

## **Tecnología de Aplicación Variable de Insumos (VRT)**

*Autores: Ing. Agr. Mario Bragachini,  
Ing. Agr. Axel von Martini,  
Ing. Agr. Andrés Méndez  
Proyecto Agricultura de Precisión - INTA Manfredi*

-

### **INTRODUCCIÓN**

En la primera etapa de introducción a la Agricultura de Precisión en EEUU, allá por los años 1991-1993 se diseñó un esquema de utilización de las herramientas posicionadas por DGPS que terminaba indefectiblemente en una aplicación de insumos en forma variable (VRT) con DGPS como única alternativa que disponía el productor para la inversión.

En la actualidad se sabe un poco más acerca del aprovechamiento agronómico de los datos de rendimiento grabados espacialmente (mapas de rendimiento). Anteriormente se decía que el comienzo de la Agricultura de Precisión partía del análisis de los primeros mapas de rendimiento logrado, luego de años de trabajo, evolución y experiencia se sabe que la variabilidad expresada en el rendimiento de un cultivo en forma espacial depende de una diversidad de factores y que su análisis e interpretación es una tarea compleja, resultando muy difícil extraer conclusiones directas para un manejo de insumos de sitios específicos. (Site specific crop management, SSCM).

Actualmente se sigue avanzando en los conocimientos agronómicos, en la puesta a punto de las herramientas de cosecha de datos georreferenciados, en el diseño de los ensayos, en el desarrollo de nuevas herramientas como los sensores remotos de tiempo real, la percepción remota que aportará importantes adelantos tecnológicos en cuanto a imágenes digitalizadas georreferenciadas, también y por otro camino paralelo se están mejorando la precisión, facilidad de utilización y bajando los costos de todo el equipamiento necesario para ya en el campo y con el mapa de prescripción de aplicación de insumo realizado, equipar un tractor ya sea con una fertilizadora, sembradora o pulverizadora para realizar en forma eficiente la aplicación de insumos variable de acuerdo a la real necesidad de cada sitio del lote.

La idea es relativamente simple: maximizar la producción y minimizar los costos.

Argentina presenta características particulares de sistemas de producción que nos diferencian de otros países con mayores antecedentes de agricultura como lo son EEUU y los países europeos de la comunidad. En estos países y debido a los fuertes subsidios recibidos durante muchos años poseen un esquema productivo de maximización de rendimientos físicos de los cultivos sin una relación insumo-producto lógica, por ello el productor y asesor optan por una aplicación de semillas, fertilizantes, herbicidas y pesticidas que le asegure el máximo

rendimiento en kg/ha para las condiciones ideales. Utilizando ese criterio se desperdician insumos en determinadas áreas del lote que no pueden alcanzar el objetivo o que las características físicas/químicas del suelo lo impiden o por cualquier otro motivo como el relieve, infestación de malezas o enfermedades, historia del lote, etc.

La idea fundamental en que se basa la agricultura de Precisión es que se debe aplicar los insumos en cantidades que se puedan aprovechar en su totalidad, y que cada área del lote exprese el máximo potencial económicamente posible.

**Según esto, ahorraríamos insumos en las áreas de bajo rendimiento potencial sin disminuir el rendimiento (que era bajo), para trasladarlo a las áreas con mayor potencialidad, que si pueden aumentar la producción aprovechando los insumos correctamente.**

**En otras situaciones de variabilidad, la dosis de fertilizante promedio puede ser insuficiente para un área degradada químicamente y resulta conveniente aplicar más en ese sitio de mayor respuesta.**

En resumen sería cambiar la metodología de aplicación de insumos bajo la suposición que los lotes presentan potenciales de rendimiento homogéneos en todo el área, por otra de mayor exactitud de aprovechamiento de los insumos basada en el conocimiento de la variabilidad de respuesta dentro de el lote, que permita maximizar la respuesta económica en cada sitio del lote.

La herramientas tecnológicas que aporta la Agricultura de Precisión a la cosecha de datos, facilita la cuantificación de la variabilidad natural de un lote, además mediante ensayos debidamente programados en el gran cultivo nos aporta datos de respuesta variable a la aplicación de insumos. Si esos datos son debidamente interpretados y apoyados por un muestreo de suelo por sitios homogéneos guiado y debidamente posicionados, aportarán claridad en la toma de decisiones a la aplicación variable de insumos.

