

## MANEJO DE NUTRIENTES EN AGRICULTURA POR SITIO ESPECIFICO EN CULTIVOS TROPICALES

José Espinosa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS), Casilla 17-17-980, Quito – Ecuador, e-mail: jespinosa@ppi-ppic.org

### Introducción

Los condicionamientos económicos y ambientales del momento han promovido el desarrollo de nuevas técnicas de manejo de los sistemas agrícolas. Con el rápido desarrollo de la tecnología en información y comunicaciones se han diseñado sistemas alternativos de manejo como la agricultura de precisión, mejor definida como agricultura por sitio específico. Este sistema de manejo utiliza los sistemas de posicionamiento global, los sistemas de información geográficos y los modelos de simulación para elevar los rendimientos y la eficiencia de los insumos utilizados al determinar en forma exacta la variabilidad espacial de las condiciones de suelo y de los requerimientos del cultivo.

### Manejo de nutrientes en agricultura por sitio específico

Tradicionalmente, el manejo de la nutrición se ha basado en el promedio del contenido de nutrientes medido por el análisis de suelos. Este método de diagnóstico trata de definir el manejo nutricional sobre la premisa de que la variabilidad intrínseca del suelo está bien cubierta cuando se muestra para obtener una media de la fertilidad del lote. Sin embargo, han ido apareciendo formas particulares de manejo que incentivan la imaginación al obtener rendimientos muy altos en forma sostenida. Uno de estos ejemplos es el manejo diseñado por Sr. Herman Warsaw, quien se convirtió en el productor de cosechas récord de maíz en Illinois, Estados Unidos. El sistema del Sr. Warsaw se basa simplemente en el riguroso manejo de un plan diseñado para un suelo, clima y manejo específicos. El plan es específico para un sitio particular básicamente haciendo las cosas correctas, por la razón correcta en el sitio y épocas correctas. Se empiezan entonces a dar los primeros pasos en lo que posteriormente sería el manejo por sitio específico. La búsqueda de rendimientos altos sostenidos es la fuerza detrás del sistema.

Este nuevo tipo de manejo aparece como respuesta a inquietudes nuevas. Es común el encontrar que los rendimientos promedio no sobrepasan las expectativas o rendimientos bajos en suelos con altos contenidos de nutrientes. Se empieza a sospechar que la variabilidad espacial del campo es un factor que limita severamente los rendimientos. Cuando se dividen los lotes para muestreo tradicional se asume que cada lote es uniforme pero en realidad la variabilidad intrínseca es muy grande y lamentablemente no se dimensiona con esta forma de muestreo (Brouder, 1999).

### Causas de la variabilidad en el campo

La variabilidad en el campo se debe a varios factores naturales y antropogénicos. El factor natural más importante es el tipo de suelo cuyas características están definidas por el material parental y la topografía. La actividad humana promueve la variabilidad a través de la distribución de residuos en el pasado reciente y lejano, afectando la acumulación de materia orgánica con todas sus implicaciones. Además, son factores importantes en la variabilidad antropogénica la distribución de fertilizantes, la diferente remoción de nutrientes causada por diferentes tipos de cultivos y rotaciones y el efecto significativo de la erosión (Brouder, 1999).

En estos momentos, es claro que el manejo basado en la media de la fertilidad ya no es suficiente para mantener rendimientos altos sostenibles en agricultura empresarial y aun en agricultura de menor intensidad. Es común observar que se sobrefertiliza las áreas de bajo rendimiento y que no usan suficientes nutrientes en las áreas de alto rendimiento. El continuar con el manejo basándose en la media de la fertilidad solamente incrementa la variabilidad y reduce la productividad de la finca. Cuando estas condiciones se hacen aparentes es necesario iniciarse con manejo por sitio específico.

### **Objetivos del manejo por sitio específico**

El manejo por sitio específico busca identificar y cuantificar la variabilidad espacial presente en la finca, para luego determinar el impacto de esta variabilidad en el rendimiento. Una vez que se entiende el efecto de la variabilidad se pueden determinar las estrategias que permitan manejarla de modo que se incrementen los rendimientos, se mejore la rentabilidad y reduzca el potencial impacto ambiental de la actividad.

