

# Agricultura de Precisión y Mapeo de Conductividad Eléctrica

Tecnología para mejorar la eficiencia de los cultivos

Por Alberto Lobo-Guerrero Sanz, Geólogo, M.Sc., Min.Ex., Ph.D., LOGEMIN S.A.\*

***incremento en producción + reducción en insumos = mayor rentabilidad (sin demeritar manejo ambiental)***

## ¿Quiere que su finca rente más, con igual o menor inversión que ahora?

Podrá **ahorrar en insumos y aumentar la productividad de su finca hasta en un 80 o 100%**. Eso se logra trabajando separada cada zona del cultivo. En algunas hay que poner un tipo de semilla. En otras hay que regar más, no abonar, etc... Al definir las zonas, usted sabrá qué hacer en cada una. Si antes producía 10 toneladas por hectárea, puede llegar a 18 o 20. En algunos casos, duplicará la producción del lote. Esto puede aplicarse para suelos con numerosos tipos de cultivo o pasto forrajero para alimentar ganado.

Con nuestros aparatos se mide el suelo. Eso luego sirve para hacer un mapa de zonas con medidas parecidas. Cada zona de valores parecidos debe manejarse independientemente, porque allí el suelo es diferente del que tienen las zonas vecinas. Por ejemplo, hay más materia orgánica, mayor compactación, o menos nutrientes. Solamente se ponen nutrientes adicionales donde hacen falta. Sólo se revuelca el terreno donde toca. Sólo se riega donde se necesita. Se ponen semillas especiales donde hay posibilidad de inundación o sequía. Así se ahorra dinero. El dinero se pone precisamente donde hace falta.

Anteriormente colocábamos el mismo abono y en igual cantidad para toda la finca. Usábamos la misma semilla para todo el cultivo. Eso era desperdiciar abono y semilla. Lo ideal es poner en cada zona sólo lo necesario. Igualmente debe hacerse con número de semillas, espaciamiento entre semillas, manejo de suelo, riego y demás. Cada zona es diferente; requiere manejo específico.

LOGEMIN mapea en detalle el terreno de su finca. Le ayuda a definir zonas para manejar el suelo, que es el recurso más importante de su finca. Más adelante, mapea las cosechas y le ayuda a definir poco a poco maneras para optimizar la operación de sus cultivos.

### Introducción

Los suelos de cultivo, por naturaleza presentan enorme variabilidad. Puede cambiar su espesor, composición, permeabilidad, y fertilidad. Cultivar sin un adecuado manejo puede llevar a una degradación del suelo que lo hace improductivo; especialmente en Colombia donde algunos cultivos producen cuatro y más cosechas por año. Se han desarrollado técnicas para manejar la tierra selectivamente de acuerdo a sus necesidades. Esto se denomina agricultura de precisión ("site-specific crop management", o "precision agriculture"). Consiste en administrar la variabilidad del suelo para maximizar el beneficio económico y reducir el impacto ambiental. Se aplica a una variedad de tipos de cultivo, incluyendo pastos y forraje para ganado. Busca lograr agricultura sostenible a largo plazo.

La agricultura de precisión se viene implementando en las zonas agrícolas de mayor productividad del mundo. En algunos casos, desde hace más de veinte años. Se emplea para fomentar la competitividad y aumentar la rentabilidad de los cultivos.

La humanidad aumenta en número y cada vez son más escasos los recursos naturales disponibles para su desarrollo. Aumentan en costo la tierra agrícola de buena calidad, el espacio para vivir, el agua y los nutrientes. Estos factores realzan la importancia de hacer agricultura de precisión para lograr una sociedad sustentable.

Mapear la conductividad eléctrica del suelo de cultivo es una herramienta de bajo costo y sumamente versátil. Sólo se hace una vez en la vida de la finca. Indica numerosos parámetros del suelo (entre otras cosas, espesor, contenido de materia orgánica y agua, capacidad de intercambio catiónico, niveles de salinidad, textura, y compactación). Existe una relación directa entre la conductividad eléctrica y los parámetros citados. El mapa de conductividad eléctrica sirve para zonificar los lotes de cultivo, dosificar semilla y nutrientes, y determinar cuáles

porciones del lote demandan mayor irrigación. Los datos se pueden obtener con sencillos aparatos que recorren el campo tomando medidas (Fig 1). El trabajo puede hacerse a pie o desde un vehículo, dependiendo de la topografía y precisión requerida. Un receptor de GPS permite ubicar los datos para producir mapas digitales. Más adelante, parámetros como tamaño del fruto o peso de cada racimo, también se pueden plasmar sobre un mapa. Las medidas de conductividad generalmente guardan relación directa con la productividad del suelo.