Como en toda nueva tecnología es conveniente quemar etapas para avanzar con mayor solidez. No todos los campos argentinos poseen la misma posibilidad de éxito frente a la tecnología de aplicación de insumos variable. Los campos con mayores posibilidades de obtener respuesta económica a la utilización de la tecnología VRT son:

Campos que debido a una nueva sistematización de los lotes que engloban sitios de diferencia de potencialidad de rendimiento por una historia de agricultura totalmente distinta que dejó la impronta por muchos años.

### **Ejemplos:**

1. Lote 1 pertenece a un productor (A) que se dedicó a la producción lechera durante 20 años, cuyo uso del suelo fue siempre pasturas perennes, con pastoreo directo, donde debido al poco laboreo presenta una buena condición física, con buen contenido de materia orgánica y una tasa de extracción de nutrientes limitada debido a la reposición por el bosteo de los animales, la influencia del pastoreo directo y a la fertilización realizada oportunamente pero a su vez presenta unas 20 has donde se utilizaba como piquete de encierre y para terminación de animales, que presenta un aporte de nutrientes por bosteo muy significativo. Campo 1; 2 sitios de variabilidad inducida más 2 sitios de variabilidad por relieve, zona de baja acumulación y zona de alta captación, Conclusión 4 sitios de potenciales bien diferentes de rendimientos agrícolas.

2. Productor exclusivamente agrícola con labranza profunda de inversión de suelo durante 20 años, que produjo un deterioro físico del suelo por quema de materia orgánica en forma acelerada. Monocultivo de soja con buenos rendimientos que produjo una alta tasa de extracción de nutrientes, como P, K, S, Ca, Mg y micronutrientes. Además de presentar un relieve con pendientes moderadas pero con el sistema de producción utilizado se favorecía el escurrimiento de agua por una impermeabilización del suelo, lo que provocó un área de decapitación y otra de aporte que dejaron a la zona más baja con un horizonte A de 30 cm y a la loma de 15 cm de horizonte A. Conclusión: existencia de 2 zonas muy bien definidas de potencial de rendimiento.
3. Productor C: 200 has de agricultura conservacionista con siembra directa continua durante los últimos 10 años con una rotación trigo- soja- maíz, 3 cultivos en 2 años, con buena fertilización y excelente manejo del rastrojo. Campo que a su vez presenta un relieve pronunciado que antiguamente modificó la profundidad del horizonte A. Resumen: 2 situaciones bien marcadas, un suelo con muy buena disponibilidad de nutrientes y una excelente retención de agua por una acumulación de residuos durante muchos años y una buena actividad biológica del suelo. Otra zona con menor profundidad de suelo, menos rastrojo en superficie por menor rendimiento y menos disponibilidad de nutrientes.

Luego de 10 años de esa sistematización de trabajo el productor de 200 has compró el campo dedicado al tambo de 100 has y las 100 has dedicadas a una agricultura con alto grado de degradación física y química. Al uniformar los 3 campos y hacer un solo lote de 400 has para trabajarlo con maquinaria de gran ancho de labor se encuentra con 6 sitios que merecen diagnósticos de insumos variables desde la densidad de siembra, fertilización de reposición, enmiendas para corregir pH, utilización de descompactadores de suelo profundo, etc.

Un campo donde existe variabilidad natural , el relieve nos indica la variabilidad de manejo y el sistema de producción, situación en que el monitoreo de rendimiento será una herramienta de suma utilidad, seguido del muestreo de suelo por sitios homogéneos (generalmente lo primero es definir las características físicas y químicas de los ambientes de altos y bajos rendimientos).

El ajuste del mejor diagnóstico, implicará realizar ensayos exploratorios de respuestas a insumos variables, ajuste de análisis de respuesta económica y posteriormente con datos confiables diseñar una estrategia de aplicación variable de insumos.

Se podrían ejemplificar muchísimas situaciones donde ya sea por una variabilidad inducida o natural se justifique el manejo de los insumos por sitios específicos, como así también otras donde por su escasa variabilidad, y bien definida con solo el cambio de sentido de siembra, paralelizándo los sitios de manejo podemos aplicar los insumos en forma variable sin necesidad de herramientas tecnológicas de aplicación sofisticadas.

La rentabilidad de la Agricultura de Precisión es específica para cada lugar en particular (J. Lowenberg DeBoer) al que se le puede añadir para cada productor en particular, dado que el nivel de conocimiento agronómico, la predisposición para el uso de herramientas guiadas satelitalmente, el manejo de software y hardware puede facilitar o impedir el resultado de este tipo de tecnología.