En el manejo por sitio específico, la búsqueda de rendimientos continua siendo la fuerza de empuje. Más aun, el rendimiento permite cuantificar la variabilidad ya que el rendimiento es el indicador biológico que integra el impacto acumulado del recurso natural, los insumos utilizados, el clima y el manejo. El manejo por sitio específico considera la respuesta en rendimiento a cada uno de los factores antes mencionados y a su interacción. Por esta razón, uno de los puntales del manejo por sitio específico en la medición exacta de los rendimientos obtenidos en cada uno de los lotes de la finca. Cuando se empieza a cuantificar cuidadosamente el rendimiento dentro de la finca se observa claramente la variabilidad y se desarrolla el deseo de conocer bien cuales son los factores que están limitando la producción.

En los cultivos que se cosechan mecanizadamente se puede cuantificar el rendimiento por medio de los monitores que miden la cantidad de grano cosechada a medida que la combinada se mueve en el campo. De esta forma se puede hacer un mapa de rendimiento que indica exactamente el rendimiento de cada sitio en el campo. Con la ayuda del satélite se puede hacer un mapa de rendimientos que permite observar claramente la variabilidad del lote.

Por otro lado, el manejo por sitio específico requiere que el productor conozca lo mejor que pueda el suelo de su finca. Para esto es necesario hacer un muestreo de suelos intenso y cuidadoso. Esto se logra dividiendo los lotes en cuadrículas y tomado muestras de cada una de las cuadrículas. Los sitios de muestreo son georeferenciados con el satélite, de esta forma se puede confeccionar un mapa donde se observe la variabilidad de suelos en el lote y que ayude a entender la fertilidad y otras condiciones que podrían limitar la del sitio.

Al comparar el mapa de rendimientos con el mapa de suelos se puede correlacionar las áreas de bajo rendimiento con las condiciones particulares del sitio. Esto permite desarrollar una estrategia de manejo que elimine el factor(s) limitante o que reduzca la variabilidad que impide obtener rendimientos altos.

El mapa de rendimientos y el mapa de suelos se confeccionan rápidamente usando los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS, Global Positioning System) y los Sistemas de Información Geográfica (GIS, Geographic Information System), una vez que se han colectado y digitalizado los resultados de la medición del rendimiento y del muestreo de suelo en cuadrículas. El GPS está conformado por una red de satélites que transmiten señales que pueden ser captadas por receptores en tierra. De esta forma se puede identificar la latitud y longitud (posición exacta del sitio) en cualquier parte de la tierra. Al medir el rendimiento, así como al muestrear el suelo, se puede determinar exactamente el sitio en el campo para poder regresar exactamente al mismo sitio cuando sea necesario. De esta forma es posible comparar los mapas de rendimiento y de suelo por ejemplo.

El GIS es un sistema detallado de mapeo que puede delinear en forma digital la variabilidad dentro de un lote como el rendimiento, tipo de suelo, niveles de fertilidad, pH, humedad, etc. Esta variabilidad es la que determina la variabilidad en rendimientos y es la que se debe manejar (Figuras 1 y 2).

### **Ventajas y desventajas del manejo por sitio específico**

El manejo por sitio específico mejora la rentabilidad al incrementar los rendimientos y reducir el costo de los insumos. Esto no implica tácitamente que se vayan a utilizar menos insumos sino más bien que se hace más eficiente su uso, obteniendo más rendimiento por unidad de superficie. El mejor manejo asegura una producción de mejor calidad que también aporta para la rentabilidad. Además, el manejo por sitio específico permite un mejor manejo ambiental.

Entre las desventajas se pueden citar el costo de implementación (equipo, muestreo, mapas) y del entrenamiento para hacer uso de la tecnología. Además, los cambios reales por uso de la tecnología, y en

consecuencia el ahorro, se ven en tres o cuatro años. Esta es una inversión a largo plazo que empezará a pagarse a mediano y largo plazo.

Algunos de los programas de manejo por sitio específico desarrollados en Norte América todavía se cuestionan si las ganancias en rentabilidad justifican el alto costo de implementación del sistema. Sin embargo, existen otros no dudan en expresar su satisfacción con el sistema. Con la experiencia adquirida se van desarrollando nuevas de formas de interpretación de las bases de datos acumuladas por los Sistemas de Información Geográfica. En realidad la riqueza y utilidad del sistema radica en la gran cantidad de información que de acumula en las bases de datos, que ahora pueden ser analizados coordinadamente en una forma nunca antes posible.



