



Proyecto Agricultura de Precisión

Esta nueva tecnología surgió en nuestro país durante el año 1995, de la mano de INTA con el apoyo inicial de algunas empresas del sector privado como D&E, Tecnocampo, Agrometal, A&T, Agrimax, Acopio Arequito, entre otras. La Agricultura de Precisión se concibió desde EE.UU. como un círculo que se retroalimentaba año a año y donde el único objetivo culminaba con la realización de dosis variable de insumos. O sea, que se incorporó la idea de utilizar la tecnología de información para adecuar el manejo de suelos y cultivos a la variabilidad natural y/o inducida presente dentro del lote.

Dentro de esta tecnología se cuenta con herramientas claves dentro del sistema, como lo son el GPS y la electrónica, medios para recopilar datos en tiempo real sobre lo que sucede o sucedió en un cultivo.

En el período posterior a la devaluación -año 2001/02-, las empresas desarrollistas de electrónica, hidráulica y de maquinarias de alta complejidad, iniciaron un proceso de fortalecimiento con resultados positivos en lo que respecta a tecnología de control y automatización de maquinaria agrícola nacional. Como consecuencia, muchas empresas pymes se fortalecieron en el desarrollo de **sistemas controladores**, entre los que figuran los monitores de siembra, registradores de eventos o actividades (registran un mapa de velocidad, día de cosecha y hora del día en que se realiza esa actividad), banderilleros satelitales, y otros.

El desarrollo de monitores de rendimiento todavía es un tema pendiente en nuestro país. Además de ser una tecnología útil para el control, es muy importante a la hora de recopilar datos para una futura toma de decisiones, como pueden ser la elección de variedades y/o híbridos, dosis de fertilización en cultivos como el maíz y el trigo, distanciamiento entre hileras en siembra en soja y trigo, calidad del grano en lo que respecta a aceite, grasa y proteína en trigo, control de malezas y enfermedades, etc.

Dentro de las herramientas de Agricultura de Precisión, los mayores desarrollos se vieron en los monitores para dosis variable, y en especial, en la realización de un monitor navegador y actuador de dosis variable que permite cambiar hasta tres productos independientemente durante la siembra, sobre una recomendación que se carga previamente desde la computadora. También existen monitores de industria nacional que pueden obtener un resultado similar en pulverizadoras, variando el fertilizante líquido según prescripción.

En este texto nos referimos a algunas de las herramientas que posee la Agricultura de Precisión, aunque vale la pena destacar que Argentina dispone de todas las herramientas que se encuentran disponibles en el resto del mundo: los software, sensores remotos (fotografía aérea, imágenes satelitales, etc.), sistemas de guía (como lo son el autoguía y el volante hidráulico), NIRS sensores en tiempo real de proteína en grano (se mide en la noria de la cosechadora), Green Seeker, N sensor (sensores que se basan en leer biomasa e índice verde del cultivo y tienen la posibilidad de hacer la aplicación variable de fertilizante

nitrogenado a medida que atraviesa la variabilidad expresada en el cultivo). Estas herramientas, pueden llegar a ser algunas más costosas que otras y con mayor o menor aplicación que otras a campo, considerando el costo de la inversión más la información base que se posee en nuestro país.

Evolución de las ventas de algunas de las herramientas de Agricultura de Precisión

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005*
Monitores de rendimiento TOTAL	50	200	300	450	560	600	850	1300	1500
Monitores de rendimiento con GPS	25	75	155	270	400	420	600	900	
Monitores de rendimiento sin GPS	25	125	145	180	160	180	250	400	
DV en sembradoras y fertilizadoras	3	4	5	6	10	12	25	40	120
Banderillero satelital avión	35	60	100	160	200	230	300	450	470
Banderillero satelital pulverizadora	0	10	70	200	400	500	2000	2600	3100
Sensores de N en tiempo real	0	0	2	2	4	5	6	7	7
Auto Pilot (piloto automático)	0	0	0	0	0	0	0	3	20

Herramientas de Agricultura de Precisión:

a- Controladores:

- 1- Monitores de siembra.
- 2- Monitores de pulverización.
- 3- Monitores registradores - controladores de siembra, pulverización, cosecha y cualquier otra actividad que requiera del control de velocidad, del caudal de pulverización, hora y fecha de realización de las actividades.
- 4- Monitores de rendimiento.
- 5- GPS, banderilleros satelitales y autoguía.

b- Para obtención de datos útiles con el objeto de tomar decisiones:

- 1- Monitores de rendimiento.
- 2- Monitores de proteína, aceite, grasa y humedad de grano.
- 3- Sensores en tiempo real de biomasa e índice verde del cultivo y rastras de conductividad eléctrica.
- 4- Fotografías aéreas e imágenes satelitales para obtener índice verde.

c- Para análisis de datos y realización de recomendaciones (dosis variable de insumos):

- 1- Software.
- 2- Navegadores específicos y palm top.
- 3- Controladores variadores de densidades de semilla y dosis de fertilizantes.

