

# PRINCIPIOS PARA LA NUTRICIÓN DEL CULTIVO DE BANANO

26123

JAIVER DANILO SÁNCHEZ TORRES  
JOHN JAIRO MIRA CASTILLO



**CENIBANANO**  
Centro de Investigaciones del Banano

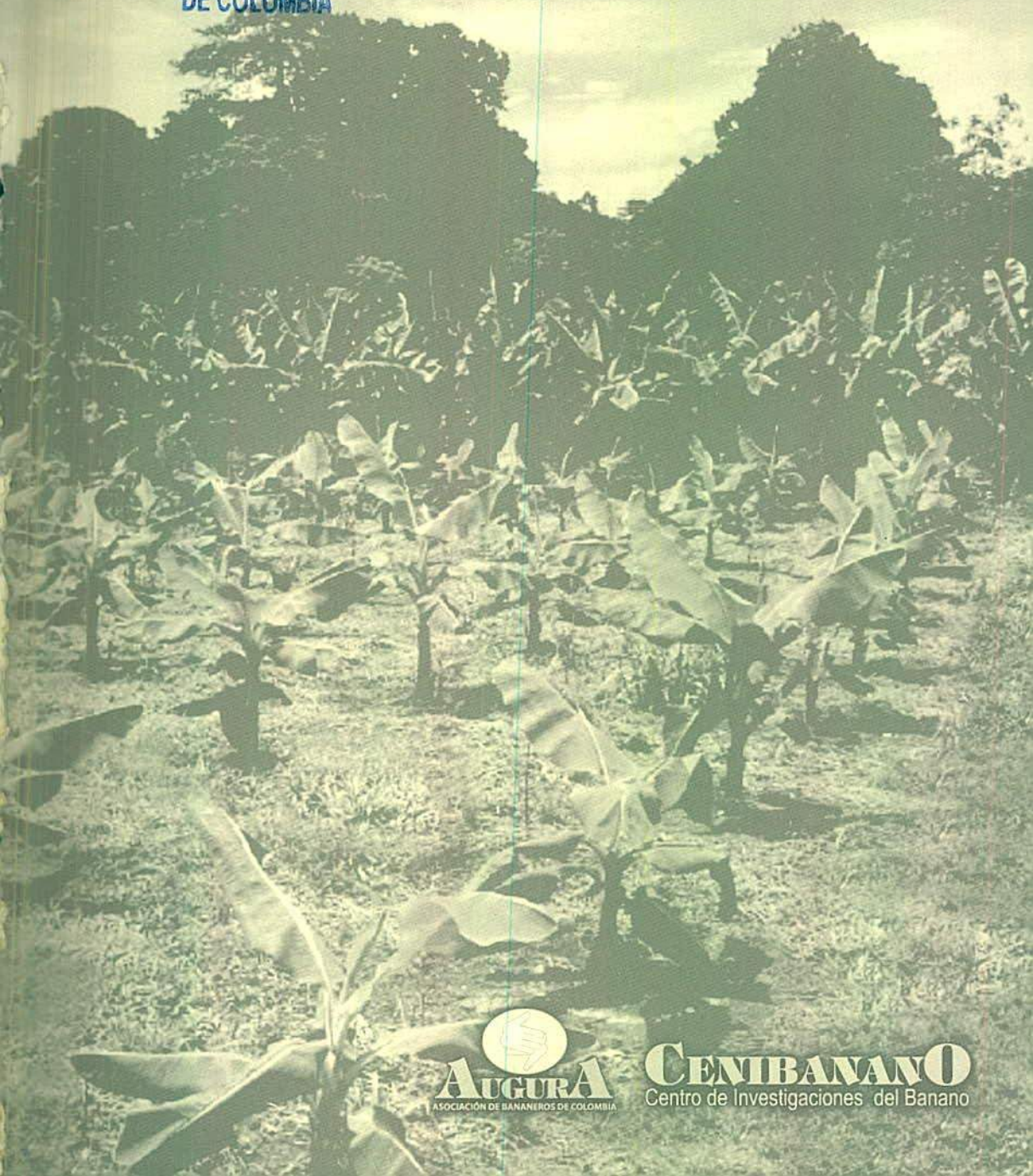
26123

62345

# PRINCIPIOS PARA LA NUTRICIÓN DEL CULTIVO DE BANANO

08 JUL. 2013

BIBLIOTECA AGROPECUARIA  
DE COLOMBIA



  
**AUGURA**  
ASOCIACIÓN DE BANANEROS DE COLOMBIA

**CENIBANANO**  
Centro de Investigaciones del Banano

PRINCIPIOS PARA LA NUTRICIÓN DEL CULTIVO DE BANANO

Abril de 2013

ISBN: 978-958-99167-8-0

Autores:

Jaiver Danilo Sánchez Torres  
John Jairo Mira Castillo

Diseño:

Nora Luz García Escobar

Medellín - Colombia

[www.augura.com.co](http://www.augura.com.co)

© Copyright: Asociación de Bananeros de Colombia - AUGURA. No está permitida su reproducción por ningún medio impreso, fotostático, electrónico o similar, sin la previa autorización escrita del titular de los derechos reservados.

