

Estado actual y futuro de la nutrición y fertilización del banano

José Espinosa¹ y Francisco Mite²

Introducción

Los conceptos modernos de nutrición y manejo de la fertilización en banano, particularmente los procedimientos de diagnóstico, han sido factores que han permitido obtener rendimientos altos y rentables. Estos conceptos se han desarrollado con el trabajo y apoyo de todos los que de una u otra forma han estado involucrados en la producción bananera a través del tiempo. La utilización de estos conceptos en el manejo de la plantación es cada vez más importante, particularmente en la actualidad cuando la rentabilidad de las operaciones bananeras ha tenido una reducción significativa. Muchos productores no utilizan completamente estos conceptos, pero se verán obligados a hacerlo si desean mantenerse competitivos. Sin embargo, han surgido nuevas expectativas en la búsqueda de altos rendimientos y completa eficiencia en el uso de los insumos. Estas nuevas inquietudes utilizan los conceptos establecidos, pero proponen un control más estrecho de toda la operación.

Condiciones actuales

La investigación en nutrición mineral y fertilización de banano ha sido amplia y efectiva. Esto ha permitido conocer las condiciones generales de respuesta del cultivo al manejo nutricional. Los trabajos de investigación en nutrición de muchos científicos han sido resumidos en varias publicaciones (Champion, 1963; Freiberg, 1966; Twiford, 1967; Lahav, 1980; Mitra and Dhua, 1988; Fox, 1989), pero la más popular en América Latina ha sido la revisión publicada por Lahav y Turner (1992).

De la información resumida en estas publicaciones se puede observar que hasta inicios de 1970 la investigación en nutrición en banano era dedicada principalmente a evidenciar los síntomas de deficiencia de nutrientes y los problemas de desbalance. También se condujeron experimentos para documentar la respuesta a dosis de nutrientes en diferentes condiciones de suelos (Lahav y Turner, 1992).

Los esfuerzos por estandarizar la interpretación de los análisis foliares se iniciaron a fines de los años 60 y principios de los 70 (Lahav y Turner, 1992). Este esfuerzo era necesario para poder comparar los resultados de los análisis foliares y para poder manejar la nutrición del cultivo con criterios universales. Bajo la coordinación de Martín-Prével (1974, 1977) se logró desarrollar el método internacional de referencia para muestreo de experimentos de fertilizantes en banano. Este esfuerzo coordinado produjo el método de muestreo foliar y la tabla de contenidos foliares estándares que han sido ampliamente utilizados en el mundo bananero (Figura 1 y Tabla 1). Estos estándares pueden cambiar ligeramente dependiendo de las condiciones ambientales. Sin embargo, han demostrado ser una buena herramienta de diagnóstico que ayuda en el manejo de la nutrición, particularmente si se toman en cuenta los síntomas visuales de deficiencias, las condiciones de suelo y la historia de fertilización del lote (Lahav, 1992). Por otro lado, se han conducido múltiples esfuerzos locales para ajustar los rangos de concentraciones estándares en diferentes condiciones

¹ International Plant Nutrition Institute (IPNI), Casilla 17-17-980, Quito-Ecuador, e-mail: jespinosa@ipni.net

² Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. Estación Experimental Tropical Pichilingue. Quevedo-Ecuador, e-mail: fmitev@gye.satnet.net

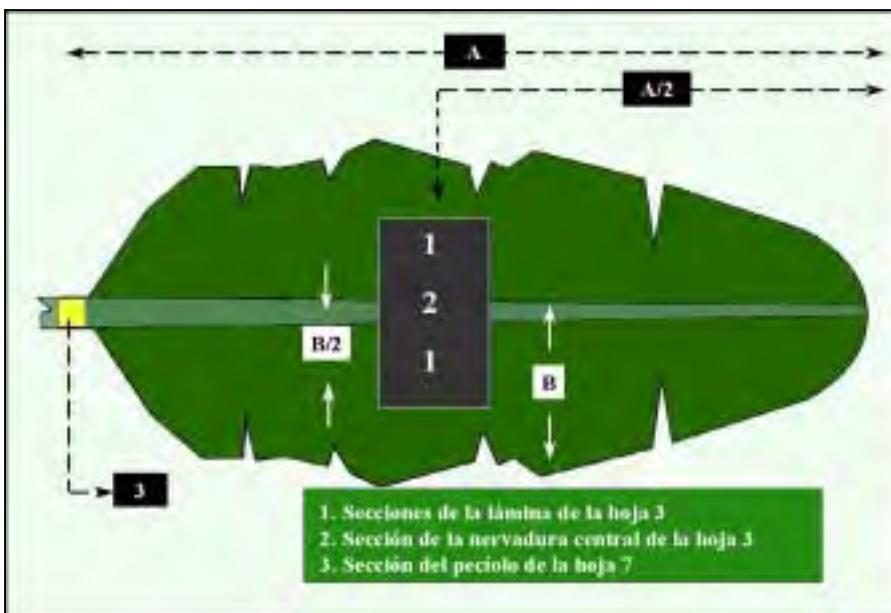


Figura 1. Procedimiento de muestreo foliar en banano para determinar el contenido de nutrientes.

mayoría de estas frutas en la región (López y Solís, 1992; Vargas y Solís, 1999; Vargas, 1999). Los estudios conducidos hasta fines de los años 70 hacían énfasis en la nutrición de la planta y no tenían mucha relación con el suelo, a pesar de que se habían conducido muchos experimentos buscando la respuesta a dosis de nutrientes en diferentes suelos. Al inicio de los años 80 se empiezan trabajos de investigación que relacionan el contenido de nutrientes en el suelo con la respuesta en rendimiento del cultivo.

Tabla 1. Niveles críticos tentativos en diferentes tejidos de plantas de banano completamente desarrolladas (Lahav y Turner, 1992).

