

Haciendo Realidad la Agricultura de Precisión

Egbert Spaans

Presidente ALIA2 - Asesores Líderes Integrales para la Agricultura y el Desarrollo S.A.,
Guayaquil, Ecuador y Profesor Adjunto Universidad EARTH; espaans@alia2xti.com

Presentado en el V Congreso Nacional de Suelos, Asociación Costarricense de Ciencia de
Suelo, Heredia, Costa Rica, 29 – 31 agosto, 2007

INTRODUCCIÓN

Investigaciones e innovaciones en la tecnología de agricultura han resultado en enormes incrementos en la productividad agrícola. El mejoramiento genético, conocimientos sobre la nutrición de la planta, la mecanización de labores agrícolas y el entendimiento del ciclo de vida de las plagas para manejarlos de manera efectiva, todos han contribuido para poder alimentar una población mundial creciente. Los avances tecnológicos han sido utilizados para elaborar paquetes tecnológicos para los diferentes cultivos. Un paquete tecnológico es un cronograma de actividades que el productor tiene que llevar a cabo para llegar a una cosecha exitosa.

En general, estos paquetes tecnológicos no siempre consideran las diferentes condiciones productivas que el cultivo puede encontrar en el campo. Hay diferentes tipos de suelo, el nivel freático varía, infestaciones de plagas pueden presentarse en focos localizados, temperaturas cambian con altura y estación, así que un mismo cultivo puede encontrar diferentes condiciones, inclusive a pequeña escala. Si el manejo no considera esas diferencias y toma una sola decisión (regar, aplicar una dosis de fertilizante, etc.) sobre un campo heterogéneo, no podemos esperar que el cultivo responda de manera uniforme, ni que los recursos fueron asignados de manera óptima; haciendo lo que el promedio requiere siempre resulta en excesos en unos lugares, y deficiencias en otros.

La Agricultura de Precisión nació como una respuesta a esa limitante. Es un concepto de administrar los recursos en un sistema productivo que responde a las condiciones específicas en cada sitio, que varían tanto en el espacio como en el tiempo. Así, la Agricultura de

Precisión puede ser considerada como el próximo nivel tecnológico en la agricultura, buscando optimizar la eficiencia en el uso de los recursos y así maximizar la utilidad que genera la actividad agrícola y minimizar su impacto ambiental.

LA IMPLEMENTACIÓN DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Marco conceptual

El concepto de Agricultura de Precisión que hemos venido desarrollando e implementando, es de carácter práctico y enfatiza aplicar la ciencia para sistemáticamente optimizar sistemas productivos.

La implementación de este concepto consiste de dos pasos importantes. Primero, hay que desarrollar una estrategia para manejar la variabilidad espacial de las condiciones productivas en el campo. El segundo paso consiste de un diagnóstico integral del sistema productivo, que incluye el proceso de toma de decisiones y los flujos de información que preceden ese proceso, la veracidad y la efectividad de las decisiones y su ejecución. Con base en este diagnóstico, se desarrollan recomendaciones técnicas, capacitaciones, en ocasiones se proponen estructuras administrativas alternativas, nuevos proyectos de investigación, todo ello en función del sistema para manejar la variabilidad, de tal manera que las decisiones son las más acertadas posibles para el sitio específico (= manejo diferenciado en lugar de manejo uniforme) y el momento adecuado (= manejo dinámico en lugar de manejo estático).

El primer paso: Estrategia para manejar variabilidad en campo

La geo-estadística nos enseña que la variabilidad espacial aumenta con distancia (o en efecto área); eso quiere decir que la probabilidad que dos puntos en el campo sean iguales (parecidos) en cuanto a un cierto parámetro, es alta cuando los puntos están cercanos, pero disminuye conforme la distancia entre los puntos aumenta (Figura 1).

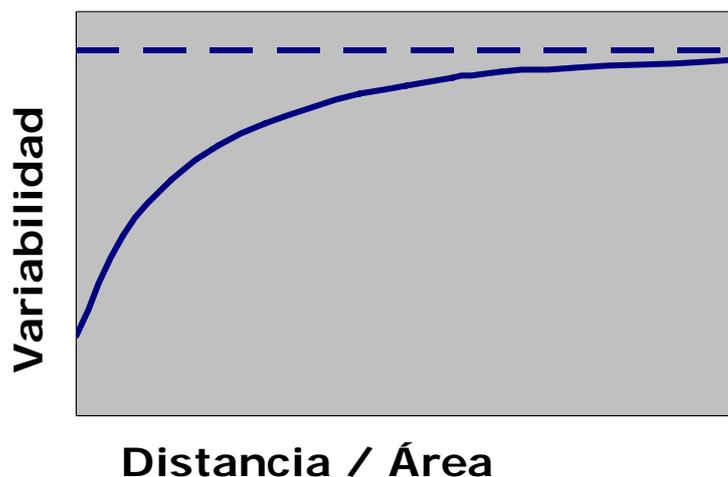


Figura 1. Un semi-variograma que demuestra como la variabilidad aumenta con la distancia entre dos puntos, o en efecto con el tamaño del área de una unidad de manejo.