LOGEMIN S.A. ofrece métodos para producir mapas detallados de conductividad eléctrica. Estos reducen sustancialmente los costos de evaluación de los terrenos de cultivo, ayudan a una rápida zonificación, y luego al monitoreo de las condiciones del suelo. Por otro lado, la empresa ofrece métodos para mapear cosechas. Dependiendo del tipo de cultivo, se pueden mapear parámetros objetivos como número, tamaño y peso de los frutos, contenido de almidón y/o proteína; también se pueden mapear parámetros subjetivos como olor, sabor y brillo de los frutos. Los mapas sirven para hacer seguimiento de las cosechas y para progresivamente ir incrementando la productividad de los cultivos.



**Fig A1. Dos aparatos que se usan en LOGEMIN S.A. para medir conductividad eléctrica en el terreno.**

La agricultura de precisión tiene un enfoque holístico para manejar las cosechas y la tierra selectivamente, de acuerdo a sus necesidades. Aplica conocimientos de numerosas disciplinas e integra herramientas y técnicas de última tecnología para ayudar a los administradores de fincas a comprender mejor y controlar sus campos. Sirve tanto para optimizar suelos de cultivo como para manejar pastos para forraje de ganado.

Cada agricultor debe identificar las estrategias y prácticas que le permitan manejar efectivamente la variabilidad que presenta su tierra.

Como vimos arriba, la agricultura de precisión se define como el manejo de la variabilidad del suelo para mejorar el beneficio económico y reducir el impacto ambiental. Esta definición presentada por Blackmore (2002) cumple dos propósitos. Primero, identifica el manejo de la variabilidad como un factor esencial y no la tecnología, como mucha gente cree. Segundo, identifica los motores para el cambio de los sistemas existentes, mejorando la rentabilidad económica y al mismo tiempo reduciendo el impacto de las prácticas de manejo sobre el medio ambiente. Ambos motores trabajan en la misma manera para mejorar la eficiencia del proceso agrícola. La forma en que se implementan los motores cambia con los diferentes tipos de cultivo y diferentes países. Más allá de las diversas formas de implementación, existen principios de aplicación universal.

Algunos países, con ventana agrícola corta debido a estaciones muy marcadas y escasa mano de obra disponible para trabajar el campo, se han visto forzados a implementar agricultura de precisión como única alternativa para ser autónomos en alimentos. Allí las actividades agrícolas utilizan aparatos robotizados para arar, sembrar, fertilizar y cosechar. Todo está controlado por computador. A veces también el riego también es automatizado. La ubicación de cada aparato se hace por medio del posicionador satelital global (GPS por sus siglas en inglés). Buena parte de la agricultura de Europa, Canadá, los Estados Unidos y Australia emplean estos métodos. Es sorprendente descubrir que la productividad por hectárea de esos países a veces supera las cifras colombianas en doce o catorce veces. Y eso que en Colombia, manejando riego, la ventana agrícola no tiene limitantes...

A manera de anécdota, la Unión Europea, con 27 países tiene unos 15 millones de agricultores trabajando 160 millones de hectáreas. El 70% de las fincas tienen extensión menor a 5 hectáreas. Hay 700,000 fincas con más de 50 hectáreas. Y **se compran 250,000 tractores nuevos cada año**; muchos de ellos robotizados (Van der Val, 2008).

Recientemente, un joven agrónomo centroamericano comentó que “para poner a producir la tierra hacen falta dos materias: materia orgánica y materia gris.” Tal vez estamos poniendo demasiado de lo primero y poco de lo segundo (Reyez Laines, 2009).

### Mapa de Conductividad Eléctrica del Suelo

Medir la conductividad eléctrica del suelo es una de múltiples actividades que un agricultor puede hacerle a su tierra de cultivo, en preparación para realizar agricultura de precisión. Sin embargo, puede ser uno de los estudios más útiles.

Por lo general un mapa de conductividad eléctrica se hace una sola vez en cada lote. No hace falta repetirlo, puesto que las características del suelo permanecen constantes en el tiempo. La Fig A6 presenta ejemplos de esto. Aunque el suelo se encuentre más compactado o más húmedo, permanece el contraste de conductividad eléctrica entre las zonas homogéneas. En suelos donde se explotan intensamente monocultivos puede ser necesario monitorear parámetros como salinización del suelo cada 8 o 10 años. Los cambios en conductividad indican salinización mucho antes de que las plantas lo noten y de que el efecto sea irreversible.

