

5. ASPECTOS A CONSIDERAR EN LA NUTRICIÓN BALANCEADA DEL CULTIVO DEL BANANO

5.1 INTRODUCCIÓN

Una de las preocupaciones en el sector bananero es la alta inversión en fertilización en el sistema productivo que muchas veces no se ve reflejado en mejoras de productividad y por el contrario en algunos sistemas productivos se ha evidenciado disminución a través del tiempo.

Muchas son las razones de esta disminución de productividad y algunas de ellas están enmarcadas dentro del manejo de la fertilización y uso eficiente de nutrientes, entre las cuales podemos mencionar como ejemplos la alta utilización de fuentes de fertilizantes que acidifican el suelo y la no corrección de dicha acidificación, dosis inapropiadas de aplicación que no contemplan la extracción y absorción de nutrientes, épocas de aplicación no sincronizadas con el desarrollo del cultivo, bajas frecuencias e inadecuados sistemas de aplicación de nutrientes.

Por otro lado, los suelos han sido expuestos al uso intensivo y sus propiedades químicas, físicas y microbiológicas han sido alteradas a través del tiempo. Todos estos factores inciden sobre la eficiencia de la fertilización. Por esto la fertilización balanceada y la mejora de la eficiencia del uso de los nutrientes en los cultivos es uno de los retos en la actividad bananera y para esto es importante tener en cuenta diferentes aspectos al momento de tomar decisiones para el manejo adecuado de la fertilización en banano.

52 VARIABILIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO EN SISTEMAS PRODUCTIVOS BANANEROS

En condiciones tropicales y subtropicales, se han evaluado diferentes características químicas, físicas y biológicas bajo diferentes sistemas productivos de bananos convencionales y orgánicos, comparados con áreas bajo pasturas y en bosque en búsqueda de indicadores de salud del suelo. Se ha encontrado que los sistemas convencionales de banano han alterado las propiedades químicas, biológicas y físicas del suelo a través del tiempo (Pattison *et al.*, 2008; Rosales *et al.*, 2008). Esta alteración no solamente tiene efectos sobre la productividad de los cultivos sino además tiene implicaciones ambientales.

Una de las maneras de reducir el impacto que se tiene sobre la productividad y el ambiente, es conocer la variabilidad que se presenta en los sistemas y manejarla adecuadamente. Por esto, la variabilidad es importante cuantificarla y analizarla.

52.1 Caracterización de la variabilidad

La productividad está influenciada, entre otros factores, por las características de los suelos y estos presentan alta variabilidad espacial y temporal a diferentes escalas, dentro de un mismo lote, entre lotes, entre fincas y entre regiones. Por ejemplo, la variabilidad de la CICE teniendo como referencia los lotes, presenta variabilidad dentro de la finca (figura 1). De igual forma las demás variables del suelo presentan diferentes grados de variabilidad. En la tabla 1 se presentan a manera de ejemplo, los promedios y medidas de dispersión para diferentes variables químicas de suelo analizadas a partir de lotes dentro de un grupo de fincas en la región de Urabá.

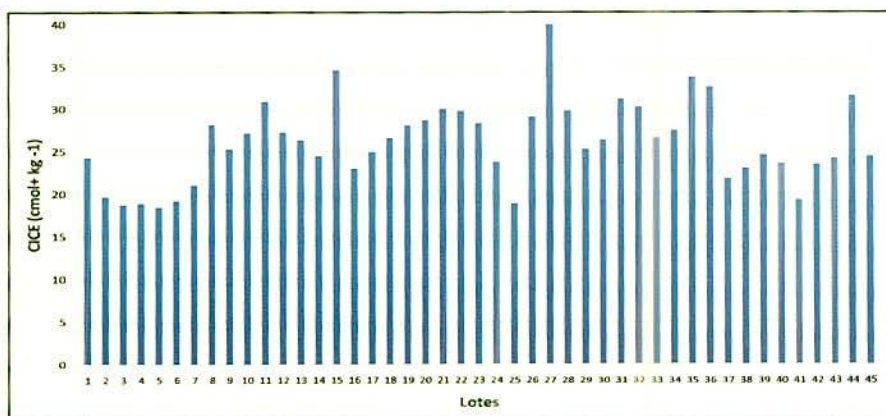


Figura 1. Variabilidad de la CICE en una finca.

Tabla 1. Promedios y medidas de dispersión de variables químicas del suelo en un grupo de fincas de la región bananera del Urabá.

Variable	pH	Al	MO	Ca	Mg	K	CICE	P	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B
Media	5,2	1,0	1,1	12,6	4,9	1,3	20,0	21,5	10,8	250,3	30,7	6,4	6,0	0,2
Desv Est.	0,3	0,8	0,3	2,8	1,5	0,8	3,9	12,4	4,2	112,3	14,9	1,5	1,9	0,1
CV	6%	73%	31%	22%	31%	61%	19%	57%	39%	45%	49%	23%	32%	63%

De la escala de caracterización de la variabilidad depende a qué nivel se realizaran las prácticas de manejo agronómico, o el tipo de intervención que se realice.

A nivel de lote, cada propiedad de suelo sea química, física o microbiológica presenta variabilidad espacial que puede seguir diferentes patrones. En la figura 2 se presentan como ejemplo la variabilidad espacial del fósforo en un lote sembrado con banano (Gutiérrez & Castañeda, 2009).

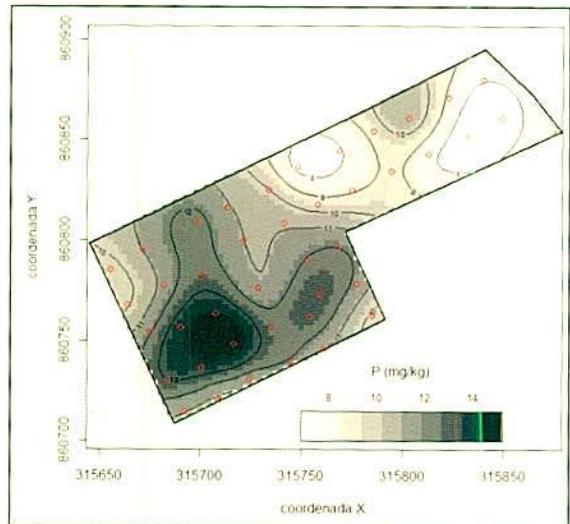


Figura 2. Distribución espacial del contenido de P (mg/kg) en un lote de la región de Urabá.

No necesariamente hay que representar espacialmente todas las variables del suelo porque cada una puede tener un comportamiento espacial diferente y esto puede dificultar la decisión sobre que manejo realizar. Pero si es importante contar con referentes espaciales como la clasificación por unidades taxonómicas (figuras 3 y 4) (Gutiérrez, 2012). Otro referente espacial es la fluctuación del nivel freático del agua, en la figura 5 se presenta la variabilidad espacial de niveles freáticos en una finca bananera (Higuita & Sánchez, 2012).

Apartir de los referentes espaciales y la relación con productividad o crecimiento, se determinan el número de muestras que se debe tomar para las demás propiedades de suelo ya que al interior de estos grupos puede haber otros factores de variabilidad que es importante también conocerlos.

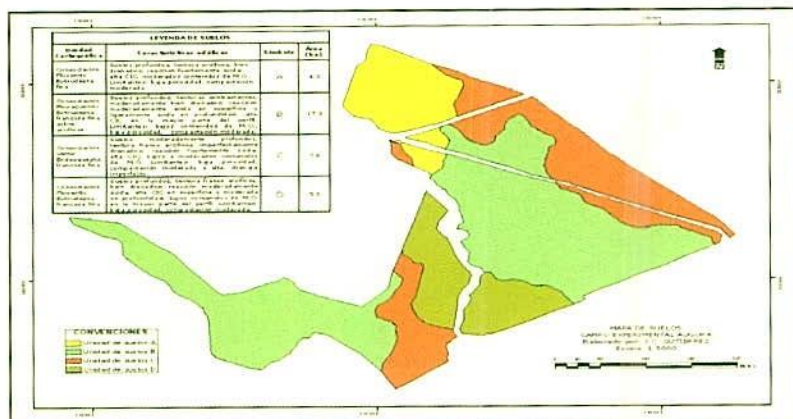


Figura 3. Variabilidad por tipos de suelos en el campo experimental de AUGURA, Ramiro (Gutiérrez & Castañeda, 2009).