Con base en este criterio científico, la unidad de manejo debería ser lo más pequeña posible, para maximizar la probabilidad que las condiciones productivas dentro de esa unidad sean homogéneas (vale aclarar que nosotros utilizamos el término unidad de manejo para indicar el lote o la parcela, sobre lo cual se toman decisiones uniformes de manejo; también se utiliza el término zona de manejo). Sin embargo, las labores mecanizadas y el riego por gravedad, por ejemplo, se hacen más eficientes en lotes grandes, entonces esto es un argumento a favor de unidades de manejo grandes. Por tanto, el ejercicio para decidir el tamaño promedio de las unidades de manejo y definir los límites de cada lote debe de balancear ambos argumentos.

En esencia, la implementación de Agricultura de Precisión comienza con una subdivisión de la finca, para crear unidades de manejo (mini-fincas) que son homogéneas en cultivo (uso) y en el tipo de suelo, la hidrología, la topografía, el microclima, y otros parámetros que determinan las condiciones para el desarrollo del cultivo. Es importante no exagerar la división porque puede generar un sistema tan complejo que complica la logística y obstruye la coordinación de labores en campo. En la práctica, la subdivisión es un trabajo en equipo con el productor y se puede hacerlo con base en el conocimiento y la experiencia del productor, un estudio de suelos y un levantamiento topográfico.

El segundo paso: Diagnóstico e implementación

Una vez dividida la finca, comienza la captura de información sobre el sistema productivo en cada unidad de manejo; monitoreo de cosecha (cantidad y calidad), análisis de suelo y foliar, labores de campo, costos de producción, densidad de siembra, cantidad y composición de malezas, entre otros parámetros que afectan la producción y la utilidad económica de la actividad. Estas informaciones ayudan a conocer más al detalle el sistema productivo y permiten tomar mejores decisiones. La adquisición de información es un principio de la Agricultura de Precisión, porque se supone que no se puede mejorar lo que no se sabe, y no se sabe lo que no se mide. Obviamente las mediciones y los análisis tienen un costo, pero el aumento en eficiencia que se puede lograr con esa información genera ingresos que son muy superiores a este costo.

El diagnóstico se enfoca a evaluar la eficiencia del uso de recursos naturales, humanos y económicos. Luego se proponen alternativas de manejo para mejorar las condiciones productivas para el cultivo, individualmente por cada unidad de manejo. Si hay incertidumbres sobre el manejo óptimo, se realizan ensayos para investigar la respuesta del cultivo a diferentes tratamientos. La búsqueda de nuevos conocimientos es una parte integral de la Agricultura de Precisión¹, y la adquisición continua de información del campo por unidad de manejo permite oportunamente evaluar la efectividad de las decisiones tomadas. Este proceso da paso a un manejo diferenciado (por sitio específico) y dinámico, porque continuamente responde a las condiciones que en este momento prevalecen en el campo.

CASO BANANO

En la Empresa AgroComercial de la Universidad EARTH en Costa Rica se produce banano en cuatro plantaciones. En el año 2002 iniciamos un proyecto de Agricultura de Precisión en una de las plantaciones de aproximadamente 100 ha, que se manejaba de manera uniforme¹. Fue una plantación de más de 40 años de edad, que en algunos sectores se había renovado, y la productividad era baja y los costos elevados. El primer paso fue una división de la

¹ Spaans, E. and L. Quiros. 2002. Precision agriculture as a basis for better management decisions and on-farm research. Proceedings of the Second International Workshop on Mycosphaerella Leaf Spot Diseases of Bananas, CORBANA-EARTH-INIBAP-CATIE, San José, Costa Rica, 20-23 of May, 2002. Disponible en http://www.inibap.org/pdf/IN030306_en.pdf

plantación. No hubo mapa de suelo ni de la topografía, y por la urgencia del proyecto se decidió utilizar la red de cable vías para crear lotes rectangulares de 4 ha cada uno. Se recolectaron datos por lote de cosecha, de análisis foliar y de suelo, además de muestras de raíces funcionales como índice de la infestación de nemátodos.