## PRESENTACIÓN

*Este libro aborda la nutrición y fertilización desde el punto de vista los requerimientos de la comunidad de plantas que forman los cultivos, a través de las diferentes etapas del desarrollo fenológico y el desempeño fisiológico de estas.*

*Tiene en cuenta la relación existente entre la dinámica climática y la comunidad de plantas en su desempeño fenológico y productivo. Sin desconocer la importancia del recurso suelo, no se asume éste como un almacén que provee nutrientes a las plantas, sino como un sistema físico, químico y microbiológico dinámico que sustenta el desarrollo de las plantaciones. Describe las condiciones en que el suelo, en función de sus características, permite una adecuada nutrición de las plantas. Recomienda, a la luz de las investigaciones de CENIBANANO y de las desarrolladas en otros lugares y cultivos, una propuesta de manejo de la nutrición de las plantaciones de banano, aportando bases para que técnicos y productores puedan determinar con mayor certeza las cantidades, fuentes y momentos más convenientes para fertilizar y aplicar enmiendas a sus cultivos con el fin de lograr una adecuada nutrición de sus plantaciones y maximizar los rendimientos.*



# 1. ETAPAS DEL CRECIMIENTO DE LA PLANTA DE BANANO

## 11 INTRODUCCIÓN

*El estudio de la secuencia de los eventos periódicos que participan en un ciclo de vida de las plantas se llama fenología. El intervalo entre dos fases diferentes se denomina etapa fenológica.*

*Determinar el principio y el final de cada etapa fenológica contribuye a evaluar las tasas de crecimiento de las plantas. Las características de las etapas de crecimiento están determinadas por la genética de la planta y por las condiciones edáficas y climáticas del entorno donde se desarrolla.*

## 12 ETAPAS Y FASES EN PLANTAS: CONCEPTOS

- Fase

Los eventos fenológicos son referidos como fases. La fase se refiere a la aparición, transformación o desaparición rápida de los órganos vegetales, por ejemplo la aparición de los brotes o hijos de sucesión en banano, la aparición de la primera hoja con un ancho superior a 10 cm (F10), la floración de banano, son eventos identificables fenológicamente (figura 1).



Figura 1. Algunos eventos fenológicos en banano claramente identificables. Aparición de brotes y floración.

- **Etapas**

Una etapa está delimitada por fases, por ejemplo en banano la etapa productiva inicia con la aparición de la bacota y termina hasta la maduración fisiológica de los frutos del racimo y su cosecha.

- **Etapas críticas**

Dentro de ciertas etapas se presentan períodos críticos, durante los cuales la planta presenta la máxima sensibilidad a determinado factor (elemento climatológico, disponibilidad de elementos nutricionales, etc), que se reflejan en el rendimiento del cultivo; estos periodos críticos se presentan generalmente poco antes o después de una determinada fase, durante dos o tres semanas.

En banano por ejemplo, uno de los periodos críticos es la iniciación y diferenciación floral, durante este periodo se define el tamaño potencial del racimo a cosechar, los efectos positivos o negativos del clima, de las prácticas culturales y de la nutrición durante este periodo determinarán en gran parte el tipo de racimo que se cosechará.

El comienzo y fin de fases y etapas sirven como medio para juzgar la rapidez del desarrollo de las plantas. En banano es importante comparar la duración de las etapas de desarrollo o la duración entre dos fases de desarrollo y determinar los factores que puedan estar influenciados positiva o negativamente en la duración de las etapas.

Un parámetro importante de medición de la productividad en banano es el periodo entre dos fases de floración en una misma unidad productiva. En la zona de Urabá se tienen duraciones promedios entre fases de floración que oscilan desde las 27 semanas hasta las 36 semanas, esto puede variar dependiendo de la cultivariedad, las condiciones agroecológicas del sitio de cultivo, pero principalmente de las prácticas de manejo.

### **13 ETAPAS DE CRECIMIENTO Y DESARROLLO DEL BANANO**

Durante el crecimiento y desarrollo de la planta de banano se distinguen tres etapas principales: 1) Etapa vegetativa, 2) Etapa reproductiva y 3) Etapa productiva. Durante cada etapa suceden una serie de eventos fenológicos, anatómicos y fisiológicos que las caracteriza y que son de importancia desde el punto de vista agronómico para un adecuado manejo del cultivo. En la tabla 1 se resumen las etapas de crecimiento de banano.

**Tabla 1.** Etapas de crecimiento y desarrollo de banano.

Etapas principales	Etapas de desarrollo del sistema foliar.
Etapa vegetativa	Etapa juvenil
	Etapa independiente
Etapa reproductiva	Etapa vegetativa aparente
Etapa productiva	Madurez y senescencia sistema foliar

La etapa independiente mas la etapa vegetativa aparente corresponde a la etapa autonoma de la planta

A continuación se presentan las principales características de cada etapa principal.

### 1.3.1 Etapa Vegetativa

La etapa vegetativa de la primera generación en campo va desde la siembra hasta la iniciación floral (figura 2). A partir de la segunda generación se inicia desde la aparición de la yema lateral (hijo de sucesión o puyón) hasta la iniciación floral, que es el momento donde el meristemo apical vegetativo cambia a meristemo floral.

Las características que se observan en el meristemo vegetativo (figura 3), son el arreglo en espiral de las hojas, la ausencia de brotes laterales y casi ningún crecimiento de entrenudos (Nalina, 2006). La etapa vegetativa desde el punto de vista del desarrollo foliar se divide en etapa juvenil y etapa independiente.



**Figura 2.** Inicio de etapa vegetativa de una primera generación de plantas (plántula) y de la segunda generación (brote).

Durante la etapa vegetativa se inicia el desarrollo del sistema de absorción (raíces), el sistema de soporte y conducción (cormo y pseudotallo) y el sistema fotosintético (hojas) y se da la independencia de hijo de sucesión de su planta madre (Aristizábal, 2003; Soto, 2008; Turner *et al*, 2007).



Figura 3. Meristemo apical vegetativo

Durante la etapa vegetativa el sistema foliar tiene dos etapas que se diferencian claramente,

- **Etapas juvenil:**

Aparecen hojas estrechas y a medida que se desarrolla la planta estas hojas son cada vez menos estrechas y la relación largo/ancho disminuye (Lassoudière, 2007). En términos prácticos esta etapa finaliza cuando la planta ha emitido la primer hoja con un ancho igual o superior a 10 cm y se conoce como F10 (figura 4).



Figura 4. A. Sistema foliar previo a la hoja F10 - B. Planta en F10.