Nutriente	Lámina (Hoja 3)	Nervadura central (Hoja 3)	Pecíolo (Hoja 7)
N (%)	2.6	0.65	0.4
P (%)	0.2	0.08	0.07
K (%)	3.0	3.0	2.1
Ca (%)	0.5	0.5	0.5
Mg (%)	0.3	0.3	0.3
Na (%)	0.005	0.005	0.005
Cl (%)	0.6	0.65	0.7
S (%)	0.23	-	0.36
Mn (mg/kg)	25	80	70
Fe (mg/kg)	80	50	30
Zn (mg/kg)	18	12	8
B (mg/kg)	11	10	8
Cu (mg/kg)	9	7	5
Mo (mg/kg)	1.5-3.2	-	-

Datos basados principalmente en investigación con la variedad Cavendish Enano. Algunos valores difieren en otros cultivares.

ambientales, buscando llegar a una recomendación específica, para los diversos lugares donde se produce banano. En la mayoría de los casos estos esfuerzos han sido exitosos.

En América Latina, la investigación en nutrición continuó principalmente con el trabajo conducido por la Corporación Bananera Nacional de Costa Rica (CORBANA) que logró confirmar y aclarar los síntomas de deficiencia de nutrientes en banano y plátano en las condiciones en las cuales se cultiva la

Calibración del análisis de suelos en el cultivo de banano

El aporte al manejo de la nutrición hecho por la estandarización de los análisis foliares en banano fue excelente y continúa siendo una buena herramienta de diagnóstico hasta la fecha. Sin embargo, la relación entre el contenido de nutrientes en el suelo y la respuesta en rendimiento de fruta no había sido completamente evaluada. La diversidad de suelos en los cuales se produce banano, particularmente en América Latina, hacía pensar en la posibilidad de que exista más de un nivel crítico para los diferentes nutrientes. Diversos estudios se desarrollaron en diferentes sitios, pero los estudios más conocidos, que finalmente permitieron determinar el nivel crítico de los diferentes nutrientes lo desarrolló CORBANA durante los años 80 y principios de los 90 (Arias, 1984; Hernández, 1985 y López, 1994). Estas

Tabla 2. Dosis de fertilización de banano de acuerdo con los resultados del análisis de suelos (López y Espinosa, 1995).

Nutriente	----- Nivel en el suelo -----		
	Bajo	Medio	Alto
Fósforo (mg/kg)	<10	10-20	>20
kg P ₂ O ₅ /ha/año	100	50	0
Potasio [cmol(+)/kg]	<0.2	0.2-0.5	>0.5
kg K ₂ O/ha/año	700	600	500
Calcio [cmol(+)/kg]	<3	3-6	>6
kg CaO/ha/año	1160	560	0
Magnesio [cmol(+)/kg]	<1	1-3	>3
kg MgO/ha/año	200	100	0
Nitrógeno	Indiferente		
kg N/ha/año	350-400		

Nutrientes extraídos con solución Olsen modificada.

investigaciones determinaron los niveles críticos y permitieron obtener las dosis de los diferentes nutrientes requeridos para diferentes niveles de fertilidad del suelo (Tabla 2) en todos los países productores de banano en América Latina, se ha conducido abundante investigación para ajustar los niveles críticos en cada zona en particular, usando como base los niveles críticos publicados por CORBANA.

La Figura 2 muestra una comparación de los resultados de los estudios de dosis de potasio (K) utilizadas para determinar el nivel crítico y las dosis a aplicarse de acuerdo con el análisis de suelos. Es interesante notar como las mismas dosis de K permiten mayores rendimientos a medida que pasa el tiempo. La parte más alta de las curvas se encuentra entre los niveles de 600 a 700 kg/ha de K₂O en todos los casos.

Tabla 3. Dosis de fertilización de plátano en altas densidades de acuerdo con los resultados de los análisis de suelos.

Nutriente	----- Nivel en el suelo -----		
	Bajo	Medio	Alto
Fósforo* (mg/kg)	<8	9-15	>15
kg P ₂ O ₅ /ha/año	40	20	0
Potasio** (cmol(+)/kg)	<0.2	0.2-0.3	>0.3
kg K ₂ O/ha/año	280	210	140
Calcio (cmol(+)/kg)	<3	3-6	>6
kg CaO/ha/año	300	150	0
Magnesio (cmol(+)/kg)	<1	1-3	>3
kg MgO/ha/año	80	40	0
Nitrógeno	Variable		
kg N/ha/año	200-250		

* P extraído con Bray II

** Bases extraídas con acetato de amonio

Esta es la dosis usual de K₂O aplicada a suelos con contenido bajo de K y que fue determinada a partir de estos y otros experimentos conducidos en América Latina. El incremento en rendimiento a través del tiempo con los mismos niveles de K se debe simplemente al mejor manejo y mejor tecnología. En 1984 se aplicaba el fertilizante en cuatro fracciones al año, lo que hacía ineficiente el uso de nutrientes por la planta, particularmente en las condiciones de las zonas bananeras de Costa Rica donde llueve más de tres metros al año. En 1994 se usaron plantas meristemáticas de mayor potencial de producción y se recomendó fraccionar la aplicación de fertilizantes hasta en 26 ciclos al año (Flores, 1995). Esto obviamente permitió obtener mayores rendimientos con las mismas

dosis de K debido a la mejor eficiencia de utilización de los nutrientes por el cultivo.

Las recomendaciones diseñadas en base a estos experimentos se han podido usar en forma bastante amplia en todas las zonas bananeras de América Latina. Si se toma en cuenta que el requerimiento de fósforo (P) de las musáceas es bajo, los problemas por amplia utilización de un solo nivel crítico podrían presentarse con K. Sin embargo, en casi todos los suelos donde se cultiva banano en la