La conductividad eléctrica de un perfil del suelo indica la profundidad de las capas que lo componen, su textura, el contenido de materia orgánica, contenido de agua, capacidad de intercambio iónico, y niveles de salinidad. Los datos se pueden obtener mientras un aparato medidor cruza el campo, en líneas espaciadas entre 2 y 30 metros, dependiendo de la variabilidad espacial y de la precisión requerida. Un medidor equipado con un receptor de GPS diferencial permite que los datos obtenidos sean referenciados espacialmente para producir mapas. Los mapas digitales son insumo para definir zonas de manejo (Fig B3) y para guiar la futura aplicación eficiente de insumos agrícolas.

Mapear la conductividad eléctrica del suelo es uno de los estudios más económicos que se pueden hacer al terreno, en costo por hectárea. Como una idea general, tomar 400 medidas por hectárea para 20 hectáreas (espaciamiento de 5 metros) en terreno plano, puede costar unos COL\$220,000 por hectárea. La Tabla A1 presenta una serie de costos relativos por hectárea para medidas con espaciamiento de 1, 2, 5 y 10 metros.

**Tabla A1. Parámetros de medidas de conductividad eléctrica con diferente espaciamiento**

Espaciamiento (m)	Area representada (m <sup>2</sup> )	Medidas por hectárea	Costo relativo por hectárea		
1	1	10,000	26.84	30.69	1.000
2	4	2,500	3.26	6.60	0.215
5	25	400	1.00	2.02	0.066
10	100	100	0.49	1.00	0.033

Esto no incluye los costos logísticos, como transporte, alojamiento y alimentación del personal, que dependen de las condiciones particulares de cada proyecto.

Los valores indicados varían mucho dependiendo del tiempo de transporte hasta el sitio del estudio, a la facilidad para moverse por el terreno, la topografía, lluvia, densidad de vegetación, visibilidad, y posibilidad o no de usar GPS. No es lo mismo trabajar en un terreno plano con rastrojo, que en otro con pasto de metro y medio de altura. Transitar por entre un cultivo de café en laderas con 30 grados de pendiente hace más lenta la adquisición de datos. Mapear suelos de un cultivo de cacao o caucho por entre el bosque impide usar GPS y es preciso usar métodos topográficos tradicionales. Ver más adelante en el aparte acerca de lo que incide sobre el costo de mapear cosechas y conductividad eléctrica del suelo.

Cuando el agricultor (o dueño de un lote con pasto para ganado) conoce bien las complejas causas de variabilidad en la calidad de cosecha para un campo específico, aumenta la probabilidad de tomar mejores decisiones de manejo.

El agricultor puede usar la información obtenida al mapear la CE para comprender lo que causa el rendimiento variable de su cosecha en un lote determinado. Le define zonas homogéneas del suelo que son diferentes unas de otras. A continuación tomaremos como ejemplo la profundidad variable del suelo orgánico. Veremos como ese parámetro incide sobre la calidad de la producción agrícola.

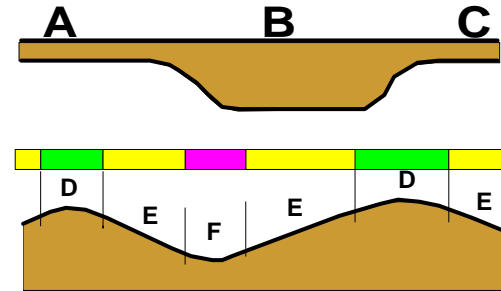
### Importancia del espesor del suelo

Un mapa de la conductividad eléctrica del campo de cultivo brinda información considerable sobre la manera en que varía el perfil de suelo. Sorprende descubrir que hasta un lote plano posee variaciones (Ver Fig A2 superior). La profundidad de la capa orgánica puede cambiar en corta distancia. Entre las principales causas de variación se encuentran la influencia de erosión o depositación diferencial de materiales constituyentes. Con sólo ver la superficie es imposible predecir las variaciones de las propiedades de un suelo.

En líneas generales el suelo orgánico es más delgado sobre lomas erodadas; su espesor aumenta en algunas pendientes, mientras que en los valles tiene a haber mayor espesor por acumulación de material (Ver figura

inferior). El espesor de la capa orgánica del suelo juega un papel importante en su capacidad para retención de agua durante temporadas secas. La capa orgánica también almacena nutrientes y soporta las raíces. Una profundidad desigual de esa capa puede explicar en parte la variabilidad espacial en productividad de una cosecha. Los patrones climáticos determinarán si la profundidad del suelo puede llegar a ser un factor limitante para una cosecha específica. Esta complejidad aumenta con los cambios climáticos anuales.