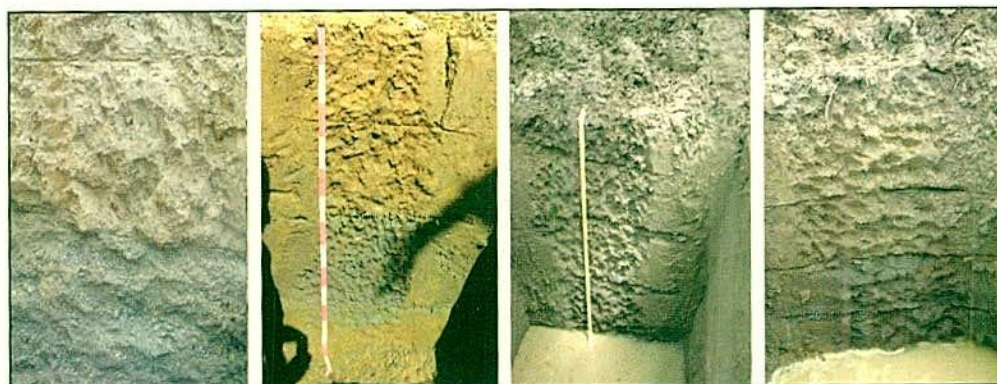


Figura 4. Diferentes perfiles de suelos que representan parte de la variabilidad de los suelos de la región de Urabá (Gutiérrez, 2012)

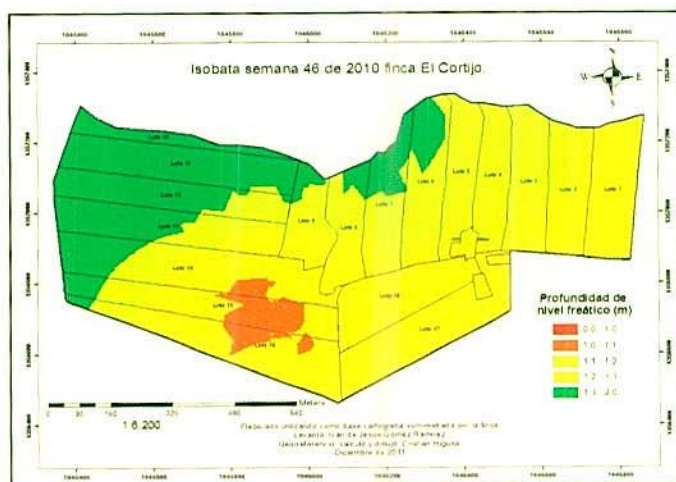


Figura 5. Variación espacial del nivel freático en una finca de la región bananera del Urabá.

Además, la caracterización de la variabilidad debe contemplar cómo las propiedades de los suelos interactúan entre sí y la variación de una puede afectar el comportamiento de otra. Por ejemplo, en la región de Urabá se ha encontrado que al relacionar el pH del suelo con el número de esporas de micorrizas por gramo de suelo, hay una correlación negativa, entre estas dos variables, lo que indica que a disminuir el pH se aumenta el número de esporas en el suelo (Figura 6). No obstante, la diversidad de esporas de micorrizas está relacionada positivamente con el pH (Arango *et al.*, 2009).

Lo anterior es explicado porque la variación del pH afecta de manera diferente a los distintos géneros de micorrizas del suelo. Se ha encontrado que los géneros *Entrophospora*, *Gigaspora* tienen una relación positiva con el pH y al aumentar el pH es mayor la abundancia relativa de estos géneros, entre tanto *Glomus* disminuye su abundancia relativa al aumentar el pH. Especies del género *Acaulospora* presentan preferencias exclusivamente por pH bajo (Serralde & Ramírez, 2004).

Por esto el comportamiento de los microorganismos del suelo interactúa con las demás propiedades del suelo y no deben analizarse separadamente, ni tampoco hay que esperar relaciones lineales el comportamiento de las variables microbiológicas del suelo.

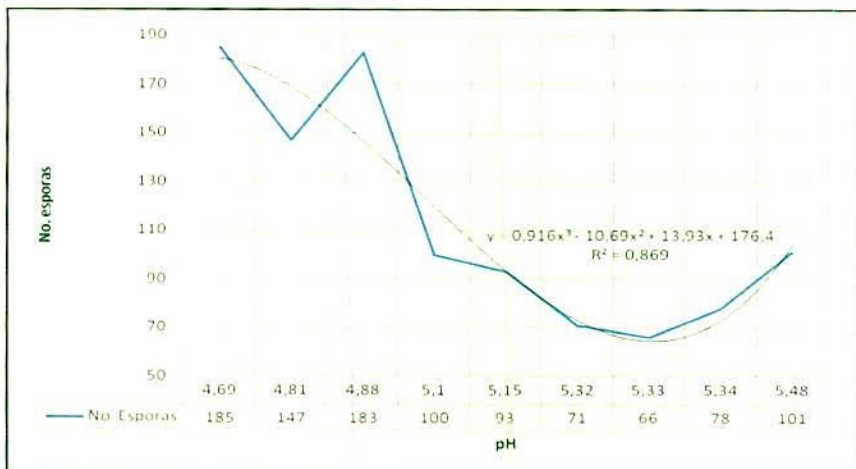


Figura 6. Regresión lineal entre el pH del suelo y el conteo de esporas de Micorrizas.

De igual se debe conocer como la variabilidad de una característica de suelo tiene efecto sobre el crecimiento de la planta. En la figura 7 se observa la correlación negativa entre el peso de raíz funcional de banano con la densidad aparente de suelo y en la figura 8 la relación positiva entre raíz funcional y peso del racimo (Zapata *et al.*, 2005).

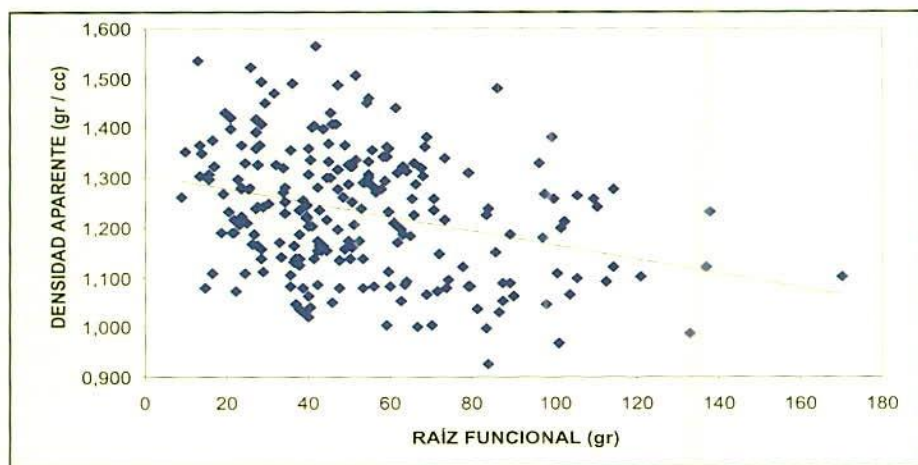


Figura 7. Regresión lineal entre el densidad aparene y raíz funcional.

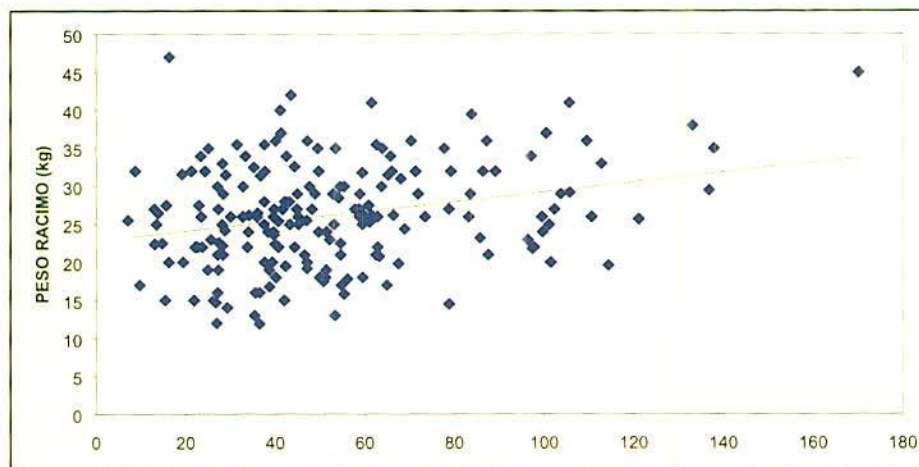


Figura 8. Regresión lineal entre raíz funcional y el peso del racimo.