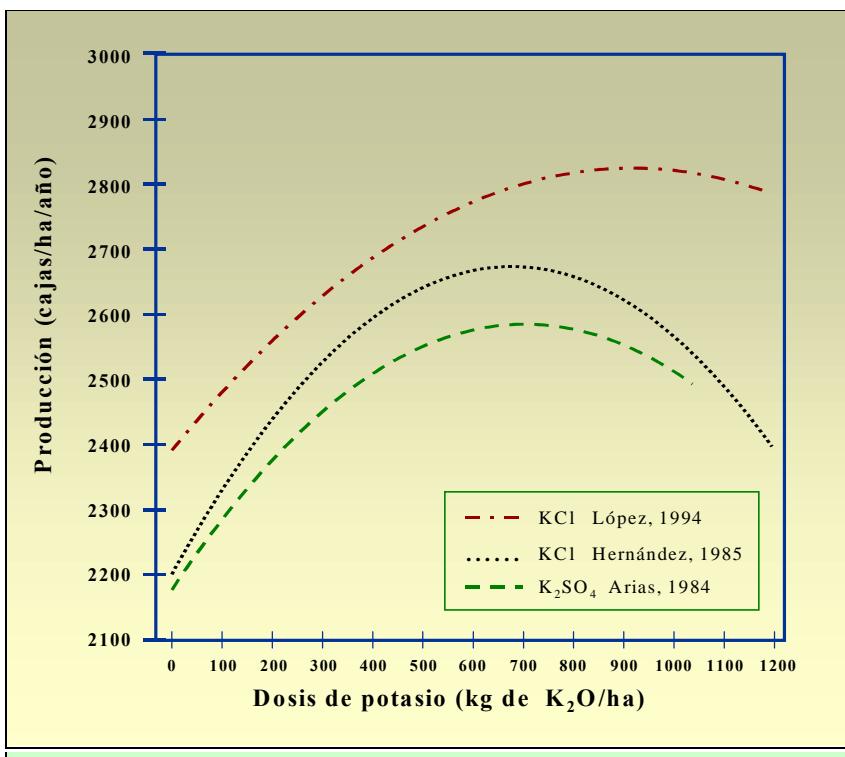


Figura 2. Efecto de dosis de potasio en el rendimiento de banano medido por diferentes experimentos.

región no existen arcillas que fijen K y que podrían dificultar el uso de un solo nivel crítico. Las condiciones con calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S) son también más o menos constantes y en el caso del banano dependen más del cultivo. Las diferencias en suelos están marcadas por los cambios impuestos por el ambiente, es decir los suelos de alto pH de zonas secas o semi-secas y los suelos de pH bajo de las zonas de mayor precipitación. Las condiciones de alto pH también han sido estudiadas y con esta información se han mejorado las recomendaciones de fertilización (Guerrero y Galván, 1992; Espinosa, 1993).

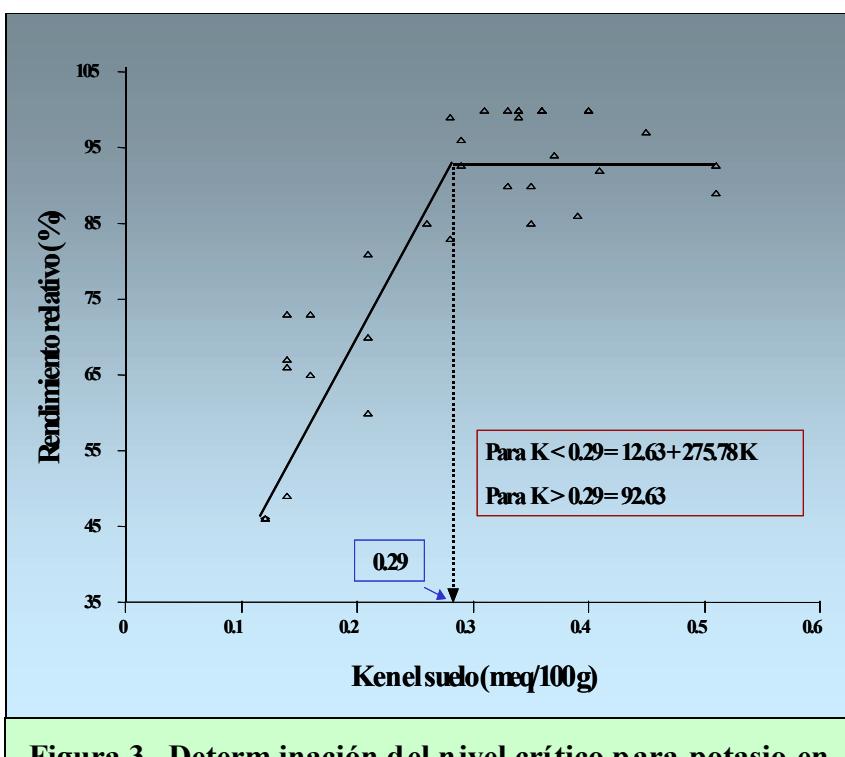


Figura 3. Determinación del nivel crítico para potasio en plátano.

Investigación conducida en Colombia permitió determinar los niveles críticos para plátano y las recomendaciones de nutrientes basándose en el análisis de suelos (Espinosa et al., 1998). Las mismas consideraciones se hacen en este cultivo con respecto al comportamiento de los nutrientes en el suelo, lo que posibilita una recomendación básica que puede ser utilizada en todos los suelos donde se cultiva plátano en América Latina. La Figura 3 ilustra la determinación del nivel crítico para K y la Tabla 3 presenta las recomendaciones de fertilización de acuerdo al análisis de suelos.

Análisis foliares, relaciones entre nutrientes y análisis de suelos

Los análisis de suelos y los análisis foliares han demostrado ser buenas herramientas de diagnóstico a través de los años, particularmente con el afinamiento logrado en los diversos sitios donde se los utiliza. Sin embargo, era necesario tratar de relacionarlos para poder utilizar las dos herramientas en forma coordinada. Esto cobra importancia al observarse las obvias relaciones entre nutrientes en el suelo y en la planta de banano. La experiencia ha demostrado que en la interpretación de los análisis foliares no debe tenerse en cuenta solamente un nutriente, sino más bien se deben tener en cuenta las relaciones entre nutrientes. Además, es necesario tener en cuenta que en ciertas ocasiones se presentan factores que pueden afectar la normal absorción de nutrientes. Condiciones como salinidad, drenaje o compactación pueden confundir el diagnóstico.