- **Etapa vegetativa independiente:**

Se inicia a partir de la F10 y termina en el momento de la inducción floral, que se da una vez la planta ha emitido entre 12 y 14 hojas después de la F10 (figura 5). Durante esta etapa el largo y ancho del sistema foliar aumentar pero su relación se mantiene estable (Lassoudière, A. 2007).



Figura 5. Sistema foliar posterior a la hoja F10 y hasta diferenciación floral (etapa vegetativa independiente).

- **Aspectos nutricionales durante la etapa vegetativa**

Durante esta etapa son fundamentales nutrientes como el fósforo, nitrógeno, calcio y zinc para el desarrollo de nuevas raíces y de esta manera garantizar un buen desarrollo del sistema de anclaje y de transporte de nutrientes en la unidad productiva.

Debido al desarrollo del sistema de conducción y fotosintético es importante el suministro de nitrógeno, magnesio y azufre.

Al comenzar la iniciación floral es indispensable que haya disponibilidad de calcio, boro y zinc para que la planta pueda dar origen a un racimo de buen tamaño y de buena calidad. El suministro del potasio es importante para ayudar a la movilización de asimilados y de nutrientes al interior de la planta.

### 1.32 Etapa Reproductiva (Etapa vegetativa aparente)

Al final de la etapa vegetativa, ocurre la iniciación floral que es un proceso en el que las yemas originalmente vegetativas sufren cambios metabólicos que las preparan para transformarse en yemas florales.

El proceso que sigue a la iniciación floral se conoce como diferenciación floral y corresponde a una manifestación o cambio morfológico y se forman las flores femeninas y masculinas, estas últimas dan origen a los frutos que conformaran en primera instancia las manos y el conjunto de estas el racimo (figura 6).



Figura 6. Diferentes vistas del meristemo floral de banano y del avance del tallo floral en banano.

#### Aspectos importantes durante esta etapa:

- Durante esta etapa, 12 hojas ya diferenciadas se encuentran al interior del pseudotallo y emergen en el transcurso de la misma (figuras 7 y 8), desde el punto de vista fenológico se conoce como **etapa vegetativa aparente** debido a que lo que ocurre internamente no se puede observar a simple vista y se debe relacionar con el desarrollo del sistema foliar.



Figura 7. Hojas desarrollándose al interior del pseudotallo después de la diferenciación floral.



**Figura 8.** Hojas emergidas después de la diferenciación floral y hasta la floración (etapa vegetativa aparente).

Internamente en el pseudotallo se puede observar la estructura inicial del tallo floral, el primordio de bellota en su parte terminal (figura 6) y nueve o diez nudos diferenciados.

Durante esta etapa se da el crecimiento y elongación del verdadero tallo dentro del pseudotallo y posteriormente la emergencia de la inflorescencia (Soto, 2008).

**Inflorescencia:** La inflorescencia del banano es compleja y está formada por un racimo de cimas. Las cimas están insertadas espiralmente en el tallo floral y están compuestas de una espata y un surco doble de flores en las axilas (figura 9).



**Figura 9.** Cima: unidad de la inflorescencia de banano, compuesta por espata y un surco doble de flores en las axilas.

En la inflorescencia de *Musa* las flores generalmente se disponen en el siguiente orden: las pistiladas en la parte superior del racimo, neutras en la parte central y las estaminadas en la parte basal del racimo (figura 10).



Figura 10. Flores pistiladas y neutras.

Las flores femeninas se forman en primer lugar, tiene un ovario ínfero con tres lóculos cada uno con una placenta axilar, con un estilo corto y grueso. Sus estambres no funcionales reducidos a estaminodios. El ovario aumenta de tamaño y sin fertilización es el dedo. El ovario tiene numerosos óvulos anátropos (6 estambres con un ovario con 3 carpelos abortivos (figura 11). El ovario aumenta en volumen sin fecundación (partenocarpia) (Lassoudiere, 2007).

Después de las flores femeninas, dos o tres manos de flores neutras aparecen sin desarrollo de partes florales, seguidas por manos de flores masculinas con reducido desarrollo de ovarios y estambres bien desarrollados (figura 6) (Bakry, *et al*, 2009).

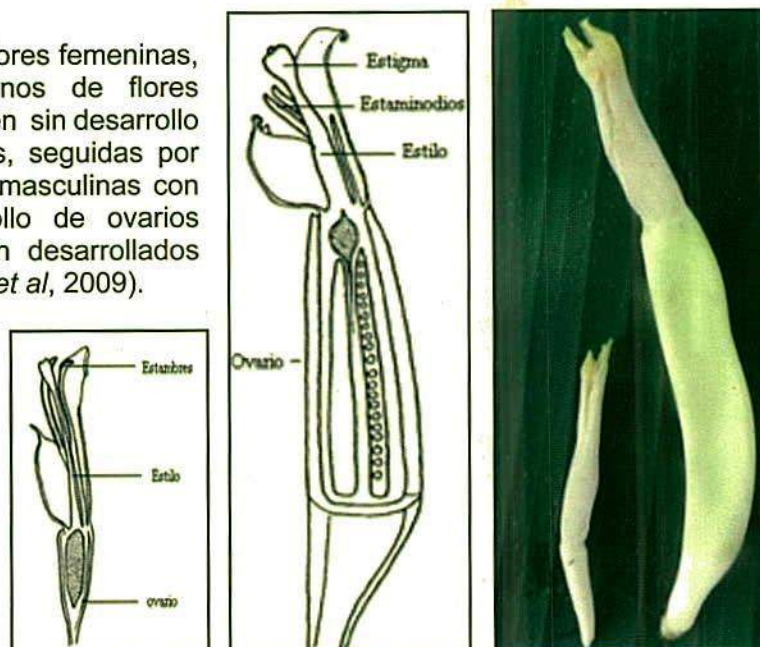


Figura 11. Flor masculina y femenina e banano. Modificado de Fahn *et al*, 1961.