Si tenemos en cuenta la cantidad de herramientas que existen en el mercado de esta tecnología que se denomina Agricultura de Precisión, y que todas estas están destinadas a realizar un trabajo que brindará mayor calidad, control, registro de datos y mayor precisión a la hora de definir diferentes alternativas de manejo o decisiones sobre que se podrá realizar a futuro, podemos definirla como una herramienta que engloba muchas especialidades, con las cuales, haciéndolas interactuar, podría mejorarse el manejo de los cultivos, la productividad y la conservación del ambiente.

A modo de ejemplo, un **monitor de rendimiento** podría colaborar en la recolección de datos y dar información sobre el rendimiento de los lotes y de cada ambiente dentro de cada lote; a su vez, podría estar definiendo zonas para caracterizarlas y conocer con mayor precisión las causas de la variabilidad de los rendimientos. También estos monitores tienen una función en pantalla que nos permite ver el flujo de granos, medido en toneladas hora, que ingresan a la tolva de la cosechadora, lo cual, colaboraría a reducir pérdidas de cosecha ya que cada cosechadora posee una capacidad máxima de procesamiento de material, y por encima de esta capacidad, la máquina comienza a ser deficiente en la trilla. El monitor también entrega información sobre ensayos comparativos de rendimiento, fertilizantes aplicados, variedades de soja utilizadas, velocidades de siembra, entre otros datos que seguramente ayudan a tomar decisiones importantes para la próxima campaña.

Monitores de proteína, aceite, grasa y humedad: el caso específico de la proteína en grano, es de suma importancia en trigo, cebada y también se tiene la posibilidad de medirlo en maíz y soja. Esta medición facilitaría la segregación de los granos por calidad a nivel de lote, pudiendo almacenar el grano en silos separados según el porcentaje de proteína que posea, lo cual, mejoraría las condiciones de comercialización para los productores y para la industria, un beneficio en conjunto.

Monitores de siembra: estos monitores son controladores de siembra, y mediante alarmas gráficas y sonoras, evitan fallas de siembra. Este sistema informa al tractorista sobre el funcionamiento de cada hilera de siembra, si la sembradora tiró o no semilla, y en qué porcentaje menos de semilla dosificó cada uno de los surcos. Estos monitores brindan información muy valiosa, con la cual, posibilita construir mapas de siembra que muestran lo sucedido en el campo.

Controladores y/o actuadores: son productos que en un principio fueron totalmente importados, y que actualmente han llegado a un nivel muy alto de desarrollo en nuestro país, superando incluso, en algunos casos, a los importados en cuanto a prestaciones y precios. Estos productos logran distribuir, mediante una recomendación de dosis de fertilizantes y densidad de siembra, los insumos variables según la necesidad de cada sitio en particular, evitando de esta manera la sobredosificación o la subdosificación, lo que permitiría a la vez aumentar el resultado económico en algunos casos, aumentar los rendimientos en otros, y en otros casos evitar la contaminación.

Software específico: el desarrollo de software es muy importante, dado que, mediante la potencialidad de estos programas, se pueden analizar resultados de una manera sencilla y fácil. La potencialidad de estos programas de trabajar con datos georreferenciados y asociarlos a programas estadísticos, sometiendo esos datos a análisis deseados es lo que en este momento brinda un aval de los resultados obtenidos. Esta herramienta permite que el usuario tenga a disposición una potencialidad de análisis muy certera.

Sensores en tiempo real: estas herramientas poseen un gran futuro, aunque por el momento, se carecen de datos acerca de cómo responde un cultivo a las diferentes combinaciones de tipos de suelo y porcentajes de micro y macro nutrientes disponibles, como así también, a las diferentes condiciones de variabilidades existentes.

Imágenes satelitales y fotografías digitales: en este rubro queda mucho por trabajar; de todos modos, con los datos que se manejan hasta el momento, podrían correlacionarse grandes patrones de variabilidad como dato inicial para la caracterización de zonas de manejo y diferencias en índice verde y biomasa de los cultivos.

