



# El potencial de la Agricultura de Precisión actual y futuro

**F. Scaramuzza\***; **C. Accoroni\*\***, **A. Méndez\***; **D. Villarroel\***, **J. Vélez\***  
*Módulo de Tecnología de Agricultura de Precisión - INTA EEA Manfredi*

## INTRODUCCIÓN

La agricultura de precisión ha logrado crecimientos muy grandes y hasta parecen increíbles durante los últimos 15 años en Argentina y el mundo. A partir de lo que se ha logrado hasta el momento y avizorando el futuro se podría estimar cómo sería el agro y la maquinaria relacionada para los próximos años de desarrollo.

Por un lado, se podrían definir diferentes conceptos, uno el meramente técnico, y por el otro todo lo referido a imágenes satelitales, lo relacionado al uso de software, hardware, sensores colocados en maquinaria o en terreno.

En lo que es meramente técnico, la tendencia es a los avances en conocimientos de los actores relacionados a poder anticipar la respuesta de los cultivos en cuanto a rendimientos potencia-

---

\* EEA INTA Manfredi, \*\* AER INTA Totoras

les para las diferentes zonas o ambientes en los campos. El uso de modelos predictivos cada vez más precisos y confiables pueden ser una de las herramientas más fuertes a tener en cuenta para un futuro cercano; pero que a la fecha no se ha logrado hacerlos realmente confiables, sobre todo en países donde no es tan simple predecir los factores climáticos con exactitud.

Los desarrollos de maquinaria que se pueden manejar a distancia son cada día más sorprendentes. Se llega a situaciones en las que una persona puede manejar varios equipos (robots) durante la siembra, pulverización y/o cosecha. Lo cual hace suponer que la agricultura va rumbo hacia donde todo podría programarse y hacerse más eficiente en cuanto a logística y mejora del trabajo de las máquinas a campo. Maquinaria inteligente que se puede reprogramar a medida que las condiciones del terreno o del cultivo cambian, son las líneas de trabajo que vendrán durante los próximos años.

El tamaño de la maquinaria respecto a su costo, prácticamente se encuentra al límite. En una situación en la que se pierde eficiencia, dado que los costos son muy altos cuando se los compara respecto a su tamaño y su eficiencia. Por ello, surge que durante los próximos años la mejora sustancial de esta relación dada entre las variables tamaño, costo y eficiencia va a estar determinada por la aplicación de tecnología que aumente la capacidad o eficiencia de la maquinaria, pero sin aumentar el tamaño y los costos sustancialmente.

Respecto a los desarrollos sobre imágenes satelitales, se están escuchando diferentes utilidades a futuro que, muchas veces, parecerían imposible de lograr pero que cada día se está más cerca de conseguirlas. Desde conocer con una imagen la calidad de los granos, determinar con gran exactitud los rendimientos de los cultivos antes de llegar a cosecha y por ambientes, lo que generaría una mejora en la logística productiva; definir los ambientes con enfermedades y poder cosechar las zonas de manera diferencial. Se podría decir que, a futuro, al rendimiento de los cultivos no lo estaría definiendo una serie de sensores montados en la cosechadora sino que se podría tener de manera más rápida y precisa con la utilización de imágenes satelitales.

## MAQUINARIA GUIADA

**Cosechadoras.** Respecto de la tecnología aplicada a maquinaria, se podría mencionar el uso del piloto automático y el tamaño de las plataformas. Un ejemplo de esto sería que una plataforma de lona de más de 40 pies y mencionando los desarrollos de 60 pies, ya no serían factibles de ser manejados con eficiencia por medio de un operario capacitado si no está relacionado a algún sistema de auto-guía. También, siguiendo en el rubro cosecha, se podría decir que este tipo de maquinaria si no se autorregula según flujos de cosecha, tendría una ineficiencia de productividad debido a la pérdida de capacidad de su potencial productivo.

**Sembradoras.** Si nos fijamos en el rubro siembra, los dispositivos de mejora en el copiado de los cuerpos de siembra permiten lograr una mejora sustancial del trabajo de los cuerpos de las sembradoras y las profundidades de siembra deseadas, como así también en la distribución de semillas. Con esto se

puede mencionar que una máquina sembradora podría ser considerablemente más chica en tamaño, pero con diferentes tipos de dispositivos podría aumentar su velocidad más de cinco kilómetros por hora, sin modificar la calidad de siembra. De esta manera se lograría una mejora en la relación de tamaño de la máquina con respecto a la eficiencia, sólo por tener dispositivos de mejora de su trabajo.