## ● Aspectos nutricionales durante la etapa reproductiva

La iniciación diferenciación y floral es una fase crítica del desarrollo del cultivo, si la planta no con ha contado con un buen suplemento de nutrientes antes de esta fase, el tamaño y la calidad del racimo será afectado.

Nutrientes como el boro, el calcio, el fosforo y el zinc deben estar disponibles para la planta justo antes de esta fase para mejorar la calidad y tamaño del racimo, sin olvidar el balance de los demás nutrientes en la planta.

El nitrógeno, magnesio y azufre son fundamentales para el sistema foliar que se encuentra en desarrollo al interior del seudotallo (fase vegetativa aparente) y para el mantenimiento del que ya ha emergido, el potasio es importante para la expansión de las células de las hojas y para regulación hídrica de la planta. Estos mismos nutrientes son importantes para el desarrollo y mantenimiento de las raíces y el corno.

### 13.3 Etapa Productiva

Esta etapa corresponde al período de llenado del racimo, los ovarios de las flores femeninas se llenan con pulpa que forma el fruto sin necesidad de polinización y formación de semilla.

La acumulación de carbohidratos en los glomérulos (gajas o manos) ocurre en forma basípeta, el tamaño de los dedos disminuye con la misma tendencia que se observa en las manos.

El desarrollo del fruto comprende desde emergencia de la inflorescencia (figura 12), hasta la madurez fisiológica de los frutos. (Soto, 2008 y autores allí citados) y durante su desarrollo suceden los siguientes eventos:

- Desde la emisión de la inflorescencia hasta cuatro semanas después: El crecimiento del fruto se da por la división celular que se presenta alrededor de 20 días antes de la emisión de la inflorescencia hasta 30 días después de la emisión de la misma. La división celular se da en la parte más interna del pericarpio.

Al iniciar esta fase, la planta debe tener disponible nutrientes como el nitrógeno, el calcio, el fosforo, el zinc y el boro importantes en el proceso de multiplicación celular.

- De 4 a 12 semanas se presenta la expansión celular. la síntesis de almidón comienza alrededor de la cuarta semana de la emisión de la inflorescencia (Jullien *et al*, 2001a; Jullien *et al*, 2001b).

Uno de los nutrientes de mayor importancia durante este proceso es el potasio, dada su importancia en la movilización de productos asimilados hacia los frutos.

- De 12 a 15 semanas: maduración, la calidad de los frutos después de la cosecha esta estrecha relacionado con el manejo de la nutrición precosecha.



Figura 12. Desarrollo del fruto durante la etapa reproductiva.

Las tasas de crecimiento en las primeras 9 semanas del racimo esta alrededor de 1,1 % por día y durante las últimas semanas previas a la cosecha esta tasa de crecimiento es de 1,6% por día (Turner *et al*, 2007).

El déficit de agua reduce la tasa de acumulación de material seca en un 39% y la acumulación de K en un 57 % (Turner *et al*, 2007).

En estudios con la cultivariedad Williams bajo condiciones de déficit hídrico en el suelo, se ha encontrado que la fertilización con altas cantidades de nitrógeno promueven la maduración de los frutos en la plantación y aceleran la pérdida relativa de vida en verde y la tasa de maduración de los frutos (Srikul & Turner, 1995).

## BIBLIOGRAFIA

- Aristizábal L., M. 2003. Crecimiento y desarrollo de las plantas. En: Aristizábal L., M. Fisiología Vegetal. Manizales: Universidad de Caldas. P. 9 –21.
- Bakry, F. *et al.*, 2009. Genetic Improvement of Banana. Chapter 1. En: Jain, S.M., P.M. Priyadarshan (eds.). Breeding Plantation Tree Crops: Tropical Species. New York: Springer Science, Business Publishing. P. 3-50.
- Fahn, A., N. Klarman-Kislev, D. Ziv. 1961. The Abnormal Flower and Fruit of May-Flowering Dwarf Cavendish Bananas. En: Botanical Gazette. Vol. 123, no. 2, p. 116-125.
- Jullien, A. *et al.*, 2001. Effect of pulp cell number and assimilate availability on dry matter accumulation rate in a banana fruit [*Musa* sp. AAA group 'Grande Naine' (Cavendish subgroup)]. En: Annals of Botany. Vol. 88, no. 2, p. 321–330.
- Jullien, A. *et al.*, 2001. Within-bunch variability in banana fruit weight: importance of developmental lag between fruits. En: Annals of Botany. Vol. 87, no. 1, p. 101- 108.
- Lassoudière, A. 2007. Le bananier et sa culture. Versailles: Quae. 384 p.
- Nalina, L. *et al.*, 2006. Flower bud initiation and differentiation in plants of cv. Robusta (AAA) derived from suckers and from tissue-cultured plantlets. En: Infomusa. Vol. 15, no. 1-2, p. 24-25.
- Soto B., M. 2008. Bananos: técnicas de producción, manejo poscosecha y comercialización [CD ROM]. 3. ed. Corr. y aum. San José, C.R. 1090 p.
- Srikul, S y D.W. Turner. 1995. High N supply and soil water deficits change the rate of fruit growth of bananas (cv. "Williams") and promote tendency to ripen. En: Scientia Horticulturae. Vol. 62, no. 2, p. 165-174.
- Turner, D.W., J.A. Fortescue y D. S., Thomas. 2007. Environmental physiology of the bananas (*Musa* spp.). En: Brazilian Journal of Plant Physiology. Vol. 19, no. 4, p. 463-484.