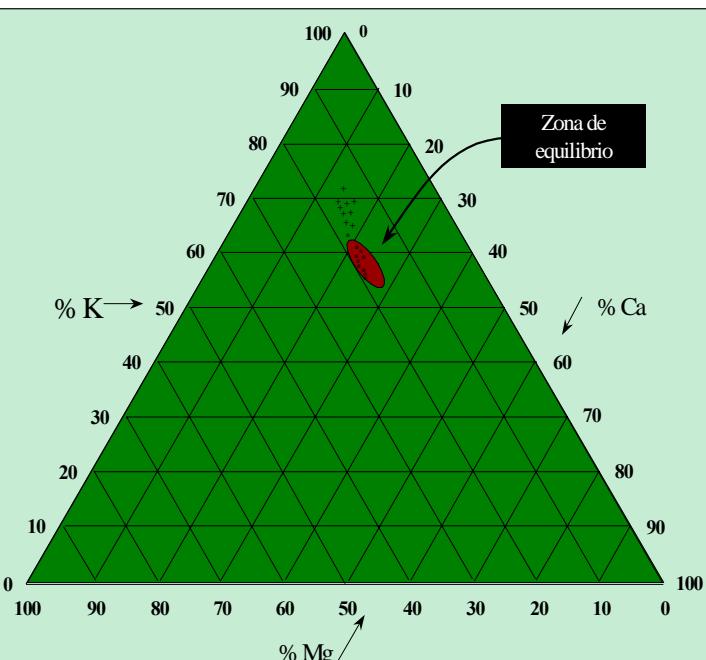
En cultivos perennes como el banano se presentan comúnmente antagonismos y sinergismos entre nutrientes que a menudo tienen efectos sobre el rendimiento. La relación antagónica más estudiada es la existente entre K, Ca y Mg (Lahav y Turner, 1992). Cuando el contenido de alguno de estos nutrientes es muy alto se reducen los contenidos de los otros y esta condición provoca problemas en el crecimiento y rendimiento de la planta.

La Figura 4 presenta la relación de equilibrio de K, Ca y Mg dentro de la planta de banano. Se considera que existe un adecuado equilibrio cuando los valores de la relación caen dentro de una zona de equilibrio que se obtiene uniendo los rangos de variación del contenido foliar de cada nutriente considerados adecuados. El procedimiento de cálculo se describe en López y Espinosa (1995) y se conduce utilizando los datos del análisis foliar correspondiente. La información obtenida por este medio puede ser comparada con la información del análisis de suelos correspondiente para determinar las razones por las cuales se produce el desbalance.

Manejo del cultivo en relación a la fertilidad

Investigación conducida por Walmsley y Twyford (1968) demostró que la planta de banano aprovecha los nutrientes presentes en el suelo desde poco después del transplante hasta el inicio de la floración. Después de la diferenciación floral la planta sostiene su crecimiento y llena el racimo con los nutrientes almacenados en la planta. Por esta razón, en el manejo de fertilizantes se recomienda aplicar nutrientes a la planta hasta un poco antes de la floración, para luego concentrar los esfuerzos en el hijo de sucesión. Se ha estudiado también la forma de aplicar los nutrientes y se ha demostrado que la mejor opción, dentro de varios tratamientos, ha sido la de

Figura 4. Triángulo de las relaciones K-Ca-Mg en el tejido foliar de las plantas de banano.



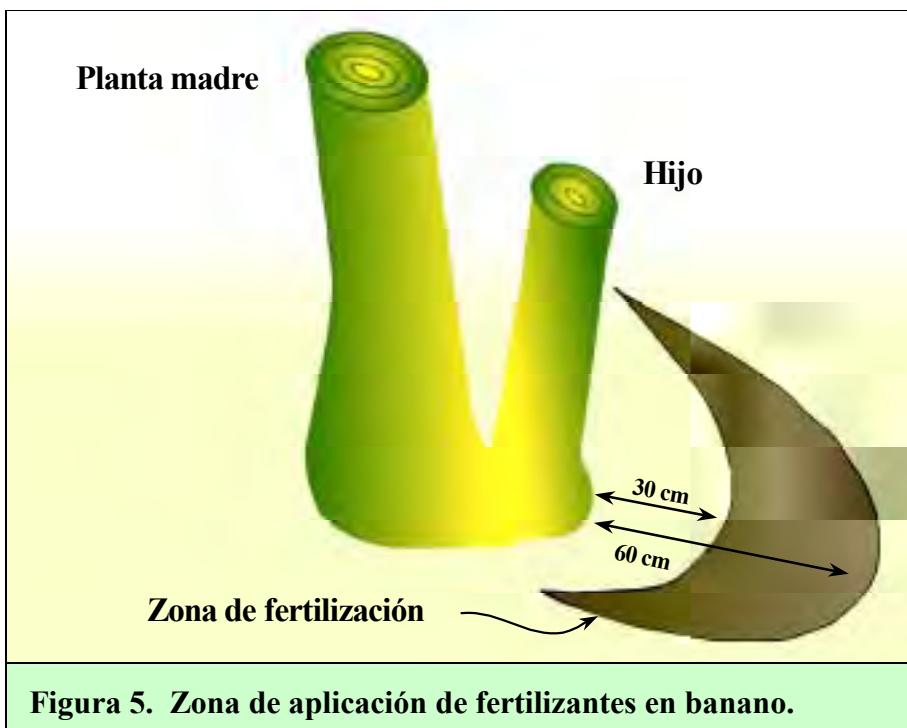


Figura 5. Zona de aplicación de fertilizantes en banano.

colocar el fertilizante frente al hijo de sucesión en un área concentrada como se ilustra en la Figura 5 (Flores, 1991; López y Espinosa, 1994).

Esta forma de colocación del fertilizante funciona razonablemente bien con respecto a la nutrición de la planta, pero tiene inconvenientes cuando concentra mucho fertilizante en un área muy pequeña frente al hijo de sucesión. Esto causa problemas de acidificación y alta concentración de sales que potencialmente pueden afectar la calidad del suelo.

Frente a esta condición se han discutido formas de manejo que podrían eliminar el problema. Una de las posibilidades es la aplicación al voleo o semi-voleo entre las hileras de plantas (López, 1999). Esta es una buena posibilidad que ha sido empleada con éxito en cultivos perennes como palma aceitera.