**Dosis variables.** En cuanto a las aplicaciones variables de insumos y manejo de cultivos también se estarían logrando sistemas de prescripciones a distancia y con mejora de exactitud en lo que respecta a diferenciaciones según ambientes. Hoy existen algunos desarrollos de este tipo, pero a futuro éstos tendrán mayor importancia.

Un punto que está muy de moda es lograr una nube de información virtual que permita consultas sobre diversos factores, como ser climáticos, de suelo, de relieve, de manejo, entre otros; lo que haría mucho más precisa la manera de contar con información calificada en tiempo real. Si a esta plataforma se le suma que cada máquina que esté trabajando en el campo envía la información en tiempo real a la nube, se podría lograr una trazabilidad de proceso en tiempo real y así acumular toda la información de la producción agropecuaria por proceso. Una ventaja de este sistema es corroborar cómo se produjo un determinado grano y/o alimento desde el campo a la góndola. Si alguna industria necesitara comprar un producto determinado podría acceder al mismo, cargando los datos deseados y buscándolo por internet. De esta forma, se enteraría en qué lugares del mundo poseen dicha materia prima y/o alimento deseado.

En fin, esta tecnología no posee límites y nos permite cada día ser más eficientes y profesionales en el manejo de información en la actividad agropecuaria. Para contar con algunas posibilidades de realizar trazabilidad en el campo es que se desarrolla el siguiente ejemplo de lo que sería lograr algunos pasos de mejora en la producción agropecuaria.

## TRAZABILIDAD DE LOS GRANOS CON PRECISIÓN

En el proceso productivo agropecuario, como en otros ámbitos de la industria y del comercio, la presión viene desde el consumidor final, demandante y conocedor de sus derechos. Este consumidor, generalmente situado en el extranjero, exige de manera contundente y persistente su derecho a conocer absolutamente todo acerca del producto que está comprando para consumir: su procedencia, lote, fecha de fabricación o envase, su código de identificación, etc.

En el caso del agro, los consumidores demandan cada vez más y mejor información sobre frutas, verduras y otros productos frescos; por lo que cada día es más habitual que se coloque identificación completa a estos productos. Estos son altamente trazables, porque cualquier error puede poner en riesgo la salud de las personas y dañar la reputación de las empresas comercializadoras e intermediarios que participen del comercio.

La seguridad del consumidor es un tema cada vez más crítico; en consecuencia, se han incrementado las exigencias de los productos agrícolas, de modo que tengan altos niveles de calidad y sean

producidos en condiciones ecológicamente responsables. Estas exigencias no sólo han sido planteadas por los consumidores finales, sino además por distribuidores de mercaderías, supermercados, etc.. Frente a esta realidad, las empresas agroindustriales deben garantizar la trazabilidad de sus productos; es decir, tener registro y control de los procesos, desde la procedencia de las materias primas con las que se elaboran sus productos hasta el producto final en la góndola. De este modo, aumenta la seguridad sanitaria y disminuyen los costos por pérdidas.

La trazabilidad es un proceso en el cual se registra toda la información correspondiente a los elementos involucrados en el historial de un producto, desde el comienzo hasta el final de la cadena de comercialización. Se define también trazabilidad como “aquellos procedimientos preestablecidos y autosuficientes que permiten conocer la historia, ubicación y la trayectoria de un producto o lote de productos a lo largo de la cadena de suministros en un momento dado, a través de herramientas determinadas”.

En resumen, se puede decir que la trazabilidad es “la capacidad de seguir un producto a lo largo de la cadena de suministros, desde su origen hasta su estado final como artículo de consumo”. Es decir, a qué proveedor se le ha comprado cada una de esas materias primas con las que el producto ha sido elaborado, cuáles fueron las variables de proceso y responsables de elaborar el producto y, finalmente, el detalle de los clientes a los que se ha enviado cada lote de producto elaborado en una empresa. Dicha trazabilidad “consiste en asociar sistemáticamente un flujo de información a un flujo físico de mercancías, de manera que pueda relacionar en un momento dado la información requerida relativa a los lotes o grupos de productos determinados”.

