

MANUAL DE NUTRICION Y FERTILIZACION DEL BANANO

UNA VISION PRACTICA DEL MANEJO DE LA FERTILIZACION

Antonio López M.
José Espinosa M.

1995

MANUAL DE NUTRICION Y FERTILIZACION DEL BANANO

La escritura e impresión de la presente publicación fue posible gracias al financiamiento proporcionado por las siguientes agencias Canadienses: **Western Diversification Program (WDP), Atlantic Canada Opportunities Agency (ACOA) y Province of New Brunswick (NB)**, como una contribución a la producción agrícola de América Latina.

MANUAL DE NUTRICION Y FERTILIZACION DEL BANANO

**Antonio López M.
Corporación Bananera Nacional
Estación Experimental La Rita
Pococí - Costa Rica**

**José Espinosa M.
International Plant Nutrition Institute
Casilla Postal 17-17-980
Quito - Ecuador**

**International Plant Nutrition Institute
Casilla Postal 17-17-980
Quito - Ecuador
1995**

*Dedicado al Ing. Agr. Carlos Alberto López Gutiérrez por
su extensa y valiosa labor en el campo de la
nutrición mineral y fertilización
del cultivo del banano en
Costa Rica*

P R E S E N T A C I O N

El presente manual es sin duda uno de los aportes más importantes en el campo de la Fertilidad de Suelos y la Nutrición Mineral del cultivo de banano. Esta publicación resume la información generada en este campo por más de 10 años de trabajo del Departamento de Investigaciones de la Corporación Bananera Nacional (CORBANA, S. A.) y además, recoge relevante información producida en diferentes áreas bananeras del mundo.

El documento resalta modernos conceptos de la Nutrición y Fertilización del banano, entre los que se destacan los procedimientos de diagnóstico. Estos procedimientos permiten obtener recomendaciones prácticas sobre las dosis de nutrimentos necesarias para lograr altos rendimientos de banano, desde una perspectiva de uso racional y eficiente de los fertilizantes minerales y de un uso objetivo de las enmiendas orgánicas, contribuyendo de esta forma a la sostenibilidad del sistema.

Los productores y administradores de fincas tienen en esta publicación una herramienta de consulta diaria muy valiosa que les permitirá definir criterios y valorar la importancia de la Nutrición y Fertilización dentro del grupo de prácticas agronómicas que se utilizan en el cultivo de banano.

Este manual permitirá al investigador, cualquiera sea su área de trabajo, fortalecer los conocimientos de la Fertilidad de Suelos y Nutrición Mineral de banano, con el fin de consolidar interdisciplinariamente la investigación en otras áreas de importancia para el cultivo.

Finalmente, los técnicos involucrados en la producción del banano y los estudiantes tienen en este manual una guía que le brindará la información básica necesaria para enriquecer sus conocimientos en este importante cultivo.

Dr. Ronald Vargas
Subdirector de Investigaciones
CORBANA
Pococí, Costa Rica

Mayo de 1995

A G R A D E C I M I E N T O

Los autores agradecen a las siguientes personas, quienes desinteresadamente colaboraron en la escritura de este manual con sus críticas constructivas, sugerencias editoriales y estímulo.

Ing. Floria Bertsch, Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

Ing. Carlos Flores, Estación Experimental La Rita, CORBANA. Pococí, Costa Rica.

Ing. Francisco Mite, Estación Experimental Pichilingue, INIAP. Quevedo, Ecuador.

Dr. Patricio Solís, Estación Experimental La Rita, CORBANA. Pococí, Costa Rica.

Ing. Eduardo Soto, Estación Experimental La Rita, CORBANA. Pococí, Costa Rica.

Dr. Ronald Vargas, Estación Experimental La Rita, CORBANA. Pococí, Costa Rica.

Ing. Alfonso Vargas, Estación Experimental La Rita, CORBANA. Pococí, Costa Rica.

CONTENIDO

	Página
INTRODUCCION	1
Factores que afectan la productividad del cultivo de banano	1
CAPITULO 1	3
La raíz: Base fundamental de la nutrición	3
Distribución de raíces y zona de alimentación	4
Factores que afectan el desarrollo de la raíz del banano	6
Biotecnología y sanidad de raíces	9
CAPITULO 2	10
Requerimientos nutricionales del cultivo de banano	10
Elementos minerales que nutren el cultivo	10
Nitrógeno (N)	10
Potasio (K)	14
Fósforo (P)	17
Calcio (Ca)	19
Magnesio (Mg)	21
Azufre (S)	24
Zinc (Zn)	27
Boro (B)	29
Cobre (Cu)	31
Hierro (Fe)	32
Manganeso (Mn)	33
Molibdeno (Mo)	34
Sodio y Cloro (Na y Cl)	35
CAPITULO 3	36
Requerimientos de suelo del cultivo de banano	36
Determinación de la aptitud del suelo para el cultivo de banano	36
Ejemplo del uso del sistema de clasificación	39
Suelos ácidos y el cultivo de banano	40
Suelos salinos y sódicos	44
Efecto del sodio en el banano	44
Efecto del cloro en el banano	45
Manejo de nutrimentos en suelos con problemas de sales	45

CAPITULO 4	46
Diagnóstico de la fertilidad del suelo y la nutrición mineral en el cultivo de banano	46
Análisis de suelos	46
Análisis foliares	47
Exploración de las raíces y los análisis de suelo y foliar	52
Zonificación de las áreas cultivadas de banano	54
CAPITULO 5	60
Fertilización del cultivo de banano	60
Zonas bananeras y dosis utilizadas	60
Aprovechamiento óptimo de los fertilizantes	61
Tipos de fertilizantes	62
Ciclaje de nutrimentos y fertilización	63
Fertigación	64
Fertilización con abonos orgánicos	65
BIBLIOGRAFIA	67
APENDICES	72

INTRODUCCION

FACTORES QUE AFECTAN LA PRODUCCION DEL CULTIVO DE BANANO

Los factores que afectan el crecimiento y producción de las plantas se clasifican de manera general en factores internos (genéticos) y factores externos (ambientales). Los factores internos están relacionados con la variedad utilizada, mientras que los factores externos se relacionan con el clima (luz solar, temperatura y lluvia), agentes bióticos (organismos benéficos y perjudiciales), tipo de suelo y por supuesto la intervención humana que afecta o modifica en cierta medida algunos factores ambientales (Figura 1).

Los factores genéticos son de fundamental importancia. Al respecto se debe indicar que existen clones de banano adaptados a las diferentes zonas bananeras del mundo que producen excelentes rendimientos. En realidad, con las variedades de banano disponibles en la actualidad, los factores genéticos no limitan tanto la productividad de banano como lo hacen los factores ambientales.

Por otro lado, los factores externos tienen una marcada influencia en el rendimiento. Por ejemplo,

una zona con una gran cantidad de horas de brillo solar y temperaturas cálidas (alrededor de 30°C) es potencialmente más productiva que otra zona con pocas horas de brillo solar al día y temperaturas muy altas o bajas. Los términos brillo solar y horas luz en ocasiones se usan erróneamente como sinónimos. En realidad el brillo solar mide la cantidad de horas de luz directa del sol (sin nubosidad) mientras, que el término horas luz se refiere a la cantidad total de horas luz en un día (con o sin nubosidad). Muchas veces se comete el error de buscar en una zona desfavorable los rendimientos buenos obtenidos en otras zonas, sin tomar en cuenta que los bajos rendimientos son más producto del clima que del manejo agronómico o del tipo de suelo utilizado.

Es importante también destacar que el manejo agronómico del productor, mediante la implementación de variadas prácticas agrícolas, contribuye a la obtención de rendimientos altos. Entre las principales prácticas agrícolas se destacan la

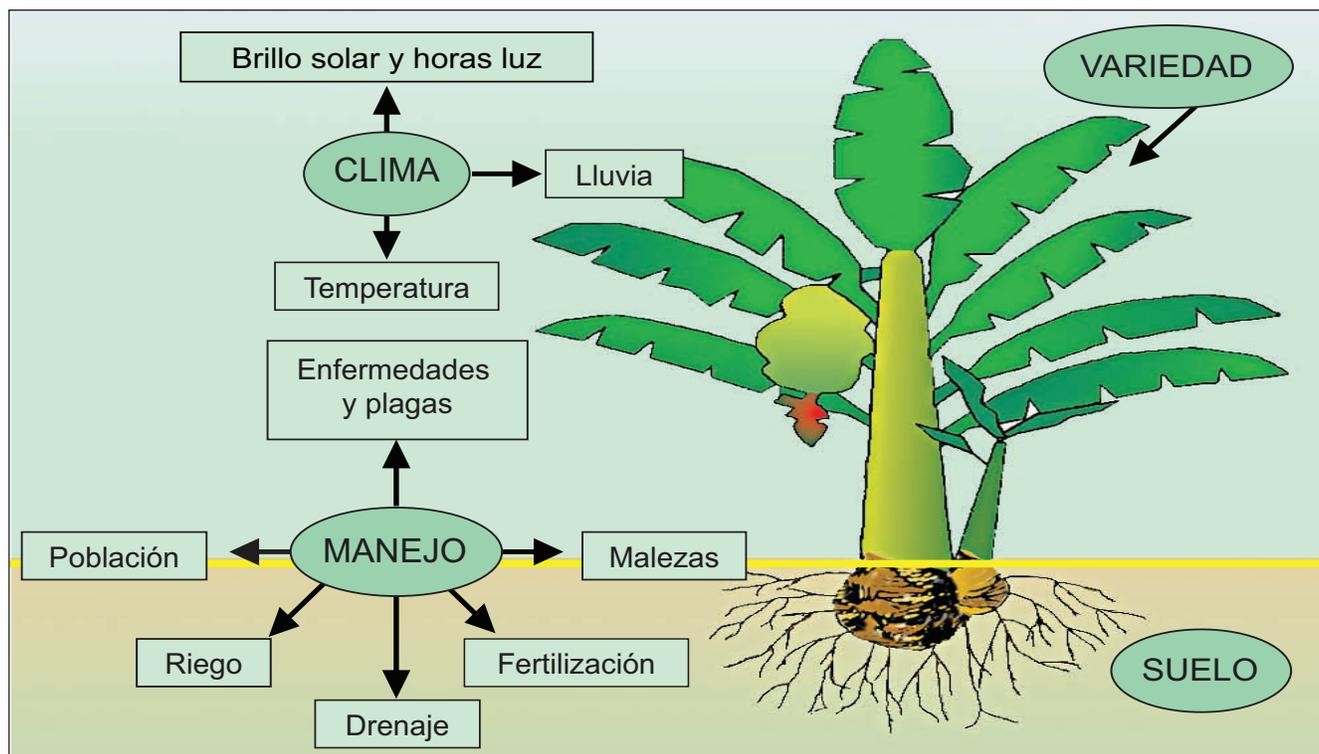


Figura 1. Factores que afectan la producción del cultivo de banano.

densidad de siembra, la deshija, el arreglo espacial de las plantas en el campo, el combate de malezas, plagas y enfermedades, el riego, el drenaje y la nutrición.

La nutrición es un aspecto muy importante en el manejo del banano, debido a que las plantas de este cultivo son altamente eficientes y producen una gran cantidad de biomasa en un corto período de tiempo.

El crecimiento y desarrollo de la planta son el producto de complejos mecanismos fisiológicos como la fotosíntesis y la respiración, los cuales permiten la formación de carbohidratos, proteínas y otros compuestos que finalmente constituyen el racimo. Estos procesos funcionan mejor con una adecuada nutrición mineral.

Por lo expuesto anteriormente, la fertilización del banano juega un papel importante en el manejo del cultivo. Por medio de esta práctica agronómica se logra una adecuada nutrición que contribuye a que el racimo reúna las mejores características, tanto en calidad como en peso.

Durante los últimos años y en diferentes regiones del mundo, se ha conducido abundante investigación para determinar el rol de cada uno de los nutrientes minerales en el desarrollo y rendimiento del cultivo del banano. El uso de la información generada ha contribuido a que el productor bananero maneje adecuadamente la nutrición del cultivo. En Costa Rica por ejemplo, el manejo apropiado de la nutrición y fertilización, junto con el manejo adecuado de las demás prácticas agronómicas, ha permitido que este país obtenga los rendimientos más altos de fruta de exportación en el mundo.

El adecuado suministro de nutrientes a través de la fertilización, es necesario para obtener el máximo rendimiento, pero esta práctica por sí sola no es una garantía de cosechas abundantes. Este sencillo pero importante concepto se basa en el hecho de que existe una gran cantidad de factores que regulan el

crecimiento y desarrollo de las plantas. La magnitud y combinación de estos factores determinan la magnitud del rendimiento.

Las condiciones particulares de mercado de los últimos años y el advenimiento de nuevas tecnologías como la biotecnología han demostrado la necesidad y factibilidad de sostener rendimientos altos para lograr y mantener la competitividad. Esto se logra conduciendo la nutrición del cultivo de manera integrada con los demás factores que regulan la producción.

De igual manera, es importante enfatizar que no es suficiente utilizar las mejores prácticas agrícolas en el cultivo de banano para obtener el máximo rendimiento, si no se cuenta antes con óptimas condiciones internas y externas. El factor o factores limitantes condicionan la producción, aun cuando los demás factores de la producción se encuentren en condiciones óptimas y potencialmente contribuyen a la producción de cosechas adecuadas.

El utilizar cualquier práctica de cultivo que pretenda mejorar factores que no sean limitantes solamente logra un gasto injustificado. Por esta razón, es indispensable identificar correctamente el factor o factores limitantes antes de iniciar el programa de prácticas agrícolas. Con frecuencia se comete el error de tratar de mantener o mejorar una plantación basándose solamente en un buen programa de fertilización, sin tomar en cuenta otros factores que están limitando la producción. En otras palabras, no se puede corregir un problema de exceso o escasez de humedad o un fuerte ataque de nemátodos, con un buen programa de fertilización.

El principal objetivo de este manual es entonces el de enfatizar el valor de la nutrición del cultivo del banano y el de destacar el hecho de que la fertilización debe invariablemente manejarse en forma integrada con los otros factores de la producción para hacer eficiente el uso de los fertilizantes utilizados.

CAPITULO 1

LA RAIZ: BASE FUNDAMENTAL DE LA NUTRICION

La raíz es un órgano de vital importancia para las plantas de banano. Este órgano sirve no solamente de sostén, sino que a través de él las plantas toman agua y nutrimentos. Por esta razón, la adecuada nutrición mineral del cultivo depende totalmente del buen estado. Esto a la vez repercute directamente en el estado del racimo y, consecuentemente, en la producción del sistema radical.

De los 16 elementos nutricionales normalmente reconocidos como esenciales para las plantas, 13 son suplidos por el suelo y absorbidos por las plantas a través de la raíz. Estos nutrimentos participan en importantes procesos fisiológicos que regulan el crecimiento y la fructificación de la planta.

Las raíces de banano requieren de las mejores condiciones de suelo para un crecimiento normal. El suelo debe ser poroso y profundo, con adecuada aereación y con una buena fertilidad natural. Cualquier barrera física o química que limite el crecimiento de la raíz reduce significativamente el potencial productivo de la planta (Figuras 2 y 3).

La identificación y posterior corrección de los factores que limitan el crecimiento y actividad de la raíz, permite que la planta aproveche en forma óptima los nutrimentos presentes en forma natural en el suelo y los nutrimentos aplicados al suelo con los programas de fertilización (Figuras 4 y 5).

Este es uno de los principios fundamentales de la nutrición del cultivo que desafortunadamente no siempre se cumple y es la principal razón por la cual no se obtienen los resultados esperados de la fertilización. La aplicación de fertilizantes al suelo no es económica si el sistema radical se encuentra en malas condiciones, debido a que la planta aprovecha un bajo porcentaje de los nutrimentos aplicados al suelo. Por esta razón, se debe primero corregir los factores que limitan el crecimiento del sistema radical y posteriormente, cuando exista buena cantidad de raíces, proceder a la fertilización.



Figura 2. Area de plantas de banano con mal desarrollo debido a la mala condición del sistema radical.



Figura 3. Racimos pobres de banano producto de la mala condición de la raíz.



Figura 4. Area de plantas de banano con buen desarrollo que refleja una buena condición de la raíz.

Distribución de raíces y zona de alimentación

El sistema radical de la planta de banano está formado por raíces adventicias, fasciculadas y fibrosas de muy rápido crecimiento. Las raíces que emergen del cormo se denominan raíces primarias y éstas originan raíces laterales, secundarias y terciarias, cuyo número depende de las limitaciones encontradas y daños sufridos por el sistema radical durante el proceso de crecimiento. De la parte terminal de las raíces secundarias y terciarias emergen los pelos radicales que son pequeñas raíces de pocos milímetros de largo cuya función principal es la de absorber agua y nutrientes. Los pelos radiculares son muy eficientes en sus funciones, debido a que su tamaño muy pequeño permite una gran superficie de exposición con el suelo que los rodea.

El color, la textura y el tamaño de las raíces varía con la edad. Las raíces jóvenes son blancas y suaves, luego toman una coloración amarillenta y se endurecen levemente. En edades avanzadas el color llega a ser pardo oscuro y sufren suberización por lo que se tornan duras. Las secciones de la raíz alejadas de la planta presentan menor grosor, textura más suave y coloración más clara que las secciones cercanas a la planta.



Figura 5. Racimos de banano de buen tamaño producto de un vigoroso sistema radical.

El sistema radical se desarrolla vigorosamente desde el trasplante hasta la diferenciación floral. Una vez que se inicia la diferenciación floral, la formación de raíces disminuye y únicamente continúan desarrollándose aquellas raíces que se habían preformado antes de la diferenciación de la flor (Champion y Olivier, 1961). Investigación conducida con fósforo marcado (^{32}P) por Walmsley y Twyford (1968b) demostró que el mayor aprovechamiento de los nutrientes aplicados se presenta en un período que va desde los 2 a 3 meses después de la siembra hasta el inicio de la floración.

Las anteriores observaciones son importantes desde el punto de vista de la utilización óptima de los fertilizantes. No parece razonable la fertilización de la planta después de la diferenciación floral, pues luego de esta etapa la planta está preparada para sostener y llenar adecuadamente el racimo. En plantaciones de manejo perenne, luego de iniciada la floración en la planta madre, la fertilización se enfoca hacia los hijos de sucesión.

Es importante considerar que si en plantaciones nuevas se utilizan cormos grandes, que tienen una buena cantidad de reservas, estas reservas pueden alimentar perfectamente a la planta durante las primeras semanas de desarrollo, por lo que no

requieren de mucha fertilización durante esta etapa. Al respecto Sancho (1993, comunicación personal), trabajando con el cultivo de plátano, encontró que hasta la emisión de la cuarta hoja la cantidad de raíces formadas es sumamente baja cuando se utilizan cormos grandes como material de siembra.

Este no es el caso de plantas provenientes del cultivo "in vitro", que poseen pocas reservas y que producen una gran cantidad de raíces desde el vivero. En este caso se debe manejar muy bien la fertilización desde las etapas iniciales de crecimiento.

Las raíces de banano pueden alcanzar de 5 a 10 m de longitud cuando no existen factores limitantes que obstaculicen su crecimiento (Beugnon y Champion, 1966; Lavillé, 1964). Mientras menores sean las limitaciones las raíces tienden a formar menos ramificaciones. Estas observaciones demuestran que en realidad el sistema radicular del banano no es superficial por naturaleza, aún cuando este criterio es aceptado generalmente. Es más apropiado indicar que la profundidad de las raíces es controlada por la condición del suelo (Lahav y Turner, 1992).

En términos generales, cerca del 60 al 70% de las raíces de la planta de banano se encuentran en los primeros 30 cm del suelo (Soto, 1992). En realidad, no existe correlación entre las raíces activas (zona de

alimentación) y el peso total de las raíces. Esto se debe a que durante el crecimiento el número de raíces que exploran el suelo y la sección de raíces activas se aleja cada vez más de la planta. El proceso es muy eficiente pues permite que el sistema radical explore un volumen de suelo cada vez más grande. Esto es muy importante si se considera que la planta crece y se desarrolla rápidamente, incrementándose también sus necesidades nutricionales.

Lo anterior se ha ratificado con investigación de campo que ha confirmado que la planta de banano necesita por lo menos de 120 cm de profundidad para crecer normalmente (Ghavami, 1976; Stover y Simmonds, 1987; Jaramillo y Vázquez, 1990). El desarrollo de la planta es muy pobre en suelos con profundidades efectivas menores a 60 cm a pesar que, como se mencionó anteriormente, se considera que existe una gran cantidad de raíces en la zona de 0 a 30 cm (no necesariamente las más activas).

Por otro lado, es reconocido que la localización de la zona de alimentación alrededor del cormo varía con la edad de las plantas de banano. En plantas jóvenes, la zona de absorción se localiza en la zona que presenta mayor cantidad de raíces, pero conforme avanza la edad de la planta, este comportamiento cambia.

Estudios realizados por Walmsley y Twyford (1968a) con ^{32}P , en plantas de banano Robusta, revelaron que en plantas de 2 meses de edad la zona de absorción se ubica en un radio de 0 a 150 cm, mientras que en plantas de 5 meses de edad esta zona se localiza en un radio de 0 a 230 cm. Mohan y Madhava-Rao (1986) trabajando también con ^{32}P , en 3 cultivares diferentes, confirmaron que la zona de alimentación de plantas de 5 meses de edad es más amplia que en plantas de 2 meses de edad. En plantas de Robusta de hasta 2 meses se recomienda colocar el fertilizante dentro de un radio de 30 cm alrededor de la planta y en plantas de 5 meses ese radio debe haberse ampliado hasta 60 cm.

En plantaciones adultas manejadas de manera perenne, como es el caso de la mayoría de las plantaciones en Centro y Sur América, se considera que existe una adecuada cantidad de raíces en un anillo que se localiza de 30 hasta 60 cm de distancia de la planta, por lo que se recomienda fertilizar frente al hijo de sucesión en una semiluna de un ancho de 30 cm (Figura 6), lo cual es razonable desde el punto de vista operativo. En este tipo de plantaciones la

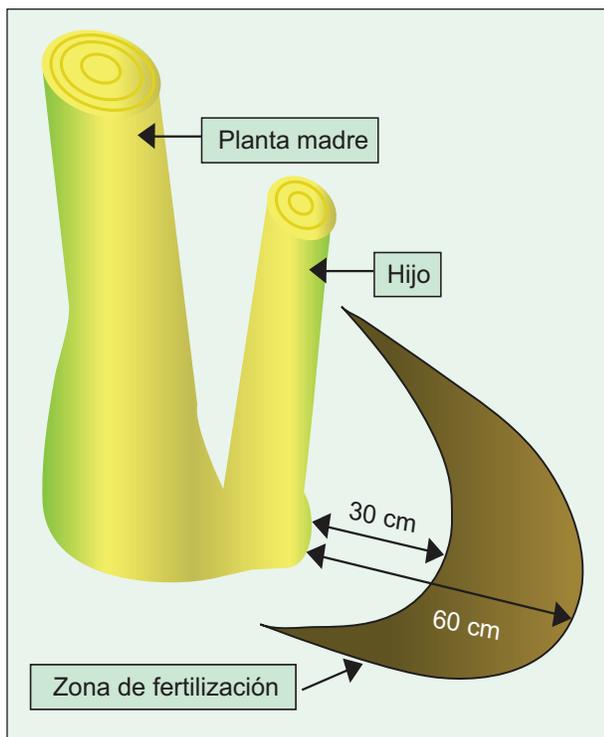


Figura 6. Zona de aplicación de fertilizantes en plantaciones de banano perenne.

fertilización está orientada hacia la nutrición del hijo, y no tanto hacia la nutrición de la planta madre. De todas maneras, el nitrógeno, el potasio y el magnesio se aplican en formas solubles y se movilizan después de la aplicación en diferentes direcciones en el suelo, por lo que llegan a una buena parte de la zona de alimentación.

Al respecto, estudios conducidos por Flores (1991b), para determinar la mejor forma de localización del fertilizante, demostraron que las mejores respuestas agronómicas se obtuvieron cuando se aplicó el fertilizante en forma localizada frente al hijo de sucesión, en un hoyo o dentro de bolsas multiperforadas.

Por otro lado, debido a la amplia zona de absorción de

nutrimentos de las plantaciones adultas, que puede llegar hasta 240 cm de radio en el caso de plantas Robusta de 6 meses de edad, algunos autores recomiendan realizar aplicaciones de fertilizante al voleo. En plantaciones perennes de Centro y Sur América esta forma de aplicación no se considera viable, debido a lo impráctico del sistema y a la gran cantidad de residuos acumulados entre las plantas que evitan que el fertilizante llegue al suelo. Esto reduce la eficiencia del fertilizante.

Un buen complemento de la fertilización mineral, que ayuda a aprovechar el potencial de absorción de la amplia zona de exploración de las raíces, es el uso de materiales orgánicos aplicados al voleo. Estos materiales se descomponen lentamente y los nutrimentos liberados son menos susceptibles de pérdida por escorrentía o lixiviación.

Factores que afectan el desarrollo de la raíz del banano

Son muchos los factores que afectan el desarrollo de la raíz, sin embargo, aquellos considerados más importantes se analizan a continuación.

Suelo

La dirección del crecimiento de la raíz está regulada por la acción de procesos denominados tropismos. Estos procesos están básicamente relacionados con las propiedades del suelo tales como profundidad efectiva, textura, estructura, niveles freáticos y fertilidad. Los tropismos más importantes son (Hardy, 1970):

Geotropismo: El crecimiento de la raíz se dirige hacia abajo. Los suelos poco profundos (superficiales) limitan el paso de la raíz, por lo que la zona de exploración es muy reducida y el crecimiento de la planta se afecta apreciablemente.

Aerotropismo: Este fenómeno permite que la raíz crezca hacia las partes mejor aireadas del suelo. La planta de banano es particularmente susceptible a los excesos de humedad. Debido a este fenómeno y al quimiotropismo, la longitud de las raíces que crecen horizontalmente es mayor que el de las raíces que crecen verticalmente.



Figura 7. Sintomatología característica del daño provocado por el nemátodo barrenador (*Radopholus similis*) en las raíces de banano.



Figura 8. Cormo afectado por picudo negro (*Cosmopolites sordidus*).

Hidrotropismo: Este mecanismo hace que la raíz busque las regiones húmedas (pero no saturadas) del suelo.

Quimiotropismo: La raíz se orienta hacia aquellas regiones del suelo más fértiles (quimiotropismo positivo) o evita aquellas regiones del suelo que puedan causar toxicidad a la planta (quimiotropismo negativo). Las raíces de banano son muy ávidas por aquellas regiones superficiales del suelo con alto contenido de materia orgánica en descomposición, no

solo porque en esta zona existe adecuada humedad sino por que las raíces tienen también acceso a un material muy rico en nutrientes.

Elementos como el calcio (Ca) y el fósforo (P) son particularmente importantes para el buen estado de la raíz. En suelos deficientes en Ca, las raíces del banano toman una coloración oscura y en muchos casos llegan a podrirse (Murray, 1959). Este fenómeno se ha observado en varias zonas bananeras de América Latina. En estos casos es particularmente importante la aplicación de Ca para mantener el buen estado de la raíz.

En todos los cultivos el P estimula el crecimiento de la raíz, debido a que este elemento es necesario en los sitios de crecimiento activo (Devlin, 1982). Por esta razón, se sugiere la aplicación de este nutriente a la siembra de plantaciones nuevas de banano, especialmente en suelos deficientes en P.

Plagas y enfermedades

Existe una gran cantidad de organismos que parasitan las raíces del banano y perjudican notoriamente el estado general de la planta. Los nemátodos y larvas de insectos causan fuertes daños a la raíz. Las heridas provocadas en la planta por nemátodos y larvas facilitan la entrada de hongos y bacterias lo cual acentúa el daño en la raíz. Con mucha frecuencia el principal enemigo de las raíces son los nemátodos. En Costa Rica, es especialmente dañino el nemátodo barrenador (*Radopholus similis*) que limita significativamente la capacidad de absorción de nutrientes por la planta (Figura 7).

Otra plaga importante es el picudo negro (*Cosmopolites sordidus*) que llega a niveles muy altos en algunas fincas (Figura 8). Aun cuando el picudo negro no ataca directamente a las raíces y el ataque se concentra más bien en el cormo, los daños producidos en éste terminan afectando también a las raíces.

El ataque de nemátodos y otras plagas se facilita por el monocultivo. En la mayoría de plantaciones de América Latina se sigue este sistema de producción, por lo que cuanto más

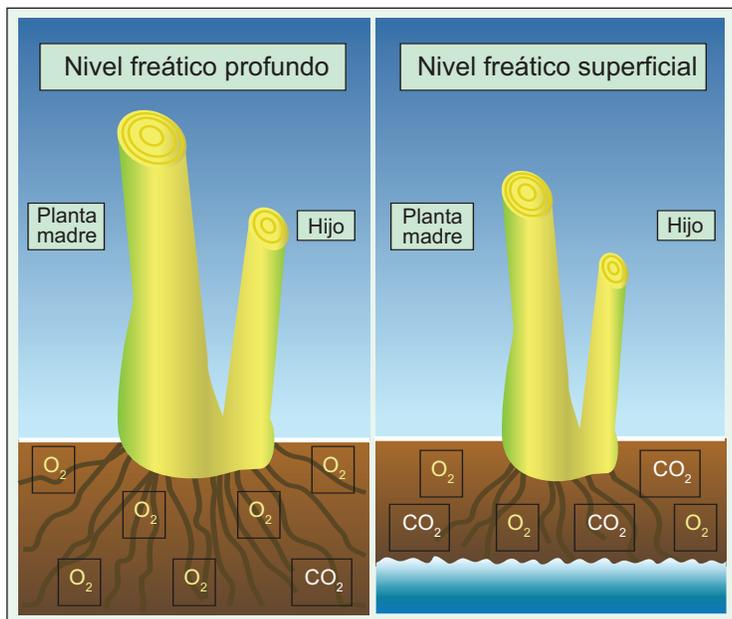


Figura 9. Los niveles freáticos altos disminuyen la cantidad de oxígeno (O₂) y aumentan la cantidad de dióxido de carbono (CO₂) en la zona radicular, afectando el crecimiento de la planta.

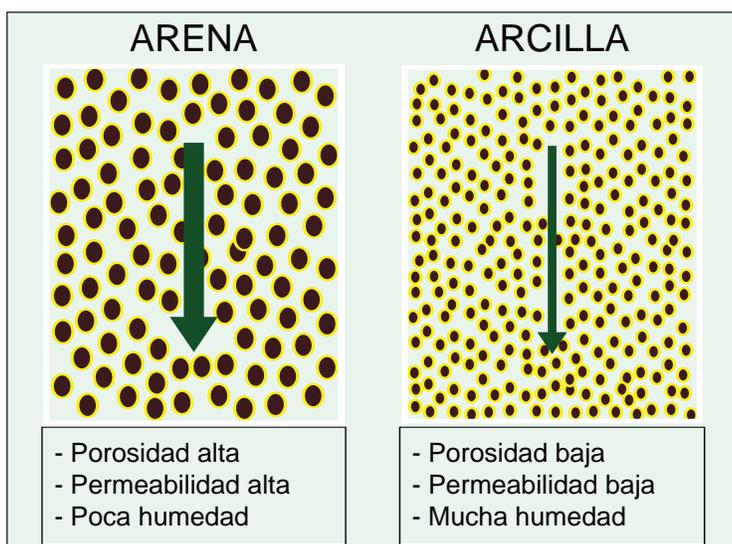


Figura 10. La textura tiene un efecto directo en las condiciones de permeabilidad del suelo.

vieja sea la plantación existen más posibilidades de tener daños en las raíces.

El apropiado combate de estas dos plagas, y otras de importancia económica, es vital para la buena nutrición del cultivo. Cualquier esfuerzo encaminado a mantener la sanidad radicular promueve la mejor absorción de nutrimentos por la planta.

Antes de fertilizar se debe revisar el estado de la raíz para identificar si existen daños, determinar la causa de éstos y proceder a solucionar el problema. Si las raíces están afectadas, la aplicación de fertilizante no es eficiente y se pierden cantidades apreciables de nutrimentos. La magnitud de la pérdida depende de la severidad del daño en las raíces.

Excesos de humedad

La planta de banano es particularmente susceptible al exceso de humedad. La saturación del suelo por períodos continuos de más de tres días provoca daños irreversibles en el sistema radicular de la planta y elevadas pérdidas económicas por el impacto negativo de esta condición en la producción de fruta. Existen zonas bananeras de abundante precipitación a través de casi todo el año y una de las principales limitantes para la producción de banano es, precisamente, la falta de drenaje y la consecuente saturación del suelo.

La acumulación del agua por falta de drenaje reduce el espacio con aire del suelo. Esto limita el intercambio gaseoso reduciendo la entrada de oxígeno atmosférico (O_2) (indispensable para el proceso de respiración) y evitando la salida de dióxido de carbono (CO_2) (producto de la respiración).