5.2.2 Manejo de la variabilidad o manejo por sitio específico

Una vez se ha realizado la caracterización de la variabilidad, se toman decisiones de manejo más apropiadas y específicas y se evita la generalización de los manejos agronómicos que van en detrimento de la productividad. Como se menciono la variabilidad se presenta a diferentes escalas y por ende es importante determinar lo que se conoce como **unidades de manejo agronómico (UMA)**. La UMA es el área mínima donde se puede realizar una práctica diferencial de manejo agronómico, el botalón sería la UMA ideal en banano, pero en principio por lo menos se debería considerar como una UMA el lote cultivo. Todo esto depende de la escala de caracterización de la variabilidad, del tipo de práctica agronómica y de la facilidad para realizar la labor por sitio específico.

En la figura 9 se presenta el agrupamiento de diferentes UMA (botalones) por características químicas similares relacionadas con el rendimiento del cultivo. Los manejos realizados dentro de las UMA que tienen características similares son homogéneos, pero deben ser diferentes entre UMA con características diferentes. La agrupación de UMA por características homogéneas debe contemplar la integración de variables de suelo y variables de respuesta de la planta y rendimiento para obtener los mejores agrupamientos posibles, la figura 10 muestra a nivel de ejemplo la relación de bases de suelo y el rendimiento del cultivo por grupos de UMA (Higuera y Sánchez, 2012).

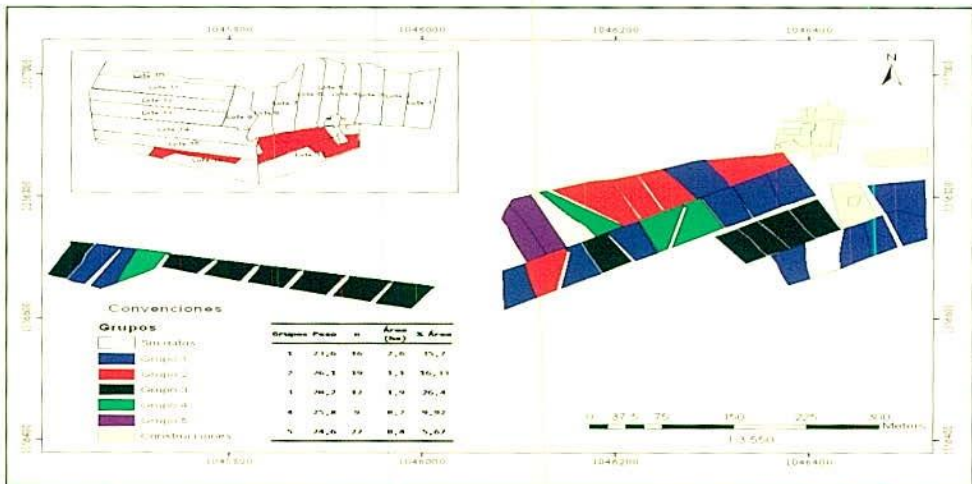


Figura 9. Agrupación de UMA por características químicas similares en una finca bananera.

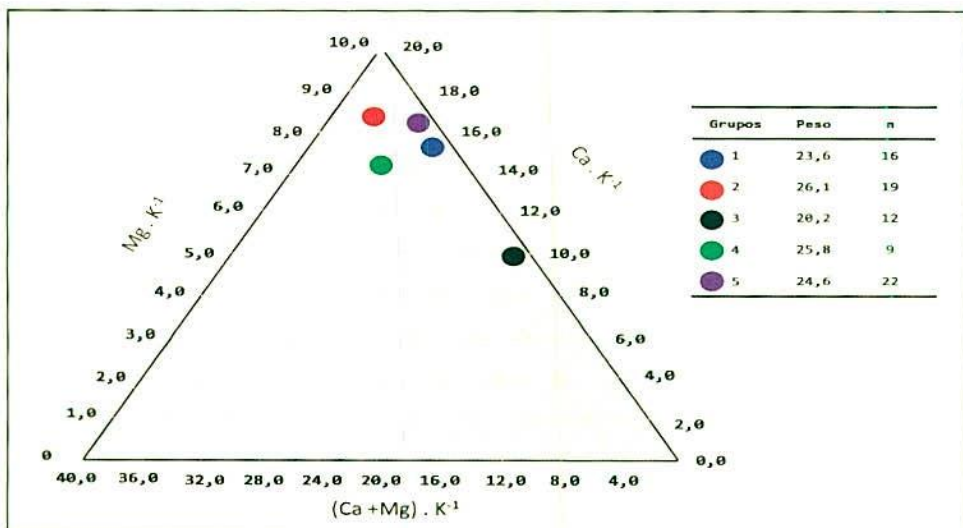


Figura 10. Agrupamientos por UMA y la relación de bases intercambiables en una finca bananera.

Una vez se han implementado manejos agronómicos de también hay que evaluar el impacto sobre las propiedades del suelo. En la figura 11 se presenta por ejemplo la resistencia a la penetración que puede presentar un suelo si se realiza la práctica del Hércules o no si no se hace, estos cambios se dan a través del perfil del suelo.

La evaluación del efectos de las practicas agronómicas tiene como propósito conocer si los manejos agronómicos implementados efectivamente están teniendo un impacto y en qué medida sobre las propiedades que pretendemos intervenir y sobre la productividad del cultivo.

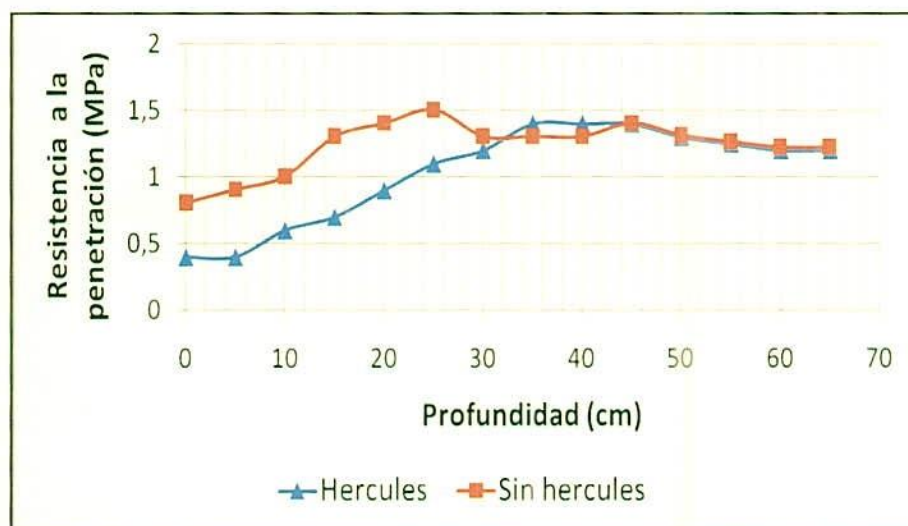


Figura 11. Comparación de la resistencia a la penetración a través del perfil del suelo al realizar Hércules o no en un suelo cultivado con banano.

5.3 INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS

5.3.1 Consideraciones generales en la interpretación del análisis

El crecimiento, desarrollo y rendimiento de una plantación y las características del suelo están estrechamente relacionados. Dentro de las variables químicas que impactan la productividad y ayudan a explicar las diferencias entre áreas de baja y alta productividad bajo condiciones físicas y microbiológicas de suelos similares se encuentran:

- Contenidos de materia orgánica superiores a 2,5% en suelos con drenaje natural adecuado.
- Las relaciones de bases como Ca/Mg y Mg/K respectivamente (Cano y Mira, 2008).

Estas características igualmente influyen directamente en la disponibilidad de nutrientes presentes en el suelo para la planta.

El contenido de los nutrientes adecuado depende de la características de cada suelo por esto no se debe generalizar un contenido de nutrientes ideal para todos los tipos de suelos. Por ejemplo, el nivel crítico de zinc difiere dependiendo del orden de suelo y es diferente para los Ultisoles, Vertisoles, Inceptisoles y Andisoles (Molina y Bornemisza, 2006), pero además varía con la solución extractora utilizada en el laboratorio donde se analizan las muestras, aspectos que muchas veces no se considera cuando se utilizan las tablas de referencia para el contenido de nutrientes.

Por otro lado, la mineralogía de las arcillas presentes en el suelo es determinante en la dinámica de las relaciones entre nutrientes en el suelo y existen diferencias en fertilidad atribuibles al tipo y cantidad de arcilla dominante, de manera que la CIC, retención de fosfatos y las bases cambiables varían en función de la familia mineralógica. En Costa Rica se ha encontrado que los suelos agrupados por mineralogía de arcillas en la familia esmectítica presentaron mayores valores de CIC y bases cambiables y menor retención de fosfatos que los suelos agrupados dentro de la familia metahalosílica. Los suelos con presencia de vermiculita presentaron menor disponibilidad de K y mayor disponibilidad de Mg (Arias, *et al.*, 2010).