El cambio de la zona de aplicación de los fertilizantes tiene problemas operativos que tienen también solución si se cambia el manejo general del cultivo. La aplicación al voleo implica la aplicación de material sobre los residuos de cosecha que se encuentran sobre el suelo y esto promueve la pérdida por volatilización de los portadores de nitrógeno (N), particularmente la urea. Esto se podría evitar acomodando los residuos en el centro del espacio entre hileras o al costado de una de las hileras. Esta forma de manejo de los residuos no sería difícil para los trabajadores de campo, pero queda por evaluarse el posible incremento en tiempo de trabajo y sus implicaciones en el costo total de mano de obra. Se podría también planificar el riego de modo que esta operación se ejecute inmediatamente después de la aplicación de fertilizantes nitrogenados, para incorporar el N y así evitar la volatilización.

Por otro lado, el manejo convencional de la población de las plantaciones de banano complica el manejo de la nutrición del cultivo. Generalmente, las plantaciones pierden rápidamente el orden de logrado a la siembra. Esto se debe al manejo desordenado de los hijos de sucesión lo que produce plantaciones de baja población completamente desordenadas. En esta condición, la única forma posible de asegurar la nutrición del cultivo es aplicando los nutrientes frente al hijo de sucesión. Esta forma de manejo también a despertado inquietudes.

Investigación conducida en Costa Rica ha demostrado que las operaciones de deshije pueden manejarse de modo que se mantenga la disposición inicial de la hileras de plantas en el campo (Pérez, 2000). El manejo se inicia con el deshije de formación donde se selecciona los hijos de espada y de corona, para continuar con la deshija unidireccional de los siguientes hijos de sucesión. El deshije unidireccional empieza con el primer hijo de sucesión y busca que cada una de la cepas de la plantación se dirijan en una sola dirección mantenido de esta forma las líneas de siembra

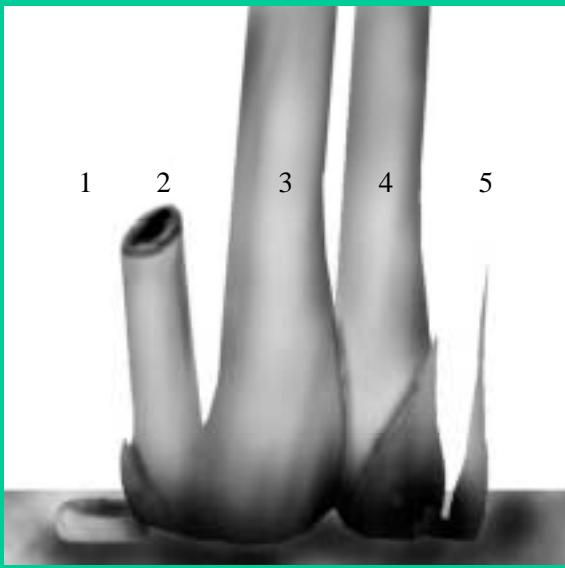


Figura 6. Manejo unidireccional de las plantas en una plantación de banano (Adaptado de Pérez, 2000).

establecidas al inicio de la plantación como se observa en la Figura 6. El exitoso manejo de las generaciones siguientes para mantener la orientación de las cepas se basa en la eliminación precoz de los nietos que se salen de la línea de siembra. Los resultados de la investigación indican que con el deshíje unidireccional las plantas crecen bien y se pierde menos plantas en comparación con el manejo tradicional. Esto permite mantener la población inicial y una distribución uniforme de las plantas, pero particularmente permite aplicar el fertilizante al voleo o semi-voleo haciendo uso más eficiente de los nutrientes. Además, el control de las enfermedades y el uso del agua serían más eficientes.

Los pasos hacia el futuro

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 nuevos sistemas de manejo en agricultura en lo que se denomina hoy agricultura de precisión, mejor definida como agricultura por sitio específico. Este sistema de manejo utiliza los sistemas de posicionamiento global y los sistemas de información geográficos para elevar los rendimientos y la eficiencia de los insumos utilizados. Esto se logra determinando 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 muestrea el campo para obtener una media de la fertilidad del lote. Sin embargo, es común 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 de cosecha 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 sobre-fertiliza las áreas donde se obtienen bajos rendimientos debido a que existen factores limitantes más allá de fertilidad y que no usan suficientes nutrientes en las áreas que tienen el potencial de producir rendimientos altos. 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 altos 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 puentes 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 los lotes 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. De esta forma se puede hacer un mapa de rendimiento que indica exactamente el rendimiento de cada sitio en el campo.

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 geo-referenciados con la ayuda de los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS, Global Positioning System). 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.

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 GPS y los Sistemas de Información Geográfica (GIS, Geographic Information Systems), 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, por ejemplo, comparar los mapas de rendimiento y de suelo.