En ausencia de oxígeno, las raíces pueden sufrir daños severos e incluso morir (Figura 9). En estos casos la eficiencia de uso de los fertilizantes es muy baja, debido a que la energía proveniente del proceso de respiración en las raíces es parcialmente utilizada en la absorción de nutrimentos y en condiciones de exceso de humedad la respiración se reduce y la energía producida es mínima (Pizarro, 1985).

La textura y estructura son otros factores estrechamente relacionados con la permeabilidad del suelo. En términos generales se

estima que cuanto más finas son las partículas que componen el suelo mayores son los problemas de drenaje, debido a que existe poco espacio poroso lo que permite que el suelo se sature rápidamente y que el movimiento del agua se reduzca apreciablemente (Figura 10).

Otros factores que afectan la raíz

Uno de los factores que tiene un alto potencial para causar efectos negativos en el cultivo de banano es el uso inadecuado de ciertos productos químicos (especialmente algunos herbicidas) que pueden causar serios daños al sistema radical. En este sentido se requiere mayor investigación que genere información sobre formas de manejo de herbicidas que eviten daños fisiológicos a la raíz.



Figura 11. Raíces sanas en una finca con plantas de banano de tercera generación procedentes de cultivo “invitro”.



Figura 12. Raíces de banano muy afectadas por nemátodos en una área vieja sembrada con cormos.

Biotechnología y sanidad de raíces

El uso de plantas propagadas "in vitro" (vitroplantas), mediante la técnica de cultivo de tejidos, ha tenido gran desarrollo durante los últimos años en los países productores de banano alrededor del mundo. En Costa Rica por ejemplo, se empezó a utilizar vitroplantas desde 1985, sobretodo en la siembra de nuevos proyectos bananeros.

Una de las principales ventajas del uso de este tipo de técnica es la obtención de plantas libres de plagas y enfermedades (Figuras 11 y 12), lo cual reduce notoriamente la dispersión de organismos fitoparásitos, proceso que normalmente ocurre si se usa material de siembra tradicional (Arias y Valverde, 1987).

Desde el punto de vista de nutrición, el uso de semilla limpia de plagas y enfermedades asegura el desarrollo de raíces sanas, con una excelente aptitud para absorber nutrimentos del suelo. En este sentido, el uso de plantas provenientes de cultivo de tejidos, o de semilleros con este tipo de material, asegura la buena nutrición de la planta.

En el Cuadro 1 se compara la calidad de raíces y la población de nemátodos, en una plantación bananera de la Zona Atlántica de Costa Rica, en la que se ha usado semilla convencional y plantas procedentes de cultivo de tejidos. Las diferencias encontradas se manifiestan en un excelente estado general de la plantación donde se usó material "in vitro", mientras que lo contrario sucede en el caso de semilla convencional.

Cuadro 1. Calidad de raíz y número de nemátodos en una finca sembrada con dos tipos diferentes de semilla de banano.

Material de siembra	Raíces				Nemátodos		
	Totales g/planta	Funcionales g/planta	%	No funcionales g/planta	%	<i>Radopholus</i>	<i>Meloidogyne</i>
						100 g de raíz	
"In vitro"	124	115	93	9	7	0	2800
Rizomas	99	46	46	54	54	14800	2000

CAPITULO 2

REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DEL CULTIVO DE BANANO

Es conocido que el banano toma más nutrimentos por hectárea que casi cualquier otro cultivo comercialmente importante en el mundo. En una plantación de rendimiento promedio se cosechan al menos 50 ton de fruta/ha/año y en plantaciones de alta productividad este valor puede alcanzar 70 ton/ha/año. Si se considera la alta concentración de elementos minerales en el racimo, se puede concluir que una producción de 70 ton/ha/año puede fácilmente remover en la fruta 400, 125 y 15 kg/ha/año de potasio (K), nitrógeno (N) y fósforo (P), respectivamente. Estos elementos minerales deben ser repuestos, mediante un buen programa de fertilización, para mantener un buen nivel de producción.

Elementos minerales que nutren el cultivo

Como en cualquier otro cultivo, el banano requiere de elementos químicos indispensables para el crecimiento y la producción de la planta, denominados elementos esenciales.

Dentro de los elementos esenciales, existe un grupo de elementos que son el carbono (C), el oxígeno (O) y el hidrógeno (H) que se encuentran en la atmósfera y en el agua.

El otro grupo de elementos, llamados nutrimentos minerales, son absorbidos por la planta del suelo. Los nutrimentos minerales se subdividen en tres grupos: primarios, secundarios y menores.

Se denominan nutrimentos primarios porque todos los cultivos los requieren en apreciables cantidades. Estos nutrimentos son nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). Los nutrimentos secundarios son requeridos por las plantas en cantidades más bajas que los primarios. Entre éstos se encuentran calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S). Finalmente las plantas requieren cantidades muy bajas de los nutrimentos menores que son zinc (Zn), boro (B), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), cloro (Cl) y sodio (Na).

Nitrógeno

Se considera que el nitrógeno (N) es uno de los nutrimentos de mayor importancia en el manejo de la nutrición del cultivo de banano. La cantidad de este nutrimento en la planta es considerablemente alta.

El nitrógeno en la planta

El papel más importante del N en las plantas es su participación en la estructura de las moléculas de proteína. El N tiene también un importante papel en el proceso de la fotosíntesis, debido a que es indispensable para la formación de la molécula de clorofila. El N es componente de vitaminas que tienen una importancia extraordinaria para el crecimiento de la planta (Devlin, 1982).

Síntomas de deficiencia de nitrógeno

No es común observar deficiencias nutricionales en el cultivo de banano sembrado en suelos adecuados y bajo buenas condiciones de manejo. Sin embargo, debido a los altos requerimientos de N por parte de este cultivo, bajo ciertas condiciones, es factible observar los síntomas característicos de la deficiencia de N, particularmente en presencia de problemas radiculares provocados por ataque de nemátodos, déficit hídrico en épocas secas o exceso de humedad en épocas lluviosas. El aspecto de las plantas que presentan deficiencia de N se describe a continuación.

Amarillamiento de las hojas

Un síntoma evidente de la falta de N en el cultivo de banano es el amarillamiento de las hojas debido a la disminución de la clorofila (Figura 13), en contraste con una planta bien nutrida la cual presenta un color verde intenso (Figura 14). Este amarillamiento se inicia primero en las hojas más viejas, pero a medida que la deficiencia se intensifica, el amarillamiento se presenta en hojas más jóvenes. Los pecíolos de las hojas más afectadas presentan una coloración rosada, síntoma típico de la falta de N en plantas de banano (Figura 15) (Martin-Prével, 1964; Instituto de la Potasa y el Fósforo, 1988).



Figura 13. Planta de banano deficiente en N con mal desarrollo y amarillamiento en las hojas viejas.

Retraso del crecimiento y desarrollo de la planta

Otro efecto muy marcado de la deficiencia de N en el cultivo de banano es un fuerte retraso en el crecimiento y desarrollo de la planta. La tasa de producción de hojas, así como la distancia entre éstas, se reduce apreciablemente y las hojas salen en un mismo plano, lo que le confiere a la planta la apariencia de "roseta". La altura de la planta y la



Figura 14. Planta de banano de primera cosecha con buen desarrollo y color, resultado de una buena nutrición.

longitud de las hojas se reducen considerablemente (Prével, 1964; Murray, 1960).

El nitrógeno en el suelo

La cantidad de N en el suelo, disponible para la planta, es relativamente pequeña. Por esta razón, se debe suplir este nutriente con regularidad a través de los programas de fertilización. Las cantidades de N presentes en el suelo están controladas por las condiciones climáticas, la vegetación, la topografía, el material parental, las actividades humanas y el tiempo en que estos factores han actuado sobre el suelo (Fassbender, 1982). Este nutriente se presenta en los suelos del trópico en dos formas principales (Sánchez, 1981):

Nitrógeno orgánico

Es el N que se encuentra en restos de plantas, animales y microorganismos. Un alto porcentaje del N en el suelo se encuentra en esta forma, pero no es inmediatamente disponible para las plantas. El N orgánico debe descomponerse y formar compuestos inorgánicos para que pueda ser absorbido por la planta.



Figura 15. Planta de banano deficiente en N con coloración rosada del pseudotallo y amarillamiento de las hojas más viejas.

Nitrógeno inorgánico

Se presenta en forma de iones amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-) que son rápidamente disponibles para las plantas. Si bien las plantas pueden absorber tanto iones NH_4^+ como NO_3^- , es esta última forma de N la que más absorben las plantas (Sarasola y Rocca, 1975). Los fertilizantes nitrogenados suplen el N en estas dos formas.

Dinámica del nitrógeno en el suelo

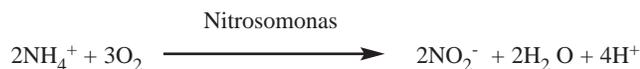
La cantidad de N inorgánico disponible para las plantas (NH_4^+ y NO_3^-) depende principalmente de la cantidad de N aplicado como fertilizante y del N mineralizado de la materia orgánica. El N presente en el suelo cambia de una forma a otra por medio de procesos que ocurren rápidamente. Esto permite que el N pueda ser asimilado por la planta pero también eleva el potencial de pérdida de N del suelo. El conocimiento de estas transformaciones permite ser eficiente en el manejo de N. A continuación se discuten brevemente estos procesos (Tisdale et al., 1993):

Mineralización

La mineralización del N es la transformación microbiana de las formas orgánicas de N a NH_4^+ . De esta forma el N orgánico pasa a una forma inorgánica que puede ser absorbida por la planta o transformada a NO_3^- . La mineralización de N se incrementa con la temperatura y con humedad adecuada, pero no excesiva.

Nitrificación

El NH_4^+ mineralizado de las formas orgánicas y el NH_4^+ añadido al suelo en los fertilizantes se transforma en NO_3^- mediante el proceso microbiano denominado nitrificación. Este proceso se lleva a cabo en dos fases. En la primera el NH_4^+ es oxidado formando nitrito (NO_2^-) mediante la intervención de las bacterias Nitrosomonas. Esta fase se representa mediante la siguiente ecuación:



En la segunda fase el NO_2^- se transforma en NO_3^- con la intervención de las bacterias Nitrobacter. La reacción se representa con la siguiente ecuación:



Nótese que en las dos fases es indispensable la presencia de oxígeno (O_2). Por esta razón la nitrificación ocurre rápidamente en suelos bien aireados y se reduce significativamente en suelos encharcados.

Es importante también indicar que la nitrificación de NH_4^+ , proveniente tanto de fuentes orgánicas como inorgánicas, produce un exceso de iones hidrógeno (H^+) que acidifica paulatinamente el suelo (primera ecuación). Es necesario evaluar constantemente el cambio de pH en el suelo para evitar desarrollar problemas de alta acidez.

El NO_3^- producido por el proceso de nitrificación y el NO_3^- aplicado al suelo en los fertilizantes es muy móvil y se puede perder fácilmente por lixiviación. El entender como se produce el proceso de nitrificación permite diseñar las prácticas de manejo que eviten las pérdidas de NO_3^- y que aseguren que el N aplicado como fertilizante ingrese en la planta y contribuya al rendimiento.

En los trópicos húmedos, debido a la alta pluviosidad, las pérdidas de N pueden ser muy altas. Una excelente práctica que minimiza las pérdidas de N por lixiviación, utilizada efectivamente en el cultivo del banano, es el fraccionamiento de las dosis de N. Esta práctica evita la acumulación de altas cantidades de NO_3^- en el suelo que fácilmente se pierden por lixiviación.

Denitrificación

En condiciones de inundación el O_2 es excluido del suelo y prevalecen condiciones anaeróbicas. En estas condiciones algunos organismos (Pseudomonas, Bacillus y Paracoccus) tienen la habilidad de obtener su O_2 del NO_2^- y NO_3^- , con la consecuente liberación de N en forma N_2 y N_2O , que son gases que se desprenden a la atmósfera. La ecuación simplificada de esta reacción es la siguiente:



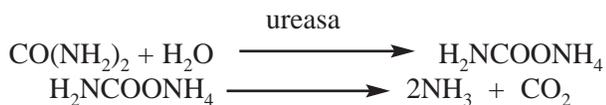
En ciertos casos este proceso puede producir importantes pérdidas de N del suelo.

Volatilización

El N del suelo puede perderse por volatilización, que

es el proceso que transforma NH_4^+ en gas amoníaco (NH_3). Este proceso está principalmente asociado con la aplicación superficial de los fertilizantes nitrogenados. Las pérdidas de NH_3 son favorecidas por suelos de pH naturalmente alto o por reacciones que elevan temporalmente el pH como sucede con la urea.

Después de la aplicación en la superficie del suelo, la urea es atacada por la enzima ureasa que facilita su hidrólisis formando en esta primera reacción carbamato de amonio que es un compuesto inestable. Esta reacción eleva el pH en la inmediata vecindad del gránulo de urea a valores mayores que 8.0. En este ambiente alcalino el carbamato de amonio se descompone rápidamente en NH_3 y dióxido de carbono (CO_2). Estas reacciones se describen a continuación:



El NH_3 formado al final de estas reacciones es un gas que se volatiliza fácilmente de la superficie del suelo perdiéndose de esta forma apreciable cantidad de N. El NH_3 en contacto con la humedad del suelo se transforma nuevamente en NH_4^+ permaneciendo así en forma estable en el suelo. Por esta razón es aconsejable incorporar la urea en el suelo mecánicamente o disolviéndola con riego o con la precipitación. Esta práctica de manejo evita la volatilización del N proveniente de la urea.

El NH_4^+ formado después de la hidrólisis de la urea pasa por los mismos procesos de oxidación biológica (nitrificación) por los que pasa el NH_4^+ de otras fuentes nitrogenadas. Como ya se discutió anteriormente este proceso lleva a la paulatina acidificación del suelo.

Necesidades de nitrógeno en el cultivo de banano

El banano remueve cantidades considerables de N del suelo. Se considera que en una producción de 70 ton/ha/año saca del campo en la fruta alrededor de 125 kg de N.

La descomposición de los residuos orgánicos dejados en el campo provee N que puede ser utilizado por la planta, pero las cantidades de N provenientes de los materiales orgánicos generalmente son muy bajas

para suplir completamente las necesidades de N del cultivo. Por esta razón, casi todo el N requerido para obtener rendimientos adecuados de fruta debe ser suplido en forma de fertilizantes minerales, a través de los programas de fertilización.

En la producción de banano alrededor del mundo se utilizan dosis de N entre 100 y 600 kg N/ha/año, dependiendo de las condiciones de suelo y las condiciones climáticas de cada zona. En la mayoría de las zonas bananeras de América Latina se utilizan dosis de alrededor de 300 kg N/ha/año.

Investigación conducida en Costa Rica por varios años demostró que dosis de 300 a 320 kg N/ha/año, usando urea como fuente de N y fraccionando la dosis en ocho aplicaciones al año (40 kg N/ha/aplicación), obtuvieron consistentemente la mayor rentabilidad y el máximo beneficio económico (Herrera, 1989; López, 1991a). Es importante observar que la práctica de fraccionar la dosis de N permite una mayor eficiencia de uso de este nutrimento en condiciones de alta precipitación, como los prevalentes en las zonas donde se condujeron estos experimentos (3000 a 4000 mm anuales), donde existe un alto potencial de pérdida de NO_3^- por lixiviación. En estas mismas áreas se fracciona hasta 26 veces la dosis anual de N logrando excelentes resultados. Es evidente entonces que la determinación del número de aplicaciones se relaciona estrechamente con la precipitación y con la textura del suelo, factores que determinan el potencial de pérdida de N por lixiviación.

Fuentes de nitrógeno aplicadas al suelo

Fuentes que contienen amonio

Urea, $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ (46% N). Este es un excelente fertilizante nitrogenado debido a que posee un alto porcentaje de N. La urea se hidroliza en el suelo formando iones NH_4^+ .

Nitrato de amonio, NH_4NO_3 (32 a 33,5 % N). Este fertilizante es también una fuente de N como NO_3^- . Este material es higroscópico y tiende a endurecerse en condiciones de mucha humedad, por esta razón se debe evitar almacenarlo por mucho tiempo.

Sulfato de amonio, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (20,5% N). Tiene la ventaja de suplir azufre (S) además de N, pero por otro lado tiene la desventaja de tener una fuerte reacción ácida.

Urea recubierta con azufre, (38% N). Consiste de urea recubierta con una capa delgada de S elemental lo que permite reducir pérdidas de N. Investigación conducida en la Zona Atlántica de Costa Rica encontró que la productividad del banano aumentó en 18% cuando se utilizó este fertilizante en lugar de urea corriente (Jaramillo y Bazán, 1976).

Fosfato Diamónico, $(\text{NH}_4)_2\text{PO}_4$ (16% N) y, Fosfato Monoamónico $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ (11% N). Además de N también suplen fósforo (P). Son más importantes como fuentes de P que de N.

Existen otras fuentes amoniacales, gaseosas o líquidas, como el amoníaco anhidro (NH_3 , 82% N) y el agua amoniacal de diferentes concentraciones, de poco uso en el cultivo de banano.

Los fertilizantes amoniacales tienen la desventaja de acidificar el suelo debido al proceso de nitrificación. Se ha demostrado, en el cultivo del banano, que mientras más alta sea la dosis de urea se reduce más el pH del suelo (López, 1991a). Por otro lado, Godefroy y Guillemot (1975), al comparar el efecto de la urea y del sulfato de amonio sobre las características químicas y la productividad de un suelo bananero, encontraron que el sulfato de amonio acidifica más el suelo que la urea. También, mencionan que el sulfato de amonio provoca una mayor lixiviación de calcio (Ca) y magnesio (Mg). Uno de los fertilizantes nitrogenados que menos acidifica el suelo es el nitrato de amonio debido a la baja cantidad de N amoniacal (16%).

Si bien el efecto acidificante de los fertilizantes nitrogenados amoniacales no causa un efecto a corto o mediano plazo sobre el cultivo de banano, la reducción drástica del pH del suelo a largo plazo tiene repercusiones negativas en la nutrición del cultivo. Para atenuar este problema, se recomienda hacer un uso más eficiente de los fertilizantes nitrogenados, buscando disminuir el uso de fuentes amoniacales.

Fuentes que contienen nitratos

Nitrato de potasio, KNO_3 (13% N). Es un fertilizante muy apropiado para banano ya que suple los dos nutrimentos más importantes para la producción de banano, N y K, en una relación balanceada (1:3). Su uso se ve limitado por el alto costo. Este material es excelente para utilizarse en programas de fertigación debido a que es muy soluble.

Nitrato de calcio, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (15% N). Es una buena fuente de N y Ca de menor uso que el nitrato de potasio. Su precio es también alto lo que limita su uso en banano.

La ventaja de utilizar nitratos en el cultivo del banano radica en que estos fertilizantes no poseen reacción ácida y se consideran más bien fisiológicamente alcalinos.

Resultados de investigación conducida en Costa Rica no detectó diferencias en rendimiento con el uso de KNO_3 y con el uso de fuentes tradicionales de N (urea) y K (KCl), sin embargo, se encontró que el uso continuo de KNO_3 no provocó cambios en el pH del suelo como lo hizo el uso de urea (López, 1991b).

Fuentes de nitrógeno aplicadas vía foliar

Algunos fertilizantes nitrogenados han sido aplicados con éxito por vía foliar en el cultivo de banano. Cain (1956) menciona el uso de aplicaciones foliares de urea hasta en concentraciones del 5%. El nitrato de potasio también ha sido usado con éxito en Santa Marta, Colombia, en concentraciones del 2% (Guerrero y Gadbán, 1992).

Potasio

El potasio (K) es considerado como el nutrimento más importante en la nutrición del cultivo debido a que es el nutrimento que la planta de banano requiere en mayores cantidades.

El potasio en la planta

El K es absorbido por las plantas en forma de ión K^+ y es el catión más abundante en las células de la planta de banano. Aunque el K no forma parte de la estructura de los compuestos orgánicos en la planta, es fundamental debido a que cataliza procesos tan importantes como la respiración, la fotosíntesis, la formación de clorofila y la regulación del contenido de agua en las hojas. La función primaria del K está ligada al transporte y acumulación de azúcares dentro de la planta y esta función permite el llenado de la fruta (Devlin, 1982, Sarasola y Rocca, 1975).

Síntomas de deficiencia de potasio

La deficiencia de K es común en suelos pobres dedicados al cultivo de banano, pero es difícil encontrar síntomas típicos de la deficiencia de este



Figura 16. La deficiencia de K provoca una coloración amarillo anaranjada hacia la punta de las hojas más viejas de la planta de banano.

nutrimento en suelos fértiles. La deficiencia ha sido descrita, entre otros lugares, en suelos pobres de Camerún (Hasselo, 1961), Jamaica (Tai, 1959 citado por Stover, 1972) y Honduras (Bhangoo et al., 1962). Los síntomas clásicos de la deficiencia de K se describen a continuación.

Clorosis de las hojas

El síntoma más característico de la deficiencia de K es la presencia de una coloración amarillo anaranjada que se localiza en la punta de las hojas más viejas (Figura 16). Más adelante las hojas se enrollan hacia adentro y mueren rápidamente (Figura 17) (Lahav, 1972; Martín-Prével, 1964).

Retraso del crecimiento

Generalmente, una planta de banano deficiente en K crece lentamente y toma una apariencia achaparrada, debido al marcado acortamiento entre los entrenudos (Devlin, 1982). Este tipo de sintomatología se conoce en Costa Rica como "arrepollamiento" (Figura 18).

Deformaciones del racimo

Los racimos de plantas deficientes en K son cortos (enconchados), de aspecto raquíutico (la fruta no se llena) y de muy bajo peso (Martín-Prével, 1964; Charpentier y Martín-Prével, 1965).

El potasio en el suelo

El K se encuentra en el suelo en tres formas principales (Instituto de la Potasa y el Fósforo, 1988):

Potasio no disponible

Es el K que se encuentra formando parte de la estructura de los minerales. Es liberado lentamente a través de los procesos de meteorización.

Potasio lentamente disponible

Los iones K^+ son atrapados o fijados por las arcillas del suelo y son liberados lentamente quedando así disponibles para la planta. Esto ocurre solamente en suelos dominados por arcillas de tipo 2:1 y generalmente este no es un proceso de importancia en la mayoría de suelos tropicales donde se cultiva banano.

Potasio disponible

Es el K^+ que se encuentra retenido electrostáticamente en los coloides del suelo en equilibrio con el K^+ de la solución del suelo. La planta toma el K^+ de la solución del suelo.



Figura 17. Luego del amarillamiento inicial causado por la deficiencia de K las hojas se enrollan hacia adentro y mueren rápidamente.



Figura 18. La obstrucción foliar (arrepollamiento) se asocia generalmente con deficiencias de K. Este síntoma también puede deberse al efecto de cualquier otro factor que afecte el desarrollo de la raíz y no permita la absorción de K.

Se considera que niveles de K en el suelo superiores a 0.2 cmol(+)/L, extraídos con bicarbonato de sodio (Olsen modificado) son adecuados para el cultivo de banano (Bertsch, 1986). Sin embargo, este nivel depende del balance en la relación Ca, Mg y K.

Necesidades de potasio en el cultivo de banano

Las cantidades de K que la planta remueve del suelo y que salen del sistema exportadas en los racimos son sumamente altas. Se estima que solamente las pérdidas en la fruta pueden llegar a alrededor de 400 kg K/ha/año con una producción de 70 ton. Por esta razón, el banano requiere de una buena fertilización potásica, a pesar de que los niveles de K en el suelo sean adecuados. Las cantidades de K aplicadas en los diferentes países que cultivan banano varían 100 a 1200 kg de K_2O /ha/año (80 a 1000 kg de K/ha/año).

Debido a la importancia del K en el cultivo de banano se han realizado abundantes trabajos de investigación en el área de nutrición y fertilización con este elemento, en las diferentes zonas bananeras del mundo. Los resultados más sobresalientes de este tipo de investigación conducida en Costa Rica se resumen a continuación:

Garita (1980) encontró que una dosis de 750 kg de K_2O /ha/año, aplicada como KCl y fraccionada en cinco aplicaciones al año, obtuvo la mayor producción de banano. Arias (1984) también obtuvo el más alto rendimiento con la misma dosis, pero

utilizando K_2SO_4 como fuente de K y fraccionando la dosis en cuatro aplicaciones al año. Hernández (1985) observó la mayor producción como respuesta a la aplicación de una dosis de 600 kg de K_2O /ha/año, utilizando también KCl como fuente de K, y fraccionando la dosis en cuatro aplicaciones al año. Por otro lado, López (1993, datos sin publicar) encontró la mejor respuesta a las aplicaciones de 720 kg de K_2O /ha/año, utilizando tanto KCl como KNO_3 y fraccionando la dosis en 8 aplicaciones al año. Finalmente, López (1991a) obtuvo la más alta producción en un ensayo de N-P-K con el uso de 600, 150 y 300 kg/ha de K_2O , P_2O_5 y N respectivamente, aplicados en 8 fracciones al año.

El K es medianamente móvil en el suelo porque es retenido electrostáticamente en las cargas negativas de los coloides del suelo (capacidad de intercambio catiónico). El fraccionamiento de las dosis de K depende de la precipitación y fundamentalmente de la textura del suelo. Los suelos arenosos tienen una baja capacidad de intercambio catiónico y en estos casos es imprescindible fraccionar las dosis de K. Desde el punto de vista práctico es aconsejable el aplicar el N y el K juntos en el número de aplicaciones fraccionadas que se considere adecuadas para cada sitio en particular.

Fuentes de potasio aplicadas al suelo

Cloruro o Muriato de Potasio, KCl (60% K_2O). Es el fertilizante potásico más usado en las plantaciones bananeras. A pesar de su alto contenido de cloro (47% Cl), no es recomendable en ciertos cultivos, no causa problema en el banano ya que la sensibilidad del cultivo a los altos niveles de Cl es baja. López (1991b) detectó niveles altos de Cl foliar, como efecto del uso de altas dosis de KCl, sin encontrar efectos negativos en la producción del cultivo. La gran ventaja de esta fuente es su bajo precio por unidad de K.

Sulfato de Potasio, K_2SO_4 (50% K_2O). Este fertilizante es una muy buena fuente de K debido a que no solo suple este nutriente sino que también aporta azufre (S). Contrario a lo que popularmente se cree, el K_2SO_4 no acidifica el suelo. Flores (1991a), en un ensayo de fertilización de banano con sulfatos, obtuvo muy buenos resultados al mezclar KCl con K_2SO_4 , debido a la incorporación de S.

Sulfato doble de potasio y magnesio, $K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$ (22% K_2O). Este material es utilizado en aquellos suelos con deficiencias de magnesio (Mg) y S. Tampoco cambia el pH del suelo.

Nitrato de potasio, KNO_3 (44% K_2O). Es una magnífica fuente de K pero su uso es restringido debido a su alto costo. Este fertilizante también ha dado excelentes resultados en aplicaciones foliares al 2% (Guerrero y Gadbán, 1992) y en programas de fertigación.

Fósforo

A pesar de que el fósforo (P) es muy importante en la nutrición de muchos cultivos, los requerimientos de este nutrimento en el banano no son grandes.

El fósforo en la planta

El P es absorbido por las plantas principalmente como el ion $H_2PO_4^-$. La etapa de más rápida absorción de P por el banano ocurre en los primeros cinco meses de vida de la planta (etapa vegetativa).

El P forma parte de los ácidos nucleicos, los fosfolípidos, las coenzimas NAD y NADP y, más

importante aún, forma parte del ATP, compuesto transportador de energía en la planta. El P se requiere en altas concentraciones en las regiones de crecimiento activo (Devlin, 1982). Por esta razón, es particularmente importante en los períodos de crecimiento activo de la planta de banano (primeros meses de edad).

El P es un elemento móvil que es reutilizado dentro de la planta. Esta puede ser la razón del bajo requerimiento de P por la planta de banano (Martín-Prével, 1978).

Síntomas de deficiencia de fósforo

Los síntomas de deficiencia de este elemento son difíciles de observar en el campo debido a que, como se mencionó anteriormente, los requerimientos de P del banano no son grandes. Sin embargo, en suelos muy pobres es posible observar los síntomas característicos de la deficiencia. En Costa Rica, se han observado síntomas de deficiencia de P en plantas de banano en áreas con suelos muy arenosos (Figura 19) y en hidroponía, mediante la técnica del elemento faltante (Figura 20). A continuación se describen los síntomas comunes de deficiencia de P.



Figura 19. Los síntomas de deficiencia de P en banano se caracterizan por provocar una necrosis marginal en el borde de las hojas más viejas.



Figura 20. Síntomas provocados de deficiencia de P en banano en hidroponía.

Coloración del follaje y necrosis

La deficiencia de P provoca una necrosis marginal en forma de sierra en las hojas más viejas (Figura 20). Las hojas presentan una coloración verde oscura-azulada. El necrosamiento de la hoja provoca una senescencia prematura (Martín-Prével, 1964).

Crecimiento y desarrollo

La deficiencia de P provoca una reducción en el crecimiento de la planta madre y de los hijos. Se reduce el ritmo de emisión foliar, así como el largo de la hoja. La planta toma una apariencia de "roseta" parecida a la deficiencia de N (Martín-Prével y Charpentier, 1964).

El fósforo en el suelo

El P es un nutrimento presente en cantidades muy bajas en la solución del suelo, tiene una baja movilidad y es muy susceptible a formar compuestos insolubles con el aluminio (Al), el hierro (Fe) y el calcio (Ca) y a ser atrapado o "fijado" por las arcillas del suelo.

Existen varios factores que determinan la disponibilidad del P en el suelo para las plantas. Tres de los más importantes son el pH del suelo, el tipo de arcilla predominante y la forma de aplicación (Instituto de la Potasa y el Fósforo, 1993).

pH del suelo

El pH influye fuertemente en la solubilidad de los compuestos de P del suelo. En suelos ácidos (pH bajo) el P reacciona con metales como el Fe y el Al formando compuestos insolubles que no permiten que el P sea disponible para la planta. En suelos alcalinos (pH alto) el Ca reacciona con el P formando fosfatos de calcio insolubles limitando de esta forma también la disponibilidad del P.

El ámbito de pH ideal para tener una buena disponibilidad de P fluctúa entre 5.5 y 7.0. Esto es particularmente cierto en suelos de las zonas templadas y subtropicales del mundo que están dominados por arcillas de tipo 2:1 (montmorillonita, vermiculita, illita). En este caso un buen programa de encalado ayuda a mejorar la disponibilidad del P. Muy pocos suelos de áreas bananeras tienen estas condiciones.

El banano se cultiva principalmente en suelos tropicales. El efecto del encalado de suelos tropicales generalmente lleva a confusión con respecto a la disponibilidad de P. La aplicación de cal en los suelos tropicales corrige la toxicidad de Al y la deficiencia de Ca, y la corrección de estos factores permite un incremento en la absorción de P, aún cuando el encalado tiene muy poco efecto en la fijación de P que ocurre principalmente por las reacciones en la superficie de las arcillas como se explica a continuación.

Tipo de arcillas

Existen algunos tipos de arcillas como la caolinita y los óxidos e hidróxidos de Fe y Al que predominan en suelos meteorizados y pobres y la alófana e imogolita que predominan en suelos volcánicos, que fijan altas cantidades de P. Esto se debe fundamentalmente a que este tipo de arcillas tienen una superficie con gran afinidad por el P, lo que permite que este nutrimento quede inmovilizado permanentemente en las arcillas. Un buen número de áreas donde se cultiva banano tienen estos tipos de suelos.

Colocación del fertilizante

Por lo antes discutido, los fertilizantes fosfatados deben ser colocados, en lo posible, en forma localizada para lograr el menor contacto del P con el suelo y reducir de esta forma su fijación (Tisdale et al., 1993).

Necesidades de fósforo en el cultivo de banano

Una producción de 70 ton de banano remueve del sistema alrededor de 15 kg de P/ha/año, lo cual se considera bajo si se compara con la remoción de N o K. Por esta razón, no se requieren de cantidades altas de P en los programas de fertilización. En las plantaciones bananeras alrededor del mundo se aplican dosis de P que van de 0 a 300 kg de P_2O_5 /ha/año (130 kg P/ha/año).

Investigación conducida en Costa Rica no encontró respuesta en rendimiento de banano a la aplicación de P en suelos volcánicos con un contenido inicial de 12 mg/L de P, donde se aplicaron dosis de hasta 400 kg de P_2O_5 /ha/año, utilizando tanto superfosfato triple como roca fosfórica en forma localizada (Solís, 1993 datos sin publicar). Lacoeuilhe y Godefroy (1971), observaron fuertes deficiencias de P en plantas

creciendo en el campo en Guadalupe. El nivel de P foliar encontrado en plantas deficientes fue menor de 0.14% y el nivel de P en el suelo fue de 2.5 mg/L. Se recomienda la utilización de P a la siembra de plantaciones nuevas, debido a que esto estimula el crecimiento de la planta.