## **Dosis Variable VRT**

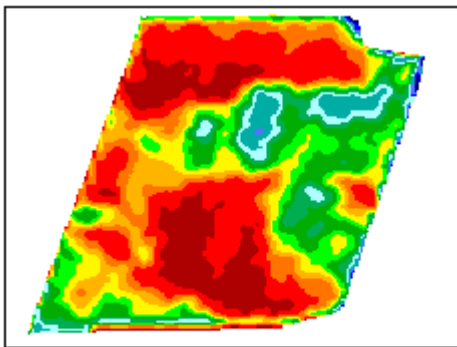
La VRT se basa en ajustar la dosis de aplicación de productos para los diferentes sitios de un lote, basándose en información contenida en un mapa electrónico del lote.

La VRT en tiempo real puede ser realizada de dos maneras distintas:

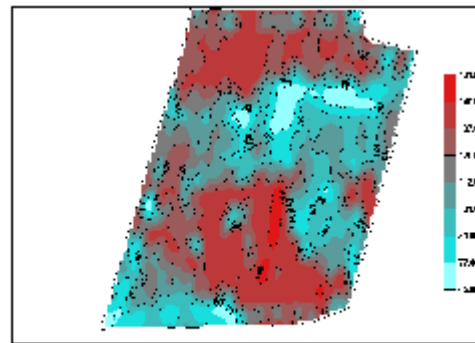
- A. En forma manual a través del conocimiento agronómico de los sitios diferentes, esto se hace realidad mediante un controlador electrónico en la cabina del tractor, donde un operador ordena a un actuador hidráulico o eléctrico que regula la velocidad relativa de giro del motor hidráulico de mando en relación a la velocidad real medida por un radar.
- B. En forma automática guiado por un posicionador DGPS que ubica espacialmente el móvil en tiempo real, este posicionador informa a un navegador que posee la prescripción a través de un software específico con las variaciones de dosis espaciales del lote; el navegador es conectado a un controlador y este a un actuador hidráulico, más un radar de velocidad real que regula el giro del motor hidráulico de mando para colocar la dosis o densidad exacta en forma espacial dentro del lote.

## **Aplicación de sensores remotos a la dosis variable**

Existe una metodología desarrollada y aplicada comercialmente por una empresa privada europea AGRO-SAT, con base en Alemania, para determinar zonas diferenciales dentro de un lote y concluir con la determinación de la necesidad de aplicación variable de algún insumo y su respectiva prescripción.



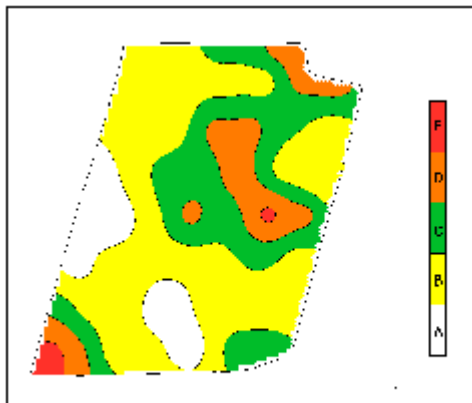
*Fig 18: imagen satelital en el momento de inicio de senescencia.*



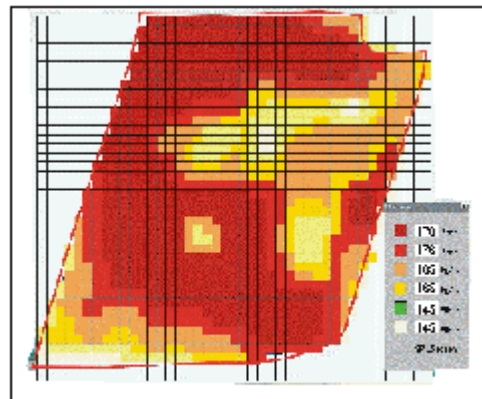
*Fig 19: mapa de rendimiento del mismo lote de la imagen.*

Esta metodología se basa en la determinación de sitios de diferentes condiciones del cultivo a través de la utilización de imágenes satelitales o por medio de imágenes de video digitalizadas y georreferenciadas con cuatro bandas: rojo, azul, verde e infrarrojo cercano. Estas imágenes son tomadas en el momento de inicio de senescencia del cultivo, debido a que una zona estresada se entrega antes que una zona que no lo sufrió, dependiendo también del grado de estrés sufrido. Con estos sitios determinados se procede a una identificación in situ del cultivo para realizar observaciones acerca del estado general del cultivo y en particular si las

zonas estresadas corresponden a manchones de malezas, enfermedades, problemas de siembra, emergencia, etc.