Las herramientas de agricultura de precisión no son ajenas al proceso de trazabilidad de la materia prima. Las mismas permiten registrar datos georreferenciados de todas las actividades que se realizan en tareas como la siembra, pulverización, cosecha, etc.. Esta información precisa se relaciona directamente con todo el historial del producto que fue registrado en las distintas etapas del proceso productivo. Dicho historial incluye: fechas y horas de los procesos, ubicación dentro del terreno, personal que manipula el producto por proceso, el tipo de producto y la variedad, tratamientos aplicados a las materias primas, volumen de aplicación (herbicidas, plaguicidas, fertilizantes, semilla, enmiendas, etc.).

La trazabilidad de los productos está concebida como un estilo de trabajo, que requiere el compromiso de los integrantes del sistema, para poner a disposición información confiable que permita cumplir con el objetivo de convertirse en una herramienta útil para la toma de decisiones. Este tipo de herramientas en poco tiempo van a ser las que nos permitan competir con alimentos en mercados exigentes, como el europeo, entre otros.

## TRAZABILIDAD EN LA SIEMBRA

El monitoreo o control de la siembra es clave para minimizar las fallas en la implantación de cultivos. La inversión en equipamiento se amortiza rápidamente por los beneficios económicos que esta tecnología brinda minimizando pérdidas y costos.

Además, los monitores de siembra, sean para dosis variables o no, brindan la posibilidad a través de los diferentes menús de pantalla de ingresar datos como nombre del lote, nombre del productor, localidad, variedad a sembrar, fecha, etc.. Esta herramienta garantiza la identificación de la procedencia de la materia prima (granos) que será destinada a producir diferentes productos alimenticios.

Sumado a ello, la tecnología permite determinar con gran precisión, a través de sensores, la densidad de semilla y la dosis de fertilización que se esté aplicando en el lote. Al acompañarlo con un GPS (Sistema de Posicionamiento Global), también se puede registrar la información de cada lugar del lote, lo que permite elaborar un mapa de siembra o aplicación (Figura 1). En cierta forma, este proceso certifica la calidad que se logrará de la materia prima si el ambiente no la modifica en su ciclo.

Con esta tecnología se garantiza la información inicial del proceso de generación de la materia prima, es decir el origen de la cadena de trazabilidad del producto. Es por ello que se considera de vital importancia el registro de la siembra de granos.

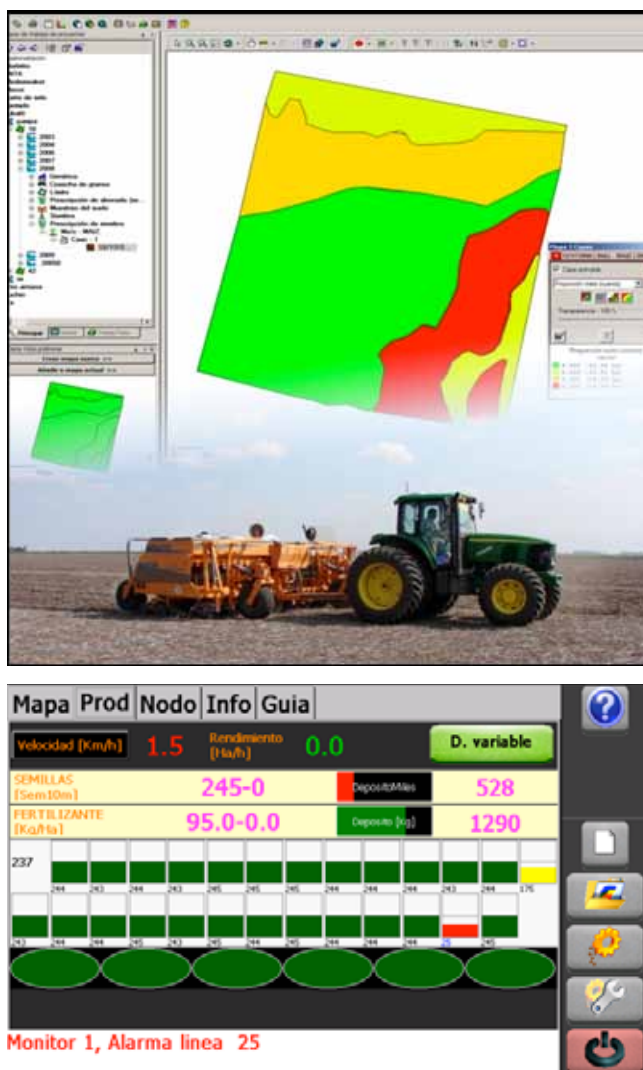


Figura 1: Mapa de aplicación o prescripción y registro observado en tiempo real a través del monitor de siembra.