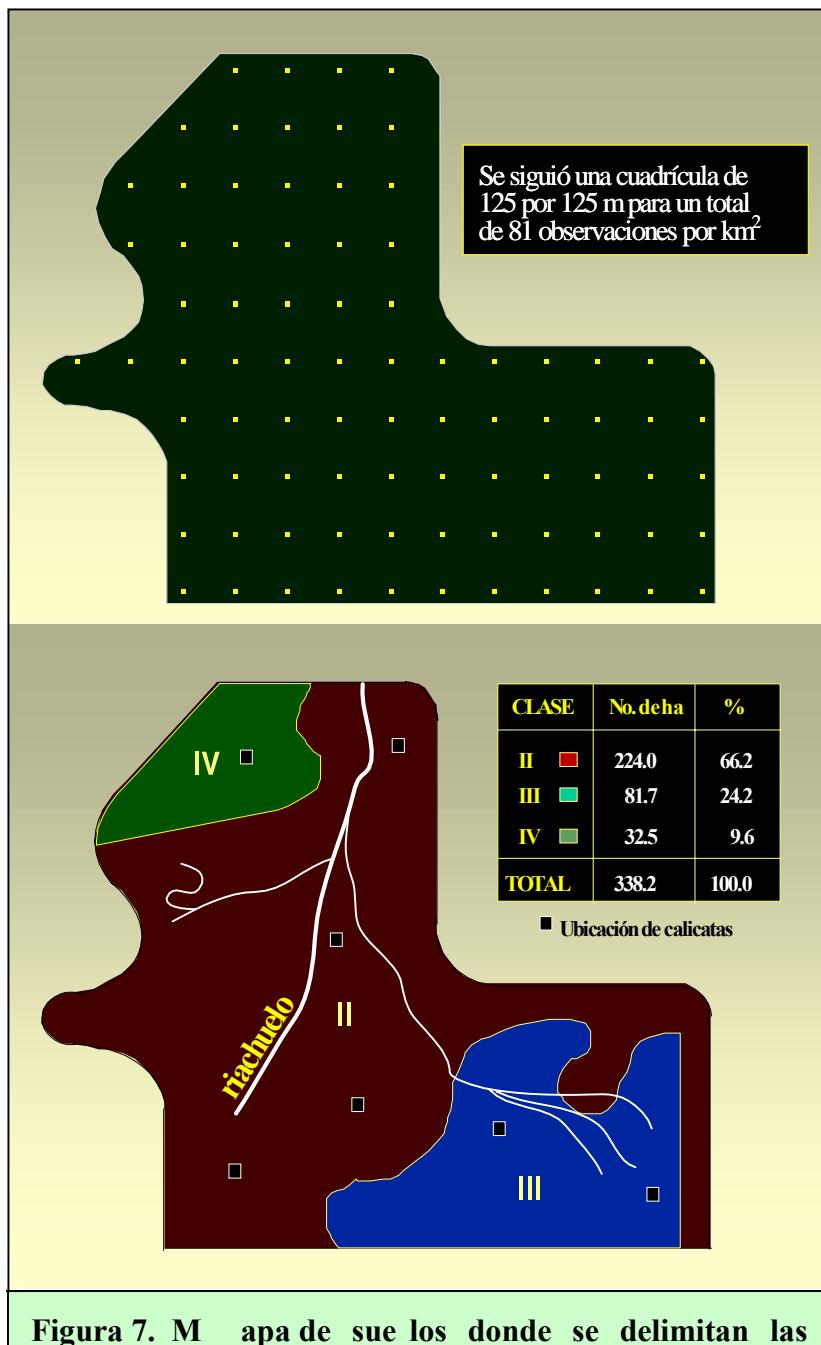


Figura 7. Mapa de suelos donde se delimitan las superficies con diferente apertura para el cultivo del banano. Esto permite identificar factores limitantes.

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, otros no dudan en expresar su satisfacción con el sistema. Con la experiencia adquirida se van desarrollando nuevas formas de interpretación de las bases de datos acumuladas por los Sistemas de Información Geográfica.

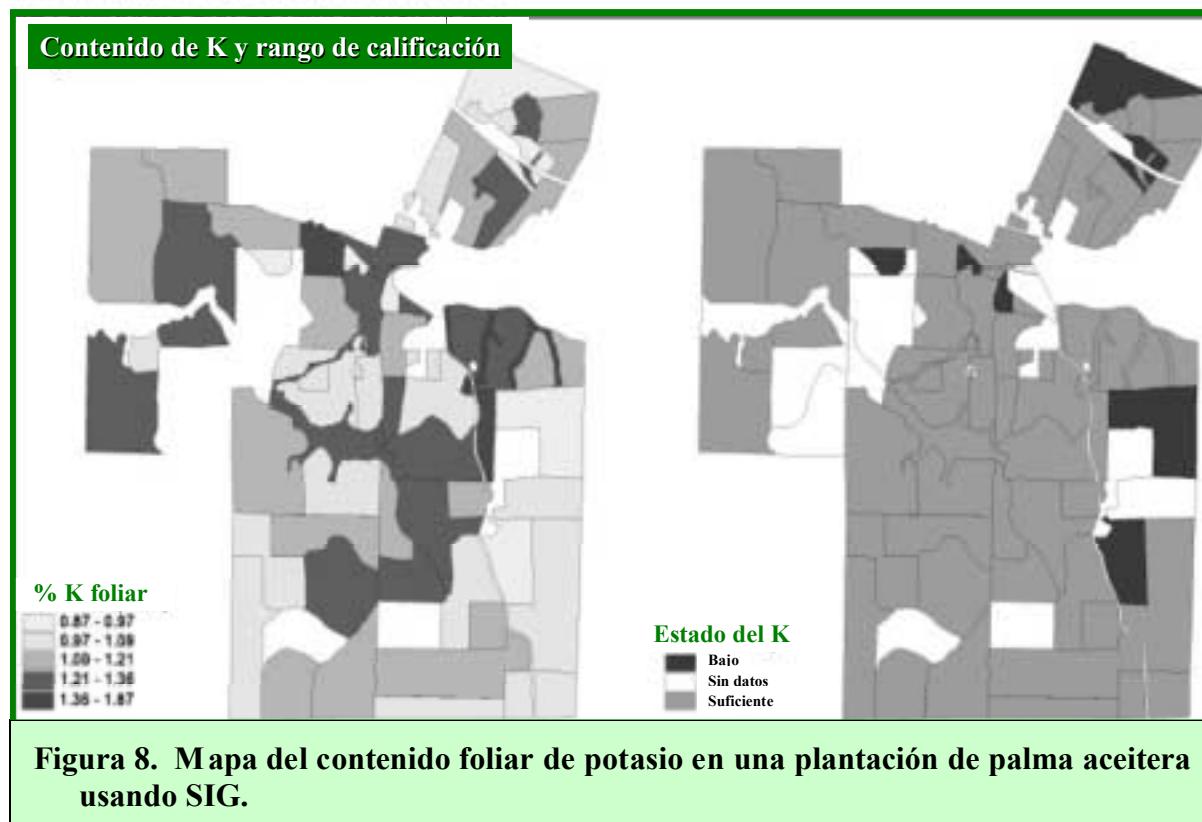
En realidad la riqueza y utilidad del sistema radica en la gran cantidad de información que se acumula en las bases de datos, que ahora pueden ser analizados coordinadamente en una forma nunca antes posible. Esto permite desarrollar un plan específico para un sitio particular básicamente haciendo las cosas correctas, por la razón correcta en el sitio y épocas correctas. Con esto se

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.