*Fig. 21: mapa de fósforo.*



*Fig. 20: mapa de prescripción.*

La próxima capa de información que se utiliza es el mapa de rendimiento, con el fin de determinar si la variabilidad de senescencia tiene impacto en el rendimiento, si no lo tuviera habría que evaluar si existe beneficio en aumentar los costos por el manejo variable de algún factor.

La figura 18 es una imagen satelital en infrarrojo cercano del momento de inicio de senescencia del cultivo, donde las zonas más oscuras indican mayor actividad fotosintética en el momento de adquisición de la imagen. Comparando las figuras 18 y 19 se puede observar la gran correlación que hay entre la actividad fotosintética al inicio de la senescencia (tasa de secado) y el rendimiento.

A partir de estas dos capas de información se determinan los sitios diferenciales dentro del lote y se realiza un muestreo dirigido de suelo con 2 o 3 muestras por sitio, para identificar el o los factores responsables en mayor medida de la variabilidad. Para el caso del lote ejemplo se determinó que el Fósforo es el principal responsable de la variabilidad de rendimiento y con los valores resultantes para cada sitio se confecciona el mapa de aplicación o prescripción (Fig 20).

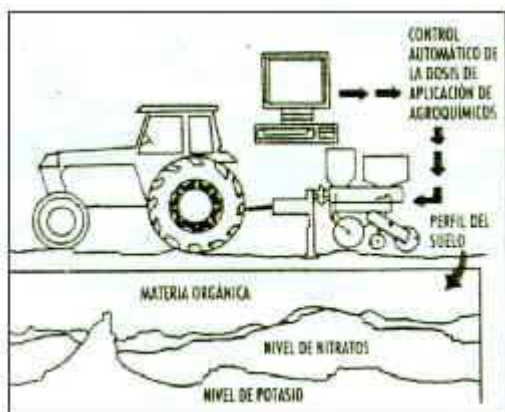
Este ejemplo citado corresponde a la situación europea donde a raíz de una larga historia de fertilización se acumulan nutrientes poco móviles, como el fósforo, en zonas dentro de un lote donde el rendimiento se ve limitado por alguna otra causa (tipo de suelo, retención hídrica, etc) y las extracciones son menores en comparación con otras zonas de mayor rendimiento. Por ende el consejo es aplicar una cantidad correctiva del nivel fósforo del suelo en las zonas de mayor rendimiento y en las zonas de menor rendimiento coincidente con el valor más alto en fósforo el consejo será colocar solamente una dosis que sirva de arrancador. En forma ilustrativa y a modo de ejemplo se realizó en este caso el mapa de fósforo del lote citado a partir de una grilla de muestreo (Fig 21).

En la figura 21 se puede apreciar el mapa de fósforo, siendo las zonas blancas y amarillas las de menor contenido y aumentando hacia el verde, naranja y rojo con el máximo. Aquí se nota claramente como la extracción por mayores rendimientos ha generado una zona de contenidos deficientes de fósforo y en las zonas de menor rendimiento este elemento se ha acumulado a través de los años. Esta situación no se da en nuestro país debido a la corta historia de fertilización y a la utilización de dosis que a duras penas llegan a cubrir la extracción.

### VRT basada en sensores de suelo de tiempo real

Las diferentes empresas relacionadas al tema y las universidades de los EEUU están desarrollando sistemas de sensores de suelo de tipo electrónico, óptico y acústico que permiten obtener una completa información de las características del suelo a medida que avanza el equipo en el lote (en tiempo real). Este sistema fue presentado al público en la Farm Progress Show 1995.

Estos equipos analizadores de tiempo real, conectados al GPS, podrán confeccionar mapas de suelos con un grado de variación imposible de realizar con la metodología tradicional, principalmente por la gran cantidad de muestreos y análisis que habría que realizar, lo que la hace económicamente inviable. Si bien los sensores de tiempo real no tendrán la precisión de un laboratorio de suelo, este siempre dependerá de la representatividad del muestreo de suelo realizada, y el muestreo dependerá del número de muestras, resultando inviable económicamente la metodología de grilla para un país como Argentina donde los análisis de suelo tienen un costo en dólares que superan dos veces a los de USA.