Con el tiempo de establecidos los cultivos y el manejo también los balances entre nutrientes son afectados, por esto las relaciones entre nutrientes es diferente en suelos recientemente utilizados en actividades agrícolas a los que llevan años de explotación.

El pH de muchos suelos donde no se han establecidos cultivos en la región de Urabá o recién establecidos se encuentra alrededor de 6 que debe considerarse el pH de la condición natural del suelo. Pero una vez establecidos con el tiempo y prácticas de manejo este pH disminuye en muchos suelos, y las relaciones entre los nutrientes en el suelo son afectadas.

5.32 Aproximación al contenido de nutrientes en la región de Urabá.

Se presenta una aproximación de contenido de nutrientes en los suelos ideal y las relaciones para las condiciones de la región de Urabá Colombia (Tablas 2 y 3). El contenido ideal de cada nutriente depende de la CICE de cada suelo.

Tabla 2. Aproximación al contenido de nutrientes ideal y relaciones entre nutrientes en suelos con más de cinco años de cultivos establecidos.

CICE	Ca	Mg	K	Ca+Mg/K	Ca/K	Ca/Mg	Mg/K	P	S	B	Zn
(cmol(+)/Kg)								mg/Kg			
12,0	8,9	2,5	0,6								>3
14,0	10,4	2,9	0,7								>3
16,0	11,9	3,4	0,8								>3
18,0	13,4	3,8	0,9	20	16	3,5	4,4	>13	>7	>0,2	>3
20,0	14,9	4,2	1,0								>3
22,0	16,3	4,6	1,0								>3
24,0	17,8	5,0	1,1								>3

Tabla 3. Aproximación al contenido de nutrientes ideal y relaciones entre nutrientes en suelos con menos de cinco años de cultivos establecidos.

CICE	Ca	Mg	K	Ca+Mg/K	Ca/K	Ca/Mg	Mg/K	P	S	B	Zn
(cmol(+)/Kg)								mg/Kg			
12	9	2,9	0,2								
14	10	3,4	0,3								
16	12	3,8	0,3								
18	13	4,3	0,4	49,0	37,0	3,1	12,0	>13	10 a 12	>0,2	>3
20	15	4,8	0,4								
22	16	5,3	0,4								
24	18	5,8	0,5								

5.4 INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS DE TEJIDO FOLIAR

El análisis de tejido foliar es una valiosa herramienta que nos ayuda a mejorar la comprensión sobre la dinámica de los nutrientes entre el suelo y la planta. El comportamiento de los nutrientes a nivel foliar es afectado por el contenido de nutrientes en el suelo y su biodisponibilidad depende de las condiciones microbiológicas del suelo, las condiciones de aeración del suelo (potencial redox del suelo), el pH, los microorganismos del suelo, contenido de humedad de suelo, etc. Por ejemplo, con la variación del potencial redox del suelo se dan algunas reacciones químicas que influyen sobre la mayor o menor disponibilidad de nutrientes para la planta (tabla 4).

En suelos con un bajo contenido de O_2 (potencial redox más bajo), el Mn y el Fe se reducen y son más solubles y absorbidos más fácilmente por las plantas. La hipoxia generalmente aumenta la concentración de Fe y de Mn en las hojas (figura 12).

Tabla 4. Reacciones en el suelo bajo diferentes niveles de potencial redox del suelo

Reacciones químicas en el suelo	Potencial redox (mV) a pH 7
Inicio de la reducción de nitratos (desnitrificación)	450 - 550
Incremento de la bio-disponibilidad de Mn^{2+}	450 - 550
Ausencia de O_2	330
Ausencia de nitratos	220
Incremento de la bio-disponibilidad de Fe^{2+}	150
Inicio de la reducción de sulfatos	-50
Ausencia de sulfatos	-180



Figura 12. Toxicidad en hojas de banano asociada a mayor biodisponibilidad de hierro y manganeso

De otro lado, las condiciones ambientales como temperatura, humedad relativa, precipitación, vientos, influyen sobre el movimiento de los nutrientes en la planta puede variar. En la figura 13 se presenta la variación del contenido del calcio a través del año en una finca bananera.

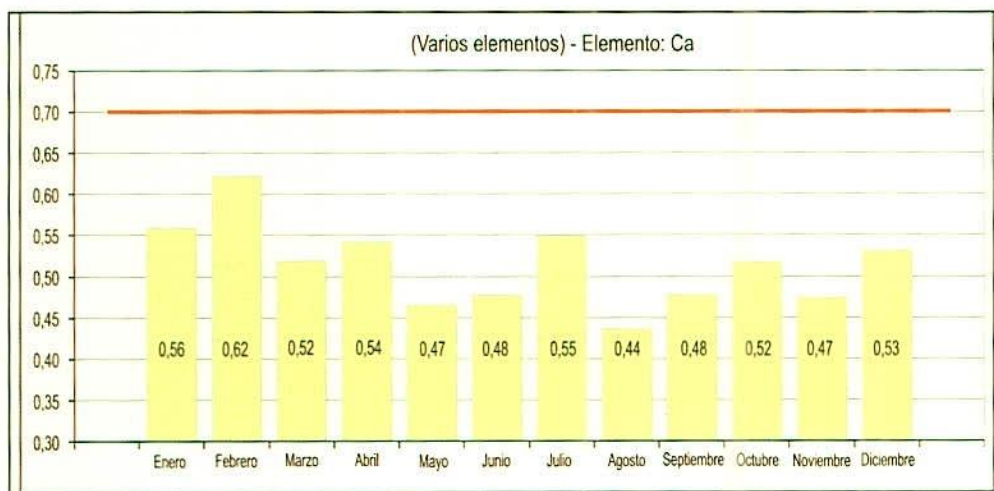


Figura 13. Contenido de calcio en tejido foliar a través del año en plantas de banano. (FUENTE BANACOL)

Por lo tanto durante la interpretación del análisis del contenido de nutrientes se deben contemplar las épocas del año en que se toman las muestras y bajo qué condiciones ambientales y de suelo para mejorar en la interpretación de los resultados. En la tablas 5 y 6 se presentan los contenidos de nutrientes óptimos y las relaciones ideales para algunos nutrientes respectivamente, que se deben considerar al momento de diseñar los planes de fertilización.

Tabla 5. Contenido óptimo de nutrientes en e tejido foliar de banano.

Nivel óptimo de nutrientes en tejido foliar										
N	Ca	Mg	K	P	Zn	Cu	B	S	Mn	Fe
PORCENTAJE (%)					ppm					
2,4 - 2,6	0,55 - 0,75	0,28 - 0,33	3,6 - 4,0	0,14 - 0,20	>20	>8	>20 - 50	>0,12 - 0,16	<200	<200

Tabla 6. Relaciones ideales entre nutrientes en tejido foliar de banano.

Balance óptimo de nutrientes en tejido foliar						
N/P	N/S	Ca/Mg	K/Ca	K/Mg	Ca/B	P/Zn
>12 - 14	>18 - 22	1,7 - 2,7	5 - 7	11 - 14	200 - 300	69 - 80

5.5 EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES

En el marco de una agricultura sostenible es importante conocer la cantidad de nutrientes que son extraídos por el cultivo en un área determinada. Cada vez que sacamos un racimo de un lote, retiramos junto con la biomasa generada por la planta a través del proceso fotosintético, nutrientes que no regresan al suelo (Figura 14). La extracción continua de nutrientes, sin una reposición adecuada contribuyen gradualmente a la disminución de la fertilidad de los suelos.

A pesar de que realizar prácticas agronómicas similares, el rendimiento del cultivo y por ende la extracción de nutrientes no es igual en los lotes de una finca productora de banano (figura 15).



Figura 14. Los racimos extraen nutrientes que son exportados del sistema agrícola.

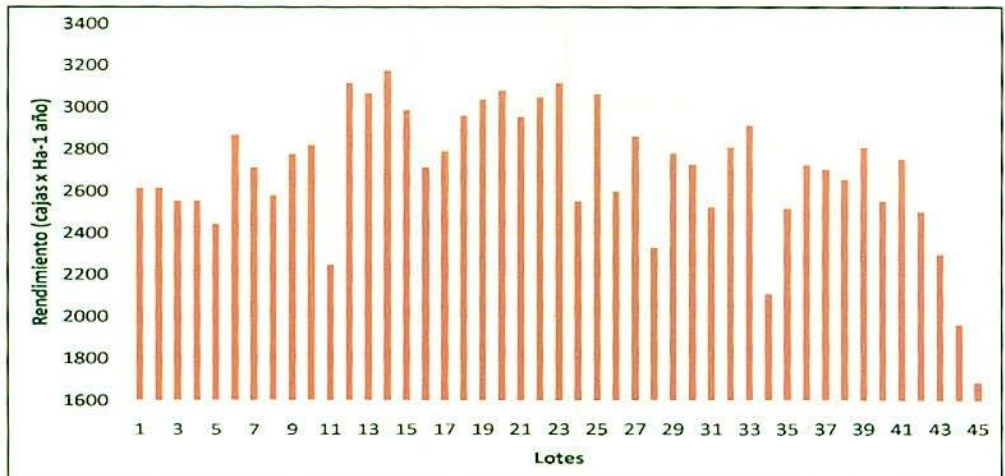


Figura 15. Variabilidad del rendimiento en un finca de la región de Urabá.