**Fig A2. Cortes que ilustran la variabilidad del suelo. La parte superior presenta un suelo plano, cuya profundidad varía sustancialmente. En A puede medir menos de treinta centímetros, mientras que en B tiene más de metro y medio. Entre los puntos A y C puede haber dos metros o veinte metros. El espesor tan diferente hace que la vegetación sea menos robusta sobre A y C que en B. La parte inferior muestra tres diferentes tipos de suelos formados sobre el mismo material, debidos a la geomorfología. La parte superior de las lomas, D, tiene escasa formación de suelos por remoción de la capa orgánica a causa de erosión. En las laderas se va acumulando el material erodado, para formar el suelo E. En los valles hay material granular más grueso, por lavado de las corrientes de agua; la permeabilidad tiende a ser mayor. Esto es un ejemplo de cómo se generan tres tipos de suelos distintos a partir de un tipo de roca homogénea en el subsuelo.**

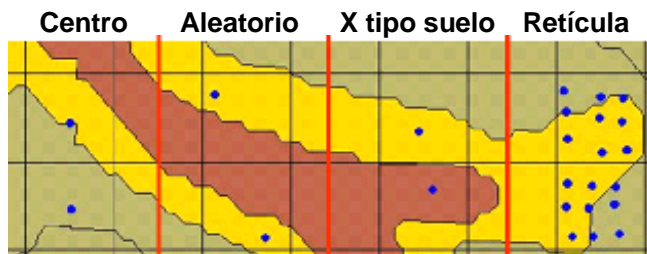


Un mapa de conductividad eléctrica sirve para inferir la manera en que varía la profundidad del suelo orgánico. La variación espacial de ese parámetro por lo general correlaciona con el mapa de productividad de un cultivo. El suelo orgánico es como una esponja de espesor variable que se extiende por el campo. Las áreas con “esponja” más delgada no pueden absorber y almacenar tanta agua lluvia durante una tormenta como aquellas con una “esponja” gruesa.

Durante las temporadas secas, los cultivos sobre suelo delgado tienden a mostrar mayor tensión (estrés) por falta de agua. Sin embargo, en los años húmedos, las áreas con suelo delgado pueden producir casi igual que las demás. Como la productividad de las áreas con suelo orgánico delgado es más susceptible a cambios debidos al clima que aquellas con suelo grueso, en estas se presenta una mayor variabilidad en calidad de cosecha.

Un mapa de conductividad eléctrica puede usarse como guía para muestreo de suelos y análisis nutricional. Cada muestra debe tomarse lejos de los bordes de la zona homogénea. Esto ahorra tiempo de muestreo, costos analíticos, y describe más adecuadamente las diferentes áreas o zonas dentro del campo de cultivo. Este enfoque cuesta menos que muestrear los suelos en cuadrícula.

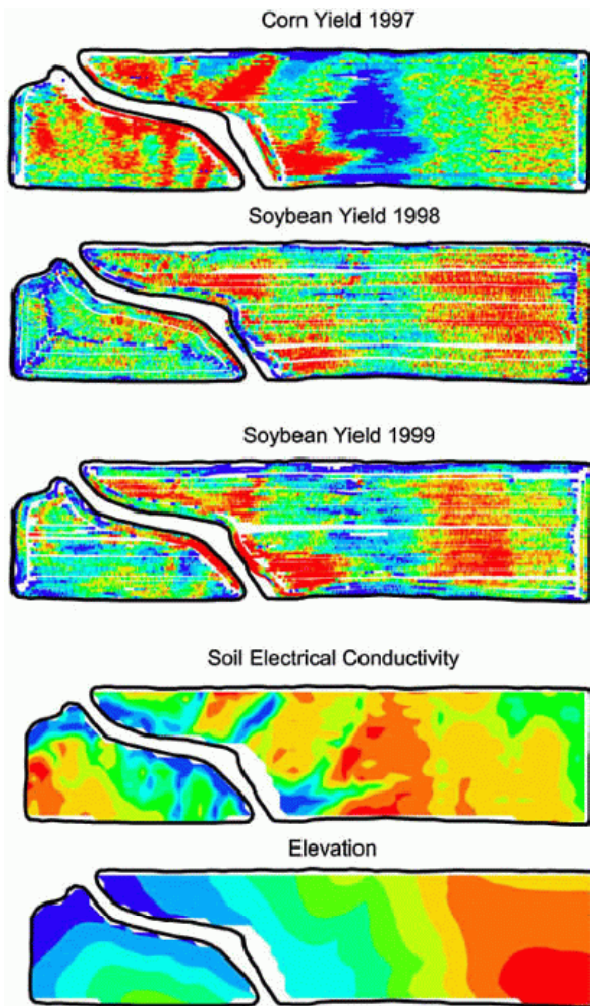
Un agricultor puede usar la información del mapa de conductividad eléctrica para incrementar su probabilidad de éxito, al manejar más eficientemente los insumos agrícolas. El espesor de la capa orgánica, en su relación con productividad puede considerarse uno de los factores para definir zonas de manejo. Una tasa de aplicación variable de abono o riego, de acuerdo con la profundidad de la capa de suelo incrementa la posibilidad de éxito en el campo. Dicho éxito puede expresarse en términos de mayor uniformidad de cosecha a lo largo del lote, mayor ahorro y rentabilidad, o menor impacto ambiental.