BIBLIOTECA AGROPECUARIA DE COLOMBIA



## 2 CRECIMIENTO Y DESARROLLO EN BANANO

### 2.1 INTRODUCCION

*Todos los días observamos la dinámica en el crecimiento y desarrollo del cultivo del banano, y la variabilidad en crecimiento entre áreas de las fincas y a través de tiempo. Además las diferentes fases de desarrollo que se presentan en el cultivo en un momento dado. A pesar de esto, aún se desconocen conceptos básicos relacionados con el crecimiento, desarrollo y arquitectura de las plantas de banano, que son importantes para la planeación y ejecución de labores, aplicación de fertilizantes y tomar decisiones para tiempos apropiados de cosecha, etc. Por esto, en este capítulo se presentan conceptos sobre el crecimiento y desarrollo del cultivo del banano que pueden ser utilizados como un marco de referencia para las fincas bananeras.*

### 2.1 GENERALIDADES

El crecimiento se refiere a la acumulación de biomasa y puede ser medido por área foliar, pesos por órganos o total, altura de planta. El término implica cambio cuantitativos que ocurren durante el desarrollo y pueden ser definidos como cambio irreversibles en el tamaño de las células, órganos o la planta entera.

El desarrollo son los procesos por los cuales las plantas, órganos, o células pasan a través de estados identificables durante su ciclo de vida (fenología), hay cambio en función y morfología e incluye procesos de iniciación de órganos (morfogénesis), diferenciación y senescencia (capítulo 1).

La arquitectura de las plantas se logra mediante grupos de células madre en los meristemos apicales de brotes y las raíces. A través de las actividades de los meristemos apicales del tallo, las plantas generan los órganos laterales, incluyendo las hojas y los rebrotes.

El cuerpo de la planta se genera a través de unidades llamadas fitómeros, que es la unidad básica crecimiento y desarrollo. Un fitómero está constituido por un nudo, un entrenudo, una hoja u hojas y un meristemo axilar (brote) (figura 1). Dependiendo de sus posición en el tallo, los fitómeros difieren en tamaño y forma de las hojas, en la longitud de los entrenudos y en la expresión potencial de meristemos axilares (Carles & Fletcher, 2003).

El período de tiempo entre las iniciaciones de dos fitómeros sucesivos se llama plastocrono y entre la emisión foliar de dos hojas sucesivas se llama filocrono.

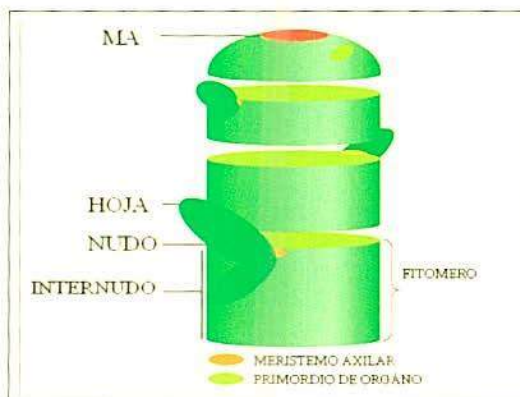


Figura 1. Arquitectura de las plantas Carles & Fletcher, 2003. MA: meristemo apical

Las hojas y los rebrotes no se inician al azar, sino que se desarrollan en patrones muy ordenados en el espacio y el tiempo. La filotaxia es el patrón espacial de las hojas a lo largo del eje central.

## 2.3 DESARROLLO DE SISTEMA DE ÓRGANOS EN BANANO

### 2.3.1 Sistema Radical

El sistema radical en banano es fasciculado y fibroso y está conformado por raíces primarias, secundarias, terciarias y los pelos absorbentes. Las raíces principales se forman en el verdadero tallo subterráneo, llamado rizoma o corno y surgen en grupos de 2 a 4 en el borde interior de la corteza del corno (figura 2) (Blomme *et al.*, 2003; Araya, 2003).

Las raíces de segundo y tercer orden se originan del protoxilema cerca a la punta de la raíces de primer y segundo orden y se siguen originando tanto como sea la extensión de la raíces de primer y segundo orden.



Figura 2. Vista del sistema de raíces en banano. Raíces primarias, secundarias y absorbentes.

Cada clase de raíz es más delgada que la raíz de la cual se origina y crece más lentamente y es de menor longitud. Las raíces secundarias tienen una duración menor que las raíces primarias. Las primarias pueden ser funcionales entre 4 y 6 meses entre tanto las secundarias pueden ser funcionales de 5 a 8 semanas (Lecompte *et al.*, 2001; Blomme, 2003).

Las raíces son de crecimiento rápido y muy sensibles al déficit o exceso hídrico ya que el 65% de ellas se encuentra en los primeros 30 cm del suelo. Entre el 79 y 88% de las raíces son encontradas en los primeros 45 y 60 cm del perfil del suelo (Araya, 2005; Turner *et al.*, 2007). Hay raíces de banano que pueden penetrar hasta 2 metros y entre el 15 al 20% de las raíces de banano pueden ser de más de 1 metro (figura 3).



Figura 3. Vista de la extensión y volumen del sistema radical en banano.

En lugares de pobre desarrollo, el total del sistema radical se puede encontrar solo hasta los 75 cm de profundidad, mientras en sitios con plantas de regular y buen desarrollo el sistema radical alcanza los 120 cm de profundidad (Araya, 2005).

Durante los primeros meses del crecimiento vegetativo, la producción de raíces es abundante. Muchos retoños con un sistema foliar muy rudimentario y poco funcional llegan a tener un sistema radicular bien desarrollado antes de producir la primera hoja (Soto, 2008).

La emisión de las raíces del retoño es independiente del desarrollo del sistema foliar y más parece cumplir con una necesidad nutricional de la planta madre que del retoño mismo (Soto, 2008).

La emisión de raíces de la planta madre se detiene antes de floración (figura 3). La formación de raíces disminuye desde el momento que se produce la diferenciación floral, aunque continúan desarrollándose aquellas que ya se habían formado en este momento (Soto, 2008; Turner *et al.*, 2007). La longitud de raíz disminuye en un 40% durante el período reproductivo, mientras que el número de raíces disminuye en sólo el 8% lo que indica que las raíces largas son más propensas a deteriorarse.