Fuentes de fósforo

Superfosfato triple (46% P_2O_5). Esta es una fuente de P moderadamente disponible para las plantas.

Fosfato Diamónico, $(NH_4)_2 PO_4$ (46% P_2O_5) y Fosfato Monoamónico $NH_4H_2PO_4$ (52% P_2O_5). Estos fertilizantes tienen la ventaja de ser solubles en agua por lo que son rápidamente disponibles para las plantas antes que actúen los fenómenos de fijación.

Roca fosfórica (22-33% P_2O_5). Es un material utilizado como enmienda que suple Ca (33% Ca) además de P. La roca fosfórica es un material muy poco soluble cuyo uso se recomienda solamente en suelos ácidos. Se ha demostrado que en estas condiciones puede ser tan eficaz y económico como las fuentes más solubles de P (Sánchez, 1981).

Calcio

El calcio (Ca), generalmente no se usa en los programas de fertilización del banano porque el cultivo lo requiere en cantidades moderadas y es relativamente abundante en los suelos, sin embargo existen ciertas condiciones particulares en las cuales es indispensable usar Ca.

El calcio en la planta

El Ca participa activamente en la formación de las paredes celulares donde se lo encuentra como pectato cálcico. Es un nutrimento muy poco móvil dentro de la planta una vez que ha formado parte de la estructura de la célula. Este elemento también participa como un activador de enzimas y actúa en el importante proceso de la división celular, estimulando de esta forma el desarrollo de raíces y hojas (Devlin, 1982; Instituto de la Potasa y el Fósforo, 1988). Este nutrimento es absorbido por la planta como ion Ca^{2+} .

Síntomas de deficiencia de calcio

Los síntomas de deficiencia de Ca no son comunes en la áreas donde se cultiva banano, excepto en suelos tropicales ácidos con baja capacidad de intercambio catiónico. Es frecuente observar síntomas de

deficiencia de Ca en los suelos ácidos de Brasil donde se cultiva banano (Moreira, 1969). Cuando se provocan deficiencias minerales en plantas de banano, una de las que más rápidamente se manifiesta es la deficiencia de Ca (López y Solís, 1992b). A continuación se describen los síntomas de deficiencia de este nutrimento.

Decoloración y deformaciones foliares

La deficiencia de Ca aparece en las hojas más jóvenes, ya que éste es un nutrimento muy poco móvil dentro de la planta. Como consecuencia de la deficiencia de Ca se incrementa el espesor de las nervaduras secundarias, efecto que se acentúa en la zona adyacente a la nervadura central (Figuras 21 y 22). Este engrosamiento es acompañado de clorosis marginal entre las nervaduras conforme las plantas crecen. Si la deficiencia es muy severa, los síntomas se acentúan hasta que las hojas se deforman casi desapareciendo la lámina foliar dando una apariencia de sierra (Charpentier y Martín-Prével, 1965; López y Solís, 1992b). Los efectos de la deficiencia aguda de Ca llegan a ser tan severos que la planta deja de emitir hojas y muere (López y Solís, 1992).

Las deformaciones de la hoja candela (bandera) también pueden ser provocadas por inadecuadas aplicaciones de herbicidas como el glifosato (Figura 23), lo cual puede equivocadamente confundirse con deficiencias de Ca, zinc (Zn) o boro (B). De igual manera, los síntomas de enfermedades virales, como los causados por el virus del mosaico del pepino, pueden ser equivocadamente atribuidos a deficiencias de estos elementos (Figura 24).

Raquitismo

La carencia de Ca provoca una reducción del ritmo de emisión foliar por lo que la planta toma un aspecto raquíto (Charpentier y Martín-Prével, 1965).

Necrosamiento de raíces

Es conocido que en muchos cultivos la deficiencia de Ca provoca el acortamiento, engrosamiento y necrosis de las raíces (Devlin, 1982). Se ha observado necrosamiento de las raíces de banano en suelos livianos deficientes en Ca. Estos síntomas pueden ser erróneamente confundidos con daños causados por nemátodos. La documentación de las causas y efectos de esta sintomatología en banano es un importante tópico de investigación futura.



Figura 21. Síntomas de deficiencia de Ca caracterizados por nervaduras secundarias sobresalientes.

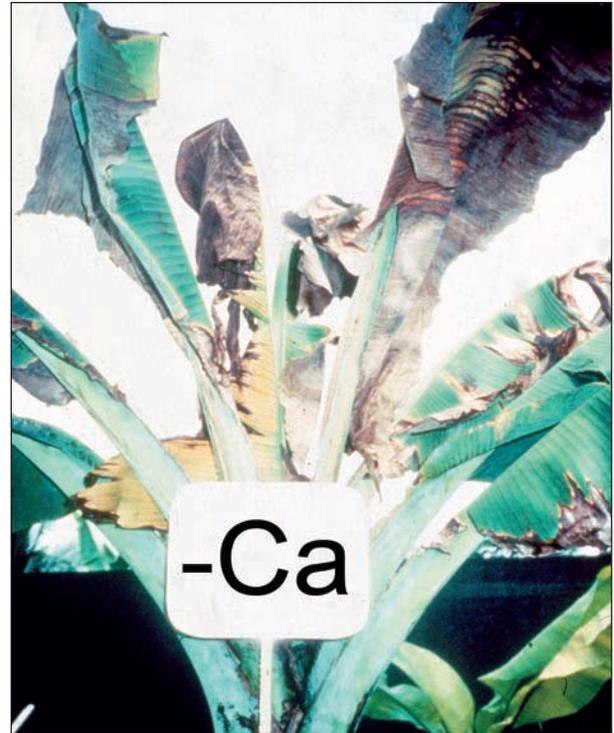


Figura 22. La deficiencia severa de Ca detiene el crecimiento de la planta.



Figura 23. Los síntomas de toxicidad por herbicida pueden confundirse con los síntomas de deficiencia de Ca.



Figura 24. Síntomas de ataque del virus del mosaico del pepino que pueden confundirse con deficiencia de Ca, Zn o B.

El calcio en el suelo

El Ca, al igual que el K y el Mg, se encuentra como ión de carga positiva (catión Ca^{2+}) retenido electrostáticamente en los coloides del suelo (arcillas y materia orgánica). De estos tres elementos el Ca es retenido más fuertemente por los coloides del suelo y por esta razón es el dominante en el complejo coloidal (Fassbender, 1982).

Necesidades de calcio en el cultivo de banano

En los racimos de banano de una buena plantación se remueven bajas cantidades de Ca. Un rendimiento de 70 ton de fruta remueve aproximadamente 10 kg de Ca/ha/año. Las reservas del elemento en el suelo son lo suficientemente grandes para soportar esta remoción. Sin embargo, en suelos poco o moderadamente fértiles, estas cantidades deben ser al menos repuestas en los programas de fertilización.

Investigación en diversos sitios ha demostrado el efecto del Ca como nutriente en el cultivo del banano. En Costa Rica, López (1990a) encontró una buena respuesta del cultivo de banano a la aplicación de una tonelada de calcita (CaCO_3). Solís (1993, datos sin publicar) encontró la mejor respuesta a la aplicación de 1300 kg/ha/año de dolomita ($\text{CaCO}_3 \bullet \text{MgCO}_3$), en un ensayo en suelos ácidos en el que se aplicaron hasta 3200 kg/ha/año de esta enmienda.

Fuentes de calcio aplicadas al suelo

El Ca generalmente se suplementa mediante el uso de enmiendas de bajo costo. Las enmiendas comúnmente usadas en áreas bananeras se discuten a continuación:

Calcita, o carbonato de calcio, CaCO_3 (32% Ca). Se utiliza tanto para neutralizar la acidez del suelo como para suplir Ca. Cuanto mayor sea el grado de molienda el efecto es mejor.

Dolomita o carbonato doble de calcio y magnesio, $\text{CaCO}_3 \bullet \text{MgCO}_3$ (20% Ca). Tiene la ventaja de suplir Mg junto con el Ca. Es ideal para aplicar en suelos con deficiencia de Ca y Mg. El valor neutralizante de la dolomita es mayor que el de la calcita. El uso de dolomita es limitado en varios países debido a la lejanía de las minas con relación a las áreas bananeras, lo que encarece el material.

Yeso, CaSO_4 (24% Ca). Este material aporta Ca y S. A diferencia de la calcita y la dolomita, este material no cambia el pH del suelo.

Superfosfato triple, (13% Ca) y **roca fosfórica**, (33% Ca). Estas dos fuentes de P tienen la particularidad de suplir también Ca. Cuando se utilizan estos materiales para suplir P debe tomarse en cuenta que también suplen Ca.

Nitrato de calcio, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (19% Ca). Es una fuente muy soluble de Ca que funciona muy bien para corregir rápidamente deficiencias del nutriente.

Magnesio

El magnesio (Mg) es un nutriente importante en el manejo de la fertilización de algunas zonas bananeras con suelos de contenidos bajos de este elemento. Uno de estos casos son los suelos de origen volcánico de la Zona Atlántica de Costa Rica.

El magnesio en la planta

La importancia del Mg en la vida de los vegetales radica en su presencia en el centro de la molécula de clorofila (sin Mg la fotosíntesis no podría realizarse). Además funciona como activador del metabolismo de carbohidratos, grasas y proteínas e interviene también en el transporte de los fosfatos (Devlin, 1982). El Mg es un elemento móvil dentro de la planta y es absorbido del suelo como el catión Mg^{2+} .

Síntomas de deficiencia de magnesio

La deficiencia de este elemento es común en muchos países donde se cultiva banano. Debido a esto, es posible observar con facilidad los síntomas de deficiencia en el campo. Los síntomas de deficiencia se caracterizan por los efectos que se describen a continuación:

Decoloración foliar y moteado de los peciós

El síntoma visual típico de la deficiencia de Mg es el amarillamiento o clorosis de la zona central de los semilimbos de las hojas más viejas (Figura 25), debido a la movilidad del Mg dentro de la planta. Al envejecer la hoja se acentúa la decoloración y esta presenta puntos de tonalidad oscura que posteriormente se necrosan. Al final la hoja toma un color amarillo dorado intenso (Martín-Prével y Charpentier, 1964, López y Solís, 1992b).

De igual manera, la deficiencia de Mg produce cambios en el arreglo de las hojas en el pseudotallo que le dan a la planta apariencia de "roseta" (Figura 26).



Figura 25. Síntomas de falta de Mg en una plantación nueva de la Zona Sur de Costa Rica.



Figura 26. Pseudotallo en forma de "roseta" como efecto de la deficiencia de Mg en banano.



Figura 27. Coloración azulada de los peciolas causados por la carencia de Mg en la planta de banano.



Figura 28. Desorden fisiológico asociado con una deficiencia de Mg.

Cuadro 2. Resultados del análisis foliar¹ de plantas de banano sanas y plantas con desórdenes fisiológicos. Finca Zent, Zona Atlántica de Costa Rica. Fecha de muestreo: 01-11-1994.

Tipo de tejido	Estado de la planta	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn
		----- % -----						----- mg/kg -----			
Lamina foliar ²	Planta sana	2.29	0.17	3.45	0.69	0.28	0.16	132	8	23	242
	Planta afectada	2.31	0.19	4.05	0.71	0.21	0.19	95	8	22	181
Peciolo ²	Planta sana	0.40	0.06	4.10	0.85	0.14	0.02	70	2	11	239
	Planta afectada	0.49	0.06	4.50	1.33	0.08	0.03	42	3	11	163
Lamina foliar ³	Planta sana	2.31	0.17	2.20	0.84	0.21	0.22	82	7	28	746
	Planta afectada	2.09	0.16	2.45	0.66	0.21	0.18	86	8	24	582

1. Resultados expresados en base a peso seco
2. Muestreo conducido utilizado en método Internacional de Referencia (Martín-Prével, 1974) en plantas recién Florecidas. Tejido muestreado: hoja 3 para foliar y hoja 7 para peciolo
3. Planta con racimo de varias semanas. Tejido muestreado: hoja 2.

Otro síntoma de la carencia de Mg es la coloración azul-púrpura en los peciolos de las hojas afectadas (Figura 27). La deficiencia de Mg en ciertos países como en Guinea, se conoce como la enfermedad azul, debido a la coloración de los peciolos (Stover, 1972).

Por otro lado, es común observar desórdenes fisiológicos en plantaciones bananeras, sobretodo en aquellas creciendo en suelos pobres y en períodos de menor precipitación, que se atribuyen a deficiencias de Mg (Figura 28). Las plantas con estos síntomas presentan parches amarillentos en la lámina foliar de las hojas intermedias, estas manchas se intensifican en plantas con racimo. Si el problema es severo estos parches amarillentos eventualmente se necrosan. Si bien es cierto que esta sintomatología no es la de una deficiencia típica de Mg, los estudios realizados en Costa Rica por la Corporación Bananera Nacional (CORBANA) (López y Flores, 1994 datos sin publicar) indican que las plantas afectadas con este desorden presentan consistentemente niveles más bajos de Mg tanto en la lámina foliar como en los peciolos (Cuadro 2). Este fenómeno podría explicarse por desbalances en las relaciones K-Ca-Mg, debido a que los niveles de K y Ca son muy altos con respecto a los contenidos de Mg. Curiosamente no existen diferencias en los niveles de Mg cuando se muestrea el tejido sano y el afectado de una misma hoja de plantas con racimos.

Deformaciones de las vainas

Cuando la deficiencia de Mg es severa, las vainas se despegan del pseudotallo y se rompen provocando

una senescencia anticipada de la hoja (López y Solís, 1992b).

Deficiencia de Mg e incidencia de enfermedades

En pruebas del elemento faltante conducidas por CORBANA, tanto en plátano como en banano (Solís y Vargas, y Solís, datos sin publicar), se observó que las plantas a las que no se añadió Mg presentaron una fuerte incidencia de "speckling" (Deightoniella torulosa) (Figura 29). Este comportamiento se explicó precisamente por la deficiencia del elemento, ya que las otras plantas del experimento, que tenían Mg pero no se les añadió otros nutrientes, no presentaron la enfermedad. Sin embargo, a nivel de campo, aún no se ha determinado si la incidencia de la enfermedad en la fruta esta relacionada con la deficiencia de Mg ya que ésta se ha presentado en fincas con suelos de buen contenido de Mg y en plantas de excelente vigor.

El magnesio en el suelo

Al igual que el Ca y el K, el Mg es retenido electrostáticamente en el suelo por las arcillas y la materia orgánica cargadas negativamente (Fassbender, 1982). Los suelos livianos (arenosos) y los suelos meteorizados de baja capacidad de intercambio catiónico suelen presentar los más bajos contenidos de Mg (Instituto de la Potasa y el Fósforo, 1988).

Necesidades de magnesio en el cultivo de banano

Las necesidades de Mg de banano no son muy altas. Una cosecha de 70 ton remueve aproximadamente 20

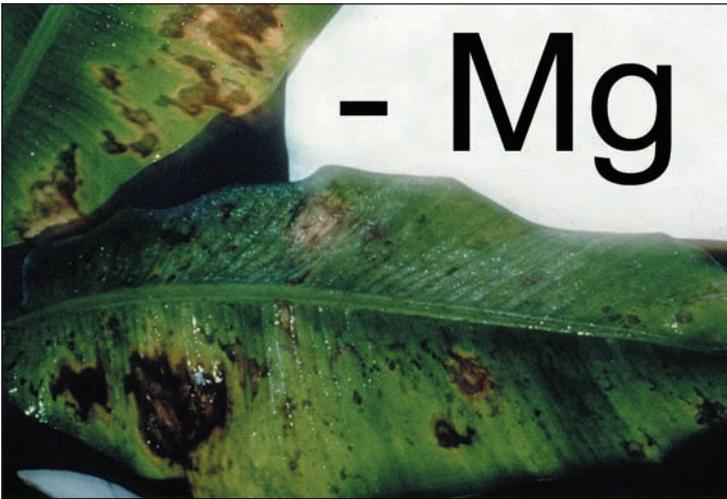


Figura 29. Plantas deficientes en Mg con un fuerte ataque de "speckling" (*Deightoniella torulosa*).

kg de Mg/ha/año. A pesar de ser muy altas, estas cantidades son significativas en suelos con bajos niveles de Mg.

Los cultivos como el banano, que requieren altas cantidades de K para producir adecuadamente, tienen dificultad para mantener una relación óptima entre K y Mg en el suelo y en la planta. Las necesarias aplicaciones de K reducen la capacidad de la planta de absorber Mg desarrollando de esta forma una deficiencia inducida de Mg, especialmente en suelos con contenidos bajos y medios del nutriente (Turner y Barkus, 1983). Por esta razón, en muchas regiones productoras de banano en el mundo, se acostumbra utilizar regularmente Mg en los programas de fertilización. En investigación conducida en Costa Rica se encontró una buena respuesta del cultivo a aplicaciones de 100 kg de MgO/ha/año, utilizando sulfato doble de potasio y magnesio como fuente de Mg (López, 1990b).

Fuentes de magnesio aplicadas al suelo

Sulfato de magnesio, $MgSO_4$ (17.0% MgO). Tiene la ventaja de suplir S además de Mg. Es un material muy soluble que puede ser utilizado para obtener respuestas rápidas en caso de deficiencias severas de Mg.

Sulfato de potasio y magnesio, $K_2SO_4 \bullet 2MgSO_4$ (18% MgO). Es un fertilizante muy empleado debido a que suplimenta tres nutrientes a la vez: K, Mg y S. Es un material soluble y permite corregir deficiencias de Mg rápidamente.

Cal dolomítica, $CaCO_3 \bullet MgCO_3$ (18% MgO). Este

material no es muy soluble y libera Mg lentamente. No corrige la deficiencia del elemento en forma rápida.

Oxido de magnesio, MgO (86% MgO). Esta fuente de Mg tiene baja solubilidad y debe ser empleada en suelos ácidos para que se pueda liberar el nutriente y sea disponible para las plantas.

Fuentes de magnesio aplicadas vía foliar

El sulfato de magnesio ha sido utilizado con éxito en aplicaciones foliares en plantas deficientes en Mg (Martín-Prével y Charpentier, 1964). En plátano se ha aplicado sulfato de magnesio al 3% con buenos resultados.

Azufre

El azufre (S) es otro elemento importante en la nutrición del cultivo de banano. En los últimos años, este nutriente ha tomado relevancia en los programas de fertilización ya que son cada vez más frecuentes los reportes de deficiencias de S en las áreas bananeras. Por ejemplo, los reportes del Laboratorio de Análisis de Suelos y tejidos de CORBANA (datos sin publicar), de la mayoría de los análisis foliares de fincas bananeras de Costa Rica, manejadas con diferentes programas de fertilización, indican que el contenido de S se encuentra por debajo del nivel considerado como adecuado.

El azufre en la planta

La función más importante del S en las plantas es su participación en la estructura de las proteínas, como integrante de los aminoácidos sulfurados cistina, cisteína y metionina. Su función también está ligada con vitaminas sulfuradas como la biotina, la tiamina y la coenzima A. El S es absorbido por la planta como anión sulfato (SO_4^{2-}) (Devlin, 1982).

Síntomas de deficiencia de azufre

Los síntomas de deficiencia de S aparecen en las hojas jóvenes de la planta las cuales se tornan de color blanco amarillento. Si la deficiencia es muy fuerte, aparecen parches necróticos en los márgenes de las hojas y ocurre un ligero engrosamiento de las venas. Algunas veces cambia la morfología de la hoja y aparecen hojas sin lámina (Charpentier y Martín-Prével, 1965; Marchal, Martín-Prével y Melin, 1972).



Figura 30. Coloración amarillenta de la hoja nueva provocada por una deficiencia de S en una plantación nueva creciendo en suelos livianos.



Figura 31. Los síntomas de deficiencia de S se caracterizan por aparecer en las hojas más jóvenes debido a que el elemento no se transloca al tejido en formación.

Conforme avanza la edad de la planta, los síntomas de deficiencia suelen desaparecer debido a que las raíces de la planta tienen oportunidad de explorar horizontes subsuperficiales con mayor contenido de S.

En las zonas bananeras de América Latina es posible observar los síntomas característicos de la deficiencia de S en plantaciones nuevas, sobretodo en áreas con suelos de textura liviana y donde no existe un buen programa de aplicación del nutrimento (Figuras 30 y 31).

El azufre en el suelo

El S está presente en el suelo en formas orgánicas e inorgánicas aun cuando el mayor porcentaje se encuentra en forma orgánica. La principal forma inorgánica es el anión sulfato (SO_4^{2-}) que proviene de la mineralización de la materia orgánica y del aporte de los fertilizantes. Es por esta razón que son más comunes las deficiencias de S en suelos de textura gruesa con contenidos bajos de materia orgánica.

Se ha encontrado que los suelos de origen volcánico (Andisoles) poseen la capacidad de adsorber (fijar) cantidades considerables de S. Esta capacidad

aumenta al disminuir el pH del suelo. Se estima que la retención de S en estos suelos es por lo menos diez veces más fuerte que la retención de los aniones NO_3^- y Cl^- (Bornemisza, 1990). Se pueden encontrar áreas sembradas con banano en este tipo de suelos en varios países en América Latina. En Costa Rica estas áreas se localizan en la zona bananera al Oeste del Río Reventazón (López y Solís, 1992a).

Otro aspecto interesante de la disponibilidad de S es su movimiento en el suelo. Las lluvias intensas o los riegos excesivos acumulan agua que se percola en el suelo arrastrando cationes como K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} . Estos cationes deben ser acompañados por aniones, siendo el SO_4^{2-} un anión acompañante de importancia. Este fenómeno explica la rápida eliminación del S del suelo en regiones de alta precipitación (Instituto de la Potasa y el Fósforo, 1988).

Necesidades de azufre en el cultivo de banano

Las necesidades de este nutrimento son muy similares a los requerimientos de P. Una producción de 70 ton remueve alrededor de 14 kg de S/ha/año. A pesar de

que la extracción no es muy alta, el suplemento de S por parte del suelo no es el adecuado en muchos suelos dedicados al cultivo de banano. Por esta razón, se recomienda utilizar este nutrimento con regularidad en los programas de fertilización.

En algunos lugares se utilizan cantidades altas de S. En las Islas de Barlovento se han aplicado hasta 127 kg de S/ha para el establecimiento del cultivo (Walmsley y Twyford, 1976). En Camerún se han realizado hasta dos aplicaciones sucesivas de 1.27 ton/ha de flor de azufre. Se recomienda el aporte de por lo menos 50 kg de S/ha/año (Marchal, Martín-Prével y Melin, 1972).

Los resultados de investigación en Costa Rica indican buena respuesta a la aplicación de S. Arias (1984) en un trabajo realizado en una finca de la Zona Bananera al Oeste del río Reventazón, obtuvo una buena respuesta con la aplicación de 264 kg de S/ha/año. La fuente de S utilizada en este caso fue sulfato de potasio. Otro estudio realizado por Flores (1991a) en la Zona Atlántica, con dosis crecientes de sulfato de potasio, encontró que dosis de 200 a 300 kg/ha obtuvieron los mejores pesos de racimo. Aplicaciones hasta de 900 kg/ha de sulfato no causaron detrimento en la producción.

Fuentes de azufre aplicadas al suelo

Los fertilizantes azufrados se agrupan en materiales solubles y poco solubles en agua. Dentro de las formas solubles se encuentran principalmente los sulfatos y debido a que éstos son rápidamente disponibles, se recomiendan cuando se presentan deficiencias fuertes de S. Los sulfatos se lixivian rápidamente, especialmente en suelos livianos y sujetos a alta precipitación.

Fuentes de azufre solubles

Sulfato de amonio, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (24% S). Es corrientemente utilizado en plantaciones nuevas de banano para suplir las necesidades de N y S. Debido al proceso de nitrificación del amonio, este fertilizante disminuye el pH del suelo.

El sulfato de potasio, K_2SO_4 (18% S). Es una muy buena fuente de S y K aunque no es tan utilizado como la fuente tradicional de K (KCl) por razones económicas. No altera el pH del suelo.

Sulfato doble de potasio y magnesio, $\text{K}_2\text{SO}_4 \bullet 2\text{MgSO}_4$ (22% S). Esta es otra excelente fuente de S que además suple K y Mg. Tampoco cambia el pH del suelo.

Sulfato de magnesio, MgSO_4 (22% S). Esta es una buena fuente de S que suple también altas cantidades de Mg. No acidifica el suelo.

Urea-S, (Urea-sulfato de amonio) (5% S). Es también una buena fuente adecuada de S y N, aun cuando el aporte de S es limitado.

Fuentes de azufre poco solubles

Superfosfato simple (12% S). Este material tiene un contenido medio de S y se usa con buen éxito en suelos deficientes en P y S.

Urea recubierta con azufre (14% S). Este material consiste en urea recubierta con una delgada capa de S elemental. Aun cuando aporta algo de S se utiliza principalmente para reducir las pérdidas de N.

Sulfato de calcio (Yeso) (18,6% S). Esta es una buena fuente de S y Ca que no cambia el pH del suelo.

Azufre elemental o flor de azufre (90 a 100% S). Es la forma más importante de S poco soluble. El S elemental debe ser transformado (oxidado) a SO_4^{2-} para que pueda ser utilizado por las plantas. Este proceso se realiza por medio de bacterias especializadas y se ve favorecido por altas temperaturas, adecuada humedad y aeración del suelo y por el tamaño de la partícula del material.

Debido a que el proceso de oxidación del S elemental reduce el pH del suelo, se recomienda usarlo cuidadosamente para evitar desarrollar problemas de acidez. Por esta misma razón, este material es frecuentemente utilizado para disminuir el pH en suelos excesivamente alcalinos.

Existe la creencia generalizada de que todos los fertilizantes azufrados acidifican el suelo. En este sentido es preciso aclarar que solamente el S elemental acidifica el suelo y esto se debe a que el proceso de oxidación a SO_4^{2-} libera iones H^+ que reducen el pH. Las demás fuentes traen el S en forma de SO_4^{2-} y esta forma de S no cambia el pH del suelo. El sulfato de amonio provoca acidificación debido a la nitrificación del amonio.

Fuentes de azufre foliar

El sulfato de magnesio puede ser usado en aplicación foliar, en concentraciones del 3%, para corregir deficiencias de S.

Zinc

De los ocho nutrimentos menores, la deficiencia más ampliamente reportada en plantaciones bananeras alrededor del mundo es la de zinc (Zn). Moity (1954) en Costa de Marfil, Cardeñosa-Barriga (1962) en Colombia y Turner et al. (1988) en Australia, entre otros, han observado los síntomas característicos de deficiencia de Zn en el campo. En algunas plantaciones de Costa Rica es posible también observar los síntomas típicos de la deficiencia de Zinc en plantas jóvenes, sobretodo en suelos altos en Ca o en suelos arenosos.

El zinc en la planta

El Zn interviene en la síntesis de auxinas, que son sustancias reguladoras del crecimiento. También participa en el metabolismo de las plantas como activador de diversas enzimas (Devlin, 1982).

Síntomas de deficiencia de zinc

Decoloración y deformaciones foliares

Los síntomas visuales de la deficiencia de Zn se manifiestan como rayas cloróticas-blanquecinas a lo largo de las venas de las hojas nuevas (elemento inmóvil), de menos de 1 cm de grosor, las cuales se alternan con rayas color verde oscuro (Figura 32) (López y Solís, 1992b). A la deficiencia de Zn se le conoce en Colombia como "rayadilla" debido a la forma como aparecen los síntomas en la planta (Figura 33) (Cardeñosa-Barriga, 1962). Conforme se acentúa la severidad de la deficiencia, las hojas nuevas se hacen más angostas y presentan una coloración púrpura en el envés, debido a la acumulación de pigmentos antociánicos (Figura 34).

Los síntomas de la deficiencia de Zn pueden ser fácilmente confundidos con aquellos causados por infecciones de virus. De igual manera, la toxicidad de aplicaciones inadecuadas de algunos herbicidas produce síntomas similares a los de carencia de Zn. Por esta razón, se debe ser cuidadoso en el momento de diagnosticar una deficiencia de Zn mediante sintomatología visual.



Figura 32. Planta creciendo en el campo con síntomas asociados con una deficiencia de Zn.

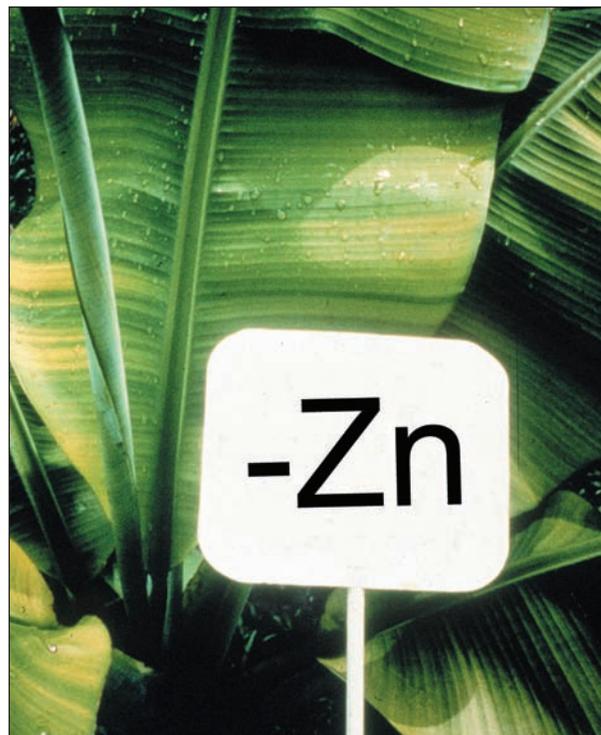


Figura 33. Síntomas de deficiencia de Zn conocidos como "rayadilla".

Efecto en el crecimiento y desarrollo de la planta

La deficiencia de Zn provoca retrasos en el crecimiento y desarrollo de la planta. También se produce el alineamiento de hojas en un mismo plano dando a la planta apariencia de "roseta".

Efecto en el fruto

En los diferentes sitios donde se ha informado de la presencia de deficiencia de Zn, se menciona también que la falta del nutrimento provoca la formación de racimos pequeños y deformados. López y Solís (1992b) encontraron que la carencia de Zn produce un acortamiento de la distancia entre manos, dando a la fruta una apariencia compacta (Figura 35). Además, la fruta se mantiene horizontal, posiblemente por su poco peso, los dedos se ubican en forma inclinada y son cortos, lo cual reduce la calidad del fruto. Otro síntoma característico es el alargamiento de la sección terminal de los dedos (Moity, 1954 y Jordine, 1962).

El zinc en el suelo

El Zn está presente en el suelo como catión divalente (Zn^{2+}) y en esta forma es retenido por las partículas

del suelo. También forma complejos quelatados que son absorbidos por la planta (Fassbender, 1982). La disponibilidad de Zn para la planta está determinada por los siguientes factores:

pH del suelo

La disponibilidad de Zn disminuye al aumentar el pH del suelo. Debido a esto la deficiencia de Zn es común en suelos neutros o alcalinos.

Deficiencia de Zn inducida por fósforo

En suelos con contenido alto de P es frecuente el observar una reducción en la concentración de Zn en los tejidos a tal punto que pueden presentarse síntomas visuales de deficiencia de Zn. Por mucho tiempo se pensó que el Zn reaccionaba con el P en el suelo formando fosfato de zinc relativamente insoluble. Sin embargo, se ha demostrado que los fosfatos de zinc son solubles y que pueden servir como fuente de estos dos nutrimentos. Los mecanismos envueltos en este fenómeno son la inhibición de la absorción de Zn a nivel de superficie de la raíz por la presencia de alto P y la precipitación de Zn por P en los vasos conductores de la savia (Malavolta, 1994).



Figura 34. Pigmentación antocianica en el envés de la hoja nueva producto de una severa deficiencia de Zn.



Figura 35. Racimo pobre y en posición horizontal provocado por la falta de Zn en la planta.

Fijación por arcillas

El Zn puede ser fuertemente retenido por las arcillas llegando a ser relativamente no disponible.

Necesidades de zinc en el cultivo de banano

Una cosecha de 50 ton de fruta exporta 500 g de Zn/ha/año (Lahav y Turner, 1992). En algunos suelos existen suficientes reservas de Zn para suplir anualmente esta pérdida, pero en otros casos se hace necesario la aplicación del nutrimento.

En cultivos semiperennes como el banano se recomienda corregir la deficiencia de Zn con aplicaciones foliares que solucionan rápidamente este problema nutricional. De todas maneras, en algunos lugares se han obtenido buenos resultados con la aplicación de Zn al suelo en dosis variables que llegan hasta 1 kg de Zn/ha/año (Twyford y Walmsley, 1968; Moity, 1954).