Banderilleros satelitales: el uso de los banderilleros satelitales tanto en aviones como en pulverizadoras autopropulsadas, no tiene en este momento ningún factor negativo para ser analizado. El banderillero es muy útil, ya que no dependemos del horario para aplicaciones de algunos productos químicos y/o fertilizantes, y a su vez, se evitan problemas de contaminación o intoxicaciones al evitar el trabajo con personas como marcadores de cada pasada.

Importancia de la variabilidad y propuestas acerca de cómo manejarla

Respecto a las diferentes situaciones que se suelen dar a campo, pueden mencionarse diferencias a la hora de obtener información de ensayos según el grado de variabilidad que exprese un lote.

Por ejemplo, hay campos que no poseen variabilidad de suelos, relieve, ni de diferentes tipos de manejos anteriores. En estos campos, no deberíamos tener como objetivo manejarlos a futuro con insumos variables, dado que las inversiones realizadas en esa maquinaria para hacer las variaciones difícilmente se recuperen económicamente (Fig. 1). En estos casos, se podrían estar buscando resultados sobre factores de manejo e información sobre distintos tipos de ensayos en diferentes cultivos como trigo, soja, maíz, sobre distintas dosis de fertilización, diferentes velocidades de siembra, diferentes cultivares, etc. Estos ensayos mejorarían el criterio técnico para ser más eficientes en el manejo promedio tradicional, obteniendo allí, un beneficio económico concreto sin tener que llegar a la dosificación de insumos variables.

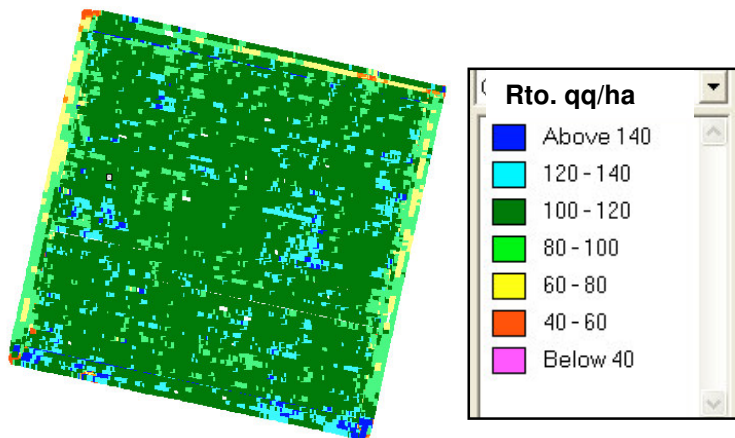
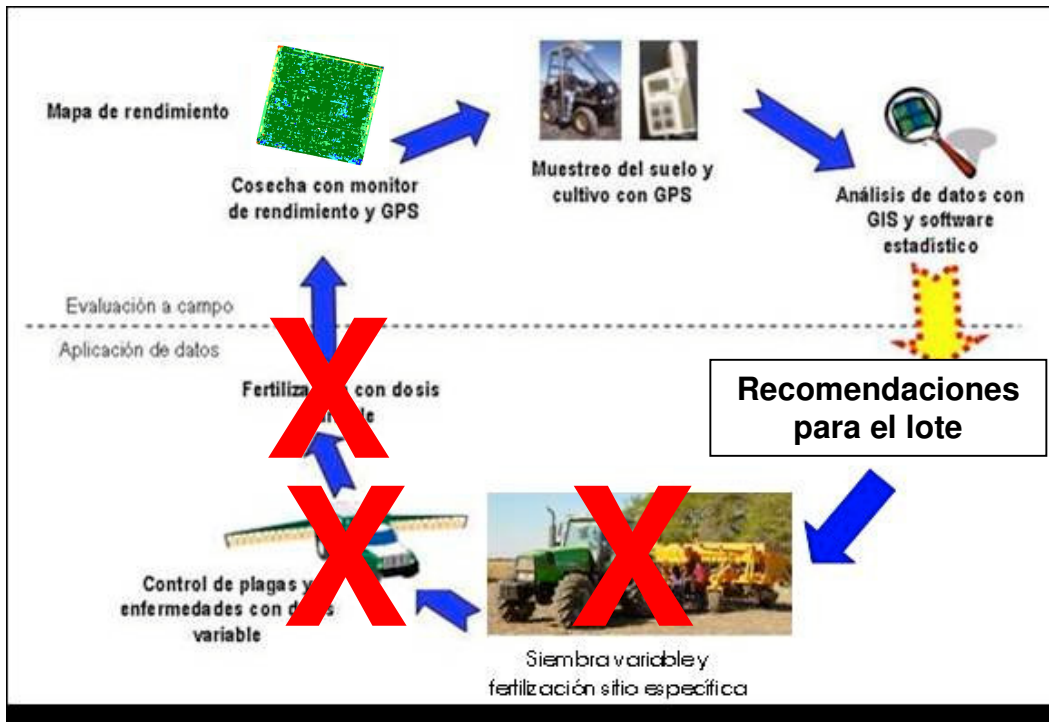