Figura 1. Integrados, intensivos de sitio específico para manejo de suelos y cultivos

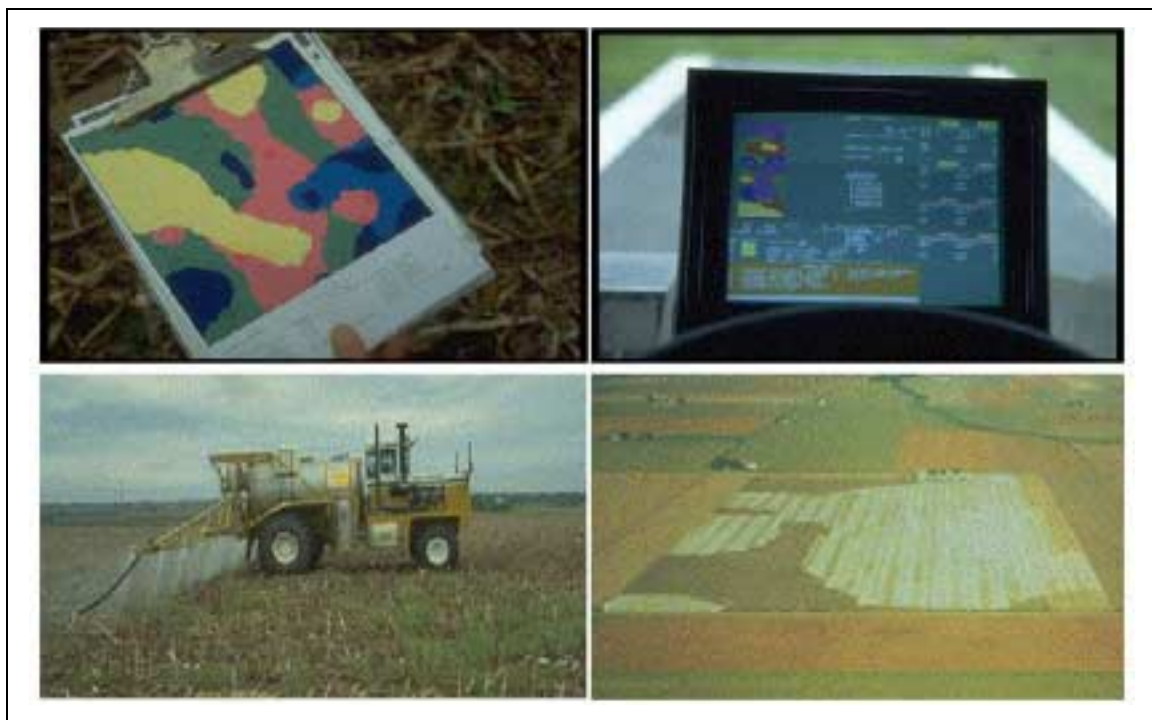


Figura 2. Distribución de dosis variables de fertilizantes de acuerdo al mapa de suelos digitalizado usando SIG.

### Manejo por sitio específico en cultivos tropicales

En cultivos tropicales de plantación como banano, café, cacao, palma aceitera, etc., la adopción del manejo por sitio específico, en la forma utilizada en cultivos extensivos en climas templados, presenta retos. La utilización de alta tecnología es limitada por el alto costo inicial y por un relativamente bajo conocimiento de las herramientas tecnológicas. Quizá el limitante más importante sea el monitoreo del rendimiento por el simple hecho de que estos cultivos se cosechan manualmente por el bajo costo de la mano de obra y la dificultad de implementar un sistema mecánico de cosecha que sea rentable y eficiente. Sin embargo, es posible desarrollar sistemas de menor tecnología, con el soporte de GPS y GIS pero que dependa más del conocimiento y experiencia de los productores. En este caso la inversión inicial debe ser baja, el sistema debe ser económicamente atractivo y debe basarse en cosecha manual (Stoorvogel, et al., 2000). A continuación se describe brevemente el caso de la implementación de un sistema de manejo por sitio específico para banano y palma aceitera.