### **Factores que limitan el crecimiento y desarrollo de raíces**

Las raíces del banano son responsables del anclaje, suministro de agua y nutrientes y producción e intercambio de varias sustancias reguladoras de crecimiento con la parte aérea de la planta como citocininas, ácido abscísico, etileno, giberelinas, auxinas y ácido jasmónico y por esto se ha reportado que la pérdida de 10 gramos de raíces funcionales por planta, puede disminuir la productividad entre 60 a 140 cajas por hectárea año dependiendo de las condiciones agroecológicas del sitio (Serrano, 2003).

Ha sido reconocido que los extremos texturales (arcilla y arena) afectan negativamente la producción a través de limitar la disponibilidad de agua y nutrientes en general y limitar el drenaje interno en suelos arcillosos (Higuita y Sanchez, 2012).

Recientemente se ha tomado en consideración la estructura, resistencia a la penetración de raíces y la densidad aparente del suelo. Las propiedades químicas que comúnmente resultan en deterioro del sistema radical del banano son sodio y aluminio intercambiables, hierro y manganeso solubles en exceso, reacción del suelo (como determinante de la disponibilidad de nutrientes) y elementos tóxicos, bajos contenidos de materia orgánica y alteración de los balances nutricionales (Higuita y Sanchez, 2012).

La degradación biológica, por varias causas, resulta en la alteración de las poblaciones de los microorganismos del suelo con un posible efecto sobre el sistema radical y disminución en la producción (Gauggel *et al.*, 2003).

En áreas con un régimen de intensa pluviosidad, los problemas de drenaje caracterizados por estancamientos de agua superficial y presencia del nivel freático dentro del primer metro de profundidad, son factores que contribuyen a la baja productividad, como efecto de la pérdida de la funcionalidad del sistema radical.

El exceso de agua puede producir asfixia radicular. La planta de banano soporta mejor el déficit hídrico que la asfixia (Turner *et al.*, 2007; Aguilar *et al.*, 2003), esta característica es importante para un adecuado manejo del riego en las plantaciones que cuentan con él y para el manejo del drenaje para evitar el estrés en la planta por asfixia radicular. En condiciones de sequía, el estrés hídrico afecta el desarrollo de las raíces.

### 2.3.2 Sistema Foliar

Las filotaxia de las hojas de banano se presentan con un ángulo de 156 grados. Las hojas se desarrollan en el interior del pseudotallo incrementando el área de la lámina hasta emerger en la punta del pseudotallo.

El desarrollo foliar se puede dividir en tres dependiendo de la relación relativa entre el largo y ancho de la hoja (figura 4)

- Etapa juvenil: aparecen hojas estrechas y a medida que avanza el desarrollo estas cada vez son menos estrechas y la relación largo/ancho va disminuyendo. Alrededor de 12 hojas son emitidas durante esta etapa.
- Etapa vegetativa independiente: el largo y ancho del sistema foliar aumenta pero su relación se mantiene estable para una variedad determinada. Alrededor de 12 hojas son emitidas durante esta etapa, inicia desde la aparición de la primera hoja con un ancho superior a 10 cm denominada F10.
- Etapa vegetativa aparente: internamente ya se ha diferenciado el meristemo floral, sin embargo alrededor de 12 hojas aun no han emergido. Durante esta etapa el ancho de las hojas aumenta ligeramente y el largo continúa crecimiento y la relación largo/ancho aumenta regularmente. Cerca a la floración la longitud del limbo foliar disminuye.



Figura 4. Diferentes fases de desarrollo del sistema foliar en banano.

El número de hojas emitidas desde el inicio de la etapa independiente (F10) hasta la floración es casi constante y esta alrededor de 24 a 25 hojas.

La emisión foliar que es el número de hojas emitidas por semana en la planta de banano, está influenciada por las condiciones climáticas durante el año y por el manejo agronómico de la plantación (Mira *et al.*, 2004).

Se ha encontrado bajo las mismas condiciones agronómicas de cultivo, que en las cultivariedades Giant Cavendish, Williams y Gran Enano un comportamiento similar de los tres materiales con una tasa promedio de emisión foliar es de 0,8 (Figura 5).

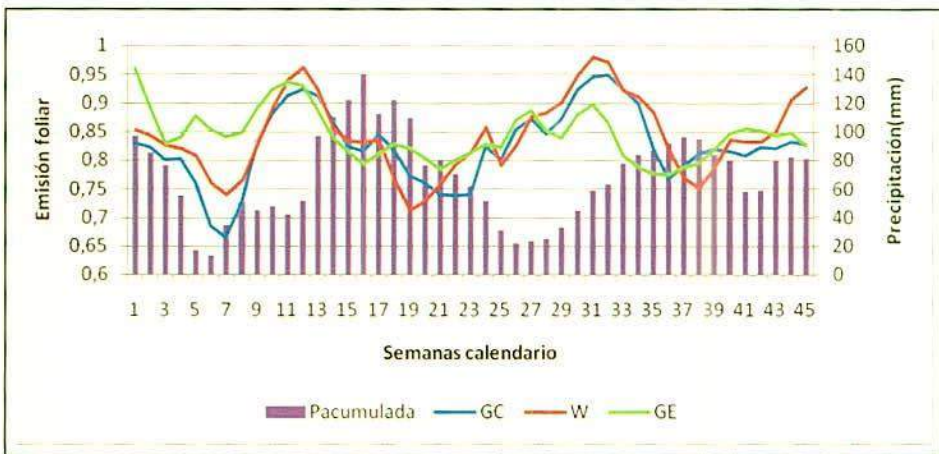


Figura 5. Tasa de Emisión foliar semanal en cultivariedades de banano cavendish y su relación con la precipitación.