Fig. 1: Mapa de rendimiento con escasa variabilidad como para decidir dosis variable.

En caso de que el lote no presente variabilidad como para ser manejada en diferentes sitios, la utilidad de la tecnología de Agricultura de Precisión se restringe muchas veces a la recolección de datos de factores de rendimiento, y al mejoramiento de los insumos en forma

tradicional; para esto, la metodología de ensayos de máquina dividida es una excelente alternativa.



Cuando se presentan lotes con alta variabilidad de rendimiento, ya sea por relieve, tipo de suelos o manejo anterior, podemos estar recopilando información de gran valor como en el caso del mapa anterior, aunque con mayor utilidad, dado que estos resultados se amoldarán a los diferentes sitios que presente el lote; o sea, los sitios serían las zonas a manejar como unidades diferentes (Fig. 2). Sitios de alta potencialidad y de baja potencialidad de rendimiento, serían los extremos, y dentro de ellos habría varios sitios intermedios -siempre que sea factible su manejo diferencial-.

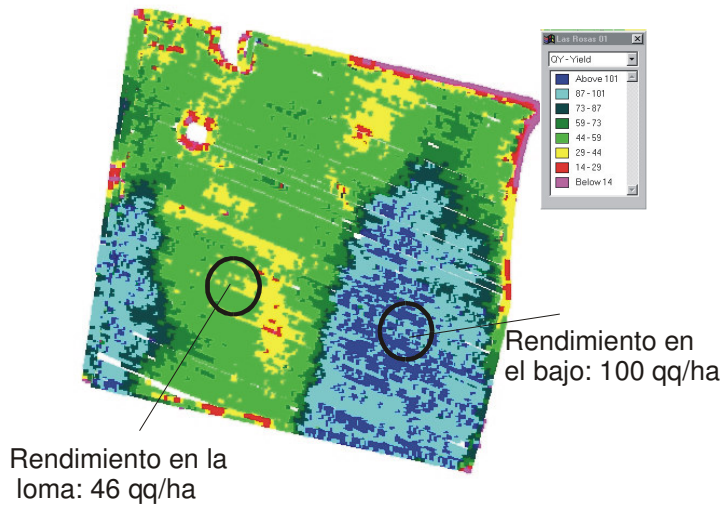
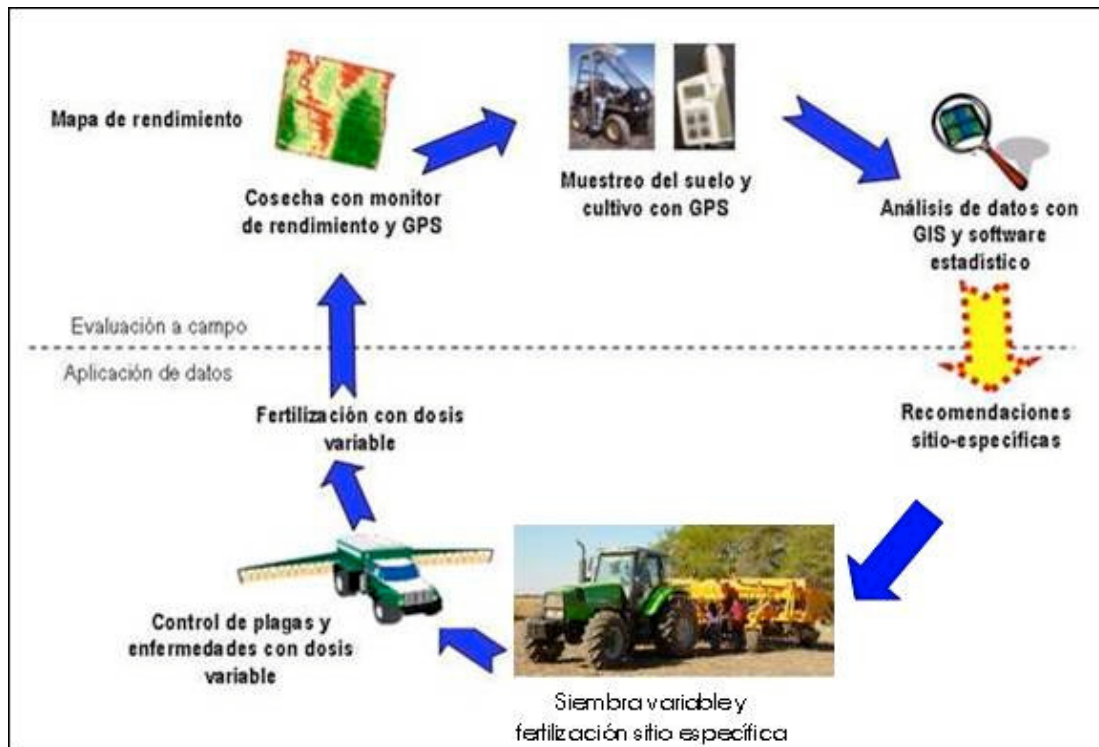