Fuentes de zinc aplicadas al suelo

Sulfato de zinc, $ZnSO_4$ (28% Zn). Esta es la forma más económica de aplicar Zn al suelo. Se han reportado buenos resultados en el banano con la aplicación de este material (Moity, 1954).



Figura 36. Deficiencia de B caracterizada por la presencia de estrías paralelas a la nervadura central.

Fuentes de zinc aplicadas vía foliar

Las aplicaciones de Zn vía foliar deben ser hechas frecuentemente para mantener un buen suplemento del nutrimento para el cultivo. Se recomienda incorporar el Zn en los programas de aplicación de fungicidas para abaratar los costos de aplicación, siempre y cuando no existan problemas de compatibilidad con las mezclas. Se sugiere suplir al menos lo que se exporta con el racimo (500 g/ha/año de Zn). Las principales fuentes de Zn para aplicación foliar son:

Sulfato de zinc, $ZnSO_4$ (28% Zn). Se recomienda la utilización del sulfato de Zn al 0.5%.

Quelatos de zinc. Los quelatos son complejos órgano minerales que actúan como transportadores de metales pesados como el Zn. Pueden ser fácilmente tomados por las plantas y por tanto actúan en forma rápida y eficiente.

Boro

Los síntomas de deficiencia de boro (B) no son frecuentes en plantas de banano creciendo en el campo. Por esta razón es un nutrimento poco utilizado en los programas de fertilización.

Boro en la planta

El papel del B en el metabolismo de la planta todavía no es muy claro, aun cuando existe evidencia indirecta que indica que este elemento participa en el transporte de azúcares (Devlin, 1982). Por otro lado, se conoce que el B es esencial en la formación de paredes celulares. Las flores y frutos son muy afectados por la carencia de este nutrimento (Instituto de la Potasa y el Fósforo, 1988). El B es absorbido por la planta como H_3BO_3 y $B(OH)_4^-$ y no se transloca fácilmente de un órgano a otro.

Síntomas de deficiencia de boro

Decoloración y deformaciones foliares

Los síntomas de deficiencia de B en banano se caracterizan por la presencia de rayas cloróticas perpendiculares a la vena central de las hojas nuevas, debido a que éste es un nutrimento inmóvil dentro de la planta (Norton, 1965; Charpentier y Martín-Prével 1965). En los estados iniciales de la deficiencia se presentan rayas cloróticas cortas paralelas a la vena central (Figura 36). Conforme la severidad de la

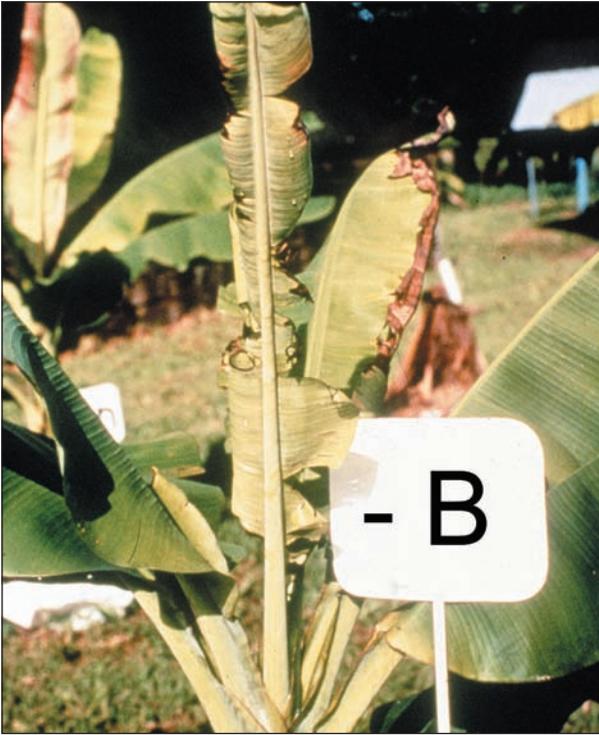


Figura 37. La carencia severa de B en la planta de banano provoca la deformación de las hojas nuevas.

deficiencia aumenta, estos síntomas se generalizan en toda la hoja y puede ocurrir malformación de la hoja debido al desarrollo incompleto de la lámina o ausencia total de ésta, como se observa en la Figura 37. Si la deficiencia es extrema, la planta puede morir al no existir formación de hojas nuevas (López y Solís, 1992b).

Cuando la deficiencia es severa los síntomas pueden confundirse con una deficiencia de Ca. La diferencia es que en el caso del Ca se presenta un engrosamiento más pronunciado de las nervaduras secundarias.

Los síntomas de deficiencia de B se pueden confundir también con mucha frecuencia con los síntomas provocados por enfermedades causadas por virus en el cultivo de banano. Se recomienda hacer una evaluación detallada de los síntomas, apoyada por los análisis foliares, para determinar exactamente la causa del problema.

Deformación de racimo

La deficiencia severa de B puede inducir una fuerte deformación de racimos (Figura 38), pero aun condiciones de leve deficiencia pueden afectar la calidad del racimo (López y Solís, 1992b).

Desarrollo de la raíz

Se ha demostrado que la falta de B provoca un pobre desarrollo del sistema radical, con muy poca presencia de pelos absorbentes. El sistema radical termina necrosándose severamente (Norton, 1965).

El boro en el suelo

Las cantidades de B en el suelo son muy bajas. El B se encuentra en el suelo como anión intercambiable, fijado en las arcillas y en la materia orgánica y en la solución del suelo como H_3BO_3 y $B(OH)_4^-$. Los suelos ácidos de las regiones húmedas, los suelos de textura gruesa y bien drenados y los suelos con contenidos bajos en materia orgánica, por lo general, son pobres en B (Tisdale et al., 1993).

La disponibilidad del B también es controlada por el pH del suelo. Conforme aumenta el pH disminuye la disponibilidad de B (Devlin, 1982). Además, la disponibilidad de B se reduce en presencia de niveles altos de Ca o de hidróxidos de Fe y Al (Fassbender, 1982).

Necesidades de boro en el cultivo de banano

Una producción de 50 ton de banano exporta alrededor de 700 g de B/ha/año, pero suelos bajo explotación intensiva de banano por varias décadas aún mantienen suficientes reservas de este nutrimento. En aquellos suelos que pueden desarrollar deficiencias de B se recomienda el uso de 5 kg/ha de bórax en el primer ciclo de cosecha y 1 kg/ha en los posteriores ciclos (Walmsley y Twyford, 1976).



Figura 38. Los racimos de banano sufren severas deformaciones cuando la deficiencia de B es aguda.

Fertilizantes de boro aplicados al suelo y vía foliar

Bórax, $N_4B_4O_7 \cdot 10H_2O$ (11.3% B). Es una fuente barata y soluble de B que se usa con mucha frecuencia para corregir deficiencias del nutrimento.

Acido bórico, H_3BO_3 (17% B). Puede ser aplicado directamente al follaje de las plantas en una concentración de 0.3%.

Cobre

El cobre (Cu) es otro elemento muy poco utilizado en los programas de fertilización debido a que las deficiencias de este nutrimento en banano son muy raras. Por el contrario, en Centroamérica, particularmente en el Pacífico Sur de Costa Rica, este nutrimento tiene importancia por los altos contenidos en el suelo y por el posible efecto tóxico sobre el cultivo de banano (Figuras 39 y 40).

La acumulación de altas cantidades de Cu en los suelos del Pacífico Sur de Costa Rica se debió a las aplicaciones permanentes de caldo bordelés (2.5 kg de sulfato de cobre y 2.5 kg de carbonato de calcio en 200 L de agua) para combatir la Sigatoka amarilla entre 1930 y 1950 (Cordero y Ramírez, 1979).

Aunque tradicionalmente se ha creído que los niveles altos de Cu en el suelo pueden afectar negativamente el cultivo, López y Solís (1992c) demostraron que los altos niveles de Cu no son un impedimento para alcanzar rendimientos altos y sostenidos.

Cobre en la planta

Probablemente, la función más importante del Cu en la planta es su presencia como parte integrante de varias enzimas. Es conocido también que este nutrimento es necesario para el desarrollo normal del proceso de la fotosíntesis (Devlin, 1982). El Cu es absorbido por la planta como ión Cu^{2+} (Sarasola y Rocca, 1975).

Síntomas de deficiencia de cobre

Los síntomas de deficiencia de Cu se presentan en muy pocos lugares en el campo. Moity (1961) informó de la deficiencia en Costa de

Marfil. La carencia de Cu causa una clorosis generalizada, con alineamiento de hojas en "roseta" y se produce la curvatura de la vena central dando a la hoja la apariencia de "sombriilla".

Síntomas de toxicidad de cobre

El exceso de Cu puede provocar principalmente deformaciones de la raíz. Sin embargo, López y Solís (1992c) encontraron que las deformaciones de las raíces como resultado de los altos niveles de Cu en el suelo no afectaron la productividad del cultivo. Los niveles de Cu en las raíces fueron también muy altos (hasta de 162 ppm). No se ha informado de niveles altos de Cu a nivel foliar, ni que éstos puedan provocar síntomas de toxicidad.



Figura 39. Las secciones más oscuras de este perfil corresponden a horizontes con altos contenidos de Cu en un suelo de la zona bananera Sur de Costa Rica.



Figura 40. Crecimiento superficial de raíces de banano provocado posiblemente por el alto contenido de Cu (esto no afectó significativamente el rendimiento del cultivo).

El cobre en el suelo

De lo que se ha discutido anteriormente se desprende que el factor más importante en este caso es la acumulación de Cu en el suelo. El contenido de materia orgánica juega papel importante en la disponibilidad de Cu, debido a que la materia orgánica tiene la capacidad de combinarse fácilmente con este nutriente eliminándolo de la solución del suelo y evitando los problemas de toxicidad (Cordero y Ramírez, 1979).

Los suelos arenosos, bajos en materia orgánica, pueden desarrollar deficiencias en Cu debido a las pérdidas de este elemento por lixiviación (Instituto de la Potasa y el Fósforo, 1988).

Necesidades de cobre en el cultivo de banano

Se remueven solamente 200 g de Cu/ha/año en una producción de 50 ton (Lahav y Turner, 1992). La mayoría de suelos donde se cultiva banano tienen suficientes reservas de Cu para satisfacer los requerimientos anuales de la planta.

Se recomienda también la aplicación de 0.7 kg/ha de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ para suplir los requerimientos de las plantas de primer ciclo y 0.1 kg/ha en ciclos posteriores (Walmsley y Twyford, 1976). En algunos casos aislados se ha utilizado sulfato de cobre foliar al 0.5% para corregir la deficiencia del nutriente.

Fertilizantes de cobre aplicados al suelo y vía foliar

Sulfato de cobre, CuSO_4 (22.5% Cu). Se usa tanto en aplicaciones foliares como en aplicaciones al suelo.

Hierro

El hierro (Fe) es otro micromutriente muy poco utilizado en los programas de fertilización, debido a que los requerimientos de la planta son bajos y en general el suelo lo puede suplir sin problemas. Solo en casos aislados como en Hawai (Cooil y Shoji, 1953) e Israel (Ziv, 1954) se han reportado deficiencias de Fe en el campo.

El hierro en la planta

El Fe es importante en la formación de clorofila y participa en los procesos de respiración de la planta.

También participa activamente en la formación de varias enzimas (Instituto de la Potasa y el Fósforo, 1988).

El Fe es absorbido por la planta como Fe^{3+} , sin embargo, la forma ferrosa (Fe^{2+}) es la forma metabólicamente activa (Devlin, 1982). El Fe es muy poco móvil dentro de la planta de manera que la carencia del elemento se manifiesta siempre en las hojas nuevas (Sarasola y Rocca, 1975).

Síntomas de deficiencia de hierro

Clorosis foliar

Los síntomas de deficiencia de Fe aparecen en las hojas jóvenes debido a que este nutriente no se mueve dentro de la planta (Figura 41). Las hojas presentan una clorosis general siendo los espacios intervenales los más afectados. El crecimiento se retarda y las hojas llegan a ser lanceoladas y en forma de "roseta" (Stover, 1972).

Efecto en el fruto

Las plantas cloróticas deficientes en Fe florecen anticipadamente y producen racimos pequeños y en casos severos no llegan a producirlos (Cooil y Shoji, 1953).



Figura 41. Planta de banano con deficiencia provocada de Fe en condiciones hidropónicas.

Síntomas de toxicidad de hierro

En suelos con altos contenidos de Fe disponible es posible observar el síntoma de toxicidad que se caracteriza por una necrosis marginal de color negro en las hojas viejas (Figura 42). Este tipo de síntomas se presentan particularmente en suelos pesados y en épocas lluviosas, debido a que el Fe^{3+} en condiciones de escasez de oxígeno, se reduce a Fe^{2+} (ferroso) que es la forma soluble y fácilmente disponible para las plantas. Se recomienda drenar bien estas áreas para corregir el problema. En áreas bajo riego, el exceso de humedad puede provocar también toxicidades de Fe.

En áreas con suelos ácidos y poco fértiles (suelos meteorizados), es posible observar también síntomas de toxicidad de Fe debido a los altos niveles del nutriente en el suelo.

El hierro en el suelo

La disponibilidad de Fe para la planta está estrechamente ligada al pH del suelo. En suelos ácidos, el Fe se encuentra en forma libre y es fácilmente absorbido por la planta. En suelos neutros y alcalinos, el Fe se insolubiliza pudiendo presentarse la deficiencia del nutriente (Devlin, 1982).

En suelos bien drenados la cantidad de Fe intercambiable en la solución del suelo es en general bastante pequeña, mientras que en suelos con problemas de drenaje, la cantidad del Fe soluble es alta (Sarasola y Rocca, 1975).

Necesidades de hierro en el cultivo de banano

Una producción de 50 ton de fruta remueve del campo 900 g/ha/año de Fe (Lahav y Turner, 1992). Al igual que en los casos del B y el Cu, la mayoría de suelos donde se cultiva banano tienen niveles apropiados del nutriente para una buena nutrición del cultivo. Si se presentan deficiencias de Fe, se recomiendan aspersiones foliares de sulfatos o quelatos de hierro.

Fertilizantes de hierro aplicados al suelo y vía foliar

Sulfato de hierro, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (19-23% Fe). Es el material de uso más común para corregir deficiencias de Fe. Se aplica al suelo en dosis de 10 a 15 kg/ha en



Figura 42. Síntomas atribuidos a una toxicidad de Fe en un suelo ácido con altos contenidos del nutriente. El Fe se acumula provocando una necrosis en los bordes de las hojas más viejas.

forma foliar en soluciones de 2 a 3% de concentración.

Quelatos de hierro, (5-14% Fe). Son muy eficientes para corregir deficiencias debido a que son altamente aprovechables por la planta. Se utilizan soluciones de concentración de 0.5-0.8%.

Manganeso

El manganeso (Mn) es otro nutriente de poca importancia en el manejo de la fertilización del banano. Más bien se considera que es más probable encontrar excesos de Mn que deficiencias del elemento (Lahav y Turner, 1992).

Manganeso en la planta

El Mn se encuentra en mayor concentración en los puntos fisiológicamente activos de la planta (Sarasola y Rocca, 1975). El Mn es factor esencial en los procesos de la respiración y el metabolismo del N. En ambos procesos actúa como activador de enzimas (Devlin, 1982). Este nutriente también juega un papel directo en la fotosíntesis, pues ayuda a la síntesis de clorofila (Instituto de la Potasa y el Fósforo, 1988).

Síntomas de deficiencia de manganeso

Clorosis en las hojas

Los síntomas de la deficiencia de Mn consisten en una clorosis marginal entre las venas de las hojas jóvenes,

con manchas necróticas en el haz de la hoja causadas por el hongo *Deightoniella torulosa*. La necrosis llega a generalizarse y causa la muerte prematura de las hojas (Jordine, 1962). En pruebas de elemento faltante conducidas en CORBANA (Vargas, 1995, datos sin publicar) se desarrolló la sintomatología típica de la carencia de este elemento, sin embargo, no se presentó *Deightoniella torulosa* (Figura 43). La deficiencia de Mn puede ser artificialmente inducida por el uso excesivo de cal (Stover, 1972).

Efecto en el fruto

La deficiencia de Mn provoca la pérdida prematura de follaje, lo cual a su vez causa un pobre desarrollo de la fruta, debido a que no hay suficiente acumulación de productos de la fotosíntesis.

Síntomas de toxicidad de manganeso

Lahav y Turner (1992) mencionan que en algunos casos puede presentarse toxicidad de Mn, aunque Bayona (1986) observó que concentraciones foliares de hasta 600 mg/kg no causan efectos negativos en la planta de banano.

El manganeso en el suelo

La cantidad de Mn en el suelo es relativamente grande. La deficiencia de Mn puede presentarse en suelos con mucha materia orgánica o con pH alto debido a la formación de complejos insolubles. Si el pH es muy bajo, el Mn disponible puede llegar a niveles tóxicos. El Mn existe en el suelo en tres estados con diferentes valencias: Mn^{2+} , $Mn_2O_3^{3+}$ y MnO_2^{4+} (Sarasola y Rocca, 1975).

De todas estas formas el Mn^{2+} es el más activo en el suelo y está presente como catión adsorbido o en la solución del suelo disponible para la planta.

Necesidades de manganeso en el cultivo de banano

Lahav y Turner (1992), informan de la salida de aproximadamente 500 g de Mn/ha/año exportados en 50 ton de fruta. Como los niveles de Mn son generalmente altos en los suelos donde se cultiva banano, es muy difícil que se presenten deficiencias de este nutrimento. Sin embargo, se han descrito deficiencias de Mn en banano del tipo Lacatán en suelos ácidos recientemente encalados. Si se presentan deficiencias se recomienda la aplicación de



Figura 43. Síntomas de deficiencia de Mn en plantas bajo cultivo hidropónico.

sulfato de manganeso al suelo o en forma foliar (Jordine, 1962).

Fertilizantes de manganeso aplicadas al suelo y vía foliar

Sulfato de manganeso, $MnSO_4$ (26-28% Mn). Es el fertilizante más comúnmente usado, tanto en aplicación al suelo como en aplicación foliar, para corregir deficiencias de Mn. Se sugieren aplicaciones al suelo de 7 a 11 kg/ha (Lahav y Turner, 1992).

Quelato de manganeso, (12% Mn). Este fertilizante es usado principalmente en aspersiones foliares.

Molibdeno

El molibdeno (Mo) tiene poca importancia en los programas de fertilización en las regiones donde se cultiva banano alrededor del mundo. De hecho, no se ha informado de síntomas de deficiencia del nutrimento en el campo ni en pruebas de invernadero diseñadas para provocar los síntomas de deficiencia (Lahav y Turner, 1992).

El molibdeno en la planta

El Mo es necesario para la formación de la enzima nitrato reductasa que se encarga de reducir el nitrato a amonio dentro de la planta. Este nutrimento también interviene en el metabolismo del P (Devlin, 1982).

El molibdeno en el suelo

Al contrario de lo que ocurre con el B, Fe, Mn, Cu y Zn, la disponibilidad de Mo aumenta a medida que se eleva el pH del suelo (Sarasola y Rocca, 1975). El Mo es absorbido por la planta como anión molibdato (MoO_4^{2-}) (Fassbender, 1985). El Mo se encuentra en el suelo en forma no intercambiable, intercambiable y en la solución del suelo. La cantidad de Mo disuelto en la solución del suelo es sumamente baja (Devlin, 1982).

Necesidades de molibdeno en el cultivo del banano

Las necesidades de Mo del cultivo de banano son bastante bajas. A nivel foliar el Mo alcanza niveles de 0.10 a 0.23 mg/kg (Lahav y Turner, 1992), concentraciones muy bajas si se comparan con los

niveles de los otros micronutrientes. Por esta razón, el Mo no tiene mucha importancia en los programas de fertilización del cultivo.

Sodio y Cloro

El sodio (Na) y el cloro (Cl) son dos micronutrientes esenciales para las plantas, pero en el cultivo de banano su importancia tiene que ver más bien con efectos fitotóxicos (Devlin, 1982). Estos dos elementos provocan problemas de salinidad en zonas de baja precipitación como las regiones de Santa Marta en Colombia (Canchano, 1992) o Israel (Israeli et al., 1986). En las zonas lluviosas donde se siembra banano no existen problemas de acumulación de sales, debido a que la alta pluviosidad elimina rápidamente el exceso de sales por lixiviación.

CAPITULO 3

REQUERIMIENTOS DE SUELO DEL CULTIVO DE BANANO

El banano es una planta que crece en una amplia gama de suelos en las regiones tropicales y subtropicales del mundo. Este es un cultivo muy exigente y generalmente solo produce de manera rentable en las mejores condiciones de suelos. Los clones Valery y Gran Enano, base del comercio mundial bananero, son muy exigentes en suelos (Soto, 1992). Por esta razón, antes de iniciar una plantación, es necesario evaluar los principales parámetros que determinan la aptitud de las tierras para el cultivo de banano.

La selección de tierras que reúnan condiciones adecuadas, asegura el óptimo desarrollo del cultivo, altas producciones y rentabilidad. Se puede afirmar que el éxito de una explotación depende de la elección correcta del suelo (Figuras 44, 45 y 46).

Los suelos aluviales, originados a partir del arrastre de materiales de variada composición por los desbordamientos de los ríos, presentan las mejores condiciones para el cultivo de banano. En Centro América, por ejemplo, muchas de las fincas con rendimientos promedio mayores a 60 ton/ha/año de fruta exportable se localizan en este tipo de suelos. Sin embargo, existen otros tipos de suelos con condiciones favorables para el cultivo del banano.

Determinación de la aptitud del suelo para el cultivo de banano

La determinación de la aptitud del suelo para el cultivo de banano se logra a través de estudios especializados que recogen información acerca de las características de los suelos de una finca. Esta información permite localizar las áreas aptas e identifica todas aquellas áreas que por sus limitaciones no son recomendables para el cultivo de banano. Esto es particularmente importante en el caso de aquellos productores con recursos de inversión restringidos, que deben sembrar únicamente las áreas buenas de la finca para obtener la más alta rentabilidad.



Figura 44. Area con suelos francos dedicada al cultivo de banano. Las propiedades adecuadas del suelo aseguran el óptimo desarrollo y el alto rendimiento del cultivo.



Figura 45. Area de suelos arenosos dedicada al cultivo de banano con fuertes limitaciones para el buen crecimiento del cultivo.

El estudio detallado de suelos se efectúa mediante observaciones de caracterización hechas con la ayuda de un barreno. Cada perforación debe llegar hasta una profundidad de 120 cm, considerada como la profundidad mínima de suelo para un buen desarrollo del cultivo. Se recomienda realizar por lo menos una observación por cada 1.7 ha.

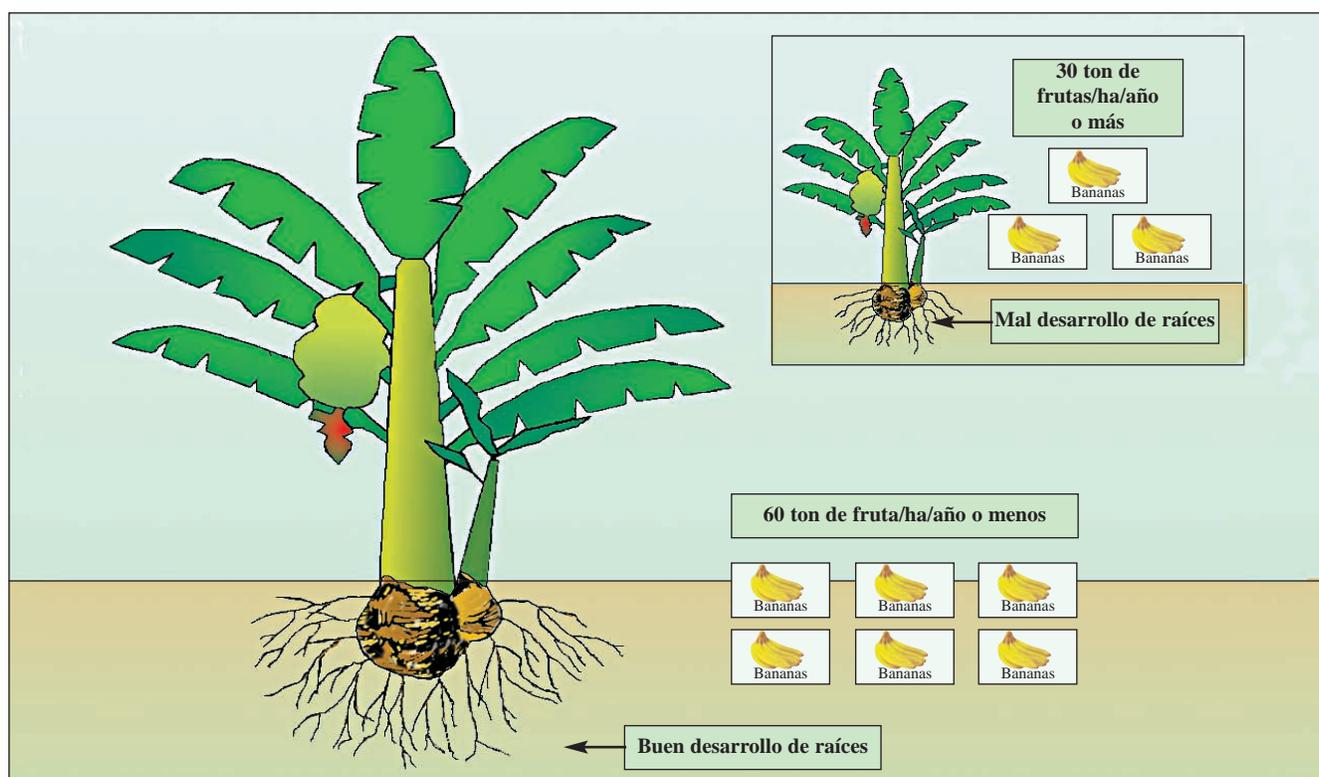


Figura 46. Los cultivos de banano ubicados en buenos suelos producen rendimientos altos de buena rentabilidad, mientras que áreas de suelos inapropiados producen rendimientos muy bajos.

En cada punto de observación se caracterizan las propiedades del sitio. Cada uno de los parámetros es juzgado de acuerdo a su condición adjudicándole una letra que clasifica su aptitud. Los parámetros caracterizados se presentan en el Cuadro 3.

Una vez colectada la información se procede a dibujar el mapa, identificando las áreas con diferente tipo de suelos y su potencial de uso. Finalmente cada tipo de suelo es descrito detalladamente por medio de calicatas ubicadas en sitios representativos.

Algunas condiciones de suelo (drenaje, déficit hídrico o fertilidad) pueden ser mejoradas con manejo. Por esta razón, las tierras se clasifican por su aptitud actual (lo que existe en el momento de la clasificación) y aptitud potencial (lo que podría obtenerse una vez mejoradas las limitaciones corregibles).

Las tierras para el cultivo de banano se pueden clasificar en los siguientes cinco grados de aptitud (Jaramillo y Vázquez, 1990):

Tierras Clase I (Muy buenas)

Tierras apropiadas para el cultivo que no presentan limitaciones para la obtención de altas productividades en forma sostenida. Son tierras planas, bien drenadas, con suelos muy profundos (mínimo 120 cm de profundidad), de texturas medias, bien estructurados, permeables, fértiles, de pH neutro a ligeramente ácido, sin peligro de inundaciones y sin problemas de salinidad.

Tierras Clase II (Buenas)

Tierras apropiadas para el cultivo, aunque presentan algunas limitaciones que originan productividades más bajas que la clase anterior o que requieren de mayores inversiones para obtener altos rendimientos (Figura 47).

Tierras Clase III (Regulares)

Tierras poco apropiadas para el cultivo, debido a que presentan deficiencias moderadas que originan rendimientos más bajos que la clase II o que requieren de prácticas de adecuación a costos más altos para obtener rendimientos económicamente rentables (Figura 48).

Cuadro 3. Parámetros utilizados para determinar la aptitud de tierras para el cultivo de banano.

Condiciones del suelo			
Profundidad efectiva	Textura	Estructura	Drenaje interno
-----	-----	-----	-----
A- Muy profundo	A- Media	A- Optima	A- Bueno
B- Profundo	B- Ligeramente pesada o ligeramente liviana	B- Buena	B- Moderadamente rápido o moderadamente lento
C- Moderadamente profundo	C- Moderadamente pesada moderadamente liviana	C- Regular	C- Imperfecto
E- Superficial	D- Muy pesada o muy liviana	D- Deficiente	D- Excesivo
Salinidad	Reacción (pH)	Fertilidad	
-----	-----	-----	
A- Leve	A- Neutro o ligeramente ácido	A- Alta	
B- Moderada	B- Ligeramente alcalino o ácido	B- Media	
C- Fuerte	C- Muy alcalino o fuertemente ácido	C- Baja	
Condiciones de terreno			
Pendiente	Pedregosidad	Riesgos de inundaciones	
-----	-----	-----	
A- Plano	A- Leve	A- Leve	
B- Ligeramente inclinado	B- Moderada	B- Moderado	
C- Inclinado	C- Abundante	C- Baja	
D- Ondulado	D- Muy abundante		

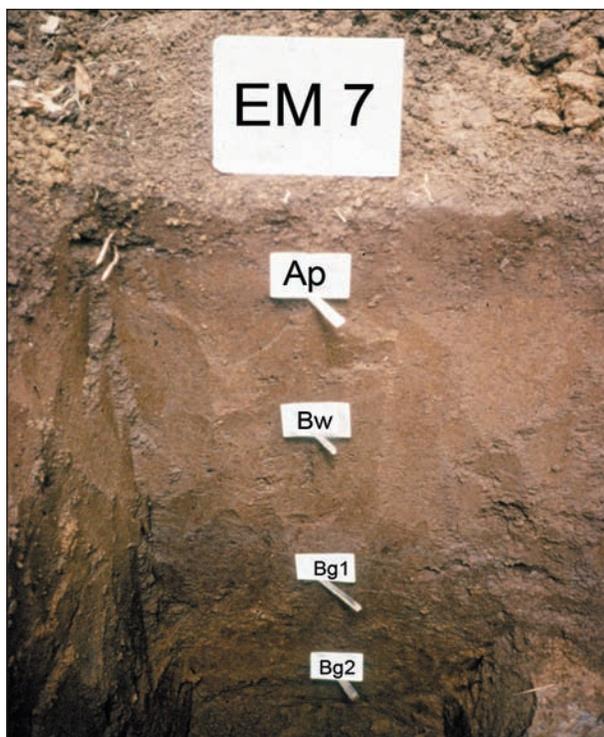


Figura 47. Calicata de un suelo de Clase II con texturas ligeramente pesadas y drenaje moderado.

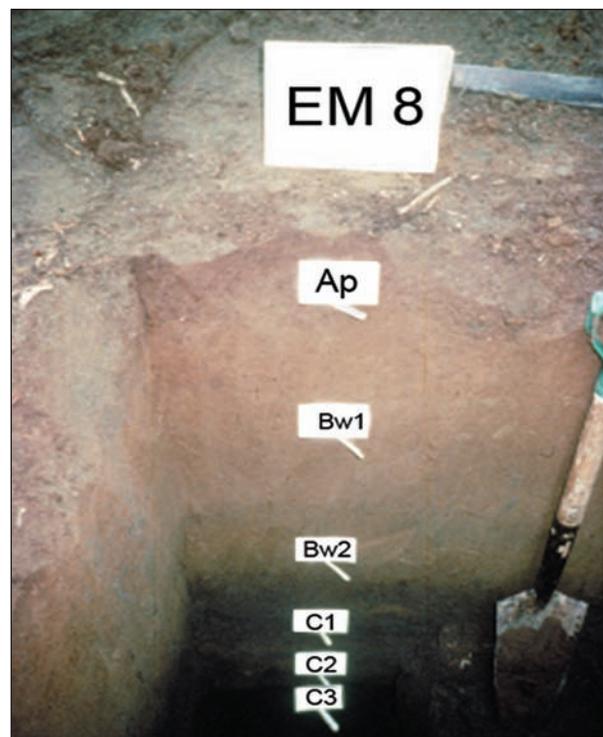


Figura 48. Calicata de un suelo de Clase III con texturas ligeramente livianas y drenaje bueno.



Figura 49. Desarrollo pobre de plantaciones en suelos de Clase IV con limitaciones por texturas livianas y drenaje excesivo.



Figura 50. Desarrollo pobre de plantaciones en suelos Clase V con limitaciones por texturas pesadas y baja fertilidad.

Tierras Clase IV (Restringidas)

Tierras no apropiadas para el cultivo debido a que presentan deficiencias como la clase anterior, pero tan fuertes que los rendimientos son muy bajos o que para aumentarlos se requiere de altas inversiones. De acuerdo con sus limitaciones este tipo de tierras pueden eventualmente sembrarse con el fin de conformar bloques de siembra compactos en los que se aprovechen al máximo las obras de infraestructura realizadas para la explotación (Figura 49).

Tierras Clase V (Inapropiadas)

Presentan limitaciones tan severas que no es posible obtener rendimientos económicamente rentables (Figura 50).