## TRAZABILIDAD EN LA PULVERIZACIÓN

El Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA) creó el sistema de trazabilidad de productos fitosanitarios y veterinarios, para un seguimiento de la elaboración, producción, comercialización y uso de agroquímicos.

El sistema de trazabilidad de productos fitosanitarios y veterinarios “consiste en identificar, con códigos unívocos, cada unidad de los productos trazados”, que se pondrán a disposición de toda la cadena de comercialización en la base de datos a la que se puede acceder desde el sitio del SENASA.

A partir de esta normativa, los productos agroquímicos deberán consignar, en un soporte inviolable, el código de identificación global, el número de lote, número de serie, fecha de elaboración y fecha de vencimiento. De esta forma, se evita la adulteración de productos o la introducción al mercado de productos robados, elevando el nivel de calidad y seguridad de la industria para posicionarse a niveles internacionales de vigilancia sanitaria. (según [www.senasa.gov.ar](http://www.senasa.gov.ar)).

Desde el punto de vista de la inocuidad del producto, es de interés controlar y registrar la cantidad y volumen de fitosanitarios aplicados a la materia prima para lograr un producto final libre de tóxicos químicos. Esto es aún más importante cuando se trata de verduras frescas, frutas u algún otro alimento de consumo directo; siendo diferente con los cultivos de grano que formarán parte de las materias primas en productos de nutrición para consumo humano.



Figura 2: Información observada en la pantalla de un monitor de pulverización.

Las computadoras de aplicación que se utilizan en las pulverizadoras tienden a dar registro de la aplicación que se realiza en los cultivos y barbechos. A partir de esta herramienta se puede tener una trazabilidad fitosanitaria del cultivo y el lote, donde quedará registrado y certificado el momento, lugar de aplicación, el producto que se utilizó y la dosis aplicada. Además, en poco tiempo se podrá contar con el registro de las condiciones ambientales en las cuales se aplica dicho producto (Figura 2).

Las diferentes computadoras cuentan en la mayoría de los casos con GPS, que posibilita tener el registro de la aplicación en forma de mapa georreferenciado, se puede decir que esta tecnología permite tener una trazabilidad fitosanitaria del proceso de producción del grano que será destinado a consumo humano o diferentes cadenas.

## TRAZABILIDAD EN LA COSECHA

Las diferentes computadoras de cosecha generan mapas de rendimiento en tiempo real. Las mismas informan el rendimiento y la humedad del grano, superficie cosechada, kilogramos por lote, promedios, velocidad de avance, entre otros datos, que acoplados a un GPS son georreferenciados y almacenados en una tarjeta de memoria. Esta información es trascendental para tener un seguimiento del lugar de procedencia de los granos que pasaran a ser procesados para diferentes usos (Figura 3).

Es importante tener presente que el contenido de proteína en el grano es altamente influenciado por la fertilización nitróge-



Figura 3: Monitores de rendimiento con información en pantalla utilizada por el operario y que luego quedará georreferenciada en el mapa de rendimiento.

nada, la cual debe realizarse en dosis recomendadas teniendo en cuenta los diferentes ambientes dentro de un lote. Trabajos realizados por Ferraris (2009), indican que cuando el nivel de rendimiento es muy alto o muy bajo es necesario intervenir con una refertilización para modificar el contenido proteico del grano y obtener un producto de calidad dentro de las normas de comercialización.

A partir de 2006, el grupo de trabajo del proyecto de Agricultura de Precisión del INTA viene realizando pruebas con el monitor de calidad “Zetex” Accu Harvest®, logrando resultados alentadores en cultivos de cebada, trigo y soja. En la zona de Tandil (Buenos Aires), se evaluaron experimentos en franjas con diferente fertilización en cebada, donde se observó una correlación positiva entre la fertilización nitrogenada y el nivel proteico del grano (Bragachini et al, 2006). Sobre el mismo cultivo, en la zona de Pampayasta (Córdoba), bajo una fertilización uniforme se pudo apreciar una respuesta inversamente proporcional entre el rendimiento y el contenido de proteína (Bragachini et al, 2008).