Dado que la productividad en los lotes es diferente, se espera que la extracción de nutrientes sea diferente de lote a lote. Los contenidos de nutrientes en fruta, en base a materia seca en áreas de alta productividad generalmente son superiores a las áreas de baja productividad, excepto para algunos nutrientes

como por ejemplo el hierro y manganeso, en donde en las áreas de baja productividad puede presentarse mayores contenidos de estos elementos en la fruta al igual que en las hojas.

El mayor contenido de hierro y manganeso en áreas de baja productividad, por lo general está asociado a mayor disponibilidad de estos elementos en condiciones de bajo oxígeno en el suelo (condiciones reductoras), por compactación del suelo, inadecuado drenaje, etc.

Bajo condiciones de adecuada fertilidad de los suelos la extracción es la mínima cantidad de nutrientes que se deben incorporar en cada año al cultivo del banano, teniendo en cuenta la eficiencia de fertilización. Es importante y determinante en el manejo del cultivo conocer la extracción del cultivo por unidad de área como parámetro para planificar la fertilización de cultivo.

En la tabla 7 se presentan la extracción de nutrientes mayores y menores durante un año para un rendimiento de 3500 Y 2400 cajas de banano por hectárea año, en áreas con un mismo plan de aporte de nutrientes. El potasio es el nutriente que más se extrae y luego le sigue el nitrógeno, los demás elementos mayores son extraídos en cantidades importantes al igual que los elementos menores y deben ser devueltos al suelo, de lo contrario a través del tiempo y debido a la frecuente extracción se agotaran y la productividad será afectada al igual que la sostenibilidad del sistema productivo.

Tabla 7. Datos de referencia de extracción de nutrientes en la zona de Urabá Colombia.

ELEMENTO	FERTILIZACIÓN MEDIA AÑO	Indicadores	3500 CAJAS HA AÑO	2400 CAJAS HA AÑO
N	322,42	Extracción kg/ha/año	96,56	66,21
		BPN	30%	21%
		FPP *	10,9	7,4
P ₂ O ₅	67,29	Extracción kg/ha/año	33,5	22,97
		BPN	50%	34%
		FPP	52,0	35,7
SO ₄	44,37	Extracción kg/ha/año	13,12	9
		BPN	30%	20%
		FPP	78,9	54,1
Ca ₂ O	96,26	Extracción kg/ha/año	14,23	9,76
		BPN	15%	10%
		FPP	36,4	24,9

ELEMENTO	FERTILIZACIÓN MEDIA AÑO	Indicadores	3500 CAJAS HA AÑO	2400 CAJAS HA AÑO
MgO	47,79	Extracción kg/ha/año	24,14	16,55
		BPN	50%	35%
		FPP	73,2	50,2
K ₂ O	594,06	Extracción kg/ha/año	387,99	266,05
		BPN	65%	45%
		FPP	5,9	50,2
ZnO	3,45	Extracción kg/ha/año	0,13	0,09
		BPN	4%	3%
		FPP	1014,5	695,7
B ₂ O ₃	2,46	Extracción kg/ha/año	0,17	0,12
		BPN	7%	5%
		EPP	1422,8	975,6

FPP se convirtió a cajas por hectárea, se utilizó peso promedio de 19 kg/ caja.

Cuando la fertilización se realiza de manera similar en los lotes de cultivo y se presentan diferencias en la productividad, se puede deducir que la eficiencia de fertilización es diferente entre los lotes.

En la tabla 8 se presentan diferentes Índices de eficiencia de uso de nutrientes, dos de estos indicadores calculados para el cultivo del banano (tabla 7), son el balance parcial del nutriente (BPN) que nos indica la cantidad de nutriente extraído por el órgano cosechado (racimo) en relación con la cantidad del nutriente aplicado (expresado en porcentaje). El factor parcial de productividad (EPP) nos indica el rendimiento del cultivo por unidad de nutriente aplicado (expresado en cajas/ha/año).

Tabla 8. Índices de eficiencia de usos de nutrientes en cultivos (Adaptado de García, 2009; Espinosa & Mite, 2008; Dobermann, 2007; Stewart, W.M. 2007).

Índice	Cálculos	Descripción
Eficiencia aparente de recuperación	$ER=(U - U_0)/F$	kg de incremento en la absorción de nutriente aplicado
Eficiencia fisiológica	$EF=(R - R_0)/(U - U_0)$	kg de incremento de rendimiento /kg de nutriente absorbido
eficiencia interna de utilización	$EI=R/U$	kg de rendimiento / kg absorbido
eficiencia agronómica	$EA=(R - R_0)/F=ER*EF$	kg de incremento de rendimiento / kg de nutriente aplicado
Balance parcial del nutriente	BPN	kg de nutriente extraído (removido)/kg de nutriente aplicado
Factor parcial de productividad	$FPP=RF=(R_0/F)+EA$	kg de rendimiento/ kg de nutriente aplicado

R: rendimiento del cultivo con aplicación de nutrientes

R0: rendimiento del cultivo sin aplicación de nutrientes

F: Dosis del nutriente

U: Absorción del nutriente de la biomasa aérea sobre el suelo a madurez fisiológica con aplicación de fertilizante

U0: Absorción del nutriente en la biomasa aérea sin aplicación de fertilizante

De acuerdo con estos indicadores para un mismo nivel de fertilización, se concluye que en las áreas de mayor rendimiento la eficiencia de la fertilización es mayor en comparación con las de menores productividad, o sea cada unidad de nutriente aplicado genera una mayor respuesta en rendimiento.

Por esto, más que incrementar la cantidad de nutrientes a aplicar en una determinada área de cultivo se debe enfocar el manejo de la fertilización a incrementar la eficiencia de la fertilización.

Generalmente los lotes más productivos están asociados a mejores condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo, el conocimiento de las características contrastantes de los suelos dentro de la finca y en comparación con las fincas cercanas, es útil para dos propósitos fundamentales:

1. En las áreas de mayor productividad, lograr mantener las características de los lotes que los hacen fértiles a través del tiempo con la utilización de diferentes practicas agronómicas, como aplicación de enmiendas, reposición adecuada de nutrientes, etc.
2. En las áreas de menor productividad planear estrategias para mejorar teniendo como referencia las áreas más productivas de la propia finca o de fincas cercanas, de esta manera mejorar la eficiencia en la fertilización sin necesidad de incrementar la cantidad de nutrientes a aplicar.

5.6 OPORTUNIDAD Y FRECUENCIA DE LA APLICACIÓN

El suministro de los nutrientes via fertilizantes debe tener en cuenta la dinámica de los estados fenológicos que se presenta en la población de plantas para poder estimar los momentos más oportunos para la aplicación de los mismos.

Para esto la información de embolses puede utilizar para analizar la dinámica del embolses (floración) de cada finca. Con base en este comportamiento es factible determinar los momentos oportunos de aplicación de fertilizantes, el número de ciclos de fertilización, los periodos críticos poblacionales dentro cada generación de plantas y los nutrientes que se deben aplicar en cada ciclo.

Las épocas de referencia para determinar los momentos de aplicación de nutrientes, que maximice la eficiencia de uso de nutrientes en la mayor parte de la población de plantas, son los picos de floración y producción y con estos se pueden determinar las demás etapas fenológicas del cultivo, por ejemplo los momentos en que la mayor parte de un cohorte poblacional se encuentra en diferenciación (figura 16).



Figura 16. Épocas estimadas en que de mayor parte de la población de plantas se encuentra es diferenciación floral. Con base en estas se plantea épocas en donde se puede concentrar la aplicación de nutrientes de acuerdo con los estados fenológicos de la población de plantas. EV: Etapa vegetativa, D: Época crítica de diferenciación y ER: Etapa reproductiva. R: cohortes poblacionales.

También hay que considerar las condiciones ambientales como son el inicio del periodo de precipitación y el periodo de sequía, las épocas de mayores precipitaciones, los niveles de radiación y brillo solar, etc. De esta manera determinar las mejores alternativas de uso de fertilizantes.