La máxima cantidad de área foliar en una planta coincide con la emergencia de la inflorescencia. Después de este momento no se producen nuevas hojas e inicia a declinar el área foliar por la senescencia de las hojas viejas.

Existe influencia nutricional en la duración de vida de una hoja. El potasio y el magnesio son los que tienen mayor efecto en la duración funcional de una hoja, no obstante la deficiencia de Ca, Mg y K también tienen impacto negativo sobre el desarrollo foliar (Soto, 2008 y autores allí citados).

Un mayor número de hojas al momento de la floración se ha encontrado con un aumento en la dosis de B ( $4-6 \text{ kg ha año}^{-1}$ ), lo que podría estar relacionado con el papel del B en el normal funcionamiento de los procesos de división celular y emisión de brotes aéreos (Romero, 2008).

Un parámetro importante que mide la capacidad del dosel para interceptar radiación solar y fijar carbono es el índice de área foliar (IAF). El IAF incluye el

área de todas las hojas verdes por planta dividida por el área del suelo ocupada por la planta.

Este parámetro varía con la locación, densidad de plantas, condiciones climáticas y manejo del cultivo. Martínez (2006) encontró un IAF inferior a 2 en el primer ciclo en las cultivariedades Valery y Gran Enano (figura 6), otros autores han encontrado que el rango del IAF en banano oscila entre 2 a 5. En plantaciones de banano con IAF de 4,5 cerca del 90% de la radiación solar es interceptada por el dosel (Turner *et al.*, 2007).

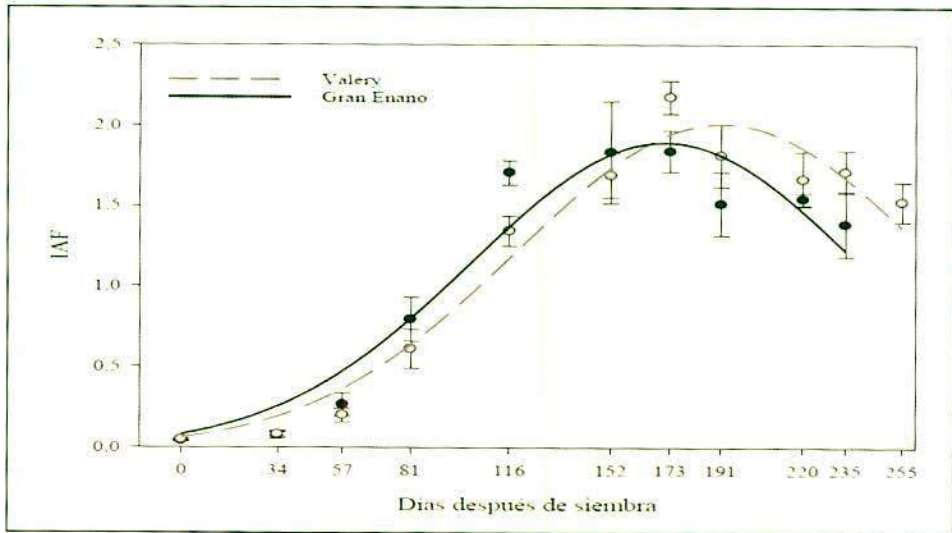


Figura 6. IAF foliar en banano cultivariedades Valery y Gran enano (Martínez, 2006).

### 23.3 Sistema de Soporte y Conducción

El verdadero tallo de la planta de banano es conocido como rizoma tuberoso, los rebrotes (hijos de sucesión) crecen sucesivamente y hay un crecimiento horizontal pequeño antes de que estos rebrotes crezcan hacia arriba, por lo que no puede considerarse como un cormo verdadero (Robinson y Galán, 2010). En este documento se utilizara el término rizoma y cormo indistintamente, porque ha sido ampliamente difundido este término el mundo bananero.

El rizoma es un tallo que desarrolla hojas en la parte superior y raíces adventicias en la parte inferior (Figura 7). Si un rizoma se corta longitudinalmente el meristemo apical se observa en una depresión encerrada entre las bases foliares circundantes. Los entrenudos son muy cortos por lo que el rizoma crece a muy poca altura; sin embargo es grueso y carnoso debido a la gran cantidad de parénquima (Soto, 2008).



Figura 7. Cormo de banano y vista del meristemo apical en la parte superior del cormo.

La posición y aparición de las yemas, depende de la filotaxia de la planta, el patrón filotaxico es de  $2/5$  ( $156^\circ$ ) y por esto mediante el esquema de pentágonos se explica la aparición de los hijos de sucesión en la planta de banano (figura 8 y 9) (De Langhe, 1961).

La frecuencia de aparición entre rebrotes y el intervalo de tiempo entre el primero y el último, son afectados por condiciones de manejo y agroecológicas y pueden conocerse indirectamente si se conocen los datos del filocrono (emisión foliar).

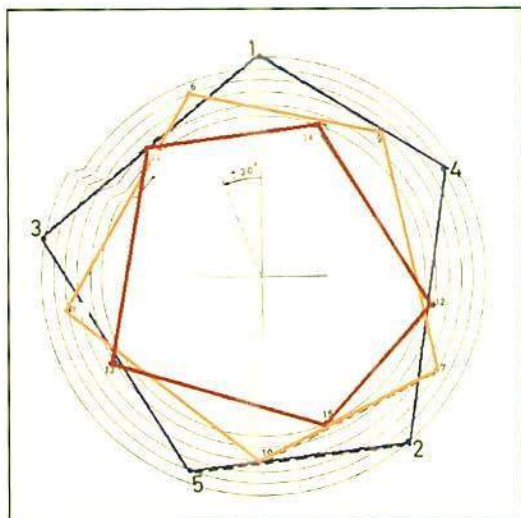


Figura 8. Diagrama de orden de emisión de rebrotes (De Langhe, 1961).