Ejemplo del uso del sistema de clasificación

A continuación se presenta un ejemplo de la clasificación de aptitud de tierras de una finca bananera en Costa Rica. La finca tiene una superficie de 338.2 ha con suelos de origen aluvial. El estudio permitió determinar la presencia de 3 clases de suelos (Figuras 51 y 52) que se describen a continuación:

Suelo Consociación Manila, Clase II

Suelos profundos con texturas medias en la superficie que cambia a moderadamente pesadas en el subsuelo, adecuada estructura en todo el perfil, pH neutro, fértiles, ausencia de piedras, drenaje moderadamente lento y sin peligro de inundaciones. Representan el 66% del total del área de la finca.

El estudio clasificó a los parámetros evaluados de la siguiente forma:

Profundidad efectiva	: A (Muy profundo)
Textura	: A (Buena)
Estructura	: A (Optima)
pH	: A (Adecuado)
Pendiente	: A (Optima)
Drenaje	: B (Moderado)
Riesgo de inundaciones	: A (Leve)

Este suelo se clasifica como Clase II (Bueno) por la restricción presentada en su drenaje interno. Una vez drenado este suelo se comporta como de Clase I.

Suelo Consociación Celina, Clase III

Suelos moderadamente profundos con texturas moderadamente pesadas en todo el perfil, estructura

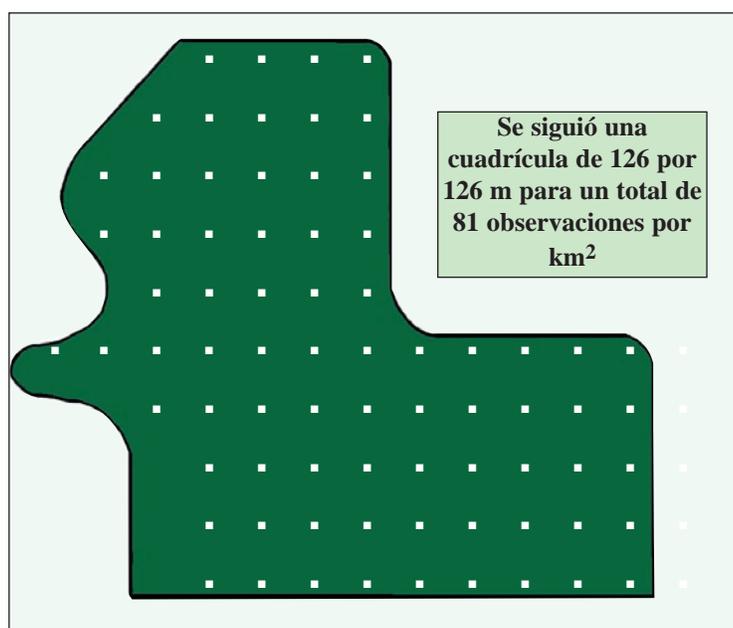


Figura 51. Localización de la red de puntos de observación para la determinación de la aptitud del suelo para el cultivo de banano.

Profundidad efectiva : B (Profundo)
 Textura : C (Moderada)
 Estructura : B (Buena)
 pH : A (Adecuado)
 Pendiente : A (Optima)
 Drenaje : C (Imperfecto)
 Riesgo de inundaciones : A (Leve)

Este suelo es de Clase III por las restricciones presentadas por su textura y en su drenaje interno. Las limitaciones de drenaje pueden ser corregidas con drenaje, pero poco se puede hacer con la restricción en el factor textura.

Suelo Consociación Chiquero, Clase IV

Suelos moderadamente profundos con texturas pesadas en la superficie a muy pesadas en el subsuelo, estructura moderadamente adecuada en la superficie y masiva desde 90 cm hacia abajo, pH neutro, fértiles, sin piedras, drenaje interno muy lento y sin riesgo de inundaciones. Estos suelos ocupan aproximadamente el 10% del área total. El estudio clasificó a los parámetros evaluados de la siguiente forma:

Profundidad efectiva : B (Profundo)
 Textura : D (Deficiente)
 Estructura : B (Buena)
 pH : A (Adecuado)
 Pendiente : A (Optima)
 Drenaje : D (Pobre)
 Riesgo de inundación : A (Leve)

Este tipo de suelos presenta serias limitaciones texturales y de drenaje por lo que se consideran de Clase IV. La factibilidad de explotación de este tipo de tierras está ligada a aspectos agronómicos y de ingeniería que exigen alta inversión.

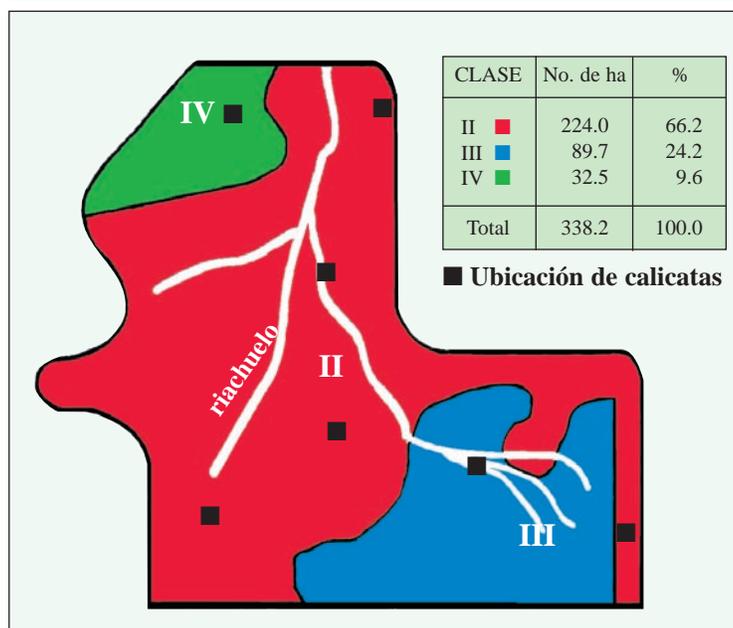


Figura 52. Mapa de suelos delimitando las superficies con diferente aptitud para el cultivo de banano como resultado del estudio de clasificación.

Suelos ácidos y el cultivo de banano

Es conocido que el banano se cultiva con éxito en un amplio ámbito de condiciones de suelos (Lahav y Turner, 1992). Una de las condiciones con amplia variación es el pH o reacción del suelo. El pH mide la acidez o alcalinidad del suelo en una escala que fluctúa entre 4 y 9 en los suelos agrícolas. En el caso del cultivo del banano existen plantaciones produciendo con éxito en ambos extremos de la escala del pH lo que indica que el banano se adapta bien a

moderadamente adecuada, pH neutro, fértiles, sin piedras, con drenaje lento y sin riesgo de inundaciones. Este suelo ocupa el 24% de la finca. El estudio clasificó a los parámetros evaluados de la siguiente forma:

esta condición de suelo, si las otras características requeridas para el buen desarrollo del cultivo son adecuadas. En suelos de turba de Costa de Marfil, Godefroy et al. (1978) no observaron diferencias en rendimiento de banano entre un suelo sin encalar con pH 3.4 y el mismo suelo encalado con 24 ton de cal/ha con pH 6.7.

Los suelos tropicales ácidos son de muy baja fertilidad y si bien el cultivo de banano puede producir relativamente bien en este tipo de suelos, utilizando enmiendas y fertilizantes y bajo sistemas de explotación de alta eficiencia, es mejor evitar el uso de suelos con limitaciones de acidez y baja fertilidad.

En las zonas bananeras de Costa Rica normalmente no se utilizan para banano los suelos ácidos de baja fertilidad, debido a su bajo potencial productivo y al alto costo de habilitar estos suelos con enmiendas orgánicas y químicas. Este tipo de suelos se siembra solamente para cuadrar bloques de siembra. El banano creciendo en estos parches alcanza productividades muy bajas (Figuras 53 y 54).

Por otro lado, los suelos de adecuadas condiciones para el cultivo del banano se acidifican paulatinamente debido al proceso de nitrificación del

amonio procedente de la mineralización de los residuos orgánicos y principalmente del amonio aplicado con los fertilizantes minerales. Este es un proceso natural que debe ser evaluado constantemente para evitar la excesiva acidificación del suelo, tomando las medidas necesarias en el momento oportuno.

Indices para diagnosticar la acidez del suelo

Generalmente se determina la acidez del suelo de zonas bananeras utilizando el pH como único parámetro de diagnóstico. Esto da lugar a interpretaciones erróneas, debido a que se deben tomar en cuenta otros parámetros para lograr un diagnóstico correcto de los problemas de acidez.

Existe una buena cantidad de suelos dedicados al cultivo de banano que se consideran ácidos porque el pH en la zona de fertilización es menor de 5, sin embargo, estos suelos producen adecuadamente. Esto se debe por un lado a que los otros parámetros que determinan el efecto final de la acidez se encuentran con valores adecuados, y por otro lado a que el pH es bajo solamente en la zona de fertilización, mientras que en las otras zonas del suelo el pH es consistentemente más alto. Los parámetros que deben



Figura 53. Plantas de banano con síntomas de deficiencia de mg creciendo en suelos ácidos.



Figura 54. Plantas de banano en un suelo ácido de baja fertilidad con presencia de desórdenes fisiológicos asociados con la condición del suelo.

considerarse en el diagnóstico de la acidez del suelo se detallan a continuación.

Reacción del suelo (pH)

La reacción del suelo se determina midiendo la concentración de iones hidrógeno (H^+) en la solución del suelo y se expresa con un parámetro denominado potencial hidrógeno (pH). La escala del pH cubre un rango que va de 0 a 14. Un valor 7.0 es neutro (igual número de iones H^+ y OH^- en la solución), mientras que valores menores que 7.0 son ácidos y valores mayores que 7.0 son básicos. El pH es el primer indicador de problemas de acidez en el suelo. Si el pH es menor que 5.5 la probabilidad de que existan problemas relacionados con acidez es muy alta porque en estas condiciones el aluminio (Al) se solubiliza e ingresa a la solución del suelo como Al^{3+} . Esta forma de Al perjudica directamente el desarrollo de las raíces de los cultivos (Bertsch, 1986).

Jaramillo y Vásquez (1990) establecieron los siguientes rangos de pH como guía en el diagnóstico de la aptitud del suelo para el cultivo de banano:

pH 5.5 - 7.0. Moderadamente ácido a neutro, sin problemas de acidez. Suelos de clase I.

pH 7.0 - 7.8 y 5.0 - 5.5. Ligeramente alcalino y ligeramente ácido. Suelos de Clase II.

pH mayor de 7.8 y menor de 5.0. Suelos muy alcalinos o muy ácidos con más de 0.5 $cmol(+)/L$ de Al^{3+} intercambiable. Suelos de Clase III.

Acidez intercambiable

La acidez intercambiable ($Al^{3+}+H^+$) es otro parámetro que debe verificarse en el diagnóstico del problema total de acidez. La acidez intercambiable debe ser menor de 0.5 $cmol(+)/L$ para que no cause problemas en el desarrollo del banano.

Sumatoria de bases

También es necesario determinar el valor de la sumatoria de las bases (Ca+Mg+K). Este valor está ligado a la capacidad de intercambio catiónico (CIC). En suelos tropicales la CIC se reduce con la reducción del pH (suelos de carga variable) reduciéndose también la capacidad de retener cationes (Espinosa, 1994b). Valores de sumas de bases menores de 5 $cmol(+)/L$ limitan fuertemente la adecuada nutrición del cultivo (Bertsch, 1986).

Porcentaje de saturación de acidez

El porcentaje de saturación de acidez (SA) es realmente el parámetro decisivo para finalmente diagnosticar si existen problemas de acidez. Este parámetro establece el porcentaje de acidez ($Al^{3+}+H^+$) que ocupa los sitios de intercambio en el suelo. La SA se calcula de la siguiente forma:

$$SA (\%) = \frac{(Al^{3+} + H^+)}{Al^{3+} + H^+ + K^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+}} \times 100$$

Se considera que con valores de SA menores a 10% los cultivos en general no presentan problemas por acidez. Porcentajes mayores del 60% resultan muy perjudiciales para el desarrollo de la mayoría de los cultivos (Bertsch, 1986).

Efecto de la excesiva acidez en el cultivo

En realidad las altas concentraciones de H^+ presentes en suelos con pH ácido no afectan directamente a las plantas excepto a valores de pH menores de 4.0 (Black, 1967). La principal causa del mal crecimiento de los cultivos en suelos ácidos es la presencia de Al^{3+} en la solución del suelo. El Al^{3+} empieza a solubilizarse y entra en la solución del suelo a pH 5.5. Altas concentraciones de Al^{3+} inhiben la división celular de las raíces (raíces atrofiadas) e impiden la absorción de Ca y P (Abruña et al., 1970; Villagarcía, 1973; Foy, 1974). Delvaux (1989) reportó menor disponibilidad de Ca y Mg en el cultivo de banano debido a la alta acidez del suelo.

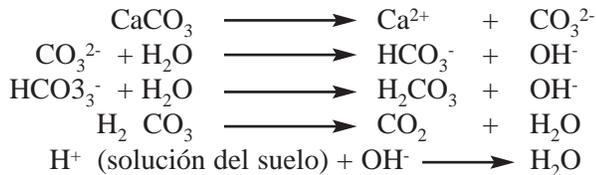
En suelos fuertemente ácidos el Mn se vuelve también soluble. Si el contenido de Mn en el suelo es alto se pueden desarrollar problemas de toxicidad que afectan seriamente al cultivo. Marchal y Foure (1983) asociaron deficiencias de Ca y Mg con una severa toxicidad de Mn en plátanos creciendo en suelos fuertemente ácidos.

En condiciones de excesiva acidez se incrementa la disponibilidad de los elementos menores, hasta el punto que se puede desarrollar toxicidad (Hardy, 1970).

Corrección de la acidez

El encalado es la operación por la cual se aplica al suelo compuestos de Ca o Ca y Mg que son capaces de reducir la acidez e incrementar el pH. Los

mecanismos de reacción de estos materiales en el suelo permiten la neutralización de los iones H^+ en la solución del suelo por medio de los iones OH^- producidos al entrar en contacto la cal con el agua del suelo. Por esta razón la cal es efectiva solamente cuando existe humedad en el suelo. Las reacciones básicas de la cal en el suelo pueden ser ilustradas con el carbonato de calcio o calcita ($CaCO_3$). Estas reacciones se presentan a continuación (Espinosa, 1994a):



La tasa de las reacciones arriba indicadas, y por lo tanto la disociación del $CaCO_3$, está directamente relacionada con la tasa a la cual los iones H^+ son removidos de la solución del suelo, a través de la neutralización con los OH^- producidos y la consecuente formación de H_2O . En esta forma el pH aumenta debido a que disminuye la concentración de H^+ en el suelo.

Es interesante observar, contrario a lo que comúnmente se cree, que el Ca^{2+} proveniente de la disolución del $CaCO_3$ no interviene en las reacciones de incremento de pH. Este catión pasa simplemente a ocupar los sitios de intercambio en la superficie de los coloides del suelo y servirá como nutrimento para la planta.

Por otro lado, también es interesante notar que el anion carbonato (CO_3^{2-}) es el que realmente eleva el pH al hidrolizarse y producir iones OH^- . Además es importante indicar que el ion CO_3^{2-} se disipa finalmente como CO_2 gaseoso después de las reacciones de hidrólisis. Esta es la razón por la cual el efecto de la cal se limita al lugar de aplicación, o en otras palabras, la cal tiene muy limitado movimiento hacia abajo en el perfil del suelo.

El efecto final de la cal reduce la acidez del suelo (incrementa el pH) al convertir el exceso de H^+ en H_2O . Sin embargo, es muy importante indicar que el efecto del encalado va más allá de estas reacciones. El incremento de pH permite la precipitación del Al^{3+} como $Al(OH)_3$, que es un compuesto insoluble, eliminando de esta forma el efecto tóxico del Al^{3+} en las plantas.

En las zonas templadas del mundo, donde la mayoría de los suelos están dominados por arcillas de tipo 2:1 (montmorillonita, illita, vermiculita), la cal se usa con el fin de llevar el pH a un valor de 7.0. Sin embargo, la práctica de encalar los suelos hasta alcanzar la neutralidad no es aconsejable en la mayoría de los suelos ácidos (meteorizados) de los trópicos debido a la alta resistencia del suelo al cambio de pH. Solís (1993, datos sin publicar) encontró que un suelo arcilloso y ácido de la Zona Atlántica de Costa Rica, cultivado con banano, cambió solamente 0.20 unidades de pH al encalarlo con una dosis de 3.2 ton/ha de cal dolomítica. Por otro lado, el encalado excesivo podría causar más daño que beneficio (Sánchez, 1981).

En suelos tropicales (Oxisoles, Ultisoles y Andisoles) solamente es necesario encalar hasta elevar el pH a valores de alrededor de 5.5 lo que permite la precipitación del Al^{3+} y un apreciable incremento en CIC (suelos de carga variable) facilitando la retención de cationes en el suelo. Este incremento en pH es suficiente para el adecuado crecimiento y rendimiento del banano (Espinosa, 1994a).

Uno de los métodos generalizados para predecir los requerimientos de cal de la mayoría de los suelos tropicales utiliza la siguiente ecuación (Kamprath, 1970):

$$CaCO_3 \text{ (ton/ha)} = \text{Factor} \times \text{cmol(+) } Al^{3+}/L \text{ de suelo}$$

El factor utilizado puede ser 1.5 o 2.0 de acuerdo con las características particulares de cada suelo y puede ser modificado y afinado de acuerdo con la experiencia que se acumule a través del tiempo. El principal objetivo de este método es utilizar solamente la cal necesaria para neutralizar el Al.

Este método de determinación de los requerimientos de cal es muy difundido en las áreas tropicales, pero tiene como principal desventaja el hecho de que la neutralización del Mn se produce a 0.5 unidades de pH por encima de aquel necesario para la neutralización del Al. Cuando los suelos presentan también toxicidad de Mn se debe tomar en cuenta esta condición en la determinación de los requerimientos de cal.

En muchos casos, los suelos ácidos del trópico son deficientes en Ca sin que necesariamente tengan problemas por Al. En estos casos, el encalado se usa principalmente como fuente de Ca (Sánchez, 1981).

Este es el caso de muchas áreas bananeras de Latino América entre ellas el área al oeste del Río Reventazón en Costa Rica. En esta zona se utiliza cal como fuente de Ca en los suelos aluviales formados por materiales volcánicos ya que los niveles de este nutrimento en el suelo son bajos y el porcentaje de saturación de acidez no es alto (López y Solís, 1992a). De hecho, la aplicación de hasta 1.2 ton de cal/ha/año no tiene un efecto significativo sobre el pH en este tipo de suelos (López, 1990b).

Fuentes de cal

Existen varios materiales que son capaces de reaccionar en el suelo y elevar el pH. Los materiales de uso común en el cultivo del banano son:

Carbonato de calcio (Calcita) CaCO_3 . El valor relativo de neutralización varía entre 85 y 100%. Este material se debe usar con cuidado en ciertos suelos porque puede inducir una deficiencia de Mg provocado por desbalance en la relación Ca/Mg.

Carbonato de calcio y magnesio (Dolomita) CaCO_3 • MgCO_3 . Valor neutralizante que varía entre 95 y 108%. En promedio supera a la calcita en cuanto a su poder de neutralización de la acidez. Es una magnífica fuente de cal ya que suple Mg además de Ca. En algunos países su uso es limitado por su alto precio.

Sulfato de calcio (Yeso) CaSO_4 . Este material no altera el pH del suelo pero puede reducir el contenido de Al debido a que el ion SO_4^{2-} arrastra el Al del perfil al formar sulfato de aluminio. Además, es una buena fuente de Ca y S.

Un factor importante en el encalado de los suelos es el grado de fineza o tamaño de la partículas de cal a utilizarse. Esto se debe a que la velocidad de la reacción de la cal en el suelo depende de la superficie del material en contacto con el suelo. Mientras más fino es el material más rápida es la reacción, pero el costo de la cal aumenta con el grado de fineza. Lo ideal es utilizar material que no sea un polvo fino de difícil uso en el campo, pero que tenga un tamaño de partícula que reaccione rápido y produzca un cambio acelerado de pH. El mejor tamaño de partícula es aquel que pasa una malla mayor a 60 mesh.

Sobreencalado

El exceso de aplicaciones de cal puede provocar reducciones en el rendimiento debido al deterioro de

la estructura del suelo y a la reducción de la disponibilidad de P, B, Zn y Mn (Sánchez, 1981). La cal debe usarse racionalmente para evitar este tipo de problemas.

Suelos salinos y sódicos

Bajo ciertas condiciones se puede producir una acumulación de sales en el suelo, originando problemas en el manejo del cultivo de banano. La acumulación de sales se puede producir por intrusión del agua del mar en los litorales, por ascenso de niveles freáticos altos en sales o por acumulación de sales debido a la mala utilización del riego y a excesos en la fertilización. En general los suelos ricos en sales son más comunes en zonas secas, donde el exceso de sales no puede ser eliminado del perfil del suelo. Estos suelos se agrupan de la siguiente manera (Fassbender, 1982):

Suelos salinos

Los suelos salinos tienen pH menor a 8.5, conductividad eléctrica mayor que 4 milimohs/cm y menos del 15% de saturación de sodio (Na) en el complejo de intercambio.

Suelos salino-sódicos

Estos suelos tienen las mismas características que los anteriores, pero con concentraciones de Na mayores al 15%.

Los suelos sódicos

Los suelos sódicos tienen iguales características que los suelos salino-sódicos, pero tienen pH mayor a 8.5.

Estos suelos pueden ser recuperados por medio del uso de enmiendas como el yeso (CaSO_4) y la flor de azufre (S elemental) y el posterior "lavado" del suelo con abundante agua. El ion SO_4^{2-} se encarga de arrastrar el Na^+ y otros cationes, como ion acompañante (Canchano, 1992).

Efecto del sodio en el banano

Las plantas de banano son muy sensibles a los niveles altos de Na en el suelo. Bajo condiciones de salinidad, la concentración de Na en la raíz de banano puede llegar a ser de 1.5% (Israeli et al., 1986). Los síntomas de toxicidad de Na en banano han sido descritos en diferentes lugares del mundo (Figura 55). Los síntomas se caracterizan por producir clorosis

marginal alrededor de las hojas bajas que posteriormente se convierte en necrosis (Lahav y Turner, 1992; Canchano, 1992).

La toxicidad de Na también produce un estrangulamiento del follaje, típico de la deficiencia de K, posiblemente porque el Na interfiere la absorción de K por la planta (García et al., 1976).

Efecto de cloro en el banano

En realidad, la planta de banano es bastante tolerante a los altos niveles de Cl. En Costa Rica se ha llegado a usar experimentalmente cantidades superiores a 700 kg/ha/año de K_2O equivalentes a 1130 kg/ha/año de KCl (47% Cl), es decir 530 kg de Cl/ha/año, sin efectos negativos sobre la productividad (Garita, 1980; Hernández, 1985; López, 1991b).

Aplicaciones superiores a 720 kg/ha/año de K_2O reducen los rendimientos. Esto en parte se puede explicar por el aumento en los niveles de Cl foliar que pueden llegar a concentraciones mayores al 1% (Israeli et al., 1986; López 1994, datos sin publicar).

Los síntomas de toxicidad de Cl se manifiestan como una reducción en el crecimiento de los retoños y de los frutos (Lahav y Turner, 1992).

Manejo de nutrientes en suelos con problemas de sales

La producción de banano se conduce también en condiciones climáticas y de suelos diferentes a las condiciones normales de producción. Un ejemplo de estos casos es la importante zona de producción



Figura 55. Plantación con síntomas característicos de toxicidad de Na.

bananera de Santa Marta, Colombia, que produce en suelos de pH alto con tendencia a acumular sales. En suelos de esta naturaleza es importante el cuidadoso manejo del riego y la fertilización.

En los suelos de alto pH con tendencia a acumular sales se debe escoger adecuadamente la fuente de nutrientes. Las fuentes comunes de N y K en la producción de banano (urea y KCl) no son eficientes en estas condiciones porque más bien tienden a incrementar el problema de salinidad. Además la urea tiene un mayor potencial de volatilización. En estos suelos funcionan mejor otras fuentes de N y K como el sulfato de amonio [$(NH_4)_2 SO_4$] y el sulfato de potasio ($K_2 SO_4$). El uso de adecuadas fuentes de nutrientes asegura una rentable producción en este tipo de suelos (Espinosa, 1993).

CAPITULO 4

DIAGNOSTICO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO Y LA NUTRICION MINERAL EN EL CULTIVO DE BANANO

En todo el mundo los análisis de suelos y los análisis foliares han sido utilizados como herramientas muy útiles para manejar la nutrición y fertilización del banano y obtener rendimientos altos, sostenidos y económicamente rentables de fruta. Estas dos herramientas son complementarias por lo que deben utilizarse en forma conjunta.

Análisis de suelos

El análisis químico de suelos es esencial para evaluar el estado de la fertilidad de los suelos y diseñar estrategias para el manejo eficiente de fertilizantes y enmiendas. En plantaciones bananeras, se recomienda analizar el suelo una vez al año. Esto permite conocer el nivel de los nutrimentos del suelo y además permite el seguimiento del estado de la fertilidad del suelo a través de los años, para determinar si el contenido de nutrimentos se reduce, se mantiene o se incrementa (Instituto de la Potasa y el Fósforo, 1993).

Interpretación de los análisis de suelos

En el análisis químico de suelos se utilizan soluciones extractoras que simulan la acción de la raíz. Diferentes soluciones extractoras extraen diferente cantidad de nutrimentos y esto generalmente confunde en el momento de la interpretación. Las recomendaciones de fertilización se basan en investigación de campo conducida para calibrar los rangos de nutrimentos (bajo, óptimo o alto) con cada una de las soluciones extractoras. Con esta investigación se construyen los cuadros de guía de interpretación de los análisis de suelos (Bertsch, 1986).

En Costa Rica por ejemplo, se utilizan dos guías para interpretar los resultados de los análisis de suelo (Cuadros 4 y 5) que han sido usados con éxito en el diagnóstico de la

fertilidad del suelo para el cultivo de banano. Estas guías deben usarse cuando para el análisis de las muestras de suelos de una finca en particular se han utilizado las mismas soluciones extractoras que

Cuadro 4. Guía para la interpretación de análisis de suelo en el cultivo de banano. Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica (MAG) (Bertsch, 1986).

Nutrimento	Valor		
	Bajo	Optimo	Alto
Al [cmol(+)/L]	-	0.3	1.5
Ca [cmol(+)/L]	4.0	4 - 20	20
Mg [cmol(+)/L]	1.0	1 - 10	10
K [cmol(+)/L]	0.2	0.2 - 1.5	1.5
P (mg/L)	10	10 - 40	40
Mn (mg/L)	5	5 - 50	50
Zn (mg/L)	3	3 - 15	15
Cu (mg/L)	1	1 - 20	20
Fe (mg/L)	10	10 - 50	50
pH	5.0	5.5 - 6.5	7.0

pH relación 1:25 suelo-agua

Ca y Mg extraídos con KCl 1 N, relación 1:10

K, P, Mn, Zn, Cu y Fe extraídos con NaHCO₃ (Olsen Modificado), relación 1:10

Cuadro 5. Guía para la interpretación de análisis de suelo en el cultivo de banano. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) (Bertsch, 1986).

Nutrimento	Valor		
	Deficiente	Nivel Crítico	Optimo
Ca [cmol(+)/L]	0.3	2.2	4.0 - 36
Mg [cmol(+)/L]	0.12	0.8	2.0 - 18
K [cmol(+)/L]	0.03	0.2	0.4 - 3
P (mg/L)	2	12	20 - 80
Mn (mg/L)	0.7	5	10 - 100
Zn (mg/L)	0.4	3	6 - 36
Cu (mg/L)	0.1	1	3 - 20
Fe (mg/L)	1	10	20 - 80

Ca y Mg extraídos con KCl 1N, relación 1:10

K, P, Mn, Zn, Cu y Fe extraído con NaHCO₃ (Olsen modificado), relación 1:10

aparecen al pie de los Cuadros. Si se desconoce el procedimiento de extracción debe usar con reserva los niveles de los Cuadros 4 y 5.

Las unidades en las cuales se presentan los datos de los Cuadros 4 y 5 representan las tendencias actuales para expresar los resultados de los análisis químicos de suelos y tejidos vegetales. En el Apéndice 1 se presenta una tabla de conversión de unidades que permite relacionar los datos presentados en los Cuadros 4 y 5 con datos de análisis de suelos y foliares presentados en otras unidades.

Además, es necesario indicar que en los diferentes Cuadros de esta publicación se expresan los contenidos de nutrientes en el suelo tanto en volumen [(cmol(+)/L y mg/L) como en peso [cmol(+)/kg y mg/kg]. Básicamente, los datos de los Cuadros 4 y 5 deben expresarse en volumen [cmol(+)/L y mg/L] debido a que los estudios de calibración para determinar los niveles críticos se basaron en análisis hechos por volumen y por lo tanto deben mantener esta forma de expresión. La mayoría de laboratorios de suelos de América Latina utilizan procedimientos de laboratorio que usan un volumen conocido de suelo para las determinaciones químicas. Este procedimiento facilita la mecánica de los análisis de suelos de rutina y tiene muy limitado efecto en la precisión de los análisis. Al momento de interpretar los datos y calcular las recomendaciones de fertilización se transforman los resultados de volumen a peso. Esto generalmente no causa cambios importantes porque la mayoría de los suelos bananeros tienen densidades que van de 0.90 a 1.1 g/cc.

El balance nutricional

Al interpretar los resultados de los análisis de suelos es importante no solo tomar en cuenta los contenidos absolutos de los elementos sino que también es necesario observar las relaciones de equilibrio entre éstos. En el cultivo de banano es muy importante preservar el equilibrio K-Ca-Mg en el suelo. Los valores apropiados para las relaciones de equilibrio K-Ca-Mg utilizadas en Costa Rica en el cultivo de banano se presentan en el Cuadro 6.

Lahav y Turner (1992), al discutir los resultados de varios estudios que evaluaron la relación entre Mg/K en la planta de banano y la relación Mg/K en el suelo, indican que existe un antagonismo entre estos dos elementos en el suelo, de tal forma que la alta

Cuadro 6. Relaciones de equilibrio K-Ca-Mg en el suelo utilizadas en Costa Rica en el cultivo de banano (López, 1983).

Relación	Valor
Ca/Mg	3.5 - 4.0
Ca/K	17.0 - 25.0
Mg/K	8.0 - 15.0
(Ca + Mg)/K	20.0 - 30.0
100 K/(Ca + Mg + K)	3.0 - 5.0

concentración de uno afecta negativamente la disponibilidad del otro para la planta.

Stover y Simmonds (1987) consideran un valor de 3.3 en la relación Mg/K como balanceado para una buena nutrición mineral, valor muy parecido al de 3.6 estimado por Turner et al. (1988). Sin embargo, López y Solís (1992a) trabajando en la Zona Sur de Costa Rica, encontraron que aún con valores de 6.26 en la relación Mg/K se presentan niveles de Mg deficientes en la planta, a pesar de tener contenidos altos de Mg en el suelo [5.60 cmol(+)/L]. Este último valor de 6.26 en la relación Mg/K se acerca más a los valores recomendados por López (1983) (Cuadro 6). Debido a esta situación, como se mencionará más adelante en este capítulo, es necesario evitar el uso excesivo de ciertos nutrimentos, lo que puede provocar desbalances nutricionales.

Análisis foliares

Diagnóstico de deficiencias en la planta

Existen dos mecanismos para la identificación de carencias nutricionales en los cultivos. El primero identifica las carencias por medio de la observación de los síntomas visuales característicos de las deficiencias de los elementos en la planta, y el segundo lo hace por medio de los análisis químicos de ciertos tejidos de la planta.

Identificación de síntomas visuales

Investigadores en diferentes partes del mundo han identificado los síntomas visuales causados por deficiencias de nutrimentos en el cultivo de banano. Esto se ha logrado por medio de estudios que se han conducido en el campo, en suelos deficientes en un nutrimento en particular, o en condiciones artificiales en las que se provocan las deficiencias para observar los síntomas característicos de éstas. En el Capítulo 2

se describen extensamente los síntomas de deficiencias de cada uno de los nutrientes esenciales.

En la identificación visual de los síntomas de deficiencia nutricional es conveniente tomar en cuenta la movilidad del elemento dentro de la planta. Si el elemento es móvil, como en el caso de N, P, K y Mg, los síntomas se presentan en las hojas más viejas pues los nutrientes se translocan del tejido viejo al tejido joven. Normalmente, en plantaciones donde se realizan deshojas continuas debido a la infección de Sigatoka negra, no es posible observar los síntomas de deficiencia de estos elementos porque se cortan las hojas donde se presentan los síntomas.