Esta es una manera de mejorar la eficiencia del uso de los nutrientes, garantizando la sincronía entre la fertilización y los momentos de mayor absorción de nutrientes.

Utilizar cantidades inadecuadas de ciertos elementos en épocas claves pueden afectar el tamaño y calidad del futuro racimo, así después se suministren estos nutrientes.

Algunos aspectos a considerar:

- El periodo de fertilización para cada generación de plantas de una población establecida, es el tiempo promedio comprendido entre F10 y floración de cada finca, que varía para la zona de Urabá entre 28 y 36 semanas. Este

parámetro también nos ayuda a determinar las frecuencias de aplicación de nutrientes.

- Para mejorar la eficiencia se puede disminuir los tiempos entre aplicaciones de fertilizantes y utilizar menores dosis por aplicación pero manteniendo la cantidad total durante el año. La frecuencia va a depender también del tipo de suelo y el régimen de precipitación características propias de cada finca.
- El caso del P este nutriente debe aplicarse al menos al inicio de cada ciclo de fertilización por generación.
- Para el mantenimiento del sistema foliar en banano es importante el suministro de niveles apropiados de N, pero además el Mg y S para garantizar que las hojas puedan realizar eficientemente el proceso de fotosíntesis. Estas aplicaciones deben realizarse desde la etapa independiente del sistema foliar en banano y durante la etapa vegetativa aparente.
- La diferenciación floral es una etapa crítica y antes de la misma, nutrientes implicados en la división y elongación celular deben estar disponibles, en este momento se determina el potencial de racimo que puede producir la planta en cuanto a tamaño y calidad.
- Para maximizar la eficiencia de los nutrientes dirigidos al momento de la diferenciación floral, por lo menos entre 10 y 14 semanas antes de estos picos históricos de floración se debe aumentar la concentración en el suelo de nutrientes como boro, zinc y calcio ya que la intensidad de absorción por el cultivo es alta y lo liberado del suelo puede no ser suficiente para las necesidades de la planta.
- La aplicación de potasio elemento que se encuentra en mayor concentración en la planta y que es extraído en mayor cantidad por el cultivo, se recomienda aplicarlo en cada ciclo de fertilización del cultivo y en forma balanceada con los otros nutrientes. Este nutriente ayuda movilizar los demás nutrientes dentro de la planta.
- Dado el alto uso de potasio en banano se debe suministrar Ca y Mg de acuerdo con los niveles de extracción del cultivo y las relaciones de bases en el suelo, para garantizar concentraciones adecuadas en la solución del suelo y evitar desequilibrios entre bases
- Ajustar las dosis de nutrientes de acuerdo con la época del año. Hay que contemplar nutrientes y dosis se deben utilizar antes de los periodos de sequía que se presentan en la región para preparar a la plantación para dichas épocas. en el caso del potasio para ayudar a la planta a resistir la sequía durante la época seca

- Es importante la aplicación de Ca y Mg previo a épocas de baja movilidad de nutrientes (épocas secas), para que este disponibles dentro de la planta.
- Lo ideal sería realizar una aplicación diferencial de nutrientes planta a planta, pero debido a manejo esto es difícil de realizarlo. No obstante, en algunos casos específicos es posible realizar este tipo de manejo, utilizando como referencia la identificación del racimo o la cosecha de la planta madre. De esta manera es factible la aplicación de la materia orgánica incorporada con el Hércules o de un ciclo de fertilización en el hijo de sucesión.

5.7 BALANCE DE NUTRIENTES

5.7.1 Ensayos de dosis Respuesta

Para realizar un manejo integral de la nutrición del cultivo y la fertilización es necesario ajustar las aplicaciones de fertilizantes a las necesidades reales de los cultivos a través de ensayos realizados en la misma zona y determinar cuáles son las cantidades de nutrientes disponibles que el suelo es capaz de suministrar, de esta manera es posible obtener un adecuado plan de nutrición ajustado a las condiciones de crecimiento del cultivo y de las características de suelo y clima de la región.

Para determinar la "relación entre la nutrición y el crecimiento y desarrollo de la planta de banano" se ha cuantificado el efecto de diferentes niveles de fertilización sobre el crecimiento y desarrollo del cultivo de banano *Musa AAA* cv. Williams, con diferentes combinaciones de fertilizantes y aplicación de nutrientes (Romero, 2008) (Tabla 9).

Tabla 9. Dosis de fertilizantes aplicadas en siete tratamientos de fertilización en Kg/ha/año (Romero, 2008)

Tratamiento	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Mg O	S	B	Zn
	kg/ha año ⁻¹							
1	312,2	43,8	466,6	31,3	22,4	68,3	1,0	0,3
2	317,4	30,5	468,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	403,4	30,5	708,8	0,0	5,8	4,2	0,4	0,2
4	405,4	30,5	705,5	0,0	91,8	65,6	6,6	2,6
5	312,2	43,8	471,6	31,3	22,4	68,3	5,9	0,3
6	312,2	43,8	466,6	31,3	22,4	68,3	1,0	10,3
7	312,2	43,8	471,6	31,3	22,4	68,3	5,9	10,3

Se determinó que conjuntamente las variables de producción son afectadas de manera significativa dependiendo del tratamiento, como se observa en la Tabla 10.

Tabla 10 Evaluación de los parámetros de producción como respuesta a diferentes regímenes de fertilización en el cultivo de banano

Trat	Peso Racimo (kg)		Fruta de primera (kg)		Fruta para aprovechamiento (kg)		Número de manos		Longitud de raquis (cm)		Calibre dedo (líneas)		Longitud dedo (pulg)		Número de dedos	
1	19,3	a	14,2	a	2	a	6,8	a	49	a	12,1	a	7,9	a	17,5	a
2	20,6	a	14,4	b	3	b	7,3	a	52,8	a	11,2	b	7,7	a	17,9	a
3	20,2	a	14,3	b	2,6	b	7,3	a	53,4	a	10,8	b	7,8	a	18	a
4	20,1	a	15,5	a	1,2	a	6,8	a	48	a	12,3	a	8	a	17	b
5	19,8	a	14	a	2,1	a	6,8	a	50,2	a	12	a	7,8	a	17,7	b
6	21,3	b	16,2	a	1,5	a	7,1	a	53	a	11,8	a	7,8	a	18,7	c
7	19	a	14,8	c	0,8	c	6,5	a	48,1	a	13,3	c	8,1	a	16,7	b

Los tratamientos con altas dosis de N y K, no presentaron un incremento en el peso de los racimos. De igual forma no hay aumento del rendimiento en los tratamientos en que no se aplicó Ca, a pesar de tener mayores dosis de elementos mayores y aplicación de elementos menores.

Respecto a la calidad de la fruta esta se redujo en las siguientes circunstancias

- (1) la aplicación de nitrógeno, fósforo y potasio, únicamente.
- (2) aplicación de altos niveles de N y K con dosis bajas de Mg, S y menores.
- (3) altos niveles de aplicación de N y K, con dosis altas de Mg y S y elementos menores y sin Ca.

Los tratamientos con un adecuado balance de macronutrientes y con la aplicación de micronutrientes, aumentaron la fruta de primera y mejoraron el calibre de la misma (figuras 17 y 18).

Los programas de fertilización con solo N y K pueden resultar más económicos, sin embargo la relación beneficio-costos se puede afectar, ya que hay detrimento en la calidad de la fruta cuando el aporte de nutrientes es desbalanceado.

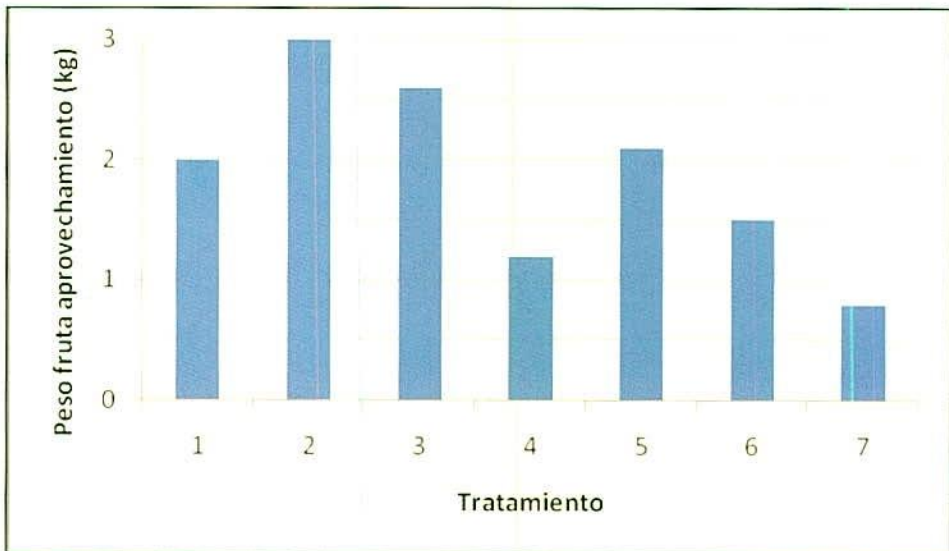


Figura 17. Peso de fruta de aprovechamiento con diferentes regimenes de fertilización.