El banano se cultiva en sistema de producción continuo y los rendimientos promedio de las fincas comerciales de áreas bananeras de América Latina varían entre 1000 y 4500 cajas/ha/año de banano de exportación. Cada caja tiene un peso de 18.14 kg. Dentro de las fincas, la variabilidad en el rendimiento es también grande. El obtener altos rendimientos requiere de alta utilización de insumos para mantener la fertilidad del suelo y para controlar las enfermedades y plagas. La recomendación general de fertilización es de 400, 150 y 650 kg/ha de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O, respectivamente.

Los nemátodos y la sigatoka negra son los principales problemas sanitarios del banano. Dos a tres ciclos de nematicidas se aplican rutinariamente y la sigatoka se controla con aplicaciones aéreas de mezclas de funguicidas. Cuando es necesario se controlan malezas con el uso de herbicidas o manualmente. Todas las labores, con excepción de las aplicaciones de funguicidas se llevan a cabo manualmente.

Los trabajadores de campo chequean constantemente el campo para determinar que racimos están listo para cosecha. Los racimos son cosechados manualmente y transportados al galpón de clasificación y empaque mediante un sistema de rieles de transporte (Figura 3). Las plantaciones de banana se dividen en bloques de acuerdo a su localización con respecto a los cables de transporte. Estos bloques tienen una superficie que varía entre 0.1 y 1.0 hectáreas y pasan a ser las unidades básicas de manejo de la finca.



Figura 3. Transporte de banano desde el sitio de cosecha al galpón de clasificación y empaque (Soto, 1992).



### Manejo por sitio específico en banano

Conociendo las circunstancias particulares de las fincas bananeras es posible diseñar un sistema de manejo que lleve finalmente a manejo por sitio específico con menor tecnología que se base en GPS y GIS pero que dependa del conocimiento y experiencia del agricultor en lo que se refiere al cultivo. Para iniciar manejo por sitio específico la finca debe tener infraestructura y administración organizada<sup>5</sup>.

### Mapa de suelos

Es necesario partir de un mapa general de suelos que debe utilizar un sistema de cuadrícula y GPS para localizar permanentemente el sitio de muestreo en el campo. El mapa general de suelos puede hacerse por medio de cualquiera de los GIS existentes en el mercado. En banano es importante más bien hacer un mapa de aptitud de suelo para cultivo del banano. Este mapa delimita claramente las unidades de suelo dependiendo de las limitantes presentes para el desarrollo óptimo del cultivo. Este es un sistema de aptitud que tiene la ventaja de determinar los particulares factores limitantes para el cultivo del banano (drenaje, textura, profundidad del perfil, acidez), pero al mismo tiempo acumula los datos necesarios para un mapa específico como el de dinámica de nutrientes. El mapeo utiliza el sistema de cuadrículas y puede utilizar fácilmente GPS para precisión del muestreo (Figuras 4 y 5).