Si los nutrientes son inmóviles, como el caso de S, Ca, Fe, Zn, Cu, Mn, B y Mo, los síntomas se manifiestan en las hojas más jóvenes de la planta.

Otro aspecto importante del uso de la técnica de identificación visual de síntomas de deficiencia de nutrientes, es evitar el confundirlas con daños causados por pesticidas o por enfermedades y plagas. El análisis químico foliar es una buena ayuda para confirmar la sospecha de carencia del elemento.

Análisis químico foliar

Cuando aparecen los síntomas visuales de deficiencias de nutrientes el cultivo ha perdido ya un alto porcentaje de su potencial de rendimiento. Por esta razón, es necesario detectar estas deficiencias antes de que éstas se presenten en forma de un síntoma característico. Generalmente, la planta puede sufrir carencias sin mostrar ningún síntoma visual de deficiencia. Este tipo de comportamiento se conoce como "hambre oculta o escondida". En estos casos, el análisis químico foliar permite identificar estas deficiencias (Instituto de la Potasa y el Fósforo, 1993).

El concepto de nivel crítico

La utilidad del análisis foliar se basa en las siguientes premisas (Malavolta, 1994): Existe una relación directa entre el suplemento de nutrientes y el rendimiento, entre el

suplemento de nutrientes y la concentración de éstos en las hojas y entre la concentración en las hojas y el rendimiento.

La relación entre el contenido de nutrientes y el crecimiento o rendimiento de la planta se ilustra en la Figura 56 (Smith, 1962, citado por Menguel y Kirkby,

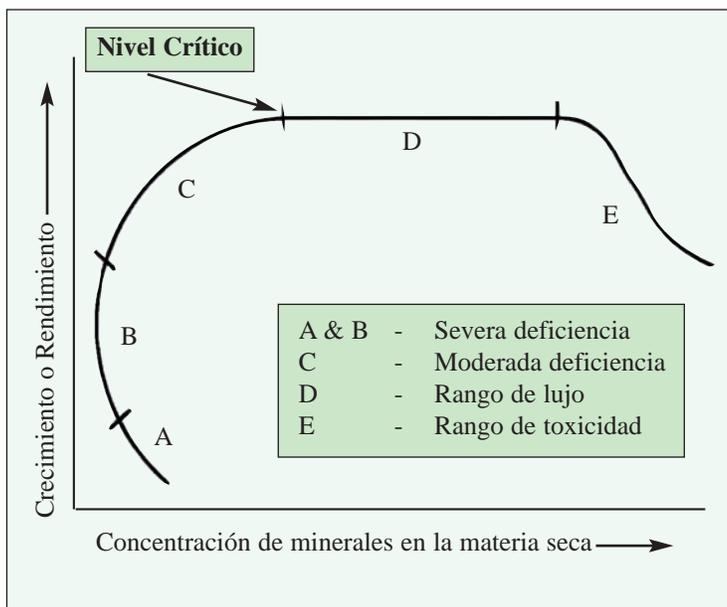


Figura 56. Relación entre el contenido de nutrientes y el crecimiento o rendimiento de la planta (Smith, 1962, citado por Menguel y Kirkby, 1979).

Cuadro 7. Niveles críticos tentativos en diferentes tejidos de plantas de banano completamente desarrolladas (Lahav y Turner, 1992).

Nutriente	Lámina (Hoja 3)	Nerv. 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	-	0.35
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 la variedad Cavendish Enano. Algunas veces los valores difieren en otros cultivares.

1979). La sección A de la parte izquierda de la curva se conoce como el efecto Steenbjerg. Este fenómeno resulta de la combinación de efectos producidos por la reducción de materia seca en la concentración de nutrimento, es decir plantas pequeñas con contenidos aparentemente altos de nutrimentos. Se puede llegar fácilmente a una interpretación errada de los resultados si la persona que interpreta los análisis no está familiarizada con las relaciones entre la acumulación de materia seca y la concentración de nutrimentos.

En la sección B de la curva la tasa de crecimiento mejora algo continuando la severa deficiencia de nutrimentos. La sección C corresponde a deficiencia moderada del nutrimento y la sección D corresponde al consumo de lujo. En la unión de las secciones C y D se encuentra el nivel crítico. Concentraciones en la hoja mayores al nivel crítico no influyen en el rendimiento. Por otro lado, a concentraciones menores que el nivel crítico existe un alta probabilidad de aumentar los rendimientos al aplicar el nutrimento en cuestión (Sarasola y Rocca, 1975). La sección E de la curva representa toxicidad que provoca una reducción en el crecimiento y en la productividad del cultivo.

Se han realizado muchos experimentos en el cultivo de banano para establecer los niveles críticos de cada uno de los nutrimentos. La información generada por estos estudios permite identificar el problema y ayuda a tomar decisiones en cuanto a la cantidad y tipo de fertilizante a usar para solucionar el problema. Una condensación de los resultados de investigación de los niveles críticos foliares conducida por un buen número de investigadores se presenta en el Cuadro 7 (Lahav y Turner, 1992).

El inconveniente de este tipo de guías es que provee solamente información general y no toma en cuenta los factores que afectan el contenido foliar de cada nutrimento. Estos factores se analizan más adelante.

Interpretación de los análisis foliares

Los resultados de los análisis foliares deben ser interpretados cuidadosamente, evitando interpretaciones rígidas (Turner, 1988). Esto se debe a que existen varios factores asociados con el contenido de nutrimentos en las hojas que complican la interpretación. Por esta razón es más acertado definir ámbitos de concentraciones dentro de los cuales se

obtienen rendimientos económicos máximos (Instituto de la Potasa y el Fósforo, 1993).

Un factor de mucha importancia en la interpretación de los análisis foliares es la condición del cultivo en el momento del muestreo, en cuanto al crecimiento, desarrollo y el rendimiento de las plantas.

Twyford y Walmsley (1974) y posteriormente Turner et al. (1988), al estudiar las relaciones entre los análisis de suelos, los análisis foliares y el rendimiento del cultivo de banano, encontraron relaciones muy pobres entre estas variables. En plantaciones de banano en Costa Rica, se ha encontrado que no existe una relación clara entre los análisis de suelos, el análisis foliar y el estado de las plantaciones (López, 1994). Se ha determinado que las concentraciones foliares eran similares tanto en áreas de buen crecimiento como en áreas de mal crecimiento. Por esta razón es necesario diseñar estrategias, más allá del análisis foliar, que permitan identificar estas diferencias.

Una de estas estrategias es la de realizar una estimación cuantitativa del estado de crecimiento de la planta, midiendo su tamaño o contando el número de manos del racimo. Esta información, utilizada conjuntamente con los datos de la concentración foliar de los nutrimentos, permite estimar el contenido total de éstos en la planta (Lahav y Turner, 1992). Esto ayuda a evitar interpretaciones equivocadas de los análisis foliares.

Martín-Prével (1987) y Fox (1989), citado por Lahav y Turner (1992), mencionan la necesidad de tomar en cuenta no solo el porcentaje de los nutrimentos a nivel foliar sino también de conocer la tasa de producción de biomasa en el momento del muestreo. De esta forma se determina tanto la intensidad de un nutrimento, en un tejido específico de la planta de banano, así como la cantidad total del nutrimento en toda la planta.

Al respecto, Martín-Prével (1987) propone la utilización de una hoja informativa que permite interpretar el crecimiento de la planta de banano en función de la nutrición. Basándose en este concepto se han diseñado cinco hojas informativas (Apéndices 2, 3, 4, 5 y 6), cuya utilización permite coleccionar información valiosa que sirve de soporte para interpretar de mejor forma los análisis foliares (y de suelos), tomando en cuenta los diferentes parámetros que afectan el crecimiento y el estado nutricional de

las plantas. En estas hojas se sugiere recoger información general de la finca (Apéndices 2, 3 y 4), así como información de sitios específicos dentro de la finca (Apéndices 5 y 6).

La interpretación foliar y las relaciones entre nutrientes

La interpretación de los análisis foliares no debe hacerse teniendo en cuenta solamente un nutriente en particular sino que deben tomarse en cuenta las relaciones entre nutrientes (Malavolta, 1994). En el cultivo de banano se han documentado antagonismos y sinergismos entre nutrientes que afectan notoriamente el crecimiento de la planta. Lahav y Turner (1992) mencionan que la relación antagónica más estudiada es la existente entre K, Ca y Mg. Si los contenidos de alguno de estos nutrientes de la planta son altos se produce una reducción en el contenido de los otros dos nutrientes y esta condición provoca problemas en el crecimiento. La Figura 57 presenta la relación de equilibrio de K-Ca-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 al unir los ámbitos de variación del contenido foliar de cada nutriente considerados como adecuados. En este caso se usan los ámbitos foliares de 3.0 a 4.0% para K; 0.5 a 1.0% para Ca y 0.3 a 0.4% para Mg. Cuando se calculan los porcentajes relativos de cada nutriente, utilizando los niveles anteriores, se obtienen valores de 55% a 61% para K; 20% a 27% para Ca y 18% a 20% para Mg. Estos son los valores usados para demarcar la zona de equilibrio en el triángulo (Figura 57).

Con los datos del informe de laboratorio de un análisis foliar se pueden calcular los porcentajes relativos de K-Ca-Mg y ubicar cada valor dentro del triángulo. En el Cuadro 8, se presenta el cálculo de los valores de equilibrio de las relaciones K-Ca-Mg foliar de dos fincas ubicadas en las dos zonas bananeras más importantes de Costa Rica. Al ubicar estos valores en el triángulo de relaciones se observa que los valores de la finca de la Zona Este guardan un buen equilibrio en la relación K-Ca-Mg ya que la mayoría de los puntos caen dentro de la zona de equilibrio (Figura 57). En

este caso la planta tiene un excelente estado nutricional evidente en el campo. Al ubicar los valores calculados de la finca de la Zona Oeste se observa que los puntos se desplazan hacia arriba dentro de la zona de equilibrio como consecuencia de los menores contenidos relativos de Ca y Mg con respecto al K. En estas condiciones se debe poner especial atención a la fertilización con Ca y Mg.

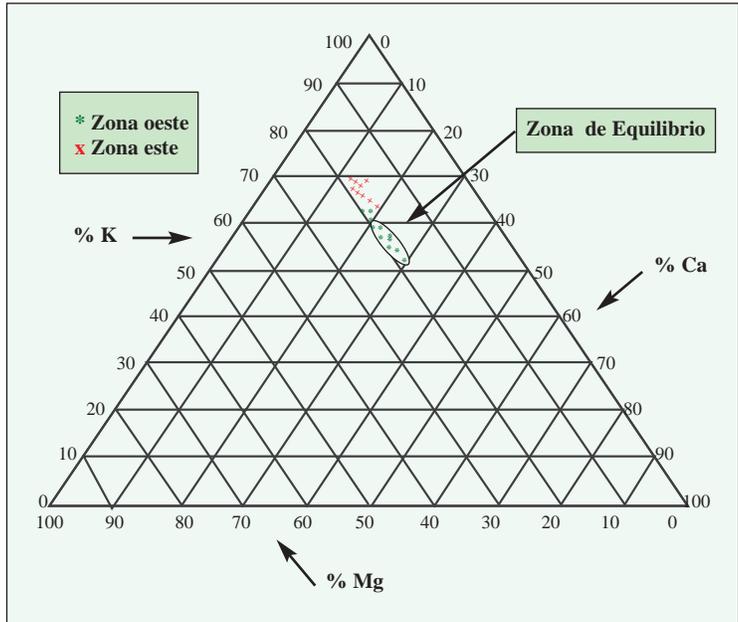


Figura 57. Triángulo de las relaciones K-Ca-Mg en el tejido foliar de plantas de banano donde se localiza la zona de equilibrio y se ubican los valores de equilibrio de las relaciones K-Ca-Mg de dos fincas bananeras de Costa Rica.

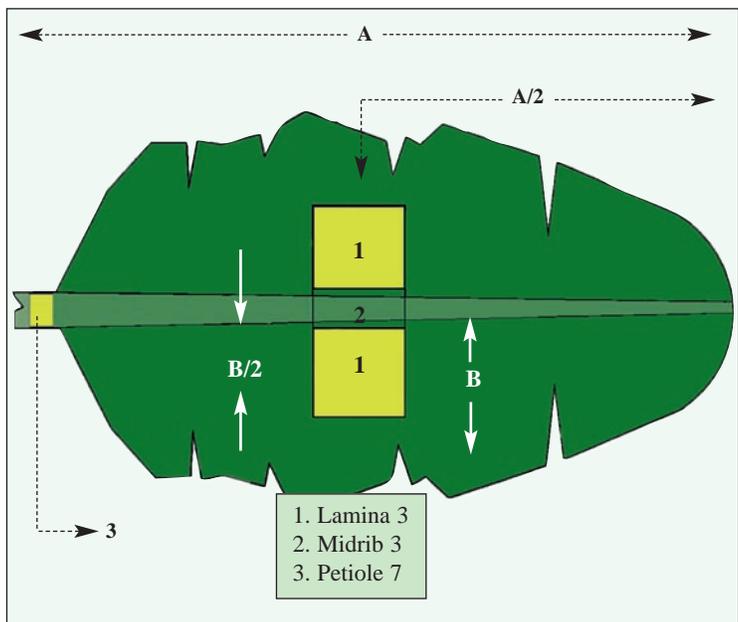


Figura 58. Método Internacional de Referencia de muestreo foliar de plantas de banano (Martín-Prével, 1974).

Cuadro 8. Cálculo de las relaciones de equilibrio de los contenidos de Ca-Mg-K foliar de dos fincas ubicadas en diferentes zonas bananeras de Costa Rica.

K	Ca	Mg	K	Ca	Mg	Sum	K	Ca	Mg
----- % -----			----- miliequivalentes ¹ -----				----- relativo % -----		
Zona Este									
3.1	0.64	0.30	79.3	31.9	24.7	135.9	58.3	23.5	18.2
3.0	0.61	0.28	76.7	30.4	23.0	130.2	58.9	23.4	17.7
3.0	0.65	0.33	76.7	32.4	27.1	136.2	56.3	23.8	19.9
3.1	0.62	0.32	79.3	30.9	26.3	136.5	58.1	22.6	19.3
3.2	0.60	0.32	81.8	29.9	26.3	138.1	59.3	21.7	19.1
3.0	0.67	0.32	76.7	33.4	26.3	136.5	56.2	24.5	19.3
3.5	0.53	0.30	89.5	26.4	24.7	140.6	63.6	18.8	17.5
3.2	0.81	0.37	81.8	40.4	30.4	152.7	53.6	26.5	19.9
2.7	0.61	0.29	69.0	30.4	23.8	123.3	56.0	24.7	19.3
3.1	0.73	0.34	79.3	36.4	28.0	143.7	55.2	25.4	19.5
3.8	0.47	0.26	97.2	23.4	21.4	142.0	68.4	16.5	15.0
4.0	0.52	0.31	102.3	26.0	25.5	153.7	66.5	16.9	16.6
Zona Oeste									
3.8	0.42	0.26	97.2	21.0	21.4	139.5	69.7	15.0	15.3
4.1	0.45	0.31	104.9	22.5	25.5	152.8	68.6	14.7	16.7
3.8	0.42	0.31	97.2	21.0	25.5	143.6	67.7	14.6	17.7
4.7	0.57	0.28	120.2	28.4	23.0	171.7	70.0	16.6	13.4
4.0	0.42	0.28	102.3	21.0	23.0	146.3	69.9	14.3	15.7
4.3	0.49	0.29	110.0	24.4	23.8	158.3	69.5	15.4	15.1
4.3	0.41	0.26	110.0	20.4	21.4	151.8	72.4	13.5	14.1
4.1	0.47	0.30	104.9	23.4	24.7	153.0	68.6	15.3	16.1
¹ meq K = % K / 0.039; meq Ca = % Ca / 0.020; meq Mg = % Mg / 0.012									

Métodos de muestreo

Ha existido mucha discrepancia en el pasado sobre la metodología de muestreo de tejido vegetal de la planta de banano para análisis químico. Por esta razón, a partir de 1975 se estableció el método de muestreo conocido como Método Internacional de Referencia (MIR) (Martín-Prével, 1974). Este método incluye el muestreo de tres partes de la hoja de diferente posición en la planta (Figura 58).

De acuerdo con este método, las muestras foliares se toman antes o después de la emergencia floral. Algunas deficiencias, como en el caso del S, se diagnostican más fácilmente en hojas jóvenes de plantas no florecidas (Fox et al., 1979). Por esta razón el estado de planta a muestrearse depende del nutrimento a diagnosticarse.

En la mayoría de países productores de banano de América Latina se utiliza el muestreo de la lámina

foliar (hoja 3) para realizar la interpretación del estado nutricional del cultivo. Sin embargo, también los muestreos del pecíolo (hoja 7) o de la nervadura central (hoja 3) pueden ser utilizados para diagnóstico.

Para el muestreo de la lámina se utiliza la hoja 3. Se toma una faja de 10 cm de ancho, a ambos lados de la nervadura central, en el centro de la hoja. No se toma toda la extensión de la faja sino solamente el tejido que va desde la nervadura central hasta el centro de la lámina, desechando la sección externa de esta faja. Cuando se muestrea la nervadura central se toma también una sección de 10 cm de largo hacia el centro de la hoja 3 (Figura 58).

La muestra de pecíolo de la hoja 7 se toma de la parte cercana a la lámina para no obtener demasiada muestra (Figura 58).

El Método Internacional de Referencia acepta el muestreo de plantas en diferentes estados de desarrollo (antes o después de la emergencia floral) dependiendo del propósito del muestreo. Si el muestreo se hace antes de la emergencia floral se sugiere muestrear cerca del momento de la diferenciación floral. Si el muestreo se hace después de la emergencia floral (plantas paridas) se recomienda hacerlo cuando todas las manos femeninas sean visibles (Martín-Prével, 1987). En Costa Rica se utiliza el Método Internacional de Referencia muestreando plantas recién paridas.

Se recomienda formar una muestra compuesta con 10 a 20 submuestras para que la muestra sea lo más representativa posible del área (Martín-Prével, 1987).

Factores que controlan los niveles de los nutrimentos en los tejidos

Para la interpretación apropiada de los análisis foliares es importante tomar en cuenta los factores que afectan el nivel del nutrimento en las hojas. A continuación se detallan los principales factores que influyen la concentración de los nutrimentos en los tejidos, independientemente del tejido muestreado.

Nivel del nutrimento en el suelo

Con mucha frecuencia se cree que el único factor que afecta el contenido de un nutrimento foliar es el nivel de este nutrimento en el suelo. Obviamente, existe una marcada relación entre estos dos parámetros, sin embargo, no es el único factor involucrado. López y Solís (1992a), al analizar en conjunto las diferentes zonas bananeras de Costa Rica, encontraron que los contenidos de Ca, Mg y K foliar están determinados por los contenidos de Ca, Mg y K en el suelo y por las relaciones entre éstos. Sin embargo, al analizar cada zona individualmente esta relación no fue tan evidente. Esto se debe al efecto del área de exploración de las raíces que va más allá de la zona de muestreo.

Estado de la raíz

En el Capítulo 1 se discute ampliamente la importancia de la raíz en la nutrición del cultivo de banano. Este factor está muy relacionado con el anterior ya que si la raíz está en mal estado, la planta no puede disponer de los nutrimentos del suelo, aun cuando éstos se encuentren en niveles adecuados. Una condición pobre de la raíz puede conducir a

interpretaciones equivocadas de los análisis foliares. En este caso, el análisis de suelo y la condición de la raíz son herramientas muy útiles para el diagnóstico correcto del estado nutricional del cultivo.

Variedad

Los niveles críticos de los nutrimentos pueden variar apreciablemente de un cultivar a otro, inclusive dentro de un mismo grupo de bananos. Turner y Barkus (1981) compararon las concentraciones de nutrimentos en 30 variedades de banano y encontraron diferencias al comparar variedades del grupo Cavendish. Martín-Prével (1987) analiza esta información y sugiere que no se deben usar los datos obtenidos para una variedad en otra variedad a menos que se revise su validez. Aun los niveles críticos para una misma variedad deben ser validados en diferentes condiciones climáticas pues esto puede provocar diferencias importantes.

Variación estacional

Dependiendo de la época del año, los niveles de los nutrimentos en los tejidos de las plantas pueden ser altos o bajos. López (1990a) en un ensayo con N-P-K realizado en la Zona Atlántica de Costa Rica, encontró fuertes fluctuaciones en los niveles de algunos elementos a través del año. Los contenidos fluctuaron entre 2.48 y 2.94% para N; 3.21 y 3.65% para K; 0.37 y 0.57% para Ca; 0.25 y 0.30 % para Mg; 74 y 115 mg/kg para Fe, 12 y 20 mg/kg para Zn y 280 y 469 mg/kg para Mn. La fluctuación de P y Cu a través del año es mínima. De acuerdo con este estudio la disponibilidad de los nutrimentos en general disminuye en las épocas críticas de máxima o mínima precipitación.

En los subtrópicos, como es el caso de New South Wales en Australia, la variación en la concentración de nutrimentos es aún más marcada debido sobre todo a los fuertes cambios en la temperatura (Turner y Barkus, 1981).

Exploración de las raíces y los análisis de suelo y foliar

El muestreo convencional para el análisis químico de suelos en plantaciones perennes de banano se realiza en la zona de fertilización de la planta (30 cm frente al hijo de seguimiento), a una profundidad de 0 a 30 cm. Sin embargo, el sistema radicular del banano no es superficial por naturaleza (aún cuando esto se

acepta generalmente) y la profundidad de las raíces es una función de las condiciones del suelo (Lahav y Turner, 1992). Debido a la amplia zona de exploración de las raíces de banano, los análisis convencionales de suelos deben complementarse, en la medida de lo posible, con análisis químicos de un perfil representativo de cada uno de los tipos de suelo de la finca. Esta es una excelente ayuda que permite interpretar mejor el análisis de suelos y determina la influencia del estado de fertilidad de toda la zona de exploración de raíces en la planta.

Este concepto se basa en investigación conducida en diversas partes del mundo. Turner et al. (1988), al estudiar las relaciones entre los análisis de suelos, foliares y la productividad del cultivo de banano en Australia encontraron asociaciones muy pobres entre estas variables. Esto no debe de extrañar pues anteriormente Twyford y Walmsley (1974) demostraron que la concentración foliar de un elemento y la cantidad total tomada por la planta no están necesariamente asociadas. López y Solís (1992a) encontraron, en las diferentes zonas bananeras de Costa Rica, marcadas diferencias entre los contenidos de nutrimentos en el suelo y en el tejido foliar, lo cual no necesariamente repercute en el estado de la plantación.

El uso práctico de estos conceptos se puede explicar con el estudio hecho por López (1994, datos sin publicar) en una finca bananera de la Zona Atlántica de Costa Rica. En este estudio se tomó en cuenta los análisis químicos convencionales de suelos (0 a 30 cm de profundidad) (Cuadro 9), los análisis foliares (Cuadro 10) y los análisis físicos y químicos de perfiles del suelo (0 a 120 cm de profundidad), de cada una de las seis zonas de muestreo en las cuales se dividió la finca (Cuadro 11). Además se evaluó el estado de la plantación basándose en una escala arbitraria que toma en cuenta el número de manos. Las categorías fijadas fueron: 1. Excelente (más de 10 manos); 2. Muy bueno (9 a 9.9 manos); 3. Bueno (8 a 8.9 manos); 4. Regular (7 a 7.9 manos); 5. Pobre (6 a 6.9 manos) y 6. Muy pobre (Menos de 6 manos) (Cuadro 12).

Si se comparan los valores de pH, acidez extractable (A.E.), Ca, Mg y K para las diferentes zonas de muestreo (Cuadro 9) se observa que no existen diferencias importantes entre estos parámetros que puedan explicar claramente los distintos estados de la plantación. Observando los resultados de los análisis

de P y Zn que indican carencia de estos nutrimentos, se puede concluir que esta condición está afectando el crecimiento de las plantas ya que los suelos con los contenidos más bajos de P y Zn presentan la plantación en mal estado.

Por otro lado, al analizar la caracterización química de los perfiles de suelo que representan a cada una de las zonas de muestreo (Cuadro 11) se observa claramente que los suelos químicamente más ricos a través de todo el perfil (zonas 1, 2 y 3) son los de mejor desarrollo de la plantación. En el Cuadro 12 se incluyen datos fenológicos de cada estación de muestreo y un cálculo estimado de la productividad.

Al evaluar los resultados de los análisis foliares (Cuadro 10), se encuentra, que tampoco existe una relación clara entre los contenidos porcentuales de los nutrimentos y el estado de la plantación, concordando con los datos de investigación conducida en otras áreas productoras de banano (Twyford y Walmsley, 1974 y Turner et al., 1988). Esto confirma que la concentración de un elemento en el tejido foliar utilizado para el muestreo y la cantidad total del elemento en la planta de banano no están necesariamente relacionadas. Se concluye indicando que existe una marcada influencia del tipo de suelo, que tiene ciertas características que condicionan el crecimiento de la planta y la productividad. Por esta razón no se deben usar de manera rígida los ámbitos de interpretación de los análisis químicos de suelos y foliares.

De acuerdo con todo lo expuesto anteriormente, para establecer una programa de fertilización es importante tomar en cuenta no solamente la condición del cultivo en relación con los análisis de suelos y foliares, sino que también se debe considerar si existen diferencias marcadas de suelos en las áreas que están siendo evaluadas. En el caso de que existan zonas diferentes dentro del lote, es posible iniciar un manejo diferenciado de acuerdo con las necesidades particulares de cada zona.

Un claro ejemplo de esto es el manejo de las lomas con suelos ácidos de muy baja fertilidad que sobresalen en la llanura aluvial de la Zona Atlántica de Costa Rica, los que son tratados con mayores niveles de cal para neutralizar acidez, o el uso de enmiendas orgánicas en parches de suelos livianos para tratar de mejorar la capacidad de intercambio catiónico y de retención de humedad.

Cuadro 9. Caracterización química de cada estación de muestreo de una finca de la Zona Atlántica de Costa Rica.

Estación muestreo	pH (H ₂ O)	A. E.	Ca	Mg	K	P	Fe	Cu	Zn	Mn	M.O.	Estado de la plantación
			cmol/(+)kg			mg/kg			-- % --			
1	4.89	1.32	4.4	2.4	0.51	13	322	17	2.1	32	5.93	Muy bueno
2	4.71	1.64	5.0	3.1	0.73	18	372	10	3.4	24	5.15	Bueno
3	4.67	1.64	3.7	2.0	0.72	17	232	6	0.7	32	7.33	Bueno
4	4.85	1.76	5.6	2.5	0.56	4	170	5	0.9	37	8.89	Regular
5	4.74	1.08	2.1	1.3	0.35	5	190	5	T*	13	6.86	Pobre
6	4.74	1.08	3.2	2.1	0.63	8	249	6	0.5	22	8.58	Muy pobre

* T = Trazas

Cuadro 10. Análisis químico foliar para cada estación de muestreo de una finca de la Zona Atlántica de Costa Rica.

Estación muestreo	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	Estado de la plantación	
			% (Base seca)						mg/kg			
1	2.22	0.16	4.40	0.51	0.24	0.09	117	63	32	266	Muy bueno	
2	2.34	0.16	4.30	0.52	0.23	0.12	168	9	33	180	Bueno	
3	2.31	0.16	4.30	0.49	0.23	0.11	200	8	31	149	Bueno	
4	2.54	0.14	4.70	0.66	0.23	0.12	97	22	28	247	Regular	
5	2.60	0.14	4.30	0.60	0.25	0.14	110	28	31	159	pobre	
6	2.22	0.15	3.54	0.54	0.24	0.10	159	14	35	172	Muy Pobre	

Zonificación de las áreas cultivadas de banano

Para el adecuado manejo regional de los programas de fertilización del cultivo de banano es necesario contar con información completa de las áreas donde se cultiva la fruta. El zonificar las áreas desde el punto de vista de fertilidad permite planificar y conducir la fertilización de acuerdo con las necesidades particulares de cada zona.

El caso de Costa Rica

Las áreas dedicadas al cultivo de banano en Costa Rica se han dividido en tres zonas, con características muy definidas de suelos, clima y topografía, denominadas Zona Oeste, Zona Este y Zona Sur (Figura 59). En el Cuadro 13 se presentan las características climáticas de cada una de estas zonas bananeras.

La Vertiente Atlántica de Costa Rica se divide en dos zonas llamadas Este y Oeste. La separación natural entre las dos zonas es el Río Reventazón y cada zona debe su nombre a la ubicación con respecto al río (Lara, 1970 y Jiménez, 1972). La otra zona se encuentra en la Vertiente del Pacífico y se le conoce como Zona Sur.

Las tres zonas se han formado por desbordamiento de ríos que han arrastrado diferentes tipos de materiales originando suelos de propiedades químicas especiales en cada zona.

Los Cuadros 14, 15 y 16 presentan la información de las características químicas de los suelos, contenido foliar de nutrimentos y la interacción entre estos



Figura 59. Ubicación de las tres zonas bananeras de Costa Rica.

Cuadro 11. Características químicas de los horizontes del perfil del suelo de cada estación de muestreo de una finca de la Zona Atlántica de Costa Rica.

Horizonte	Profund, cm	pH (Agua)	E.A.	Ca	Mg	K	CICE	P	Fe	Cu	Zn	Mn	S.B.	S.A.	M.O.	
			-----	cmol(+)/kg	-----	mg/kg	-----	%								
1	Ap	0-5	7.20	0.06	15.9	3.10	1.03	20.09	56	77	15	6.2	22	99.70	0.30	8.24
	Bw1	5-40	5.54	3.08	1.2	0.32	0.46	5.06	13	286	8	2.3	16	39.13	60.87	7.33
	Bw2	40-81	6.52	0.30	10.5	2.73	0.16	13.69	17	201	6	0.5	10	97.81	2.19	1.72
	Bw3	81-92	6.80	0.08	10.3	2.31	0.17	12.86	9	303	14	1.4	6	99.38	0.62	5.15
	BC	92-120 ⁺	6.86	0.06	3.3	0.84	0.14	4.34	11	98	2	0.4	2	98.62	1.38	1.72
2	Ap1	0-5	6.28	0.02	21.3	5.18	1.04	27.45	77	85	6	10.6	41	99.93	0.17	10.66
	Bw1	5-75	5.82	0.76	2.8	1.07	0.83	5.46	5	176	4	0.3	8	86.08	13.92	4.17
	Bw2	75-89	5.46	1.40	4.7	2.52	0.30	8.92	15	139	3	0.1	7	84.30	15.70	0.31
	Bw3	89-110	5.73	0.40	11.3	2.87	0.11	14.68	14	109	2	T*	2	97.28	2.72	0.15
	A2	110-120 ⁺	5.95	0.06	12.7	2.78	0.09	15.63	14	281	11	0.9	4	99.62	0.38	1.08
3	Ap	0-5	6.72	T	22.0	5.66	1.12	28.78	53	37	3	10.1	29	100.00	0.00	10.66
	Bw1	5-40	5.30	1.30	3.1	0.97	0.38	5.75	48	219	5	0.4	13	77.39	22.61	4.94
	Bw2	40-84	6.30	0.26	2.3	1.26	0.30	4.12	19	103	2	0.1	3	93.69	6.31	1.08
	Bw3	84-120	6.45	0.04	18.4	2.13	0.14	20.71	6	197	6	0.2	3	99.81	0.19	6.18
4	Ap	0-5	7.20	0.12	14.6	1.94	1.18	17.84	14	57	3	4.1	24	99.33	0.67	5.93
	Bw	5-40	6.01	0.88	1.0	0.17	0.33	1.38	10	154	3	0.3	9	36.23	63.77	3.93
	C1	40-100	6.45	0.42	1.4	0.27	0.58	2.67	10	88	1	0.3	3	84.27	15.73	1.72
	C2	110-120 ⁺	7.29	0.16	3.1	0.42	0.69	1.27	8	23	1	T	2	87.40	12.60	0.31
5	Ap	0-5	6.00	0.04	9.5	2.45	0.33	12.32	15	117	3	3.0	9	99.68	0.32	850
	Bw1	5-25	5.70	0.44	2.1	0.55	0.22	3.31	5	197	4	0.8	9	86.71	13.29	3.97
	Bw2	25-60	5.70	0.16	3.2	0.60	0.12	4.08	5	179	4	0.4	5	96.08	3.92	2.32
6	Ap	0-4	6.21	T	13.3	1.40	1.06	15.76	10	46	1	1.6	12	100.00	0.00	10.71
	C1	4-18	6.25	0.18	3.5	0.47	1.20	5.35	3	175	3	0.4	10	96.64	3.36	6.49
	C2	18-56	5.90	0.14	1.4	0.33	0.47	2.34	3	120	2	0.1	5	94.02	5.98	6.64
	C3	56-90	6.85	0.20	0.7	0.35	0.32	1.57	2	76	1	T	2	87.26	12.74	0.93
	C4	90-110	6.30	0.02	9.2	2.23	0.38	11.83	2	87	3	0.4	2	99.83	0.17	0.46
	C5	110-120	6.60	0.10	4.6	1.18	0.25	6.76	14	61	2	0.7	3	98.52	1.48	0.31

* T = Trazas

Cuadro 12. Datos fenológicos y de producción de cada estación de muestreo de una finca de la Zona Atlántica de Costa Rica.