También en soja bajo riego se pudo observar una relación directamente proporcional entre el rendimiento y el contenido de aceite y una respuesta inversa en el porcentaje de proteína (Bragachini et al, 2007).

En el área del partido de Tres Arroyos, la presencia de tosca tiene una influencia importante en el perfil del suelo, por lo cual resulta relevante analizar las relaciones entre las variables rendimiento y proteína en el cultivo de cebada cervecera, en función de la profundidad de la tosca. Análisis anteriores mostraron una alta correlación entre el rendimiento alcanzado por el cultivo y la calidad del grano, observándose que en los lugares donde el rendimiento fue alto el contenido de proteína del grano decreció de manera inversamente proporcional.

Este sensor, ya probado en nuestro país, brinda un aporte importantísimo a la trazabilidad de diferentes granos, indicando la calidad que pueden presentar los mismos en cuanto a proteína y aceite, dependiendo del cereal que estemos tratando.

En este tipo de ambiente con zonas claramente diferenciadas, se podría programar la fertilización para optimizar la calidad del grano a cosechar y resultaría posible segregar el grano producido por ambientes en función de su calidad (Figura 4).

De la misma manera y en el caso supuesto que un ambiente expresara niveles superiores o inferiores a los exigidos en los estándares de comercialización, la disponibilidad de equipamiento para la determinación del contenido de proteína, permitirían segregar en tiempo real el grano de mejor calidad para obtener un beneficio adicional del mismo y no disminuir su valor en la comercialización del cereal considerándolo un lote uniforme (Bragachini et al., 2008) (Figura 5).

## CONCLUSIÓN

En conclusión, se puede decir que la trazabilidad es una herramienta útil y necesaria en la cadena agroalimentaria, dado que permite garantizar la protección de los consumidores cuando se detectan fallas en la seguridad alimentaria. Ade-

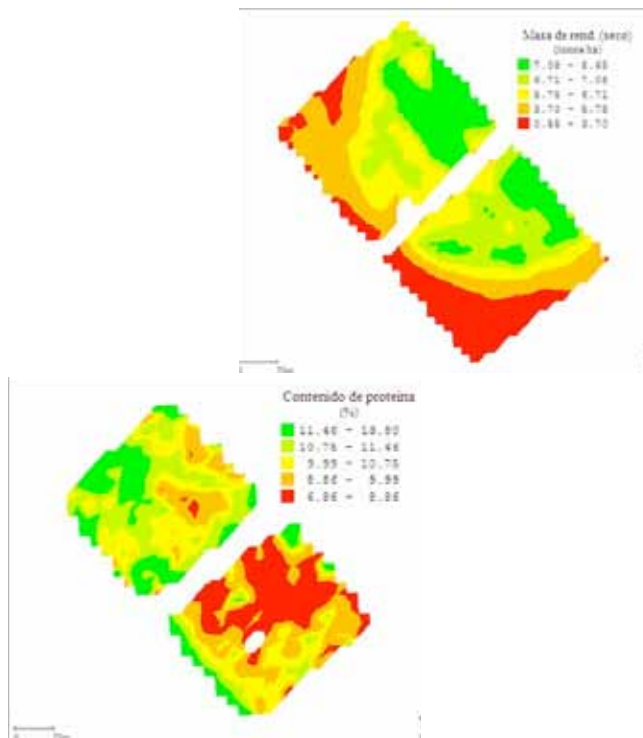


Figura 4: Mapa de rendimiento y proteína de un trigo conducido bajo riego en la EEA INTA Manfredi, provincia de Córdoba.

más, facilita a los operadores el control de procesos y gestión interna, contribuye a la certificación o acreditación de productos, a la localización rápida de partidas con problemas y a la toma de decisiones a tiempo y certeras.

A los consumidores, la existencia de estos mecanismos de control les brinda transparencia y confianza. En definitiva, facilita la delimitación de responsabilidades de los sujetos que intervienen en cada etapa de producción, transformación y distribución de un alimento y su identificación.

En base a lo observado, las herramientas que brinda la Agricultura de Precisión permiten garantizar y en cierta manera certificar mediante el registro, el control en la producción primaria. De esta manera, se podría identificar la procedencia de los granos y diferenciar su calidad y valores a partir de su trazabilidad de procesos.



Figura 5: Sensor de calidad de grano ubicado en la noria de la cosechadora y monitor visualizador y registrador de datos.