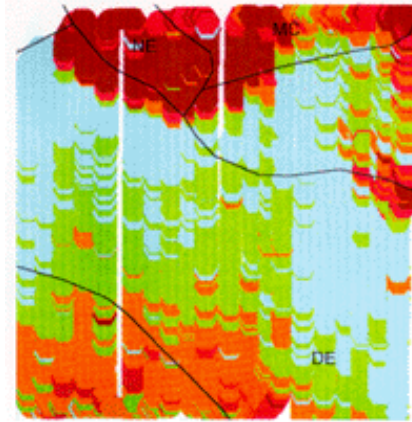
Métodos para determinar dónde tomar muestras de suelo en malla. Puntos azules son sitios de muestreo. Tipos de suelo en el fondo.

**Fig A3. Diferentes métodos para determinar dónde tomar muestras de suelo que se aplican en muestreo en grilla. Deben tomarse muestras “representativas” de cada cuadro de la grilla. Los puntos azules indican sitios de muestreo. El mapa del fondo presenta los tipos de suelo. Al muestrear mecánicamente en el centro de cada cuadro, algunas muestras pueden no resultar representativas por hallarse en el límite entre dos zonas de suelo diferente. El método de muestreo aleatorio puede casualmente sobre-estimar o subestimar alguno de los tipos de suelo;**

**en el caso del ejemplo no se muestreó la unidad naranja. Al muestrear el tipo de suelo predominante en cada zona debe estudiarse la distribución de los tipos de suelo antes de tomar las muestras. Muestrear en retícula tiene ventajas, pero la validez depende del espaciamiento uniforme entre medidas. Figura tomada de O'Brien (2009).**



**Fig A4. Similitud entre mapas de rendimiento de cosechas y conductividad eléctrica.** En el mapa de conductividad eléctrica, (segundo desde abajo) en azul se presentan los valores más altos y en rojo los más bajos. Los mapas de rendimiento para maíz y soja presentan los valores más altos en rojo y los bajos en azul. Nótese la buena correlación que hay entre conductividad y rendimiento de las cosechas de varios productos en tres años diferentes. El mapa inferior muestra elevación del terreno. Figura tomada de Wiebold et al, sin fecha.



**Fig A5. Mapa de CE del suelo sobre un mapa de suelos agrícolas publicado por una entidad gubernamental.** Las medidas tomadas en el terreno (marcadas con círculos de colores) identifican claramente el contraste de los suelos en el campo. Los colores rojo y naranja indican mayor conductividad – los azules y verdes, menor conductividad. Como se aprecia en el mapa, no hay mucha relación entre el mapa de conductividad eléctrica producido con datos de

campo y el mapa de suelos a escala pequeña hecho por el gobierno. El mapa de conductividad detalla más precisamente cambios de suelo y las inclusiones en las unidades de suelo. Como se aprecia, basar cualquier labor agrícola sobre mapas publicados a escalas regionales puede llevar a serias equivocaciones. Ver también Fig B6.

Conocer detalladamente la variabilidad del suelo puede servir de base para diseñar un sistema de manejo preciso que tome en cuenta la variabilidad de una finca. Así comienza la agricultura de precisión. Texto modificado de la página web <http://www.veristech.com>.