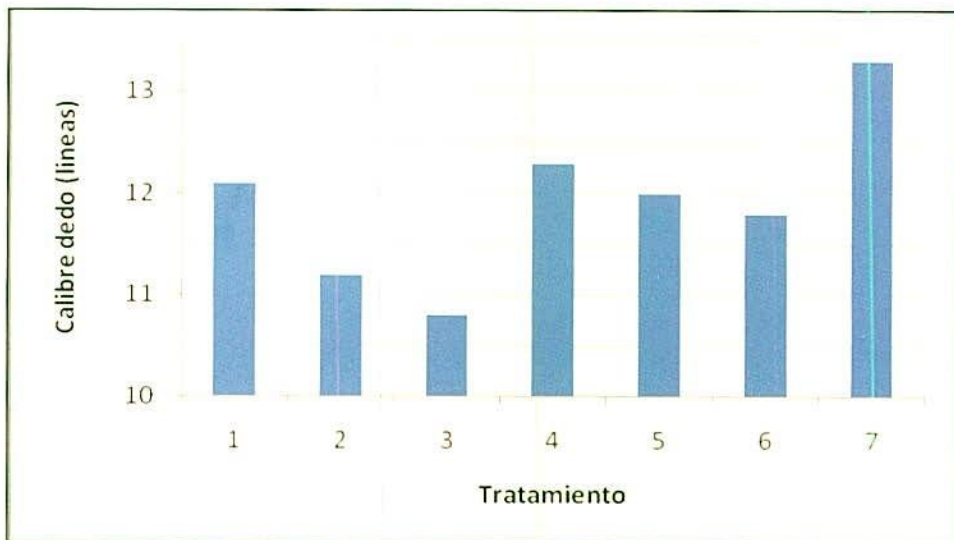


Figura 18. Calibre de dedos con diferentes regimenes de fertilización.

La fertilización balanceada incrementa la productividad, al mejorar el rendimiento del cultivo por unidad de área, disminuir las pérdidas por calidad de la fruta o debida a problemas causados por patógenos o desórdenes fisiológicos, y porque además se incrementa la eficiencia del uso de nutrientes y por esta razón existe menor probabilidad de que los nutrientes se pierdan al ambiente por lixiviación o escorrentía superficial.

5.7.2 Consideraciones sobre la interacción entre nutrientes a tener en cuenta para mejorar la eficiencia de la fertilización

Interacciones del nitrógeno

- Cuando un catión es absorbido por la raíz, un anión también es absorbido o un catión es liberado; así, la absorción de NH_4^+ puede ser acompañada de la liberación de H^+ y afecta con ello el pH de la vecindad de la raíz. La absorción del NO_3^- es de tipo activo, y su transporte al interior de la célula se reduce considerablemente cuando se inhibe la síntesis de ATP. Se acepta que el NO_3^- es cotransportado con H^+ con una estequiometría de $2\text{H}^+ : 1\text{NO}_3^-$, lo cual explica la alcalinización del medio externo cuando las plantas absorben NO_3^- . Los incrementos en el pH de la solución nutritiva se deben a que la absorción de NO_3^- se acompaña de absorción de H^+ o excreción de OH^- para mantener el balance de cargas Salisbury y Ross (1994).

El NH_4^+ , debido a sus propiedades catiónicas, es fuertemente adsorbido por arcillas minerales cargadas negativamente, tales como la illita, vermiculita y montmorillonita.

La absorción de cualquiera de las dos formas nitrogenadas ha sido asociada con condiciones favorables de pH existentes en el medio de crecimiento. Se ha encontrado en varias especies de cultivos que los incrementos en el pH promueven la absorción de NH_4^+ , mientras que una reducción del mismo favorece la absorción de NO_3^- . Se ha encontrado que las raíces de banano son capaces de absorber NH_4^+ en preferencia a NO_3^- (Turner *et al.*, 2007 y autores allí citados).

- Se conoce que el N aumenta la absorción de P por la planta cuando se colocan juntos en el suelo. El efecto del fósforo es mayor con el N- NH_4^+ (amonio) que con el N- NO_3^- (nitrato), debido a que la reducción del pH en la superficie de la raíz provocada por la absorción de NH_4^+ , aumenta la disponibilidad de P para la absorción por las plantas. Además, la fertilización con P incrementa la eficiencia del uso de N (Yamada, 2003; Steward, 2003).
- La respuesta al N depende de las dosis aplicadas o del K presente en el suelo, esto puede ser explicado porque el transporte de NO_3^- hacia la parte aérea de las plantas, vía xilema, es acompañado por el K^+ que luego desciende vía floema con el malato. El malato, que transporta el K^+ hacia las raíces, se descarboxila formando piruvato y carbonato (HCO_3^-). El (HCO_3^-) puede ser intercambiado con el NO_3^- , en la rizosfera produciendo así el incremento de pH en la misma (Yamada, 2003; Marschner, 2002).
- La fertilización balanceada también mejora la eficiencia del uso del agua,

ya que se pueden obtener mayores rendimientos con la misma cantidad de agua. Por ejemplo, se ha demostrado, que la aplicación de N incrementó el uso eficiente del agua en 90% y cuando se balanceó la fertilización con N y P la eficiencia del uso del agua se incrementó en más de 200% (Steward, 2003).

- El N, P y K son requeridos en cantidades mayores que el resto de los nutrientes por el vegetal y en general para obtener la máxima eficiencia, estos nutrientes deben ser aplicados teniendo como referencia las proporciones en que existen en el vegetal, para lo cual una buena guía es la información de absorción y extracción de nutrientes.
- La deficiencia de Zn está relacionada con el metabolismo del N, cuando se suprime el Zn, la concentración de proteínas disminuye y aumentan los aminoácidos libres (Kirkby y Romheld, 2008).

Interacciones Ca-Mg y K

- El potasio puede interactuar con otros nutrimentos en forma negativa teniendo repercusiones en la nutrición vegetal. En banano por el alto uso de potasio es posible inducir una deficiencia de magnesio o calcio y en algunos casos, manganeso, zinc o hierro. El añadir grandes cantidades de calcio (Ca) y magnesio (Mg) a suelos con deficiencia de potasio (K), o el añadir calcio a suelos deficientes en magnesio (Mg), puede causar un desbalance nutricional y un pobre crecimiento del cultivo. La mayoría de los suelos que tienen deficiencia de Ca son ácidos (Mengel, 2007; Pilbeam y Morley, 2007; Merhaut, 2007).
- La deficiencia de Mg también puede acentuarse con la aplicación de altas dosis de K o por una alta disponibilidad de NH_4^+ en suelos con bajos niveles de Mg. También en suelos con exceso de Mg se presentan deficiencia en K. La competición del Mg con otras cationes de mayor a menor es la siguiente: $\text{K}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{Ca}^{2+}$ (Merhaut, 2007).

Relación Fósforo zinc

- El suministro de fertilizantes fosfatados en suelos con contenidos bajos o medios de P permite un aumento en la producción, sin embargo, en condiciones de concentraciones muy altas de P en el suelo, la concentración de Zn en la materia seca puede disminuir progresivamente. Si se continúa incrementando el suministro de P, la concentración de Zn en los tejidos se reduce aun más. Cuando el contenido de Zn en los tejidos se reduce a niveles menores que las concentraciones necesarias para producir rendimiento adecuado (concentraciones críticas), el rendimiento del cultivo se reduce considerablemente (Marschner, 2002).