La productividad de la plantación variaba de 943 a 3040 cajas/ha, una variabilidad de más de 300%, que genera una variabilidad en utilidad económica enorme, porque los costos de producción eran en su mayoría costos fijos (costos por ha, independientes de la productividad). La interpretación de los datos de los análisis de suelo, foliar y raíces funcionales no reveló ninguna correlación con la productividad. Eso quiere decir que la variabilidad de la cosecha dentro de la plantación no fue debido a nutrición ni a la infestación de nemátodos. Esto en sí fue novedoso, porque el administrador manifestaba que su estrategia para mejorar la plantación consistía en mayores aplicaciones de fertilizante y nematicida; ambos no hubieran tenido el efecto deseado, más bien hubieran incrementado el gasto innecesariamente y con eso disminuido las utilidades.

La razón verdadera de la baja productividad era la edad de la plantación (Figura 2). Los 5 lotes que tenían productividades encima del punto equilibrio (=cero utilidad, cuando los ingresos cubren los gastos) representaban los sectores donde se había renovado la plantación. La decisión más acertada entonces para mejorar esta plantación, fue renovar. El mismo monitoreo de cosecha indicaba el orden en el cual se debían renovar los lotes, empezando con el de menor producción.

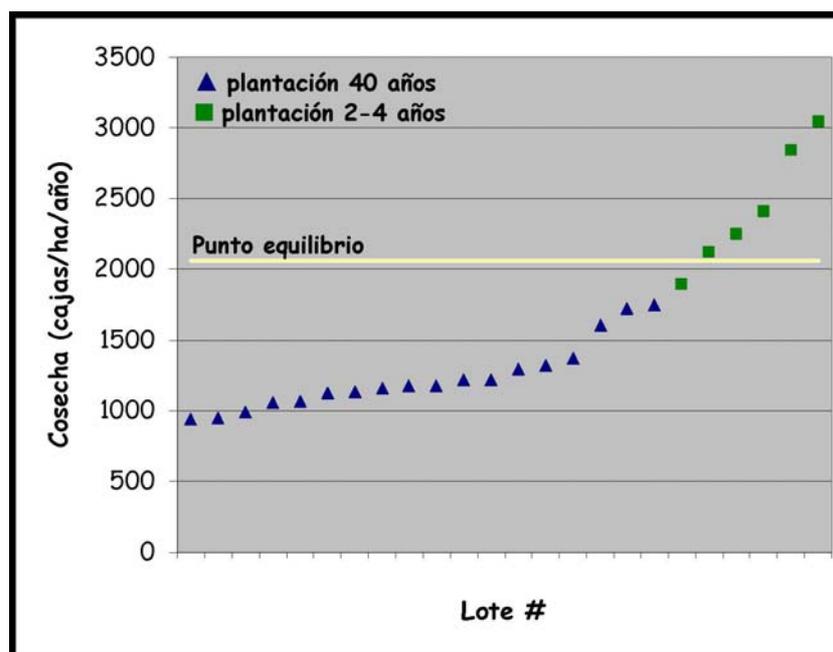


Figura 2. Productividad de 24 lotes de la plantación de banano, en orden de productividad.

CASO CAÑA DE AZÚCAR

Con el Ingenio San Carlos, cerca de Guayaquil, Ecuador, empezamos con la implementación de Agricultura de Precisión en sus plantaciones de 17,000 ha, en el año 2003. La unidad de manejo fue el cantero, con un tamaño promedio de 47 ha. En un estudio piloto se midió la cosecha en parcelas dentro de los canteros y se encontró que el 71% de los canteros tenía más de 10% variabilidad y que el 41% tenía más de 30% de variabilidad en producción. Esto indicaba que los canteros no podían ser considerados unidades de manejo homogéneas, y se decidió subdividir los 350 canteros en 1310 lotes de 12.6 ha promedio. De allí en adelante todos los datos provenientes de campo se recolectaron por lote. Después de este proceso se realizó un levantamiento planimétrico del Ingenio para determinar con exactitud el área y la ubicación de cada lote, utilizando K-GPS (cinemática con posprocesamiento)².