Muest.	Circunf. pseudotallo cm	Altura planta, cm	Número total, plantas/ha	Número unidades reales/ha	Retorno anual, (racim./cepa)	Número de manos	Relación caja/racim.	Rendimiento estimado caja/ha/año	Estado de la plantación
1	79.2	395	1,800	1,428	1.48	9.6	1.44	3,043	Muy buena
2	85.4	416	1,720	1,343	1.48	8.6	1.21	2,405	Buena
3	82.1	398	1,640	1,258	1.52	8.1	1.10	2,103	Buena
4	67.1	368	1,720	1,428	1.48	7.0	0.98	2,071	Regular
5	57.7	298	1,840	1,088	1.38	6.0	0.69	1,036	Pobre
6	55.0	302	1,720	612	1.43	5.3	0.69	604	Muy pobre

Cuadro 13. Datos climatológicos mensuales promedio para las Estaciones Meteorológicas de Finca El Carmen de Siquirres¹ (Zona Este), Finca Mola de Pococí² (Zona Oeste) y Finca Puntarenas³ (Zona Sur).

Mes	El Carmen			Mola			Puntarenas		
	-----Precipitación (mm/mes) -----			----- Brillo solar (horas/mes) -----					
Enero	305.2	332.0	114.8	157.3	156.9	274.7			
Febrero	212.3	171.5	111.1	150.7	152.7	214.3			
Marzo	147.6	137.0	166.6	178.1	166.0	246.1			
Abril	222.3	181.9	260.3	164.4	158.5	201.6			
Mayo	243.4	232.2	519.9	162.8	150.8	168.0			
Junio	323.5	346.4	542.9	125.3	113.8	140.4			
Julio	445.8	442.5	533.9	118.4	110.3	145.7			
Agosto	379.7	394.8	539.4	132.1	128.6	145.1			
Septiembre	266.0	269.5	589.7	146.1	141.2	138.6			
Octubre	294.1	383.2	813.1	148.5	126.8	132.1			
Noviembre	394.8	326.7	482.6	133.8	124.8	157.8			
Diciembre	398.8	368.9	177.9	145.7	132.6	214.5			
Total	3603.5	3677.6	4852.2	1763.2	1663.0	2205.9			
Promedio	300.3	306.5	404.4	146.9	138.6	183.8			

* Período 1972-1989; 2. Período 1980-1989; 3. Período 1947-1972

Cuadro 14. Caracterización química de los suelos de las zonas bananeras de Costa Rica.

Zona	Categoría	pH (agua)	A.E.	Ca	Mg	K	P	Fe	Cu	Zn	Mn	M.O.
				----- cmol(+)/kg -----			----- mg/kg -----					
Oeste	Promedio ⁽¹⁾	5.33	1.19	5.61	1.61	0.45	15	180	7	1	25	5.1
	Mayor	6.22	6.60	16.0	6.40	1.44	69	813	18	5	103	11.8
	Menor	4.34	T	0.90	0.40	0.08	4	84	2	T	4	1.9
Este	Promedio ⁽²⁾	5.88	0.33	25.05	5.98	0.36	19	119	13	1	34	2.6
	Mayor	7.64	3.14	41.80	14.90	1.17	136	301	96	32	150	6.7
	Menor	4.56	T	15.40	1.90	0.09	4	32	2	T	4	0.2
Sur	Promedio ⁽³⁾	5.66	0.83	32.69	5.60	0.94	19	97	114	2	16	2.5
	Mayor	7.71	3.34	50.20	8.70	2.16	4	211	299	4	49	7.1
	Menor	4.82	T	18.80	1.50	0.28	5	29	6	1	4	1.3

1. Promedio de 243 muestras; 2. Promedio de 403 muestras; 3. Promedio de 54 muestras

factores de las tres zonas bananeras de Costa Rica (López y Solís, 1992a).

Zona oeste

Caracterización química del suelo. Los suelos de la Zona Oeste se caracterizan por haberse formado principalmente de coladas de lava, rocas piroclásticas, rocas andesíticas, lahares pequeños, basaltos, ignibritas y cenizas y un bajo aporte de rocas sedimentarias (Dondoli et al., 1968). Debido al tipo de material parental, estos suelos se consideran de baja fertilidad.

Esta zona presenta valores de pH promedio de 5.3 que son considerados como ligeramente ácidos, sin embargo, la acidez del suelo no es un problema muy serio, pues aunque la acidez extractable promedio es alta [1.19 cmol(+)/kg], el porcentaje de saturación de ácidos promedio es relativamente bajo (13.9%). Es importante mencionar que generalmente la acidez es alta en la zona de muestreo (zona de fertilización), debido a la aplicación de fertilizantes de reacción ácida. La zona de suelo no fertilizada presenta valores de pH consistentemente más altos.

Los niveles promedio de Ca y Mg se consideran adecuados para el cultivo aunque cercanos a los valores bajos. Algunas áreas en esta zona tienen una respuesta particularmente alta a la fertilización con Ca y Mg. Los niveles de K promedio son óptimos para el cultivo.

Los contenidos promedio de P son de 15 mg/kg lo cual se considera óptimo.

En cuanto a los nutrientes menores, el Cu y el Mn están dentro de niveles considerados adecuados para el cultivo. El Zn presenta valores promedio de 1.1 mg/kg lo cual es un valor bajo. El nivel de Fe promedio (180 mg/kg) es alto y en ciertas condiciones podría ser tóxico para el cultivo.

Niveles foliares. Si bien los contenidos foliares de los nutrientes deben ser interpretados tomando en cuenta los factores analizados anteriormente en este capítulo, existe una tendencia en esta zona a presentar niveles promedio bajos en Ca (0.51%) y Mg (0.27%) como respuesta a los niveles relativamente bajos de estos nutrientes en el suelo (Cuadro 16).

El nivel promedio de K foliar responde a lo esperado pues existe un adecuado contenido del nutriente en el suelo y además las relaciones K-Ca-Mg favorecen la disponibilidad del nutriente.

Como era de esperar, los valores promedio de Zn foliar (17 mg/kg) son bajos debido a la inadecuada disponibilidad de Zn en el suelo. Los contenidos de N, P, Fe, Cu y Mn se consideran como adecuados para la nutrición del cultivo.

Cuadro 15. Relación de equilibrio K-Ca-Mg en los suelos de las zonas bananeras de Costa Rica.

Zona	Categoría	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	(Ca+Mg)/K	100K/Ca+Mg+K
Oeste	Promedio ⁽¹⁾	3.77	17.91	4.82	22.73	6.72
	Mayor	10.57	90	27.83	116.25	21.05
	Menor	1.43	2.25	0.68	3.75	0.85
Este	Promedio ⁽²⁾	4.64	95.29	23.14	118.43	1.19
	Mayor	13.73	316	132.73	413	5.43
	Menor	1.84	14.76	2.67	17.43	0.24
Sur	Promedio ⁽³⁾	8.80	51.10	6.26	57.36	2.59
	Mayor	28.33	167.50	10.69	173.93	7.28
	Menor	3.41	1.23	2.5	12.73	0.57

1. Promedio de 243 muestras; 2. Promedio de 403 muestras; 3. Promedio de 54 muestras

Cuadro 16. Contenido foliares de nutrientes de las zonas bananeras de Costa Rica.

Zona	Categoría	N	P	Ca	Mg	K	Fe	Cu	Zn	Mn
		----- % -----					----- mg/kg -----			
Oeste	Promedio ⁽¹⁾	2.40	0.17	0.51	0.27	3.56	74	11	17	252
	Mayor	3.43	0.21	1.06	0.51	4.19	134	17	34	907
	Menor	1.89	0.14	0.30	0.19	2.46	44	7	10	90
Este	Promedio ⁽²⁾	2.67	0.18	0.66	0.35	3.52	84	12	16	337
	Mayor	3.67	0.37	1.17	0.69	4.40	238	81	29	799
	Menor	2.09	0.15	0.38	0.20	2.30	52	3	8	110
Sur	Promedio ⁽³⁾	2.57	0.17	0.76	0.24	3.66	59	11	16	238
	Mayor	2.79	0.20	0.96	0.29	4.31	65	15	18	510
	Menor	2.33	0.16	0.58	0.18	3.10	49	8	13	117

1. Promedio de 243 muestras; 2. Promedio de 403 muestras; 3. Promedio de 54 muestras

Zona Este

Caracterización química del suelo. Los suelos de esta zona se han formado del arrastre de partículas provenientes de depósitos marinos clásticos finos y calizas (Dondoli et al., 1968). Se consideran de alta fertilidad natural debido al tipo de material de origen.

Esta zona tiene valores promedio de pH adecuados (5.9). La acidez intercambiable promedio es de 0.33 cmol(+)/kg, mucho más baja que en la Zona Oeste. El porcentaje de saturación de acidez apenas llega a 1.3%.

Se considera que los suelos de esta zona no tienen problemas de acidez.

Esta zona también se caracteriza por los altos contenidos de Ca y Mg en el suelo, con valores promedio de 25.05 y 5.98 cmol(+)/kg, respectivamente. Los niveles de K promedio [0.36 cmol(+)/kg] son más bajos que para la Zona Oeste, sin embargo, se consideran adecuados para la buena nutrición del cultivo. El P presenta contenidos promedio de 19 mg/kg considerados también como óptimos.

Al igual que en la Zona Oeste, esta zona tiene bajos contenidos promedios de Zn, que apenas llegan a 1.0 mg/kg. Los demás nutrientes menores analizados se encuentran en niveles óptimos excepto el Fe que presenta contenidos promedio de 119 mg/kg, considerados como altos.

Niveles foliares. Como respuesta a los altos niveles de Ca y Mg en los suelos de la zona los contenidos promedios de estos nutrientes en las hojas son adecuados (0.66% Ca y 0.35% Mg).

El K foliar presenta niveles promedio adecuados (3.52%) lo cual está de acuerdo con los niveles óptimos de K en el suelo.

Los contenidos de N, P, Fe, Cu y Mn son adecuados para el cultivo, como sucede en la Zona Oeste.

Los niveles de Zn promedio foliar son bajos (16 mg/kg) como consecuencia de los bajos niveles de Zn en el suelo.

Zona Sur

Caracterización química del suelo. Los suelos de esta zona se han formado de materiales similares a los de la Zona Este por provenir de las mismas

formaciones geológicas. Esta zona también se caracteriza por presentar un período seco muy marcado entre los meses de diciembre a abril, lo cual hace necesario utilización de riego para obtener cosechas adecuadas. Por otro lado, el potencial productivo del área es alto debido a la alta cantidad de horas de brillo solar por año (Cuadro 8).

En la Zona Sur no existen problemas de acidez debido a que los valores de pH promedio (5.9) son adecuados para el cultivo. Los valores de acidez extractable promedio [0.83 cmol(+)/kg] se consideran altos, pero el porcentaje de saturación de acidez promedio (2.3%) es bajo.

El nivel de Ca promedio [32.7 cmol(+)/kg] es bastante alto. El K también presenta valores promedio de 0.94 cmol(+)/kg considerados como relativamente altos. Los valores de Mg promedio [5.6 cmol(+)/kg] se encuentran en niveles considerados como óptimos.

Los niveles promedio de P, Fe y Mn presentan valores adecuados para el cultivo.

Aun cuando el Zn tiene valores promedios más altos que para las otras dos zonas, también se considera bajo para una buena nutrición del cultivo.

Como se explica en otras secciones de este manual, el Cu promedio del suelo en la zona sur presenta niveles muy altos (114 mg/kg). Sin embargo, existen fincas que tienen niveles adecuados de este nutriente en el suelo.

Niveles foliares. En esta zona sucede lo mismo que en la Zona Este. Los altos contenidos de Ca y K en el suelo se traducen en altos niveles de Ca y K foliares.

No sucede lo mismo en el caso del Mg. A pesar de los contenidos adecuados de Mg en el suelo, a nivel foliar los contenidos son muy bajos y es posible observar deficiencias de Mg en el campo. López y Solís (1992a) indican que este fenómeno se debe a los bajos valores de la relación Mg/K. El K (y posiblemente también el Ca) compite fuertemente con el Mg, de tal forma que la planta no puede absorber suficiente Mg. Se estima que con un valor de 6 o menos en la relación Mg/K en el suelo, la planta tiene problemas de disponibilidad de Mg.

Los contenidos de N, P, Fe y Mn en esta zona se consideran apropiados para la adecuada nutrición del cultivo.

Por otro lado, a pesar de los altos niveles de Cu en el suelo, los niveles foliares del nutrimento (11 mg/kg) son similares a los de las Zonas Este y Oeste. López y Solís (1992c) encontraron que los análisis de Cu en la raíz indican niveles promedio de 162 mg/kg, lo cual se considera alto, pues es 12 veces más de lo encontrado en fincas sin acumulación de Cu. Estos resultados indican que la planta posee un mecanismo que no permite la traslocación del Cu a los tejidos foliares donde podría ser tóxico.

Conclusiones

El estado nutricional del cultivo de banano está asociado directamente con las características edáficas de cada zona. La condición más adecuada se presenta en la Zona Este, mientras que en la Zona Oeste se presentan los mayores problemas nutricionales. Por esta razón, la fertilización se debe conducir de acuerdo con las necesidades de cada zona.

Existen desequilibrios en las relaciones K-Ca-Mg en el suelo en las tres zonas. Se nota un exceso de K con respecto a los contenidos de Ca y Mg en suelos de la Zona Oeste y de Mg en la Zona Sur. En contraste, se presenta un exceso de Ca y Mg con respecto a los contenidos de K en los suelos de la Zona Este.

Los contenidos foliares de K, Ca y Mg dependen no solo de los contenidos de cada nutrimento, sino también de las relaciones entre estos nutrimentos en el suelo. Esto es evidente en la Zona Sur donde los niveles foliares de Mg están determinados por la relación Mg/K más que por los niveles de Mg en el suelo.

Es muy importante evitar desequilibrios (especialmente de K y Ca) que se pueden presentar por altas aplicaciones de fertilizantes o enmiendas. Por esta razón no es recomendable hacer aplicaciones de cal en la Zona Este. Aun cuando en esta zona los valores de pH son bajos, los niveles de acidez extraíble y el porcentaje de saturación de acidez son bajos y los contenidos de Ca son muy altos.

En la Zona Oeste se recomienda el uso de cal dolomítica para aumentar los niveles de Ca y Mg. También puede usarse cal agrícola (CaCO_3) para suplir Ca, pero el trabajo debe complementarse con un buen programa de aplicaciones de Mg para evitar desbalances.

CAPITULO 5

FERTILIZACION DEL CULTIVO DE BANANO

El tipo y la cantidad de nutrimentos aplicados a las plantaciones bananeras dependen del contenido de cada nutrimento en el suelo. Como se mencionó en el Capítulo 4, las diferencias entre los suelos permiten establecer zonas con características químicas particulares, lo cual a su vez permite establecer ciertas normas generales de manejo de la fertilización de acuerdo con las necesidades de cada zona.

Obviamente, existen también diferencias entre suelos dentro de una misma zona, lo que obliga a realizar estudios del diagnóstico de la fertilidad de suelo en cada finca y en cada tipo de suelos dentro de la finca. Esto permite un manejo más eficiente de la fertilización y las demás prácticas de cultivo.

A continuación se discuten las normas generales de manejo de la fertilización en las zonas bananeras de Costa Rica, basándose en la zonificación general discutida en el capítulo 4.

Zonas bananeras y dosis utilizadas

Generalmente no faltan N y K en los programas de fertilización de todas las zonas, debido a los altos requerimientos de la planta de banano por estos dos nutrimentos.

En la Zona Este el programa de fertilización se basa en N y K pero el S es otro nutrimento que no debe faltar en el programa de fertilización debido a que casi siempre aparecen contenidos bajos a nivel foliar. Algunas fincas presentan niveles relativamente bajos en P y Mg por lo cual se recomienda la aplicación de estos nutrimentos.

Para la Zona Sur, además de N y K, se recomienda la aplicación de Mg debido al pobre suplemento de este elemento. Eventualmente, se recomienda la aplicación de P cuando el nutrimento se encuentra en niveles bajos en el suelo.

Desde ningún punto de vista se recomienda la aplicación de cal en las Zonas Este y Sur debido a que se pueden provocar desbalances en las relaciones K-Ca-Mg, especialmente si se aplica calcita (CaCO_3) que puede inducir deficiencias de Mg y K.

En la Zona Oeste, además de N y K, tiene especial importancia la fertilización con Ca y Mg debido a que los niveles de estos nutrimentos tienden a ser bajos en el suelo y los valores de las relaciones K-Ca-Mg tienden a desfavorecer la disponibilidad de Ca y sobre todo Mg.

De acuerdo con la información generada por investigación y con la experiencia acumulada a través de los años, se recomienda aplicar las dosis de nutrimentos descritas en los Cuadros 17 y 18.

El Cuadro 18 se utiliza para determinar las dosis de fertilización de acuerdo con los resultados de los análisis de suelos. El Cuadro 18 presenta la misma información que el Cuadro 17 pero toma en cuenta la información del análisis de suelos.

Se debe recordar que la determinación de las dosis y el tipo de fertilizante a aplicarse debe apoyarse, además de en el análisis de suelo, en otras herramientas de diagnóstico como el análisis foliar, relaciones entre cationes en el suelo y en las hojas, acidez, estado de la plantación, etc. Solamente el estudio meticuroso de los parámetros determinados con estas herramientas de diagnóstico permite hacer una recomendación de fertilización que asegure una buena nutrición del cultivo.

El uso de cantidades altas de K y Mg en banano (sobre todo en la Zona Oeste) ha hecho que en la preparación de las fórmulas completas se usen niveles de S por encima de los 300 kg/ha/año.

Un elemento acompañante que se aplica en cantidades mucho más altas que el S es el Cl, que se

Cuadro 17. Recomendación general de fertilización para las zonas bananeras de Costa Rica.

Nutrimento	Z. Este	Z. Oeste	Z. Sur
	----- kg/ha/año -----		
N	350-400	350-400	350-400
P ₂ O ₅	0-50	50-100	0-50
K ₂ O	600-700	500-700	500-600
MgO	0-50	50-200	50-200
CaO	0	560-1120	0
S	60-100	60-100	60-100

Cuadro 18. Dosis de fertilización de banano de acuerdo con los resultados del análisis de suelos.

Nutrimento	---- 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		

adiciona al aplicar cloruro de potasio como fuente de K (60% de K₂O y 47% de Cl⁻). En realidad la planta de banano necesita bajas cantidades de Cl y en ciertos casos la adición de altas cantidades de este elemento podría reducir el rendimiento. Una fórmula que utilice solo KCl como fuente de K podría adicionar entre 230 a 330 kg de Cl/ha/año. Investigación conducida en Costa Rica (López, 1993 datos sin publicar) demostró que el uso experimental de altas dosis de KCl acumula concentraciones de hasta 1% de Cl en las hojas, siendo 0.6% el contenido normal en banano (Lahav y Turner, 1992). A pesar de esto, utilizando dosis normales, no se encontró reducción en el rendimiento de las fincas, pues al igual que el sulfato, el cloruro es un anión que sale fácilmente del suelo. Para obviar posibles problemas con la aplicación de KCl, se recomienda aplicar cantidades equivalentes de sulfato de potasio (o sulfato doble de potasio y magnesio) y cloruro de potasio.

De igual manera, se sugiere utilizar fertilización foliar como un buen complemento de la fertilización al suelo. En este sentido, el Zn es un elemento particularmente importante y debe ser integrado en el programa de fertilización foliar. Se ha encontrado que el Zn generalmente se presenta en niveles deficientes en la planta en las tres zonas bananeras de Costa Rica. Se recomienda la utilización en una dosis de sulfato de zinc al 5%. También se puede aplicar Zn en forma de quelato.

Aprovechamiento óptimo de los fertilizantes

Lixiviación de los nutrimentos

Uno de los aspectos más importantes de la aplicación de fertilizantes al suelo es el alto potencial de pérdida de nutrimentos por lixiviación, debido a que las áreas donde se cultiva banano generalmente están sujetas a elevadas precipitaciones. Datos correspondientes al período comprendido entre 1980 y 1986, obtenidos en estaciones meteorológicas situadas en las zonas bananeras Este, Oeste y Sur de Costa Rica indican que los promedios anuales de precipitación son de 3018, 3719 y 3688 mm, respectivamente (López y Solís, 1992a).

Se han reportado elevadas pérdidas de nutrimentos por lixiviación en suelos dedicados al cultivo de banano en Costa de Marfil, en una zona con precipitaciones anuales de 1400 a 2000 mm (Godefroy et al., 1978). Se estimaron pérdidas anuales por hectárea de 344 kg de K, 270 kg de Ca, 210 kg de N, 105 kg de Mg y 2.2 kg de P, lo cual representa entre el 60 y el 85% del fertilizante aplicado excepto en el caso del P con el que las pérdidas son menores. Estas pérdidas se atribuyeron al drenaje excesivo, baja capacidad de intercambio de cationes [8 a 9 cmol(+)/kg], sistema radicular poco denso, superficial y afectado por nemátodos y elevada fertilización.

Un estudio de lixiviación de nutrimentos en una finca bananera de la Zona Atlántica de Costa Rica, estimó que durante 39 semanas se perdieron por hectárea 842 kg de Ca, 354 kg de Mg, 195 kg de Na, 33 kg de K, 169 kg de NO₃, 0.97 kg de NH₄, 17 kg de PO₄, 1657 kg de Cl, 48 kg de B, 4.5 kg de Zn, 1.4 kg de Mn y 0.7 kg de Cu (González, 1989).

Flores (1994) determinó una alta correlación entre la precipitación y la pérdida de nutrimentos en suelos dedicados al cultivo de banano en la Zona Atlántica de Costa Rica. El catión que se lixivió en mayor cantidad fue el Ca (348 kg de CaO/ha/año) seguido por el Mg (103 kg de MgO/ha/año).

Fraccionamiento de los fertilizantes

Para evitar las altas pérdidas de nutrimentos por lixiviación se recomienda fraccionar la aplicación de fertilizantes en el mayor número de veces posible al

año, manteniendo o disminuyendo la dosis total empleada por hectárea. Pacheco et al. (1986), trabajando en un suelo de origen volcánico de Costa Rica, encontraron que al fraccionar la fertilización nitrogenada las pérdidas de N disminuyeron apreciablemente. El problema de pérdidas por lixiviación es particularmente importante en los suelos livianos. La zona al Oeste del Río Reventazón, especialmente las fincas cercanas al pie de monte, tienen suelos muy livianos cuya principal limitación es la baja capacidad de retención de nutrientes.

En las plantaciones bananeras de Costa Rica, la tendencia de los últimos años ha sido la de aumentar el número de ciclos de aplicación de fertilizantes y disminuir la dosis total aplicada. Hace pocos años se utilizaban cuatro ciclos de fertilización al año en la Zona Atlántica de Costa Rica. El número de ciclos ha ido aumentando a través de los años, de tal forma que actualmente se utilizan por lo general de 10 a 13 ciclos/ha/año. Algunas fincas han llegado a fraccionar el fertilizante hasta en 26 ciclos/ha/año (fraccionamiento quincenal).

Se ha estimado que se puede lograr una reducción del 25% o más en la cantidad total de fertilizante aplicado si éste se fracciona quincenalmente. Si se toma en cuenta que el costo del fertilizante es aproximadamente el 80 a 90% del costo total de fertilización, el ahorro puede ser considerable. Al fraccionar la aplicación de fertilizantes tantas veces como sea posible se reduce la probabilidad de quemar las raíces y se elimina el potencial de contaminación de la tabla de aguas, particularmente con N.

La modalidad de fraccionamiento depende fundamentalmente de las condiciones climáticas del tipo de suelo de cada zona y de la disponibilidad de mano de obra.

Tipos de fertilizantes

El principio fundamental de la fertilización en el cultivo de banano es proveer a la planta, a través de todo el ciclo de vida, los nutrientes necesarios para el crecimiento y producción. En el Capítulo 2 se analizaron las fuentes de fertilizantes corrientemente empleadas, tanto en la fertilización al suelo como foliar. En esta sección se discute de que forma se puede aplicar las fuentes requeridas.

La fertilización alternada con KCl en un ciclo y urea

en el otro no es una estrategia adecuada, pues no toma en cuenta el hecho de que la planta requiere todo el tiempo tanto de K como de N para mantener una adecuada nutrición y producción. Una mejor estrategia en el cultivo de banano es el uso de fórmulas completas, ya sean físicas o químicas, que llenen todas las necesidades nutricionales de la planta en el momento de la aplicación.

Fórmulas físicas

Las fórmulas físicas son una mezcla mecánica de los gránulos de las diferentes fuentes de nutrientes. Cada gránulo contiene solamente los nutrientes presentes en esa fuente.

Los porcentajes de cada elemento en la fórmula dependen de la recomendación. Algunos ejemplos de este tipo de fórmulas son 14-2-25-7 (26% SO_4^{2-}) y 17-4-29 (11% SO_4^{2-}). Por convención, los números corresponden al porcentaje de N, P_2O_5 , K_2O y MgO en la fórmula. Si se aplican otros elementos, como S, deben identificarse claramente para evitar confusiones.

La gran ventaja de las fórmulas físicas es la flexibilidad de preparar la fórmula en pequeños volúmenes, con el balance nutricional apropiado para satisfacer las necesidades del cultivo en cada tipo de suelo.

Fórmulas químicas

Las fórmulas químicas tienen, en cada gránulo de fertilizante, los porcentajes exactos de nutrientes especificados por la fórmula. Se denominan fórmulas químicas porque se manufacturan mediante procesos químicos. Las fórmulas químicas más comunes en el cultivo de banano son: 15-3-25-6 y 15-3-31.

Fertilizantes de liberación lenta o controlada

Otra alternativa de mucho futuro, para disminuir pérdidas de fertilizantes en las zonas lluviosas, es la utilización de fertilizantes de liberación lenta o controlada.

Este tipo de fertilizantes se usa básicamente para evitar las pérdidas de N, uno de los elementos más sensibles a perderse por lixiviación. Estos materiales liberan lentamente los elementos de tal forma que la planta tiene una disponibilidad constante del elemento a través del tiempo.

El término fertilizantes de liberación controlada se usa en aquellos fertilizantes recubiertos en los que la liberación es controlada por el grosor y composición del recubrimiento (Hauck, 1985). La urea recubierta con azufre (flor de azufre) es un fertilizante de liberación lenta de amplio uso en el mundo.

Jaramillo y Bazán (1976) compararon el efecto de la úrea recubierta con azufre (38% N y 14% S) contra urea regular (46% N) en la Zona Atlántica de Costa Rica, encontrando un aumento del 18% en el rendimiento al usar urea recubierta con azufre.

En un ensayo realizado en suelos livianos de la misma zona, se encontró que con el uso de fertilizantes de liberación controlada se puede usar el 75% de la dosis corrientemente aplicada y obtener resultados similares (López, 1993 datos sin publicar).

Ciclaje de nutrientes y fertilización

El conocimiento de las ganancias y pérdidas de nutrientes en una plantación bananera es de vital importancia para el manejo de la fertilización (Figura 60). Una discusión de las pérdidas y ganancias de un suelo dedicado al cultivo de banano se presenta a continuación.

Salida de nutrientes

Remoción de nutrientes con la fruta

La remoción de nutrientes del campo se estima con base en el peso total de la producción y en el porcentaje de elementos en la fruta. Los nutrientes presentes en otras partes de la planta como hojas y pseudotallo no se incluyen ya que regresan al suelo.

Pérdidas por lixiviación y escorrentía superficial

En zonas de alta precipitación las pérdidas por lixiviación son considerables. Estas pérdidas llegan a alcanzar del 60 al 85% del fertilizante aplicado (Godefroy et al., 1978). Obviamente, las pérdidas más fuertes ocurren en la época lluviosa. En esta época se deben tomar medidas para evitar la pérdida de nutrientes. Además las pérdidas de nutrientes por escorrentía superficial pueden ser significativas en zonas de pendiente.

Ganancias de nutrientes

Fertilización y suelo

Las dos fuentes principales de nutrientes del cultivo son el suelo y los fertilizantes. Los niveles de

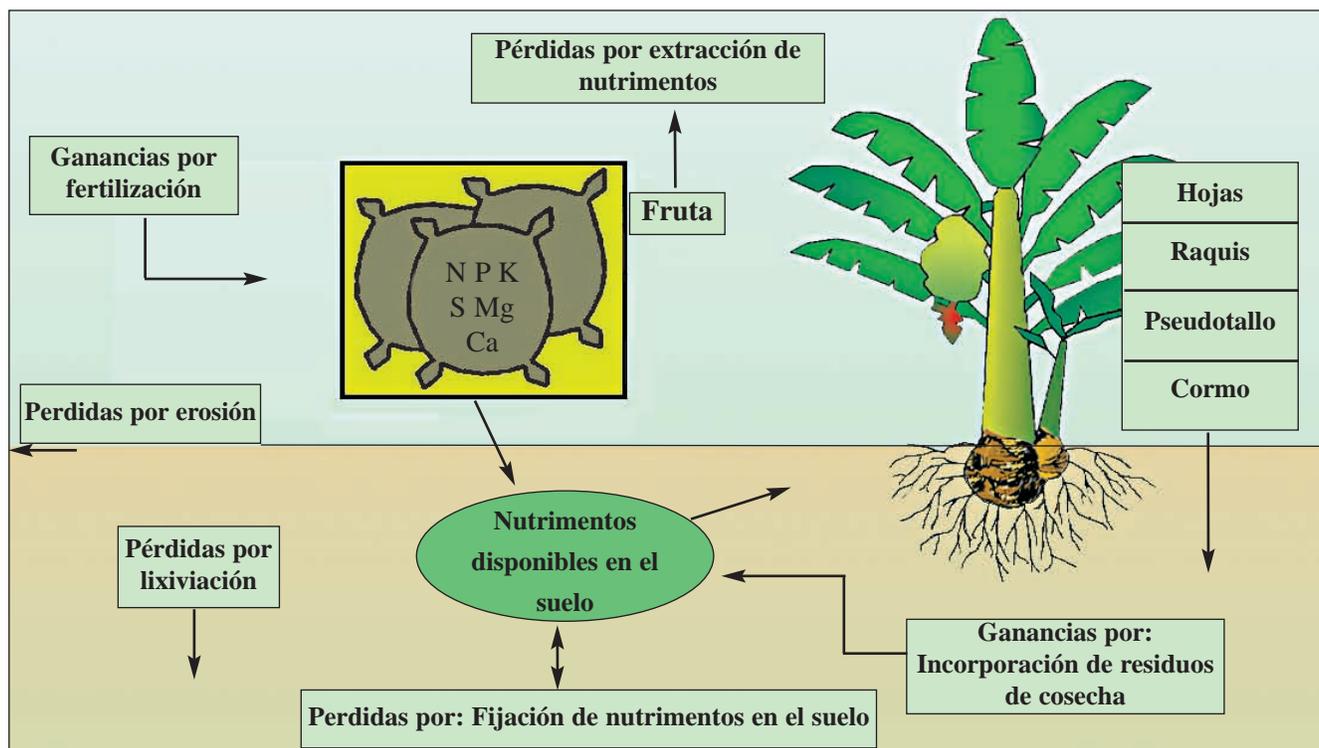


Figura 60. Ciclaje de nutrientes en el cultivo de banano.

nutrimentos del suelo tienden a disminuir debido a la extracción por parte del cultivo y a las pérdidas por lixiviación.

La estrategia que se utiliza en la mayoría de plantaciones busca reponer, por medio de la fertilización, por lo menos las mismas cantidades de nutrimentos perdidas o extraídas del sistema.

Los Cuadros 19 y 20 presentan ejemplos de cálculos de pérdidas y ganancias de nutrimentos en dos fincas de Costa Rica. A pesar de que se desconocen las pérdidas exactas por lixiviación en las fincas y se usan datos de otras áreas bananeras y se emplean datos de pérdidas de nutrimentos en la cosecha reportados en otros sitios, este ejercicio permite acumular una idea clara del ciclo de nutrientes en la finca y más importante aún, permite evaluar el efecto del manejo en la disponibilidad de nutrimentos a través de los años. Actualmente se conduce investigación en Costa Rica que permitirá conocer con más precisión las pérdidas por lixiviación en condiciones locales y se puede fácilmente determinar en la finca las pérdidas de nutrimentos en la cosecha y los aportes por fertilización. Con esta información se pueden calcular de forma bastante aproximada las pérdidas y ganancias de nutrientes de cada finca en particular.