Interacciones de micronutrientes

- Se ha encontrado que la absorción del K aumenta con la de B. Casi no ocurre absorción de K en ausencia de B, es decir, muchos casos de deficiencia aparente de K pueden ser de hecho deficiencia de B. La relación del boro y potasio puede ser debido a la influencia del potasio en la permeabilidad celular la cual es presumiblemente regulada por el boro (Gupta, 2007; Yamada, 2003).
- El B juega un papel importante en el transporte de fósforo (P) a través de las membranas y así como ocurre con el K, muchos casos de deficiencia de P pueden ser reflejo de la deficiencia de B (Yamada, 2003).
- El B y el Zn son esenciales para el funcionamiento óptimo de la ATPasa y de los sistemas redox de la membrana plasmática, es decir, sin B se puede reducir la eficiencia de Zn y viceversa. La actividad de la enzima ATPasa ligada a membrana plasmática y la tasa de absorción de iones disminuye en tejidos deficientes de B (Kirkby y Romheld, 2008; Yamada, 2003). El zinc ayuda a aliviar la toxicidad por boro al reducir su acumulación en la planta (Gupta, 2007).
- La forma del nitrógeno puede afectar la acumulación de boro en la planta, el nitrato de Calcio y el nitrato de amonio incrementan la disponibilidad y toma de boro por las raíces, esto atribuido a que el nitrato inhibe que óxidos de Fe y Al adsorban el B y se incrementa el boro en la solución del suelo (Gupta, 2007).
- La enzima ureasa es inhibida por el ácido bórico, esto explicaría porque fracasa la aplicación foliar de urea conjuntamente con ácido bórico (Yamada, 2003).
- Boro tiene un número propiedades relacionadas con la reducción de la toxicidad de plantas que crecen en suelos ácidos. En algunos trabajos se ha demostrado la prevención y mitigación de la toxicidad por aluminio por altas concentraciones de boro, aunque esto aun no ha sido investigado en banano.

BIBLIOGRAFIA

- Arango A., L. A., J. D. Sánchez T. y W. A. Agamez B. 2009. Materia orgánica del suelo: conceptos generales para su manejo en el cultivo de banano, subregión de Urabá, Antioquia. Medellín: Convenio SENA, AUGURA, Banatura. 52 p.
- Arias, F. et al. 2010. Relación entre la mineralogía de la fracción arcilla y la fertilidad en algunos suelos cultivados con banano en las llanuras aluviales del Caribe de Costa Rica. En: Agronomía Costarricense. Vol. 34, no. 2, p. 223-236.
- Cano. M. M. y J. J. Mira C. 2008. Relación de la productividad bananera y las características del suelo en la zona de Urabá, Colombia. En: Acorbat. Memorias XVIII - Reunión internacional ACORBAT. Guayaquil, Ecuador: Acorbat. 8 p.
- Dobermann, A. 2007. Nutrient use efficiency : measurement and management. En: IFA. International Workshop on Fertilizer Best Management Practices. Bruselas: IFA. 28 p.
- Espinosa, J y F. Mite. 2008. Búsqueda de eficiencia en el uso de nutrientes en banano. En Acorbat. Memorias XVIII Reunión Internacional Acorbat. Guayaquil, Ecuador: Acorbat. 9 p.
- García, F. 2009. Eficiencia de uso de nutrientes y mejores practicas de manejo para la nutrición de cultivos. En: García, F. e I. Ciampitti, ed. Simposio Fertilidad 2009: Mejores prácticas de manejo para una mayor eficiencia en la nutrición de cultivos. Guayaquil, Ecuador: IPNI-Fertilizar AC. P. 9-18.
- Gupta, U. 2007. Boron. En: Barker, A. V. y V. Pilbeam. Handbook of plant nutrition. Taylos & Francis Group. P. 242-268.
- Gutiérrez H., J. C. 2012. Inventario del recurso suelo y sus implicaciones en el manejo. En: AUGURA- CENIBANANO. Memorias II Reunión Técnica Bananera. Apartadó: AUGURA. P. 3-55.
- Gutiérrez H., J. C. y D. A. Castañeda S. 2009. Metodología para el manejo y uso del suelo por sitio específico en el cultivo de banano. Medellín: AUGURA, Ministerio de agricultura y desarrollo rural y Universidad del Magdalena. 78 p.
- Higuita. C. A y J. D. Sánchez. 2012. Importancia de las propiedades físicas y químicas del suelo para la productividad bananera. En: AUGURA-CENIBANANO. Memorias II Reunión Técnica Bananera. Apartadó: AUGURA. P. 286-317.

- Kirkby, E. y V. Römheld. 2008. Micronutrientes en la fisiología de las plantas: funciones, absorción y movilidad. En: *Informaciones Agronómicas*. No. 68. Parte 2, p. 9-13; No. 70, Parte 3, p. 10-13.
- Marschner, H. 2002. *Mineral nutrition of higher plants*. 2. ed. New York: Academic Press. P. 347-364, 379-404
- Mengel, K. 2007. Potassium. En: Barker, A. V. y V. Pilbeam. *Handbook of plant nutrition*. Taylor & Francis Group. P. 91-120.
- Merhaut, D. J. 2007. Magnesium. En: Barker, A. V. y V. Pilbeam. *Handbook of plant nutrition*. Taylor & Francis Group. P. 145-165.
- Molina, E. y E. Bornemisza. 2006. nivel crítico de Zinc en suelos de Costa Rica. En: *Agronomía Costarricense*. Vol. 30, no. 2, p. 45-59.
- Pattison, A., et al. 2008. Development of key soil health indicators for the Australian banana industry. En: *Applied Soil Ecology* 40, no. 1; p. 155–164.
- Pilbeam, D. J. y P. Morley. 2007. Calcium. En: Barker, A. V. y V. Pilbeam. *Handbook of plant nutrition*. Taylor & Francis Group. P. 121-144.
- Romero, M. A. 2008. Relación entre la nutrición y el crecimiento y desarrollo del banano (*Musa AAA Simmonds*). Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 39 p.
- Rosales, F., et al. 2008. Guía de diagnóstico de la calidad y salud de suelos bananeros. San José, Costa Rica: Biodiversity Internacional-Francia. 79p + CD.
- Salisbury, F. y C. Ross. 1994. *Fisiología vegetal*. 4. ed. México: Iberoamérica. p. 3-177.
- Serralde, A. y M. Ramírez. 2004. Análisis de poblaciones de micorrizas en maíz (*Zea mays*) cultivado en suelos ácidos bajo diferentes tratamientos agronómicos. En: *Revista Corpoica*, Vol. 5, no., p. 31-40.
- Stewart, W.M. 2007. Consideraciones en el uso eficiente de nutrientes. En: *Informaciones Agronómicas*. No. 67, p: 1–6.
- Stewart, W. M. 2003. Fertilizantes y el ambiente. En: *Informaciones Agronómicas*. No. 44, p. 6-7.
- Turner, D. W., J. A. Fortescue y D. S. Thomas. 2007. Environmental physiology of the bananas (*Musa spp.*). *Brazilian Journal of Plant Physiology*. Vol. 19, no. 4, p. 463-484.

- Yamada, T. 2003. Como mejorar la eficacia de la fertilización aprovechando las interacciones entre nutrientes. En: Informaciones agronómicas. No. 50, p. 1-5.
- Zapata, C., P. Rodríguez y P. Buriticá. 2005. Relación entre raíces nematodos y producción de plantas de banano en Urabá. Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 18 p.

LA FÓRMULA ORIGINAL
PARA VER CRECER SU NEGOCIO



NUTRIMON[®]
Productivo en su cultivo



Para lograr los mejores resultados en su cultivo de banano con cosechas inmejorables, **FERTILÍCELOS** siempre con **NUTRIMON**:
la fórmula original.

monómeros

Filial de  **Pequiven**
PEQUIVEN S.A.

Monómeros Colombo Venezolanos S. A. · Vía 40, Las Flores, Barranquilla · Tel.: (5) 361 8212
Bogotá: (1) 376 7200 · Medellín: (4) 301 5859 · Buenaventura: (2) 243 3501
servicioalcliente@monomeros.com.co
www.monomeros.com



Fertilizantes de Última Generación



Korn Kali + B

El único fertilizante Potásico que contiene en un mismo gránulo: magnesio, azufre y boro.



MicroEssentials® SZ

La mejor fuente de energía para el desarrollo continuo de todo el sistema.



NUTRIMON 15-4-23-4

El fertilizante original y preferido por los bananeros colombianos.



NUTRIMON 13-6-23-6

La fórmula con el balance perfecto, alta en potasio, magnesio y boro.



Complejos Granulados



NUTRIMON 17-6-18-2

El fertilizante todoterreno con resultados comprobados en los campos colombianos.



NUTRIMON Nitra.Sam

El fertilizante con un bajo índice de volatilización, representando menores pérdidas.



NUTRIMON 13-26-6

Arranque bien su cultivo de banano para plantas más vigorosas.



NUTRIMON NUTRI 15

El nuevo fertilizante con 7 NUTRIENTES concentrados en un mismo gránulo.



Solubles



SolunK.P

Para estimular el llenado del banano, aplique NUTRIMON SolunK.P por vía foliar.