Para la subdivisión se utilizaron caminos internos, canales de riego y drenaje y otra infraestructura existente, porque no había información disponible sobre la distribución de los suelos. Recién concluimos el levantamiento de suelos, y hemos encontrado que todavía hay

² Spaans, E. and L. Estrada. 2004. Sense and non-sense of satellite navigation for precision agriculture in the tropics. *European Journal of Navigation* 2(3): 71-76. Copia digital disponible del autor.

una cantidad de lotes con dos o más diferentes tipos de suelo, por lo tanto estamos evaluando si se puede redefinir los límites de dichos lotes para crear condiciones de suelo más homogéneas. Obviamente, esto no es lo ideal pero sí es la realidad en la práctica. En este caso se prefiere sacrificar el historial de 3 años de estos lotes, pero con el beneficio de ganar homogeneidad y por tanto respuestas más uniformes del cultivo dentro de cada lote a futuro.

En el diagnóstico encontramos que se utilizaron tres planes principales de fertilización para las 17,000 ha de caña de azúcar. Los análisis de suelo demostraron una gran diversidad de niveles de fertilidad. Además, encontramos que las diferentes variedades de caña de azúcar extraen diferentes cantidades de nutrientes del suelo. Se diseñó un plan de fertilización para cada lote en función de la fertilidad del suelo, la textura, la variedad de caña, y la producción proyectada. En la Figura 3 se puede apreciar el manejo diferenciado con la Agricultura de Precisión (año 2005) en comparación con el manejo anterior (años 2003 y 2004). En el 2005 se aplicó la misma cantidad de fertilizante potásico que en los años 2003 y 2004, sin embargo, esa misma cantidad de fertilizante estuvo mucho más distribuida para dar el K en la cantidad que realmente se requiere en cada lote. En este caso, el manejo diferenciado no genera ahorro, sino un uso más racional del fertilizante para optimizar la nutrición del cultivo en toda la plantación³.

En la preparación de los suelos se ha podido reducir drásticamente el uso del subsolador porque las mediciones de densidad aparente en el subsuelo indicaban que solamente en pocas ocasiones hubo compactación. Eso es de esperar porque la cosecha se realiza en época seca cuando los suelos tienen alta resistencia. En los años 2002 y 2003 se subsolaba el 83% del área de siembra, mientras que en los años 2004 y 2005 se subsoló solamente el 20% del área de siembra como consecuencia de la implementación del sistema de monitoreo de la densidad aparente previo a la siembra⁴. Esto no solamente ahorra dinero, sino también preserva la estructura y el nivel de materia orgánica del suelo por la fuerza física y la inyección de oxígeno que causa el subsolador. El seguimiento de los lotes subsolados y no subsolados

³ Egbert Spaans y Oscar Nuñez. 2006. Haciendo realidad la Agricultura de Precisión en el Ingenio San Carlos. VI Congreso de ATALAC, Guayaquil, 11-15 septiembre, 2006. Copia digital disponible del autor.

⁴ Egbert Spaans y Oscar Nuñez. 2006. Manejo de la estructura del suelo con precisión. X Congreso de la Sociedad Ecuatoriana de Ciencias de Suelo, nov 22-24, 2006, Guayaquil, Ecuador. Copia digital disponible del autor.

hasta la fecha indica que no hay diferencias significativas en producción, lo cual es prometedor.