### Mapas de Cosechas

LOGEMIN S.A. también ofrece métodos para mapear cosechas. El seguimiento de cosechas es un insumo importante en agricultura de precisión (Figs A4 y B5). Al mapear cada cosecha se puede ir identificando cuáles factores inciden en una mayor o menor productividad. Aquellos que contribuyen a mayor rendimiento, se van replicando en el resto del terreno. En lo posible, los que producen menor rendimiento deben evitarse. El mapa de cosecha es una herramienta muy valiosa para incrementar la productividad de una finca. Por lo general se presenta una relación directa entre mayor conductividad y mayor productividad de la cosecha (Figs A4, B4 y B5).

Las medidas para mejorar productividad derivadas de un mapa de cosecha pueden ir desde regar más una porción del terreno, adicionar algún nutriente específico que falta en una zona, cambiar de tipo de semilla para adecuarla al tipo de suelo, hasta importar suelos de otros lugares. Empleando técnicas de agricultura de precisión, progresivamente se puede llegar a incrementar la productividad de un terreno en 80 o 120%.

Dependiendo del tipo de cultivo, el mapa de la cosecha se construye midiendo valores representativos de los frutos y colocando los valores sobre un plano. Por ejemplo, un cultivo de cítricos, se puede mapear midiendo un número representativo de frutas por árbol. Los parámetros a medir pueden ser número de frutas, su diámetro mayor o peso, ó parámetros subjetivos como sabor, olor, color y brillo. Como resultado, se obtiene un mapa de toneladas de fruta por área (10 x 10 m), de diámetro o peso promedio de frutos, o de coloración media. En un cultivo de arroz de variedad modificada genéticamente, se puede medir contenido de almidón y proteína, así como largo y diámetro de la semilla. En los frutos múltiples, como es el caso de la palma africana y el banano, el parámetro de comparación puede ser peso de todo el racimo. También se pueden cuantificar parámetros como

cantidad de aceite o azúcar por peso bruto. Los pastos forrajeros se pueden mapear con parámetros como altura, color, ancho en la base de ciertas hojas, contenido de humedad, y peso de materia seca por área. Cambios sutiles en color o sabor son especialmente relevantes en los viñedos. La variación en algunos de estos parámetros puede llevar a modificar sustancialmente la rentabilidad de una cosecha.

La cosecha de ciertos cultivos de cereales puede medirse directamente con máquinas cosechadoras. Las máquinas llevan sensores electrónicos que logran cuantificar peso de las semillas, tamaño, o aspectos de color. Hay sensores infrarrojos que registran contenido de aceite y proteína en base seca en semillas cada cinco segundos. En otros casos, se mide salud de las plantas por su contenido de clorofila, medido desde un tractor o desde el aire en un avión de control remoto. Las medidas van ubicadas con GPS diferencial, y se pueden generar muy rápidamente mapas de calidad de la cosecha. Como ejemplo, los cultivos de soya, maíz y trigo se prestan para mapear cosechas automáticamente (Fig A4).

Para que estas mediciones sean comparables, es preciso realizarlas cuando el fruto se encuentra en el mismo punto de maduración. Algunos productos agrícolas del trópico como banano, ciertas flores o la palma de chonta de donde se extrae el corazón de palma (palmito) tienen producción constante a lo largo del año, independientemente de la estacionalidad. Para tomar medidas comparables, se pueden medir parámetros de la planta o el fruto, cierto número de días después de la siembra.

La decisión de qué mapear debe evaluarse detenidamente para cada clase de cultivo y cada proceso particular de producción. Para eso es preciso interactuar con las personas encargados del cultivo. El valor a mapear debe ser un parámetro estadístico y replicable, como por ejemplo la media del valor medido por árbol, la media del valor medido en un área determinada (v.g.: cien metros cuadrados), o la amplitud de la variación de la medida.

El área de control debe estar de acuerdo con el detalle de medidas de conductividad eléctrica usado para producir el mapa de zonas homogéneas del terreno. No sirve mapear la cosecha en mayor detalle que el detalle de mapeo del suelo, o viceversa, pues será difícil interpretar la información.