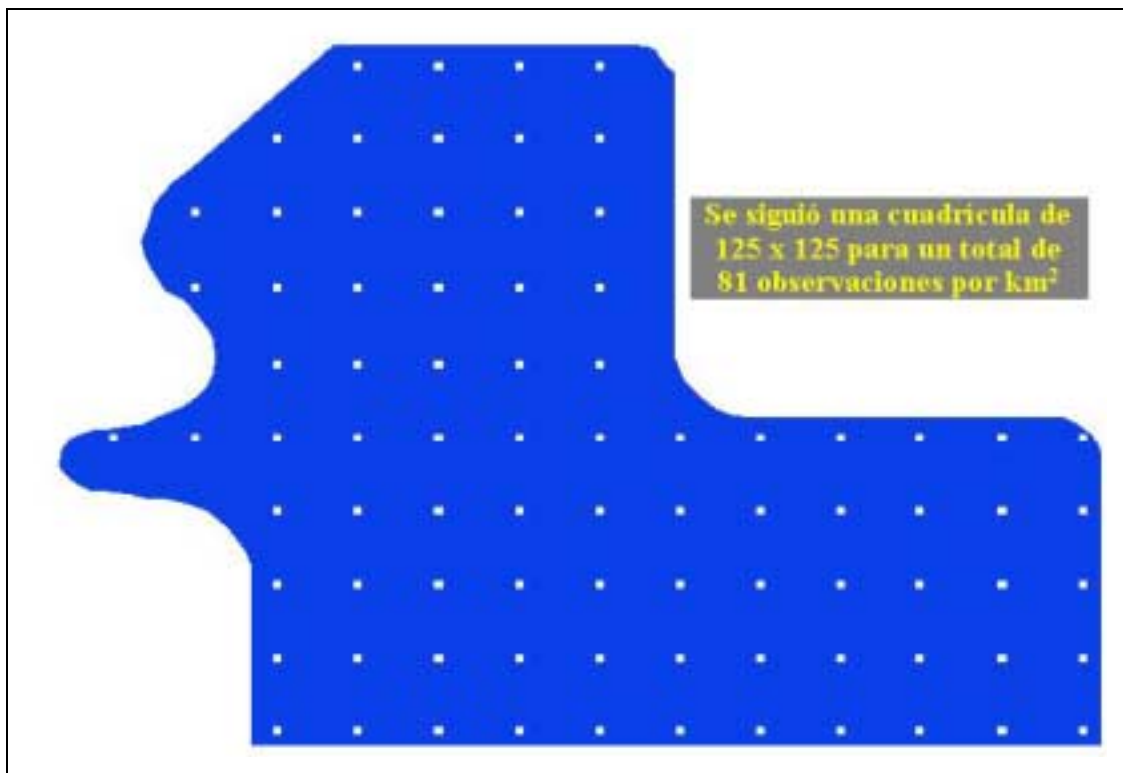


Figura 4. Muestreo intensivo para elaborar el mapa de aptitud de suelos para banano (López y Espinosa, 1995).

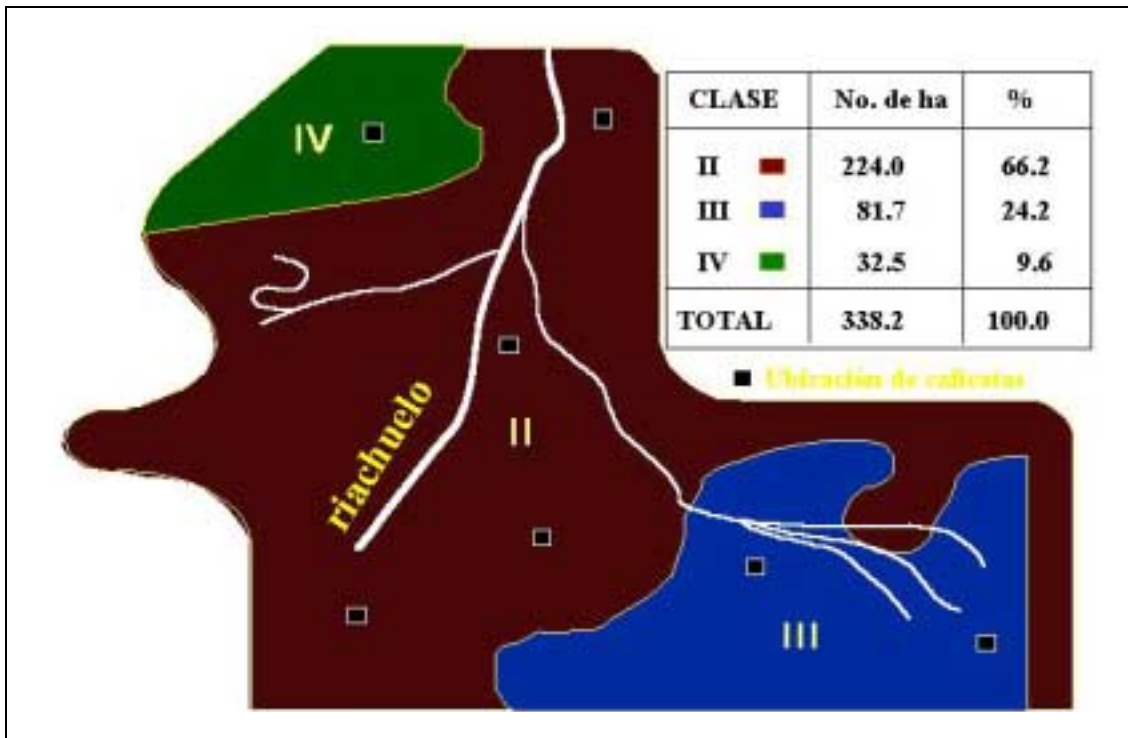


Figura 5. Mapa de aptitud de suelos en una finca de banano (López y Espinosa, 1995).