Fig. 2: Mapa de rendimiento con alta variabilidad, lo que alienta a la realización de dosis variable de insumos. Sería muy importante caracterizar los ambientes por medio de muestras de suelo, para conocer las variaciones en las aplicaciones de insumos.

En lotes como el de la Fig. 2, podemos observar que la variabilidad está presente de manera muy importante, y que podrían determinarse 2 sitios claramente definidos a los que pueden caracterizarse por medio de muestreos de suelo dirigidos, y así, poder realizar un manejo diferencial de insumos, variedades, híbridos, dosis de fertilización, distanciamiento entre hileras, etc.; de esta manera, el círculo de la Agricultura de Precisión se cumple, como puede observarse a continuación:



Ensayos realizados en Maíz y Soja

Como ejemplo de uno de los ensayos realizados por el Proyecto Agricultura de Precisión, se muestra un lote de la Localidad de Pampayasta -Pcia. de Córdoba-. Allí, se utilizó un sistema de dosis variable con 3 insumos (a variar) durante la siembra (semilla, fertilizante en la línea y fertilizante al costado).

El sistema utilizado fue el de Verion – Agrometal, y consiste en un monitor navegador controlador de dosis y densidades de fertilizante y semilla respectivamente. Es un sistema electro hidráulico, donde motores hidráulicos son los que hacen variar los insumos según las RPM (relativas) que se transmiten al tren cinemático de siembra y fertilización.

Funcionamiento de la sembradora de dosis variable

La información que el asesor indica que tiene que ir dosificando la sembradora en cada sitio del lote es la prescripción. La programación se inicia confeccionando la prescripción de semilla y/o fertilizante variable dentro del lote a sembrar con sus correspondientes coordenadas GPS de acuerdo a la información disponible y al conocimiento agronómico del asesor.

Para ello, se pueden utilizar diferentes software que puedan leer archivos Excel y realizar archivos con puntos georeferenciados (latitud y longitud) que posean los cambios de dosis y densidad correspondientes.

Luego, esa información se ingresa a un programa específico de Verion llamado MapEdit, que es muy sencillo, y es útil para leer la prescripción. El último paso, consiste en ingresar los datos elaborados de la computadora al monitor que va en la cabina del tractor.



Fig 3: Ubicación del monitor Verion (arriba) y monitor de siembra Agrometal (abajo), en la cabina del tractor.

Fig 4: Detalle de monitor Verion para dosis variable, manual o satelital.

El monitor de la Fig. 3 (arriba), es un navegador de 3 canales que sirve para aplicar 3 productos variables en tiempo real (único en el mundo) y de manera independiente. Este monitor Agrometal es para siembra, y mide velocidad, indica la densidad de siembra, la distribución de la semilla y mediante una alarma muestra si algunos de los cuerpos de siembra se quedan sin semilla.