#### **Qué Incide Sobre el Costo de Mapear Cosechas y Conductividad Eléctrica del Suelo**

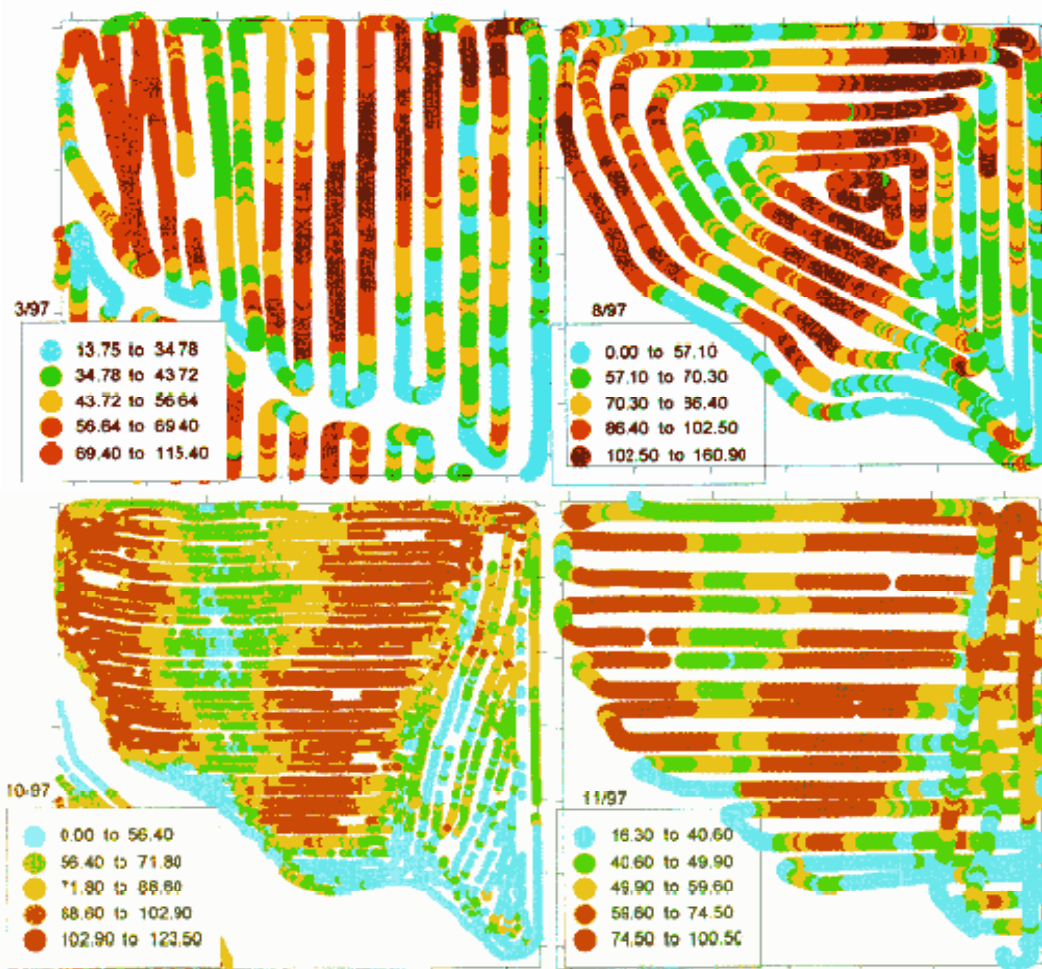
El costo de mapear la conductividad del suelo o cosechas depende de las características propias del terreno y de la facilidad para ubicar las medidas. Influyen factores como **transitabilidad** por entre el cultivo. Si se va a trabajar en terreno plano sembrado con pasto, influye la altura del pasto; el trabajo será más lento en pasto alto, que en pasto recién cortado. Lo mismo aplica para pastos naturales. Si la vegetación impide transitar fácilmente, la toma de medidas eléctricas resultará más lenta. La **presencia de ciertas plagas** puede demorar el trabajo de campo y por consiguiente resulta más costoso.

La **pendiente del terreno** es otro factor que incide sobre el costo de mapear conductividad. Algunos cultivos como por ejemplo café se hallan en lomas ondulantes, o pendientes de hasta cuarenta grados. Transitar por el cultivo en esas condiciones es más demorado y por lo tanto resulta más costoso el trabajo.

Los cultivos que se realizan entre el bosque, como son cacao, caucho, ciertas nueces, palmas de sotobosque, y algunos maderables, tienen sus particularidades. Algunos de estos tienen los árboles numerados, y las mediciones se pueden amarrar directamente

Mapear suelos detalladamente en bosque poco intervenido es difícil, debido a dos complicaciones principales. La primera es la dificultad para transitar. Las enredaderas, lianas y espinosas hacen indispensable abrir trochas para transitar. Por otro lado, no se pueden hacer visuales directas al cielo para obtener los datos de satélites que alimentan el GPS. Al trabajar en bosque o en cultivos de especies maderables es preciso hacer topografía tradicional. Eso incrementa los costos del mapeo de los suelos usando conductividad eléctrica o cosechas por cualquier método.