### Mapa de rendimientos

Debe existir una forma de registro del rendimiento de la fruta para poder diseñar un sistema de manejo por sitio específico. La fruta se cosecha y es transportada al galpón de procesamiento donde se pesa cada racimo en una balanza computarizada, registrándose el peso y cable de donde procede. En este caso se debe desarrollar un sistema particular de acumulación de datos porque toda la cosecha es manual y no existe la posibilidad de usar medidores de rendimiento enlazados con GPS. El sistema de cables para transporte de fruta también delimita las áreas y el rendimiento por área puede ser de esta forma monitorizado (Figuras 6 y 7). Este tipo de medición del rendimiento puede en principio ser difícil e inexacto hasta que todo el personal envuelto en la tarea se halle completamente entrenado. Sin embargo, es la única forma de conseguir información que determine la variabilidad de rendimientos en el campo. En esta forma se pueden hacer mapas detallados de rendimiento semanal, quincenal o mensual (Maning y BanMAN, 2000).

### Manejo por sitio específico en palma aceitera

Al igual que en banano, la cosecha manual de palma aceitera complica la obtención de datos para desarrollar el mapa de rendimientos. Sin embargo, cuando se logran individualizar los lotes adecuadamente la acumulación de datos permite eventualmente tener un buen mapa de rendimientos. Para esto se han desarrollado software que ayuda en esta tarea (Faihurst, 2000). La información obtenida con este software puede ser utilizada con los Sistemas Geográficos de Información de uso común.

En palma aceitera es común utilizar el análisis foliar como herramienta de diagnóstico, antes que el análisis de suelos. Sin embargo, un mapa de suelos inicial puede ser de mucha ayuda para determinar los factores limitantes antes de sembrar el cultivo y para luego monitorizar los cambios que podría afectar el rendimiento. Las Figuras 8 y 9 presentan ejemplos de mapas desarrollados con SIG en palma aceitera.



Figura 6. Distribución de cables de cosecha en una finca de banano. los cables delimitan las áreas de manejo (Maning y BanMan, 2000).



Figura 7: Primera delimitación de un mapa de rendimientos en una finca bananera, las áreas numeradas tuvieron bajos rendimientos (Maning y BanMan, 2000).