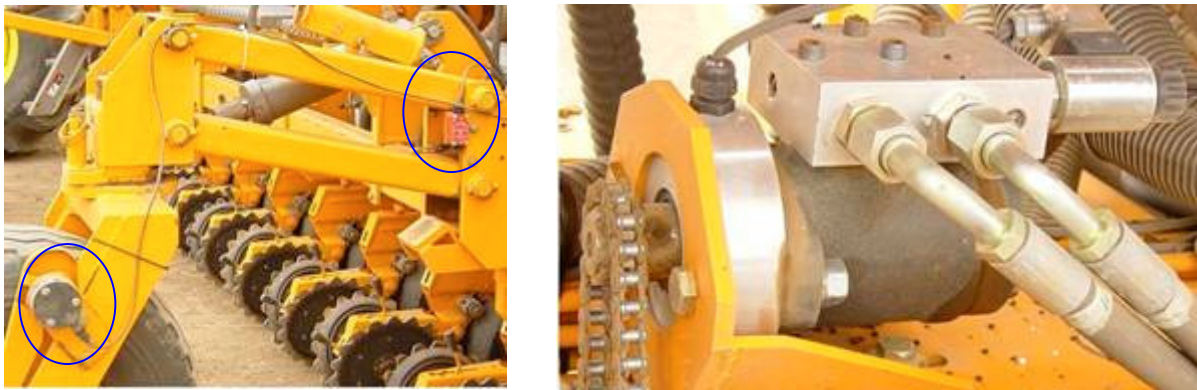


Fig. 5: Sensor en la rueda y activador de siembra, al momento que la máquina está clavada.

Fig. 6: Detalle de uno de los 3 motores hidráulicos variadores de vueltas del tren cinemático para dosificar variable tanto semilla como fertilizante.

Caso 1: Problemas de Génesis de Suelo (alto contenido de sodio superficialmente versus suelo sin problemas de sodio. Situación que se da en un mismo lote de 40 ha de ensayo).

Pasos que se realizaron para recopilar información, con el objetivo de hacer aplicación variable de insumos (semilla, fertilizante en la línea y fertilizante al costado).

Paso 1: Análisis de 2 mapas de rendimiento, en este caso, uno de soja y otro de maíz, para definir áreas diferentes.



Fig. 7

Paso 2: Planificación de un muestreo de suelos dirigido a las zonas que marcaron diferencias de rendimiento los mapas de rendimiento anteriores (soja y maíz).

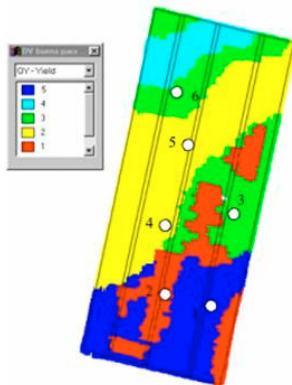


Fig. 8: Los círculos blancos marcan los lugares de donde se extrajeron las muestras de suelo (muestras de suelo compuestas por 10 submuestras en las profundidades de 0-20 cm y 20-40 cm)

Paso 3: Con los resultados de las muestras de suelos (compuestas por 6 submuestras) y extraídas de cada zona homogénea, se caracterizaron los ambientes y se determinó una recomendación de aplicación de insumos por ambientes diferentes. Se realizaron 3 franjas de testigo o dosis fija (siembra como realizaba el productor años anteriores) que atravesaban la variabilidad del campo como marca el siguiente mapa. De esta manera, la dosis fija o tratamiento testigo nos sirve para comparar con los resultados de la dosis variable.

Testigos dosis fija

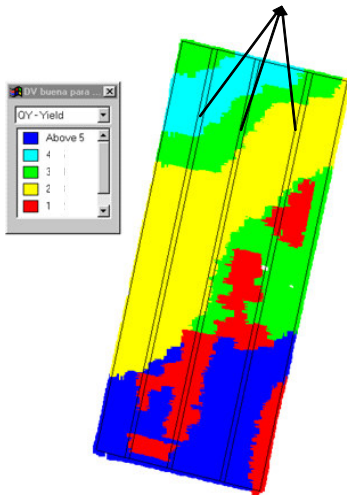


Fig. 9: Este cuadro muestra la superficie en hectáreas que ocupaba cada zona de manejo. Los insumos de la dosis fija o testigo (que es la que el productor realizaba otros años), los insumos variables según zonas y las diferencias en cantidad de insumos aplicados por zonas.