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



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.

Manejo por sitio específico en banano

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 temperados, 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 debido a 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 dependan 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).

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.

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



Figura 9. Mapa de rendimiento de una plantación de banano usando los cables de transporte como guías para el SIG.

desarrollado con SIG en palma aceitera.

Mapa de rendimientos

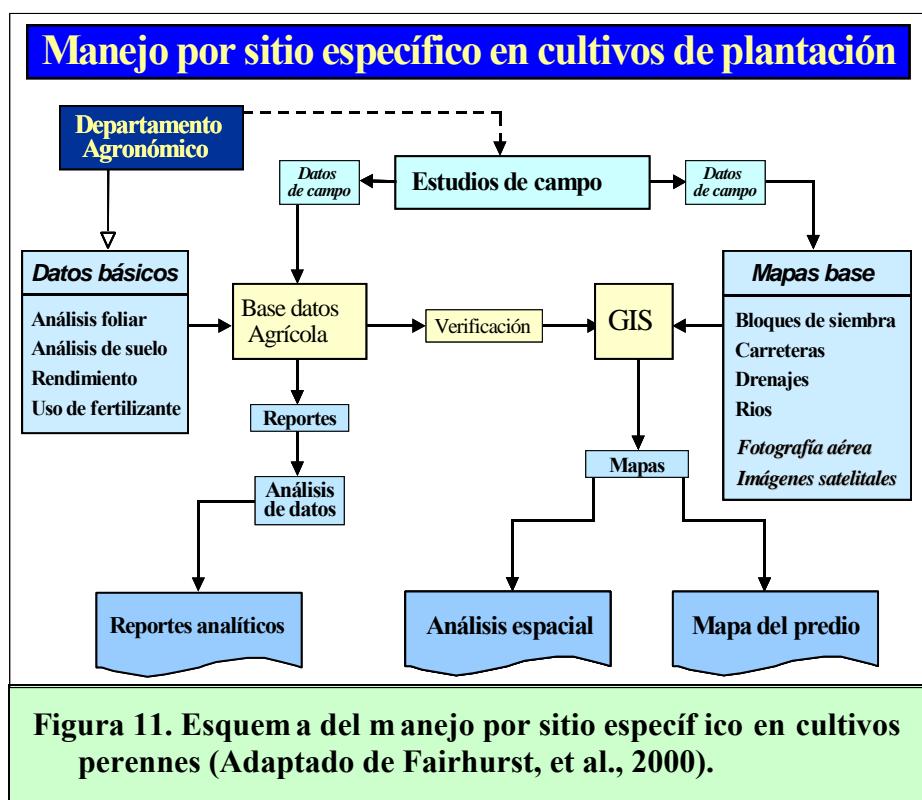
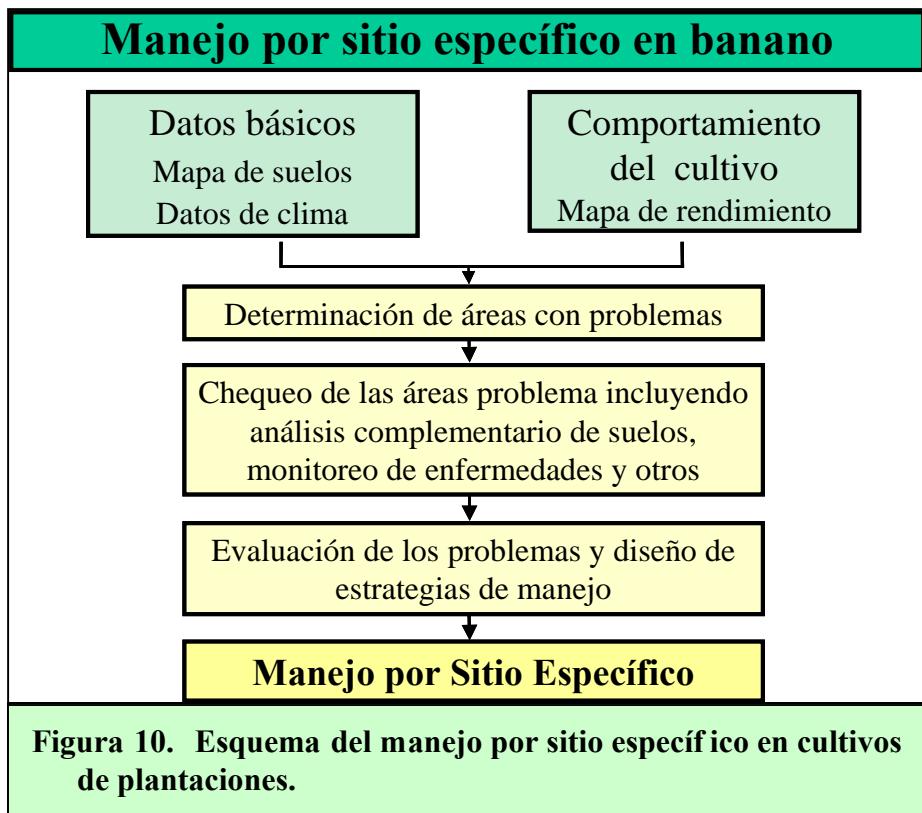
Debe existir una forma de registro del rendimiento de la fruta para poder diseñar un sistema de manejo por sitio específico. La fruta se cosecha y es transportada al galpón de procesamiento donde se pesa cada racimo en una balanza computarizada, registrándose el peso y cable de donde procede. En este 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 ser monitorizado (Figura 9). 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).

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.

unidades de suelo dependiendo de las limitantes presentes para el desarrollo óptimo del cultivo (Figura 7). 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.