El balance de pérdidas y ganancias de la plantación

ubicada en la Zona Bananera Este de Costa Rica indica que la mayoría de nutrimentos tienen disponibilidad positiva, lo cual indica una buena nutrición para el cultivo. Se observa que las cantidades de algunos nutrimentos como el Ca y el Mg son muy altas y no deben ser aplicadas. El N tiene una disponibilidad negativa lo que indica que debe ser utilizado en el programa de fertilización para obtener una buena nutrición del cultivo. En cuanto al K es conveniente mantener el nivel del elemento en el suelo mediante la aplicación de este nutrimento en el programa de fertilización, ya que la extracción de este elemento en la cosecha y los residuos es alta.

El Cuadro 20 presenta el balance realizado en una plantación en la Zona Bananera Oeste de Costa Rica. El único elemento que presenta una disponibilidad negativa es Zn. En muchas fincas de esta zona, elementos como el Ca y Mg son críticos y deben ser utilizados en los programas de fertilización. Aun cuando en esta plantación la disponibilidad de K para la planta es alta, se debe aplicar este nutrimento, junto con el N, para mantener la adecuada nutrición mineral del cultivo.

Fertilización

La planta de banano requiere de humedad adecuada y permanente en el suelo para el normal funcionamiento fisiológico (Soto, 1992). En algunas zonas bananeras

Cuadro 19. Balance nutricional de una finca de la Zona Bananera Este de Costa Rica. Cálculo basado en la disponibilidad de nutrimentos en el suelo y en la exportación de nutrimentos en la fruta cosechada.

Nutrim.	Ganancia de elementos			Pérdida de elementos			Balance
	Disp. en el suelo (0-30 cm)	Aporte de fertilización anterior	Disp. total	Pérdida en la fruta ¹	Pérdida por lixiviación ²	Pérdida total	Disp. final
	----- kg/ha -----						
N	-	225.4	225.4	126.2	210.0	336.2	-110.8
P	39.6	28.5	68.1	14.5	2.2	16.7	51.4
K	532.0	313.7	845.7	399.0	344.0	743.0	102.7
Ca	22704.0	-	22704.0	10.2	270.0	280.2	22423.8
Mg	2007.1	8.1	2015.2	20.3	105.0	125.3	1889.9
Fe	233.2	-	233.2	1.6	-	1.6	231.6
Cu	30.8	-	30.8	0.3	-	0.3	30.5
Zn	4.4	-	4.4	0.8	-	0.8	3.6
Mn	39.6	-	39.6	0.8	-	0.8	38.8

- 1 Pérdidas estimadas con base en la producción de 70 ton de fruta/ha/año, utilizando los parámetros reportados por Marchal y Mallesard (1979) para los elementos mayores y por Lahav y Turner (1992) para los elementos menores.
- 2 Pérdidas por lixiviación tomadas de Godefroy et al. (1978).

Cuadro 20. Balance nutricional de una finca de la Zona Bananera Este de Costa Rica. Cálculo basado en la disponibilidad de nutrimentos en el suelo y en la exportación de nutrimentos en la fruta cosechada.

Nutrim.	Ganancia de elementos			Pérdida de elementos			Balace
	Disp. en el suelo (0-30 cm)	Aporte de la fertilización anterior	Disp. total	Pérdida en la fruta ¹	Pérdida por lixiviación ²	Pérdida total	Disp. final
	----- kg/ha -----						
N	-	413.4	413.4	104.4	210.0	314.4	99.0
P	77.4	81.0	158.4	12.0	2.2	14.2	144.2
K	1098.2	587.0	1685.2	330.0	344.0	674.0	1011.2
Ca	3511.2	397.6	3908.8	8.4	270.0	278.4	3630.4
Mg	825.2	93.6	918.8	16.8	105.0	121.8	797.0
Fe	901.0	-	901.0	1.4	-	1.4	899.6
Cu	34.8	-	34.8	0.3	-	0.3	34.5
Zn	0.4	-	0.4	0.7	-	0.7	-0.3
Mn	79.4	-	79.4	0.7	-	0.7	78.7

1 Pérdidas estimadas con base en la producción de 50 ton de fruta/ha/año, utilizando los parámetros reportados por Marchal y Mallesard (1979) para los elementos mayores y por Lahav y Turner (1992) para los elementos menores.
2 Pérdidas por lixiviación tomadas de Godefroy et al. (1978).

del mundo es necesario utilizar riego debido a que se presenta un déficit hídrico en ciertas épocas del año.

En la Zona Atlántica de Costa Rica no se utiliza riego para cultivar el banano debido a que existe una buena cantidad de lluvias a través del año. Aún en los meses menos lluviosos (febrero, marzo y abril) generalmente ocurren lluvias mensuales de más de 100 mm. En Costa Rica se utiliza riego únicamente en la Zona Sur, debido a que se presenta un déficit hídrico en los primeros meses del año. Sin embargo, en algunos sitios de la Zona Atlántica, que presentan suelos livianos o menor cantidad de lluvias, podría ser necesario el uso de riego.

La gran ventaja del uso de irrigación es la posibilidad de utilizar fertilizantes con el agua de riego. Esta forma de aplicación de fertilizantes se conoce como FERTIGACION (FERTILIZACIÓN + irriGACION). Se ha demostrado que la fertigación es más eficiente que la fertilización convencional en muchos cultivos debido a que la planta aprovecha mejor los nutrimentos (Halevy y Bazelet, 1992).

Fertilización con abonos orgánicos

El uso de abonos orgánicos como complemento de la fertilización química, es una práctica

corriente en algunas zonas bananeras del mundo. La materia orgánica mejora la estructura del suelo, aumenta la capacidad de retención de nutrimentos y funciona como estimulante del sistema radicular. Lahav y Turner (1992) mencionan el uso de hasta 500 ton de materia orgánica/ha/año en el cultivo de banano. En Israel, Lahav (1972) encontró muy buenos resultados con el uso de 80 ton/ha/año de residuos de establo en combinación con fertilizantes minerales.



Figura 61. Plantación "in vitro" de tres años de edad con buen desarrollo, creciendo en suelos ácidos de baja fertilidad natural tratados a la siembra con 7 ton/ha de materia orgánica y 3 ton/ha de calcita.



Figura 62. Aplicación de raquis de fruta picado en un área de suelos livianos.

En Costa Rica esta práctica no está generalizada pero en algunas fincas donde se usan abonos orgánicos como complemento de la fertilización mineral, se han obtenidos buenos resultados.

De igual manera, la utilización de cantidades grandes de materia orgánica (hasta 7 ton/ha conjuntamente con 3 ton/ha de calcita), en áreas pequeñas de lomas rojas ha dado resultados excelentes (Figura 61). Son necesarios estudios complementarios que evalúen la efectividad del uso de materiales orgánicos como complemento de la fertilización química. El uso de este tipo de enmiendas está limitado por el alto costo del transporte y aplicación del material orgánico.

Los residuos de cosecha generados del cultivo de banano pueden ser aprovechados como abono orgánico, sobretodo el raquis y fruta de rechazo. Esta es una excelente alternativa que actualmente está siendo utilizada por algunas fincas bananeras de Costa Rica (Figura 62).

BIBLIOGRAFIA

- Abruña, F., J. Vicente-Chandler, and R. Pearson, 1970. Crop response to soil acidity factors in Ultisols and Oxisols. I. Tobacco. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34:629-635.
- Arias, O. y M. Valverde, 1987. Producción y variación somaclonal de plantas de banano variedad Grande Naine producidas por cultivo de tejidos. ASBANA. 11(28):6-11.
- Arias, H. 1984. Respuesta del banano (Musa AAA), subgrupo Cavendish "Gran Enano", a dosis crecientes de sulfato de potasio en un suelo Oxic Dystropets de Río Jiménez, Provincia de Limón. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica. 89 p.
- Bayona, R. 1986. Observaciones de 8 años sobre el comportamiento del manganeso (Mn) en la región bananera de Urabá, Colombia. In: Memoria IV Reunión sobre Agrofisiología del Banano. San José, Costa Rica. p 73-74.
- Bertsch, F. 1986. Manual para interpretar la Fertilidad de los Suelos. Oficina de publicaciones de la Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 81 p.
- Beugnon, M. and J. Champion. 1966. Etude sur les racines du bananier. Fruits 21(7):309-327.
- Bhangoo, M., F. Altman, and M. Karon. 1962. Investigations on the Giant Cavendish Banana. I. Effect of nitrogen, phosphorus, and potassium on fruit yield in relation to nutrient content of soil and leaf tissue in Honduras. Trop. Agric. Trin. 39:189-201.
- Black C. A. 1967. Soil-Plant Relationships. II edition. Wiley Ed. New York.
- Bornemisza, E. 1990. Problemas del azufre en suelos y cultivos de Mesoamérica. Editorial de la Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 101 p.
- Cain, J. C. 1956. Adsorption and metabolism of urea by leaves of coffee, cocoa and banana. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 67, 279-286.
- Canchano, F. 1992. El manejo de los suelos salinosódicos bajo el cultivo de banano en la zona bananera del Magdalena, Colombia. Memoria II. Seminario-Taller Internacional sobre Fertilidad y Nutrición en Banano y Plátano. p. 170-184.
- Cardeñosa-Barriga, R. 1962. La "rayadilla" del plátano en Colombia. Turrialba 12:118-127.
- Cordero, A. y G. Ramírez. 1979. Acumulamiento de Cu en los suelos del Pacífico Sur de Costa Rica y sus efectos detrimentales en la Agricultura. Agronomía Costarricense. 3(1):63-78.
- Cooil, B. and K. Shoji. 1953. Studies reduce banana chlorosis. Hawaii Fm. Sci. 1:1-18.
- Champion, J. and P. Olivier. 1961. Etudes préliminaires sur les racines du bananier. Fruits 16(7):371-374.
- Charpentier, J. and P. Martín-Prével. 1965. Culture sur milieu artificiel carence atténuées ou temporaires en éléments majeurs, carence en oligo-éléments chez le bananier. Fruits 20:521-557.
- Delvaux, B. 1989. Rôle des constituants de sols volcaniques et de leurs propriétés de change dans le fontionnement de l'agrosystème bananier ou Cameroun. Fruits 44(6):309-319.
- Devlin, R. 1982. Fisiología Vegetal. Cuarta edición. Barcelona, España. Editorial Omega S.A. 516 p.
- Dondoli, C., et al. 1968. República de Costa Rica, mapa Geológico de Costa Rica, San José, Dirección de Geología, Minas y Petróleo. Esc 1:700000, color.
- Espinosa, J. 1993. Potential for maximum yield research in Latin America (The case of Banana). In: J. Jiyum (ed). Proceedings of the Third International Symposium on Maximum Yield Research. Potash and Phosphate Institute and Soil and Fertilizer Institute of the Chinese Academy of Agricultural Sciences. China Agricultural Sciencetech Press.

- Espinosa, J. 1994. Relación entre la clasificación y la fertilidad de los suelos. In: Silva, F. (ed.) Fertilidad de suelos: diagnóstico y control. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá, Colombia. p. 113-128.
- Espinosa, J. 1994. Acidez y encalado de los suelos. In: Silva, F. (ed.) Fertilidad de suelos: diagnóstico y control. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá, Colombia. p. 129-136.
- Fassbender, H. 1982. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Tercera reimpresión. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 398 p.
- Flores, C. 1991. Respuesta del cultivo de banano (Musa AAA) subgrupo Cavendish, Clon Valery, a la fertilización con sulfatos ($SO_4^{=}$). In: Informe Anual Corporación Bananera Nacional S. A. San José, Costa Rica. p 41 - 44.
- Flores, C. 1991. Respuesta del cultivo de banano (Musa AAA) a diferentes formas de colocación de fertilizante. In: Resúmenes de X ACORBAT, TABASCO, México p. 59.
- Flores, C. 1994. Pérdida de cationes y aniones en suelos bananeros de la Zona Atlántica de Costa Rica. In Resúmenes de XI ACORBAT. San José, Costa Rica.
- Fox, R., B. Kang, and G. Wilson. 1979. A comparative study of the sulfur nutrition of banana and plantain. *Fruits* 34:525-534.
- Foy, C. 1974. Effects of aluminum on plant growth. In: E.W. Carson. The plant root and its environment. University Press of Virginia. Charlottesville. p. 601-642.
- García, V., A. Díaz, E. Fernandes-Caldas, y J. Robles. 1976. Factores que afectan la disponibilidad del potasio en los suelos de plátano de Tenerife. *Agrochimica*. 12:1-7.
- Garita, R. 1980. Respuesta del banano (Cultivar "Valery") a dosis crecientes de potasio en suelos de la zona de Guápiles. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica. 137 p.
- Ghavami, M. 1976. Banana plant response to water table levels. *Transactions of the ASAE*. 19:675-677.
- Godefroy, J., E. Roose, and M. Muller. 1975. Estimation des pertes par les eaux de ruissellement et de drainage des éléments fertilisants dans un sol de bananeraie du sud de la Côte d'Ivoire. *Fruits* 30(4):223-235.
- Godefroy, J. and J. Guillemot. 1975. Action comparée des apports d'urée et de sulfate d'ammonium sur les caractéristiques chimiques d'un sol de bananeraie. *Fruits* 30(1):3-10.
- Godefroy, J., A. Lassoudiere, P. Lossois, and J. Penel. 1978. Action du chaulage sur les caractéristiques physico-chimiques et la productivité d'un sol tourbeaux en culture bananière. *Fruits* 33:77-90.
- Guerrero, R. y J. Gadbán. 1992. Respuesta del banano a las aplicaciones foliares de KNO_3 y a la fertirrigación 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.
- González, P. 1989. Determinación de las pérdidas de aniones y cationes en el agua de drenaje subterráneo en un suelo bananero. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica. 138 p.
- Halevy, J. y M. Bazelet. 1992. Fertilización del algodón para rendimientos altos. IPI-INPOFOS. Quito, Ecuador.
- Hasselo, H. 1961. Premature yellowing of Lacatan bananas. *Trop. Agric. Trin.* 38:29-34.
- Hardy, F. 1970. Edafología Tropical. I Edición en español. Herrera Hermanos, Sucesores, S.A. México. 416 p.
- Hauck, R. 1985. Slow-Release and Bioinhibitor-Amended Nitrogen Fertilizers. In: Fertilizer Technology and Use. SSSA. p. 293-319.
- Hernández, M. 1985. Respuesta del banano clon "Gran Enano" a la fertilización potásica en un suelo Typic Dystropepts de Cariari, Cantón de Pococí. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica.

- Herrera, W. 1989. Respuesta del cultivo de banano (Musa AAA), subgrupo Cavendish, Clon Gran Enano, a la fertilización con dosis crecientes de nitrógeno. In: Informe Anual, Asociación Bananera Nacional S. A. San José, Costa Rica. p 23-25.
- Instituto de la Potasa y el Fósforo. 1988. Manual de fertilidad de suelos. Primera impresión en español. Atlanta, Georgia, EE.UU. 85 p.
- Instituto de la Potasa y el Fósforo. 1993. Diagnóstico del estado nutricional de los cultivos, Quito, Ecuador. 55 p.
- Israeli, Y., E. Lahav, and N. Nameri. 1986. The effect of salinity and sodium absorption ratio in the irrigation water on growth and productivity of bananas under drip irrigation conditions. *Fruits*. 41:297-301.
- Jaramillo, R. y R. Bazán. 1976. Efecto de urea y urea-azufre en la producción de banano "Giant Cavendish" en Guápiles, Costa Rica. *Turrialba* 26(1):90-94.
- Jaramillo, R. y A. Vázquez. 1990. Manual de Procedimientos para presentación y realización de estudios detallados de suelos y clasificación de tierras para el cultivo del banano. Mimeografiado. Edición revisada. Departamento de Investigaciones, Asociación Bananera Nacional. San José, Costa Rica. 29 p.
- Jiménez, T. 1972. Génesis, clasificación y capacidad de uso de algunos suelos de la Región Atlántica de Costa Rica. *Teis Ing. Agr. Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica*. 180 p.
- Jordine, C. 1962. Metal deficiencies in banana. *Nature*. 194:1160-1163.
- Kamprath, E. 1970. Exchangeable aluminum as a criterion for liming leached mineral soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 34:252-254.
- Lacoeuilhe, J. and J. Godefroy. 1971. Un cas de carence en phosphore en bananeraie. *Fruits* 26(10):659-662.
- Lahav, E. 1972. Effect of different amounts of different amounts of potassium on the growth of the banana. *Trop. Agric. Trin.* 49:321-335.
- Lahav, E. y D.W. Turner. 1992. Fertilización del banano para rendimientos altos. Segunda edición. Boletín No.7. Instituto de la Potasa y el Fósforo. Quito, Ecuador. 71 p.
- Lara, F. 1970. Problemas y procedimientos bananeros en la Zona Atlántica de Costa Rica. Imprenta Hnos. Trejos. San José, Costa Rica. 278 p.
- Lavillè, E. 1964. Etude de la mycoflore des racines du bananier "Poyo". I. Etude du système racinaire. *Fruits* 19(8):435-449.
- López, A. 1990. Respuesta del cultivo de banano (Musa AAA), subgrupo Cavendish, clon Gran Enano, a dos dosis de nitrógeno y fósforo y tres de potasio. In: Informe Anual Corporación Bananera Nacional S. A. San José, Costa Rica. p 55-59.
- López, A. 1990. Respuesta del cultivo de banano (Musa AAA) subgrupo Cavendish, clon Valery, a la fertilización cálcica y magnésica. In: Informe Anual Corporación Bananera Nacional. S.A. San José, Costa Rica. p 52-54.
- López, A. 1991. Fertilización del cultivo de banano con diferentes dosis de nitrógeno, fósforo y potasio. In: Informe anual, Corporación Bananera Nacional S.A. San José, Costa Rica. p 35-36.
- López, A. 1991. Respuesta del cultivo de banano a dosis crecientes de KNO₃. In: Informe Anual Corporación Bananera Nacional S.A. San José, Costa Rica. p 37-38.
- López, A. y P. Solís. 1992. Contenidos e interacciones de los nutrimentos en tres zonas bananeras de Costa Rica. *CORBANA (C.R.)* 15(36):25-32.
- López, A. y P. Solís. 1992. Síntomas de deficiencias minerales en el cultivo de 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. y P. Solís. 1992. Acumulación de cobre en suelos dedicados al cultivo de banano en el Pacífico sur de Costa Rica. I Estado actual de las plantaciones CORBANA (C.R.). 16(38): 9-19.

- López, A. 1994. Interpretación de los análisis químicos de suelos y foliares en el cultivo de 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, C. 1983. Diagnóstico del estado nutricional de plantaciones bananeras. *ASBANA* 6(19):13-16 y 18.
- Malavolta, E. 1994. Diagnóstico foliar. In: Silva, F. (ed) Fertilidad de Suelos: Diagnóstico y control. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá, Colombia. p 59-98.
- Malavolta, E. 1994. Relación entre el fósforo y el zinc. *INPOFOS*. Informaciones Agronómicas 15:6-7.
- Marchal, J. and E. Foure. 1983. Un cas de toxicité du manganèse chez des bananier plantains au Gabon. *Fruits*. 38:153-160.
- Marchal, J. y Mallesard, R. 1979. Comparaison des immobilisations minérales de quatre cultivars de bananiers á fruits pour cuisson et de deux "cavendish". *Fruits* 34(6):373-392.
- Marchal, J., P. Martín-Prével, and Ph. Melin. 1972. Le soufre et le bananier. *Fruits* 27(3):167-177.
- Martín-Prével, P. y J. Charpentier. 1964. Síntomas de carencia de seis elementos minerales en el banano. *Fertilité* 22:15-50.
- Martín-Prével, P. 1974. Les méthodes d'échantillonnage pour l'analyse foliaire du bananier: Résultats d'une enquête internationale et propositions en vue d'une référence commune. *Fruits* 29:583-588.
- Martín-Prével, P. 1978. Effects of magnesium and potassium nutrition on phosphorus uptake and redistribution in a cultivated plant, *Musa* sp. In: Plant Nutrition 1978. Proc. 8th Int Colloq. Plant Anal. and Fertil. Problems, Auckland. p 329-338.
- Martín-Prével, P. 1987. Banana. In: Plant Analysis as a guide to the nutrient requirements of temperate and tropical crops. Lavoisier Public. New York. EEUU. p 637-670.
- Menguel, K. and E. Kirkby. 1979. Principles of plant nutrition. 2da. Edición. Instituto Internacional de la Potasa, Berna, Zuisa. 593 p.
- Mohan, N. and V. Madhava-Rao. 1986. Tracer studies to determine the active root zone in banana. In: Memoria IV Reunión sobre Agrofisiología del Banano. San José, Costa Rica. p 79-83.
- Moity, M. 1954. La carence en zinc sur le bananier. *Fruits* 9:354.
- Moity, M. 1961. La carence en cuivre des "tourbières du Niéký" (Côte d'Ivoire). *Fruits* 16(8):399-401.
- Moreira, R. 1969. Calagem melhora producao de banana. *COOPERCOTIA*. 26:21-23.
- Murray, D. 1959. Deficiency symptoms of the major elements in the banana. *Trop. Agric. Trin.* 36:100-107.
- Murray, D. 1960. The effect of deficiencies of the major nutrients on growth and leaf analysis of the banana. *Trop. Agric. Trin.* 37:97-106.
- Norton, K. R. 1965. Boron deficiency in bananas. *Tropical Agriculture (Trinidad)*. 42(4):361-365.
- Pacheco, R., M. González, y J. Briceño. 1986. Efecto del fraccionamiento de la fertilización nitrogenada en la lixiviación de nitrato, potasio, calcio y magnesio en un Andept de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 10(1/2):129-138.
- Pizarro, F. 1985. Drenaje Agrícola y Recuperación de Suelos Salinos. Editorial Agrícola Española S. A. Madrid. 521 p.
- Sánchez, P. 1981. Suelos del Trópico. Características y manejo. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 634 p.
- Sarasola, A. y M. Rocca. 1975. Fitopatología. Curso Moderno, Tomo V. Fisiogénicas-Prácticas en Fitopatología. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 285 p.
- Soto, M. 1992. Bananos, Cultivo y Comercialización. Segunda edición, Imprenta Lil. San José, Costa Rica. 674 p.

- Stover, R. 1972. Banana, Plantain and Abaca Diseases. Comm. Mycol. Institute. Kew.
- Stover, R. y N. Simmonds. 1987. Bananas. 3rd edition. Longman, London. 468 p.
- Tisdale, S., W. Nelson, J. Beaton y J. Havlin. 1993. Soil fertility and fertilizers. MacMillan Publishing Company. New York, EEUU. 634 p.
- Turner, D. 1988. The interpretation of leaf analysis results in bananas. In: Memoria Primer Seminario-taller sobre Nutrición y Fertilidad en Banano. San José, Costa Rica.
- Turner, D., C. Korawis, and A. Robson. 1988. Soil analysis and its relationship with leaf analysis and banana yield with special reference to a study at Carnarvon, WA. In: Memoria Primer Seminario-taller sobre Nutrición y Fertilidad en Banano. San José, Costa Rica.
- Turner, D. and B. Barkus. 1981. Nutrient concentrations in a range of banana varieties grown in the subtropics. *Fruits*. 36:217-222.
- Turner, D. and B. Barkus. 1983. Long-term nutrient absorption rates and competition between ions in Banana in relation to the supply of K, Mg and Mn. *Fert. Res.* 4:127-134.
- Twyford, I. and D. Walmsley. 1968. The status of some micronutrients in healthy Robusta banana plants. *Trop. Agric. Trin.* 45: 307-315.
- Twyford, I. and D. Walmsley. 1974. The mineral composition of the Robusta banana plant. III. Uptake and distribution of mineral constituents. *Plant and Soil.* 41(3):471-491.
- Villagarcia, S. 1973. Aluminum tolerance in the Irish potato and the influence of substrate aluminum on growth and mineral nutrition of potatoes. Ph. D. Thesis North Carolina State University, Raleigh. 200 p.
- Walmsley, D. and I. Twyford. 1968. The zone of nutrient uptake by the Robusta Banana. *Trop. Agric. Trin.* 45(2):113-117.
- Walmsley, D. and I. Twyford. 1968. The uptake of ³²P by Robusta Banana. *Trop. Agric. Trin.* 45(3):223-228.
- Walmsley, D. and I. Twyford. 1976. The mineral composition of the banana plant. V. Sulphur, iron, manganese, boron, zinc, copper, sodium and aluminum. *Plant and Soil.* 45:595-61.
- Ziv, D. 1954. Chlorosis of bananas and other plants in Jordan Valley due iron deficiency. Hassadeh.

Manual de Nutrición y Fertilización del Banano

Apéndice 1. Factores de conversión.

Para convertir Columnas 1 en 2 Multiplicar por	Columna 1	Columna 2	Para convertir Columna 2 en 1 Multiplicar por
MEDIDAS DE LONGITUD			
1.094	Metro (m)	Yarda	0.914
1.19	Metro (m)	Vara	0.84
10^6	Metro (m)	Micrón(μ)	10^{-6}
10^9	Metro (m)	Nanómetro (nm)	10^{-9}
10^{10}	Metro (m)	Angstrom (Å)	10^{-10}
MEDIDAS DE SUPERFICIE			
2.496	Hectárea (ha)	Acre	0.405
10000	Hectárea (ha)	Metro cuadrado (m ²)	10^{-4}
3.86×10^{-3}	Hectárea (ha)	Sección	259
0.699	Hectárea (ha)	Manzana	1.43
MEDIDAS DE VOLUMEN			
1000	Metro cúbico (m ³)	Litro (L)	10^{-3}
6.10×10^4	Metro cúbico (m ³)	Pulgada cúbica	1.64×10^{-5}
0.265	Litro (L)	Galón	3.78
33.78	Litro (L)	Onza Líquida	2.96×10^{-2}
2.114	Litro (L)	Pinta líquida	0.473
MEDIDAS DE PESO			
1	Megagramo (Mg)	Tonelada métrica (ton)	1
1000	Megagramo (Mg)	Kilogramo (kg)	10^{-3}
2.205	Kilogramo (kg)	Libra (lb)	0.454
0.088	Kilogramo (kg)	Arroba (@)	11.34
0.022	Kilogramo (kg)	Quintal(qq)	45.36
3.9×10^{-3}	Kilogramo (kg)	Fanega	255
MEDIDAS DE CONCENTRACION			
1	Centimoles de carga/kilogramos [cmol(+)/kg]	Miliequivalentes/100 gramos (meq/100g)	1
0.1	Gramos/kilogramo (g/kg)	Porcentaje (%)	10
1	Miligramos/kilogramos (mg/kg)	Partes por millón (ppm)	1
CONVERSION DE NUTRIMENTOS			
0.4364	P ₂ O ₅	P	2.2914
0.7242	H ₃ PO ₄	P	1.3808
0.8302	K ₂ O	K	1.2046
0.7147	CaO	Ca	1.3992
0.6031	MgO	Mg	1.6581
0.3334	SO ₄	S	2.9959
0.3106	B ₂ O ₃	B	3.2199
0.7988	CuO	Cu	1.2519
0.6994	Fe ₂ O ₃	Fe	1.4298
0.7745	MnO	Mn	1.2912
0.6665	MoO	Mo	1.5004
0.8033	ZnO	Zn	1.2448

Apéndice 3. Hojas informativas de la condición general de la plantación.

(Hoja # 2)

PROBLEMAS POR INCIDENCIA DE MALEZAS
Leves _____ Moderados _____ Severos _____ Tipo de maleza predominate: _____
Programa de aplicaciones de herbicidas del año en curso _____
Uso de coberturas vivas NO _____ SI _____ Años de uso _____ Nombre de la cobertura _____
PROBLEMAS POR INCIDENCIA DE SIGATOKA NEGRA
Leves _____ Moderados _____ Severos _____
Número de hojas sanas a la parición _____ Número de hojas sanas a la cosecha _____ Número de racimos perdidos en el año en curso _____ Comentarios adicionales _____
PROBLEMAS POR INCIDENCIA DE NEMATODOS
Leves _____ Moderados _____ Severos _____
Cantidad de raíz funcional _____ g.
Población de nemátodos por 100 g de raíz
Radopholus _____ Meloidogyne _____ Helicotylenchus _____ Pratylenchus _____ Rotylenchulus _____
Programa de aplicaciones de nematicidas del año en curso _____
PROBLEMAS POR INCIDENCIA DE PICUDO NEGRO
Leves _____ Moderados _____ Severos _____ Se realiza muestreo de picudo NO _____ SI _____ Número _____
Tipo de combate

Apéndice 4. Hojas informativas de la condición general de la plantación.

(Hoja # 3)

MANEJO DE LA FERTILIZACION	
Tipos de fertilizantes usados el año pasado _____	
Número de aplicaciones hechas ese año _____	
Dosis utilizada (sacos/ha) _____	
Total en kg/ha/año de :	
N _____	P ₂ O ₅ _____
MgO _____	S _____
K ₂ O _____	CaO _____
Otros _____	
Tipo de enmienda empleada y dosis _____	
Tipo de fertilizantes usados el año en curso _____	
Número de aplicaciones a la fecha _____	
Dosis utilizada _____	
Tipo de enmienda empleada y dosis _____	
Utilización de materia orgánica SI _____ NO _____	
Fuente y dosis _____	
PRODUCTIVIDAD DEL AÑO ANTERIOR	
Número de racimos totales producidos/ha _____	
Número de racimos exportados/ha _____	
Número de cajas/ha/año exportadas _____	
CAUSAS DE DESCENSOS O ASCENSOS EN LA PRODUCTIVIDAD	
PRODUCTIVIDAD DEL AÑO EN CURSO	
Plantas productivas por hectárea _____	
Relación (cajas/racimo) (Ratio) _____ Porcentaje de desperdicio _____	
Razón principal de rechazo _____	
Retorno _____	
Número de embolses por semana _____	
Porcentaje de recuperación de frutas _____	
Razón principal de pérdidas _____	
Porcentaje de volcamiento _____	
Peso de fruta _____	
Número estimado de cajas/ha/año _____	
COMENTARIOS ADICIONALES	

Apéndice 5. Hoja informativa de la condición del suelo del área muestreada.

PROFUNDIDAD EFECTIVA

Optima _____ Buena _____ Regular _____ Deficiente _____

ESTRUCTURA

Optima _____ Buena _____ Regular _____ Deficiente _____

Evidencia de compactación superficial SI _____ NO _____

TEXTURA EN LA SUPERFICIE DEL SUELO (0 a 60 cm)

	Ligeramente	Moderadamente	Muy	Excesivamente
Optima _____	pesada _____	pesada _____	pesada _____	pesada _____
	liviana _____	liviana _____	liviana _____	liviana _____

TEXTURA EN EL SUBSUELO (60 a 120 cm)

	Ligeramente	Moderadamente	Muy	Excesivamente
Optima _____	pesada _____	pesada _____	pesada _____	pesada _____
	liviana _____	liviana _____	liviana _____	liviana _____

DRENAJE INTERNO

Optimo _____ Moderado _____ Imperfecto _____ Pobre _____ Excesivo _____

Profundidad del nivel freático _____ cm. Fecha _____

Profundidad de la capa impermeable _____ cm

Problemas de drenaje superficial SI _____ NO _____

Manejo del drenaje interno Adecuado _____ Inadecuado _____

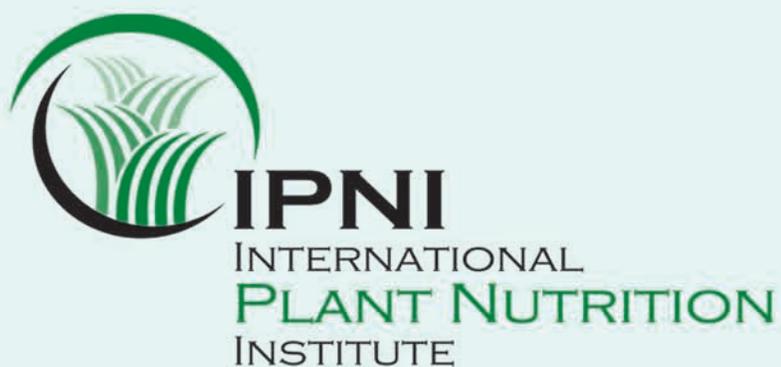
Manejo del drenaje superficial Adecuado _____ Inadecuado _____

OTRAS LIMITACIONES ENCONTRADAS

CLASIFICACION DEL SUELO

Grado 1 _____ Grado 2 _____ Grado 3 _____ Grado 4 _____

Principales limitaciones del suelo en el área



International Plant Nutrition Institute
Northern Latin America
Gaspar de Villarroel 154 y Av. Eloy Alfaro
Casilla Postal 17-17-980
Quito - Ecuador
Tel. 593-2246-3175
Fax 593-2246-4104
E:mail [jespinosa@ipni.net](mailto:jespinos@ipni.net)