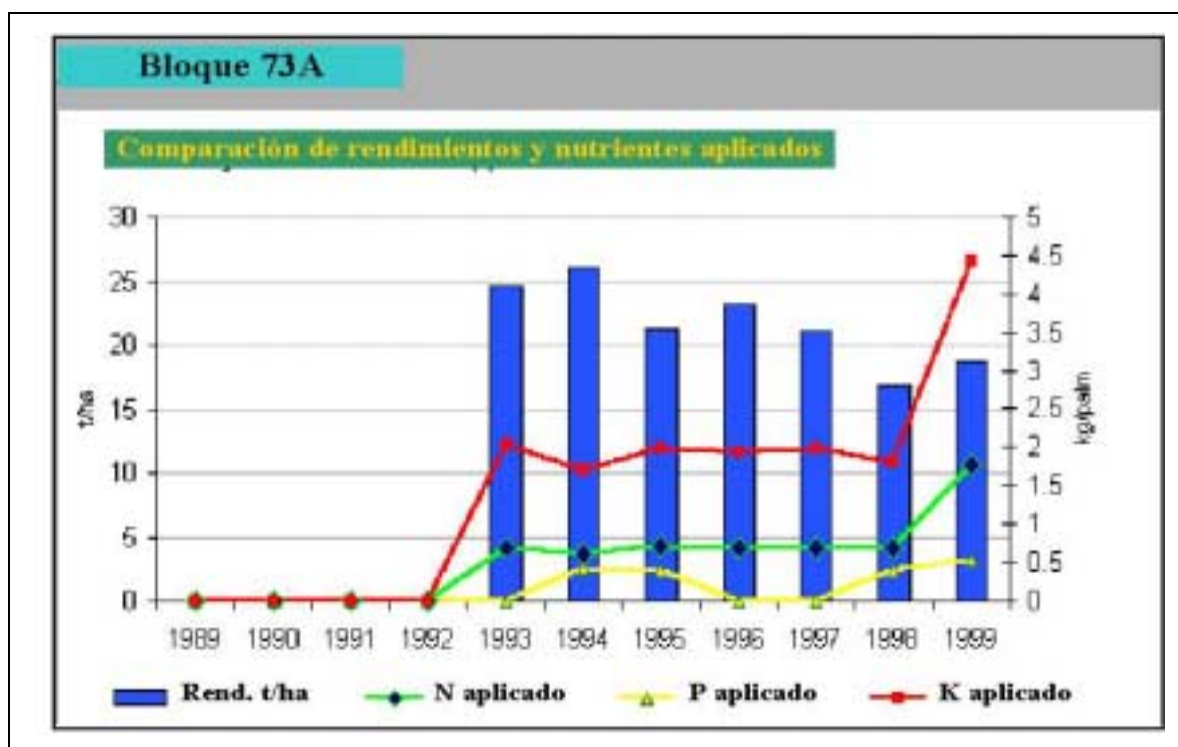


Figura 8. Ejemplos de tipos de mapas que se pueden diseñar para mejorar el manejo del cultivo de palma aceitera.



Figura 9. Evaluación del contenido de K foliar en una plantación de palma aceitera usando SIG.





**Figura 10. Manejo de la base de datos de una plantación de palma aceitera para comparar el efecto de la aplicación de nutrientes a través de los años.**

### Desarrollo del sistema de manejo por sitio específico

Al comparar los mapas de rendimiento se puede observar los bloques que rinden por debajo o por arriba de los rendimientos promedios esperados. Estos mapas de rendimiento pueden entonces superponerse con los mapas de suelos y se puede determinar la razón de la variabilidad en rendimiento. El análisis de esa variabilidad permite determinar cuáles serían los factores de suelo que estarían limitando el rendimiento y se puede diseñar una estrategia de manejo que permita eliminar estos factores limitantes para elevar los rendimientos a todo su potencial. El propósito es lograr más rendimiento por unidades de área y de insumo. En ocasiones será necesario aumentar el uso de insumos para lograr alcanzar el potencial de rendimiento del sitio y en otros será necesario reducir el uso porque el potencial de rendimiento del suelo de ese bloque es bajo. Incluso se pueden eliminar ciertas áreas donde la producción no es rentable por condiciones muy pobres de suelo.

La variabilidad en rendimiento puede ser también causada por errores en el manejo. Debido a que todas las actividades se hacen manualmente es posible que ciertos trabajos no se realicen con la presión requerida (aplicación de fertilizantes, nematodos, drenaje, etc). Al comparar los mapas de rendimiento se puede determinar zonas de conflicto respecto al manejo actual y se pueden hacer los correctivos correspondientes. En la Figura 11 se presenta un diagrama de flujo donde se ilustran los pasos para iniciar un sistema de manejo por sitio específico en banano.



**Figura 11. Diagrama de flujo de los pasos necesarios para implementar un sistema de manejo por sitio específico (Maning y BanMan, 2000).**

### Bibliografía

- Brouder, S.M. 1999. Applying site-specific management in soil fertility research and developing management information for variable rate technologies. In Proceedings of Information Agriculture Conference. Purdue University. p. 321.
- Fairhurst, T.H., A. Gfroerer Kerstan, I.R. Rankine, and J. Kuruvilla. 2000. Use of geographic information Systems in plantation agriculture: Linking digital maps to agronomic Database Sets. International Planters Conference Plantation Tree Crops in the New Millennium: The Way Forward. Kuala Lumpur. May 2000.
- López, A., y J. Espinosa. 1995. Manual de nutrición y fertilización del banano. INPOFOS. p. 43.
- Maning, L. BanMAN, A. 1999. Decision support system from inventory to management recommendations. MSc. Thesis. Agriculture University of Wageningen.
- Stoorvogel, J.J., R.A., Orlich, R. Vargas, and J. Bouma. 2000. Linking information technology and farmer's knowledge in a decision support system for improved banana management.
- Soto, M. 1992. Bananos, cultivo y comercialización. Imprenta LIL, S.A. Costa Rica. p. 385