La información del análisis foliar complementa efectivamente la información del análisis de suelos y son de mucha ayuda para determinar los factores limitantes antes de sembrar el cultivo y para luego monitorizar, en el tiempo, los cambios que podrían afectar el rendimiento. Esta información se puede también representar como los mapas presentados en las Figuras 8, ejemplo de mapa



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 cuales 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 unidad de área y de insumo. En ocasiones será necesario aumentar el uso de insumos o mejorar la infraestructura para lograr alcanzar el potencial de rendimiento del sitio mientras que en otros será necesario reducir el uso de insumos 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 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, nematicidas, 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 las Figuras 10 y 11 se presentan diagramas de flujo donde se ilustran los pasos para iniciar un sistema de manejo por sitio específico en banano.

Bibliografía

- Arias, H. 1984. Respuesta del banano (*Musa AAA*) subgrupo Cavendish “Gran Enano” a dosis crecientes de sulfato de potasio en un suelo Oxyc Dystropets de Rio Jiménez, Provincia de Limón. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica. 89 p.
- 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.
- Champion, J. 1963. Le babanier. Ed. Maisonneuve et Larose, Paris.
- Espinosa, J. 1993. Potential for maximum yield research in Latin America (The case of banana). In: J. Jinyun (ed.). Proceedings of the Third International Symposium on Maximum Yield Research. Potash & Phosphate Institute and Soil and Fertilizer Institute of the Chinese Academy of Agricultural Sciences. China Agricultural Science Press.
- Espinosa, J., S. Belalcazar, A. Chacón, y D. Suárez. 1998. Fertilización del Plátano en densidades altas. Seminario Internacional sobre Producción de Plátano, Armenia, Quindío, Colombia.
- 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 Lampur. May 2000.
- Flores, C. 1991. Respuesta del cultivo del banano (*Musa AAA*) a diferentes formas de colocación de fertilizante. In: Resúmenes del X congreso ACORBAT. Tabasco, México.
- Flores, C. 1991. Respuesta del banano (*Musa AAA*) subgrupo Cavendish, clon Valery, a la fertilización con sulfatos. In: Informe anual Corporación Bananera Nacional S.A. San José, Costa Rica.
- Flores, C. 1994. Pérdida de cationes y aniones en suelos bananeros de la Zona Atlántica de Costa Rica. In: Resúmenes del XI congreso ACORBAT. San José, Costa Rica.
- Flores, C. 1995. Servicio de recomendaciones de fertilidad de suelos y nutrición del cultivo del banano. Corporación Bananera Nacional. Informe anual 1994. San José, Costa Rica.
- Fox, R. 1989. Banana. In: D. Plucknett and H. Sprague (eds.). Detecting mineral deficiencies in tropical and temperate crops. Westview Trop. Agr. Ser. N° 7. Westview Press, Boulder, S.F. and London.
- Freiberg, S. 1966. Banana nutrition. In: Fruit nutrition. Horticultural Publications, New Brunswick.
- Guerrero, R., y J. Galván. 1992. Respuesta del banano a las aplicaciones foliares de KNO_3 y a la fertigación con fuentes potásicas en la zona bananera del Magdalena. In: Memoria II Seminario-Taller Internacional sobre Fertilidad y Nutrición en Banano y Plátano. Santa Marta, Colombia. P. 142-143.
- Hernández, M. 1985. Respuesta del banano clon “Gran Enano” a la fertilización potásica en un suelo Typic Dystropets de Cariari, Cantón Pococí. Tesis de Ing. Agr. Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica.
- Lahav, E. 1980. Bibliography on mineral nutrition of bananas. International Group of Mineral Nutrition of Bananas. N.S.W. Govt. Printer.
- Lahav, E., y D. Turner. 1992. Fertilización del banano para rendimientos altos. Segunda edición. Boletín N° 7. INPOFOS. Quito, Ecuador. p 71.
- López, A., y P. Solís. 1992. Síntomas de deficiencias minerales en el cultivo del banano. I Etapa: Calcio, Magnesio, Zinc y Boro. In: Informe anual Corporación Bananera Nacional S.A. San José, Costa Rica. p. 31-32.
- López, A. 1994. Interpretación de los análisis químicos de suelos y foliares en el cultivo del banano (*Musa AAA*, Cv. Valery) en Costa Rica. Análisis de un caso y factores involucrados. In: Resúmenes del XI ACORBAT. San José, Costa Rica.
- López, A. 1999. Distribución de raíces y zona de absorción de nutrientos en el cultivo del banano. CORBANA (25): 217-225.

- López, A. y J. Espinosa. 1995. Manual de Nutrición y Fertilización del Banano. INPOFOS. Quito - Ecuador.
- Maning, L., and A. BanMAN, A. 1999. Decision support system from inventory to management recommendations. MSc. Thesis. Agriculture University of Wageningen.
- Martin-Prével, P. 1974. Les methods d'échantillonage pour l'analuse foliarie du bananier: résultats d'une enquête internationale et propositions en vue d'une référence commune. Fruits 29 :583-588.
- Martin-Prével, P. 1977. Echantillonage du bananier pour l'analyse foliaire : conséquences des différences techniques. Fruits 32 :151-166.
- Mitra, S., and R. Dhua. 1988. Banana. In: T. Bose, S. Mitra, and M. Sadhu (eds.). Mineral nutrition of fruit crops. Naya Prokash, Calcuta Six. pp185.
- Pérez, L. 2000. Prácticas culturales para aumentar la productividad del banano. En: Informe anual de CORBANA, 1999. San José, Costa Rica.
- 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.
- Twiford, I. 1967. Banana nutrition: a review of principles and practice. J. Sci. Fd. Agric. 18: 177-183.
- Vargas, A. 1999. Síntomas de toxicidad y contenido de macro y micronutrientos en plantas (*Musa*, AAA) bajo condiciones de cultivo hidropónico. CORBANA (24): 61-79.
- Vargas, A., y P. Solís. 1999. Síntomas de deficiencia y contenido de macro y micronutrientos en plantas (*Musa*, AAA) bajo condiciones de cultivo hidropónico. CORBANA (24): 21-43.