	Sup en %	0.15525	0.331	0.20225	0.0775	0.208
	Sup en ha	6.21	13.24	8.09	3.1	8.32
	Insumo	1	2	3	4	5
Dosis Variable	Urea	0	190	0	95	60
	Semilla	40000	85000	60000	75000	75000
	Pmono	0	50	50	50	50
Dosis Fija	Urea	100				
	Semilla	80000				
	Pmono	80				
Diferencial	Urea	-100	90	-100	-5	-40
	Semilla	-40000	5000	-20000	-5000	-5000
	Pmono	-80	-30	-30	-30	-30

Paso 4: Se compararon los rendimientos de la aplicación variable con respecto a la dosis fija (siembra como realizaba el productor años anteriores) en el mapa de rendimiento correspondiente (cosechado año 2005) y se extrajeron los siguientes resultados económicos. **Vale aclarar que dicho productor perseguía solamente el objetivo de obtener resultado económico.**

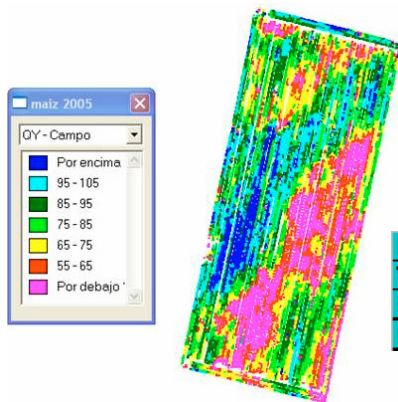


Fig. 10: El cuadro muestra los rendimientos por zonas de aplicación variable versus los de la dosis fija y muestra las diferencias de rendimiento en toneladas por hectárea a favor o en contra (signo -).

Rendimiento	1	2	3	4	5
Variable	5.85	10.54	7.54	8.53	9.14
Fija	6.36	9.86	7.97	9.17	9.14
Dif	-0.51	0.68	-0.43	-0.64	0.00

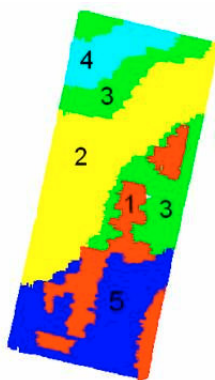


Fig. 11: Este cuadro muestra los resultados económicos relacionados con los insumos aplicados y el rendimiento logrado por zonas. Nótese que la zona 4 causó pérdidas económicas debido a que no fue caracterizada por el muestreo dirigido, al no ser tomada en cuenta por las pocas hectáreas que significaba.

	1	2	3	4	5
Ingreso	(\$117.30)	\$156.40	(\$98.90)	(\$147.20)	\$0.00
Semilla	(\$151.68)	\$18.96	(\$75.84)	(\$18.96)	(\$18.96)
Urea	(\$153.59)	\$138.23	(\$153.59)	(\$7.68)	(\$61.44)
Pmono	(\$119.88)	(\$44.95)	(\$44.95)	(\$44.95)	(\$44.95)
Resultado	\$307.85	\$44.16	\$175.49	(\$75.61)	\$125.35

Sup. En %	15.94%	33.98%	20.76%	7.96%	21.36%
Ing/ha	\$ 307.85	\$ 44.16	\$ 175.49	\$ (75.61)	\$ 125.35
Ing ponderado	\$ 49.07	\$ 15.01	\$ 36.44	\$ (6.02)	\$ 26.77

Fig. 12

En la Fig. 12 se muestra el porcentaje de ocupación de cada zona en el total del lote (40 has), el ingreso por hectárea aportado por esa zona, y el ingreso ponderado por la superficie (en otras palabras es el ingreso que aporta la zona si los cálculos se hicieran por hectárea del total del lote).

Sumando el ingreso ponderado aportado por cada zona, se obtiene finalmente el monto de la ganancia de la dosis variable sobre la dosis fija, que en este caso es de 121.27 \$/ha.

Incremento Dosis Variable	121,3 \$/ha
----------------------------------	--------------------

Ensayos en Soja Grupo IV sembrada el 15 de Diciembre

El uso de la sembradora para la siembra de soja variando los distanciamientos entre hileras en tiempo real, fue parte de varios ensayos sembrados recientemente en la campaña 2005/06 en INTA Manfredi. Las variaciones de 52 centímetros y 26 centímetros entre hileras según la potencialidad de los ambientes del lote, es una cuestión de las que más se destacan en los ensayos.

Desde la perspectiva de la tecnología disponible, este sistema representa un avance, ya que permite trabajar con estos cambios sin necesidad de detener la máquina para modificar los distintos anchos de siembra. Esto puede lograrse ya que, a diferencia de una sembradora convencional, la sembradora inteligente posee un monitor y tres motores hidráulicos (uno para el tren cinemático de siembra, otro para el tren del fertilizante al costado y un tercero para el tren cinemático del fertilizante en la línea). Para este caso, sólo se utilizan el motor para el tren de siembra y el del fertilizante al costado.