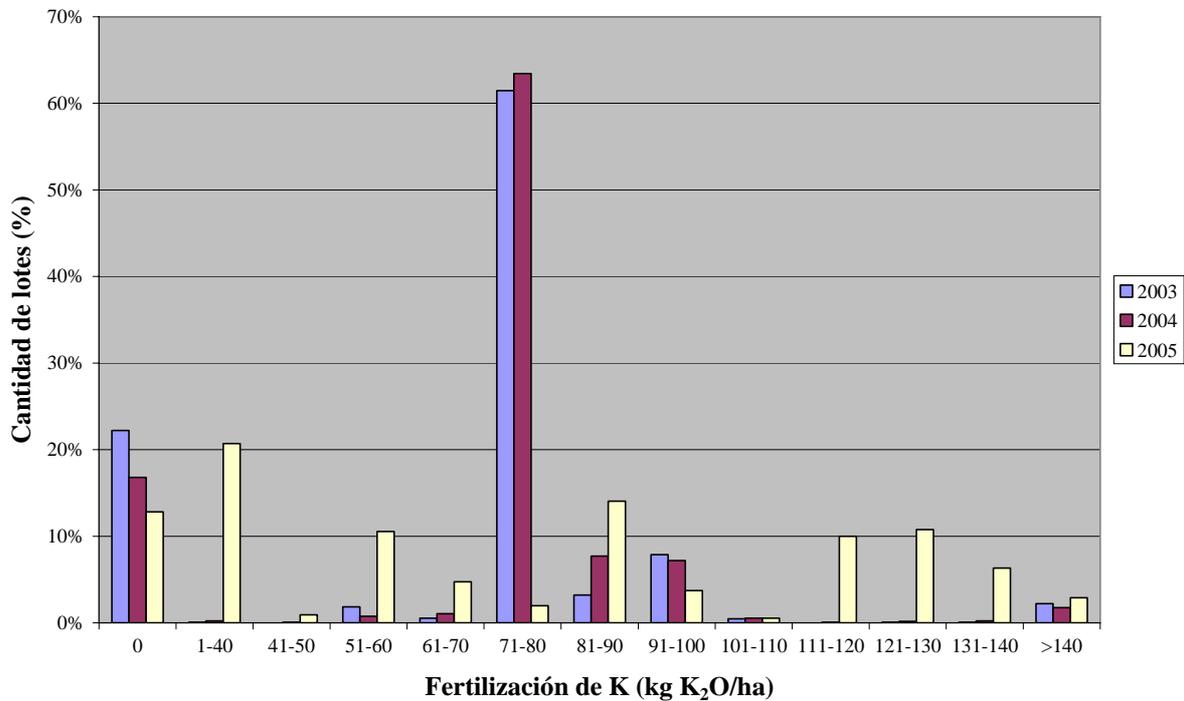


Figura 3. La distribución de frecuencia de la cantidad de lotes que reciben una cierta cantidad de fertilizante potásico al suelo, para los años 2003, 2004 y 2005.

CASO PALMITO

En Costa Rica existe un paquete de fertilización generalmente recomendado y usado por la mayoría de los productores de palmito. Cálculos preliminares de extracción por el cultivo indicaban que este paquete es muy generoso en las tasas de fertilizantes aplicadas al suelo.

Con el Sr. Carlos Pereira de La Lucha, Guácimo, hicimos un proyecto de Investigación Participativa para desarrollar una fertilización dinámica que respondiera a las necesidades reales del cultivo. Con base en análisis de suelo y foliar, datos de producción y la extracción de nutrientes del cultivo, desarrollamos un modelo que anualmente calculaba el plan de fertilización para una parcela de 1 ha. Como testigo, se estableció un lote adyacente de 1 ha que mantuvo el plan de fertilización convencional. En la Figura 4 se demuestran los planes de fertilización anuales para el experimento. Debido a que la diferencia entre el plan

convencional (la columna “Paq. Tec.” en Figura 4) y el plan calculado (columna “2004”) era tan grande, decidimos paulatinamente reducir las dosis de fertilización en los primeros dos años y no aplicar las dosis calculadas por el modelo, para no comprometer la producción. Sin embargo, basado en la buena respuesta del cultivo en los años 2002 y 2003, en el último año (2004) de esta investigación se redujo la cantidad de fertilizante al nivel que el modelo inicialmente calculaba. En los tres años del experimento, la producción en ambas parcelas se mantuvo en 13,000 candelas/ha. Esto demostró que logramos bajar el costo de fertilizante de \$240 a \$141/ha sin reducir la producción de palmito, haciendo así más eficiente el sistema de producción y disminuyendo el impacto ambiental.

	Paq. Tec.	2002	2003	2004
N	250	155	99	76
P	9	40	20	19
K	166	72	74	96
Ca	--	128	168	270
Mg	--		84	7
S	--			9
Costo	\$240	\$184	\$183	\$141

Figura 4. Plan de fertilización convencional (“Paq. Tec.”) del testigo comparado con los planes de fertilización del tratamiento para los años 2002, 2003 y 2004. El costo corresponde únicamente a los precios (2005) de los fertilizantes.

CONCLUSIONES

El enfoque de Agricultura de Precisión presentado en este artículo es práctico y basado en ciencia aplicada. Es un concepto para optimizar el uso de los recursos naturales, humanos y económicos, que tiene como resultado una mayor rentabilidad económica de la actividad productiva y un menor impacto al medio ambiente. Más que un producto final, la Agricultura de Precisión es un proceso que primero busca una estrategia para manejar la variabilidad en el campo, y luego diseña un manejo agronómico específico considerando las condiciones actuales y el potencial de cada área. La fortaleza de este enfoque es su sencillez, con tecnología de fácil acceso y brindando resultados concretos a corto plazo.