15 años (de 600 has a casi 1.200 has) con lo cual por ello se entienden los aumentos en los tamaños de la maquinaria, además de tener una ventana de cosecha muy corta y que deben cosechar en promedio 50 hectáreas por día para en menos de un mes lograr levantar todo el cultivo de su campo. El aumentar el tamaño de las cosechadoras permite que el productor pueda manejar su cosecha con la misma familia y no tener que contratar empleados, por lo cual se hace más eficiente la producción agropecuaria. O sea que el productor y su familia pueden llevar a cabo la producción agropecuaria con su equipo de siembra con una sembradora de 22 o 24 surcos a 76 cm de distanciamiento entre cuerpos, utilizan tractores de más de 300 CV, usan equipos para mover el suelo rastras, cinceles, etc, pulverizadora, cosechadora, camiones para transportar el grano, silos, tolvas que tienen sistema de seguimiento a la cosechadora sin tener operario (robot), etc.

Por lo general el productor vende el 70% de su producción antes de decidir la siembra y hace números sobre un valor ya fijado, lo que le permite conocer su rentabilidad antes de sembrar. También asegura su cultivo por un determinado rendimiento (que se calcula del promedio de rendimiento de los últimos 10 años en su campo) para no depender solo del clima y de esta manera el productor tiene los mínimos riesgos a la hora de sembrar. A su vez hoy los productores están utilizando software de toma de decisiones de manejo y lo aplican antes, durante y posterior al ciclo del cultivo, con lo cual le sacan mayor provecho a los datos que poseen. Los productores en promedio tienen más de 5 años de mapas de rendimiento y a esos mapas los consideran la información más valiosa que poseen para establecer un potencial productivo.

Los productores que este año se equivocaron en la comercialización de su producción como ser el que no vendió el cultivo con opciones a futuro y no fijó precios, hoy prácticamente están fundidos según comentarios de productores americanos, esto ocurre porque el precio de los granos bajó respecto al precio que tenía cuando se sembró. Por otro lado a los costos de siembra y fertilización ya los afrontaron. En cambio, productores que calzaron su precio a futuro en lo único que se preocupan es en producir más y por ello dicen que el rendimiento paga las cuentas. Hasta ahora el factor más importante de la producción agropecuaria primaria en EEUU es fijar un precio a futuro que asegure la rentabilidad, pero luego hay otros factores como son los rendimientos, la eficiencia de las máquinas, el uso de información, la utilización de software para decisiones de fertilización o cuidado de los cultivos, la elección de híbridos para cada ambiente del lote, la fertilización variable, la implantación de los cultivos entre otros factores que pueden mejorar los rendimientos.

Hoy muchas empresas de maquinaria agrícola y de insumos para el campo ofrecen servicios que son muy interesantes para los productores, como ser software para la toma de mejores decisiones para los productores.

Una vez más surge la discusión como ocurrió en el año 2000 donde los usuarios se preguntaban si la agricultura de precisión venía para disminuir operarios del campo. La realidad indica que la agricultura de precisión ha dado la posibilidad de integrar diferentes áreas al agro, con lo cual se podría estimar que para llevar a cabo toda esta labor, una empresa como Monsanto deberá contar con una gran cantidad de personas que puedan sumar habilidades a un software que podrá estimar lo que sucede en el campo con los cultivos, pero siempre dependerá del ajuste que realicen los técnicos y/o productores que más saben de sus lotes.

Los productores de precisión son realmente más competitivos a la hora de producir que aquellos que no usan la tecnología de precisión, con lo cual poseen mayor rentabilidad. Pero no quiere decir que por usar herramientas de agricultura de precisión sean mejores productores, simplemente deben aplicar los conocimientos que ellos poseen más las herramientas de agricultura de precisión para lograr mejores resultados.







Agricultura de Precisión del futuro