*Figura 20: Agricultura de Precisión basada en sensores de tiempo real.*

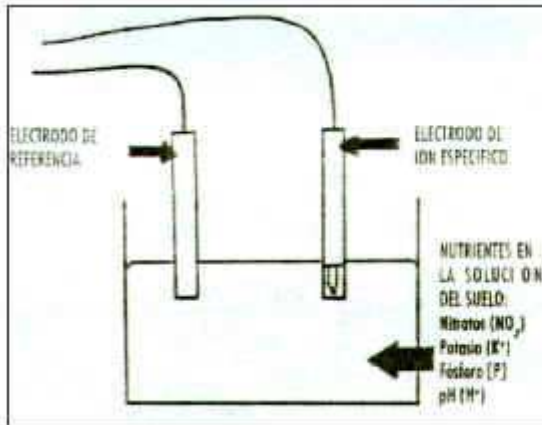
Esta información puede ser utilizada instantáneamente, sin necesidad de procesar la información. De acuerdo a la información obtenida, los dosificadores variables cambiarán la densidad de siembra o tipo de semilla, el tipo y dosis de agroquímicos, etc.

Las propiedades del suelo son analizadas por cuatro tipos de sensores diferentes:

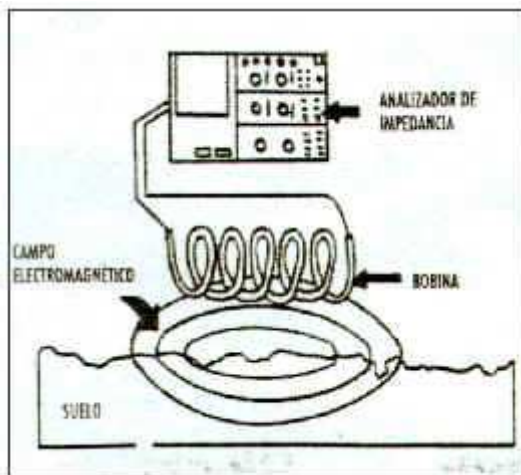
<u>Propiedades del suelo</u>	Tipo de sensor
Nutrientes (N, P, K)	Electrodos de Ion específico
Humedad y salinidad	Conductividad eléctrica
Materia orgánica	Reflectancia óptica

Textura (arena y arcilla)

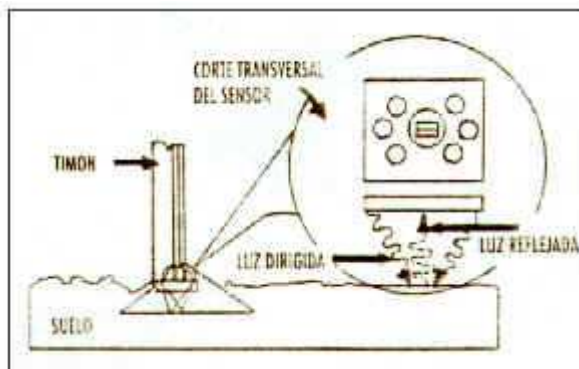
Propiedades acústicas



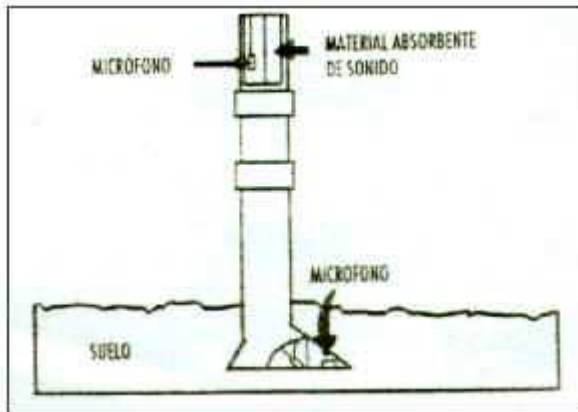
*Figura 21: Análisis de nutrientes (N, P, K, pH) a través de electrodos de Ion específico.*



*Figura 22: Análisis de humedad y salinidad, a través de la conductividad eléctrica.*



*Figura 23: Análisis de materia orgánica, a través de las propiedades ópticas del suelo.*



*Figura 24: Análisis de textura, a través de las propiedades acústicas del suelo.*

Estos equipos se encuentran en fase de experimentación y todavía no existen muchas ofertas en el mercado.

Uno de los únicos equipos que se encuentran desde hace unos años en el mercado y que fue inclusive importado a la Argentina en el año 1997, realizando evaluaciones en 1998 fue el Soil Doctor: Crop Technology, Inc.