Entonces, si en un ambiente la sembradora tiene que trabajar a 52 centímetros, solamente se activa el tren cinemático de la siembra y la soja queda a 52 centímetros. Por el contrario, si la máquina tiene que sembrar a 26 centímetros en un determinado sitio, además del tren cinemático de la siembra se activa el tren de la fertilización al costado, lográndose de esta manera, trabajar a 26 centímetros.

La densidad de siembra se regula automáticamente sobre la base de una recomendación de trabajo que se carga en el monitor, que comanda los motores hidráulicos los que posibilitan a su vez que funcione el tren cinemático. Cuando la siembra a 26 centímetros se activa, automáticamente la densidad se regula bajando en el porcentaje de semillas a colocar por parte del tren de siembra. Un factor a destacar, es que el tren de siembra es neumático por succión y el tren del fertilizante es un distribuidor tipo chevron, lo cual, induce a que se deba tener en cuenta la peor distribución que podría lograrse con un distribuidor chevron respecto del neumático.

El punto de partida de todo es un GPS, que actúa indicando el lugar del lote donde se encuentra la sembradora, de modo que, de acuerdo a la zona donde esté la misma, le ordenará trabajar con una cierta distancia entre hileras u otra.

Variaciones

Las variaciones son útiles para trabajar en distintos ambientes. En campos donde las lomas son muy arenosas, que poseen escasa retención hídrica y el crecimiento de la biomasa de las plantas es menor, se tiende a sembrar a 26 centímetros. De esta manera, el cultivo alcanza a cerrar el surco antes, aprovechando la radiación solar más eficientemente; eso se traduce en rendimiento respecto de la siembra a 52, que muchas veces no logra cerrar el surco en esos ambientes.

En los bajos se da una situación distinta: allí existen condiciones de alta retención hídrica, los ambientes son más fértiles y las plantas tienen un gran desarrollo vegetativo; frente a los años húmedos, la siembra a 26 centímetros puede no ser oportuna por el riesgo de enfermedades.

En ensayos de 2002, se obtuvieron resultados de 720 kg/ha más a favor de la siembra a 26 centímetros frente a la de 52 en las lomas, como se muestra en la siguiente Figura. Pero en el bajo, las diferencias fueron menores, llegando a los 180 kg/ha a favor de 26 cm.

Densidad 350.000 pl/ha			
Espaciamiento entre hileras	Rendimiento Promedio (qq/ha)	Rendimiento en Loma (qq/ha)	Rendimiento en Bajo (qq/ha)
26 cm	36,8	35,5	38,2
52 cm	32,3	28,3	36,4
Diferencias	4,5	7,2	1,8

Fig. 13

El planteo para los ensayos de este año 2005 que tendrán su cosecha en el 2006, fue sembrar a 52 cm en los ambientes bajos, y a 26 cm en las lomas, aunque variando el distanciamiento entre hileras en tiempo real siguiendo una recomendación.

Los análisis de margen bruto del cultivo de soja en Argentina arrojan valores positivos de 400 a 800 kg/ha. Hoy, existen muchos factores de manejo que logran 200 kg/ha de incremento de rendimiento; esos valores en promedio, nos indicarían un incremento del 33% del margen bruto del cultivo de soja. Estos datos demostrarían que Argentina posee un sistema productivo muy competitivo, y para evitar ser expulsado del sistema, el productor debe utilizar al máximo las herramientas tecnológicas disponibles.

Conclusiones

La Agricultura de Precisión es una herramienta más dentro del paquete tecnológico que en la actualidad se le ofrece al agro, y está en los técnicos y productores saberla utilizar e invertir. Si se realizan inversiones sin tener en claro cuál es la variabilidad o factor a querer manejar, es muy probable que existan altas posibilidades de fracaso. Pero si a estas inversiones se las realiza con su correspondiente análisis, los resultados alentadores vendrán progresivamente.

Autores:

Ing. Agr. MSc. Mario Bragachini – Coordinador del Proyecto Agricultura de Precisión.

Ings. Agrs. Andrés Méndez y Fernando Scaramuzza.

Lic. Federico Proietti.

Proyecto Agricultura de Precisión INTA Manfredi

Ruta 9 km 636, (5988) Manfredi, Pcia. de Córdoba.

Página web: www.agriculturadeprecision.org

E-mail: agriculturadeprecision@yahoo.com.ar – agprecision@correo.inta.gov.ar

Te-Fax: 03572 493039 / 53 / 58 / 61