Cuando el **suelo se encuentra excesivamente compactado**, es más difícil introducir los electrodos. Esto es bien significativo en algunas zonas de los Llanos Orientales por las pisadas del ganado, o en algunos suelos de selva.



**Fig A6.** Un campo mapeado bajo diferentes condiciones de humedad siempre revela las mismas zonas homogéneas. Esto es crucial para evaluar la aplicabilidad de los mapas de CE en agricultura de precisión. Al delimitar zonas, no influyen mayormente los parámetros de humedad del suelo. Hay que evaluar toda el área de estudio bajo condiciones similares, para que haya parámetros equivalentes. Es difícil interpretar mapas vecinos de dos zonas mapeadas bajo diferentes condiciones de humedad o temperatura ambiente. Para que los mapas de CE sean útiles, los patrones y las áreas identificadas han de ser consistentes y repetibles.

El mapa de arriba es de un suelo limoso de Kansas, E.E.U.U., en el cual se sembró trigo. Durante 1997, el terreno se mapeó bajo cuatro condiciones diferentes de temperatura del suelo, humedad del suelo, y condiciones de densidad superficial.

Nótese, por ejemplo, la zona marcada con rojo rodeada de color naranja. Dicha franja corre de NE a SW por el centro del lote. Esta y sus "halos" se aprecian claramente en todas las imágenes.

El campo se mapeó en marzo, cuando despertaba el cultivo de maíz "de invierno". Posteriormente se volvió a mapear en julio, inmediatamente después de la cosecha; a comienzos de octubre, luego de múltiples pasadas de maquinaria agrícola; y luego en noviembre, justo antes de dejar reposando la tierra durante el invierno. Como se aprecia en los mapas, aunque variaron los valores de CE, las zonas definidas no cambiaron. La cartografía de CE con base en puntos resultó tener un factor de correlación por repetición del 0.94.

Al cambiar la humedad, la conductividad del suelo varía tan sólo entre 5 y 10 por ciento, excepto en suelos de arena casi pura. Como resultado, se pueden detectar contrastes en el tipo de suelo, sin importar cuáles son las condiciones de humedad. Mientras esta sea homogénea en todo el terreno, se notarán los contrastes. Como corolario, se deduce que la CE no es una herramienta adecuada para determinar contenido de humedad en suelos agrícolas. El texto y las figuras fueron tomados de la página web <http://www.veristech.com>.

## Referencias

Blackmore, S. (2002) Developing the Principles of Precision Farming, Centre for Precision Farming, Royal Veterinary and Agricultural University, Dinamarca. <http://www.cpf.kvl.dk>

Bragachini, M. (2008) Agricultura de Precisión - Presente y Futuro en Argentina (Presentación Power Point), 7mo. Curso de Agricultura de Precisión y 2da. Exposición de Máquinas Precisas, INTA EEA Manfredi, Argentina. <http://www.agriculturadeprecision.org>

Reyes Laines, F. (2009) Efecto de la roca fosfórica, incubada en solución de Microorganismos Eficaces en el rendimiento de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*), Primer Seminario Latinoamericano de la Tecnología EM - Una Revolución Para Salvar La Tierra, Julio 24, AgroExpo, Bogotá, Colombia.

Van der Wal, T. (2008) Precision Agriculture in relation to Cross Compliance and FAS (Presentación Power Point), Congreso anual MARS, Opportunities of satellite navigation in agriculture, Diciembre 3 a 5, 2008.

O'Brien (2009) Calculating the Value of Precision Agriculture Technology –A Farmers' Prospective, 15 p.

Algunas de las figuras referidas se encuentran en el documento: Mapeo de Conductividad Eléctrica del Suelo <http://www.logemin.com/esp/art39.html>.

**\*Dr. Alberto Lobo-Guerrero Sanz**

Vice-Presidente de Operaciones, LOGEMIN S.A.

Calle 127A, No. 51A-90, of. 309, Bogotá, Colombia

Teléfono: +57-1-643-5364, E-mail: [ageo@logemin.com](mailto:ageo@logemin.com)

[www.logemin.com/esp/c8.htm](http://www.logemin.com/esp/c8.htm)

---

**Recomendación Final**

Un agricultor como usted no debería abonar parejo todo su terreno de cultivo. Si lo hace, está desperdiciando abono, porque no todo el terreno requiere la misma cantidad. Usando agricultura de precisión, puede dejar de botar plata en semilla, abono y agroquímicos. Con estas técnicas, usted puede cosechar mayor cantidad de pasto, y poner muchas más cabezas de ganado por hectárea. La agricultura de precisión se va a ver en mayor ingreso por hectárea trabajada.