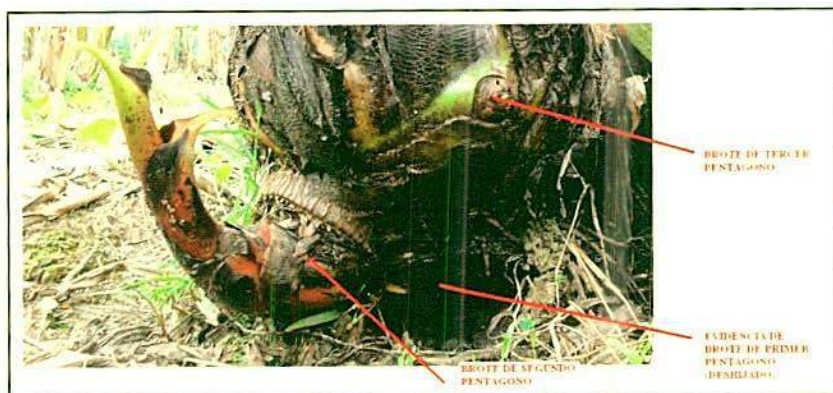


Figura 9. Brotes de banano de diferentes pentágonos.

## Crecimiento del sistema de soporte y conducción

Las vainas foliares conforman el seudotallo de la planta de banano y va creciendo en diámetro y longitud con el crecimiento en el centro de nuevas hojas. La longitud del seudotallo y su grosor esta en relación directa con el tipo de clon y con el vigor de la planta. La altura del seudotallo al momento de la floración de su planta madre debe estar entre 1,20 a 1,50 m, esta adecuada sincronización entre generaciones de una misma unidad productiva se verá reflejado en menor intervalo entre floraciones y por ende en el índice de retorno de la plantación.

La tasa de crecimiento en altura de una misma planta, bajo adecuadas condiciones agroecológicas, es mayor durante la etapa juvenil en comparación con la tasa de crecimiento durante las etapas independiente y vegetativa aparente.

Los estudios de crecimiento en altura y diámetro en banano normalmente se hacen en la fase autónoma de la planta o sea desde F10 hasta floración. El crecimiento en diámetro y la altura del seudotallo en las cultivariedades Giant cavendish, Williams y gran enano durante la etapa independiente y vegetativa aparente se presentan en las figuras 10 a 15.

En suelos de buena fertilidad y con adecuado manejo agronómico la altura puede alcanzar la cultivariedad Giant Cavendish es de 3,50 m, William 3,30 y Gran Enano 3,37, aunque esta ultima cultivariedad es la que presenta mayor variabilidad en la altura.

El crecimiento en promedio semanal que varían entre 7,3 y 7,8 cm de altura y 2,2 a 2,4 cm de diámetro. Estas tasas de crecimiento dependen del sitio de cultivo y están influenciadas por las condiciones ambientales y prácticas agronómicas del cultivo, por lo que es importante determinarlas en cada finca.



Figura 10. Crecimiento en circunferencia de cultivariedad Giant cavendish hasta floración. Ecuación de regresión lineal indica el crecimiento en diámetro máximo promedio a floración y la tasa de crecimiento semanal.

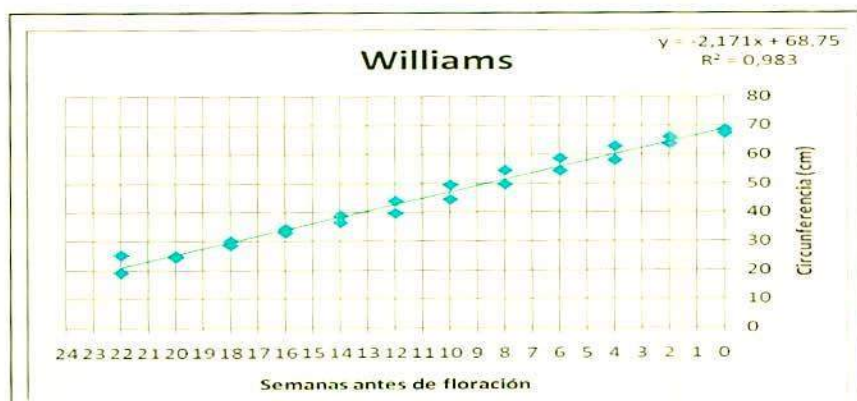


Figura 11. Crecimiento en circunferencia de cultivariedad Williams hasta floración. Ecuación de regresión lineal indica el crecimiento en diámetro máximo promedio a floración y la tasa de crecimiento semanal.

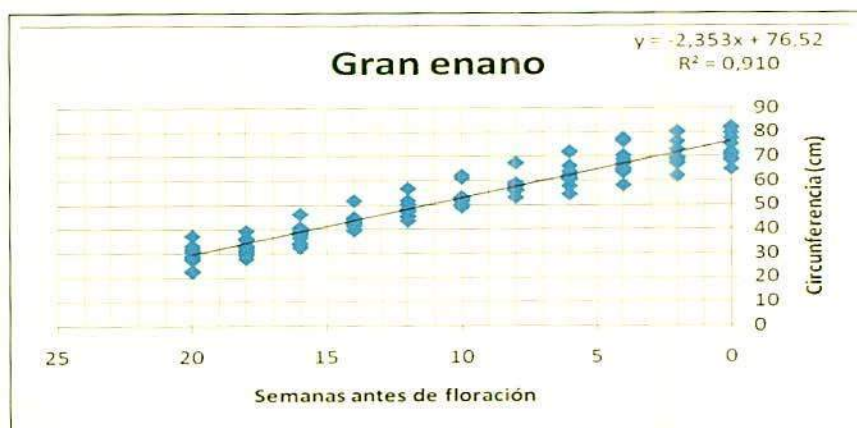


Figura 12. Crecimiento en circunferencia de cultivariedad Gran enano hasta floración. Ecuación de regresión lineal indica el crecimiento en diámetro máximo promedio a floración y la tasa de crecimiento semanal.

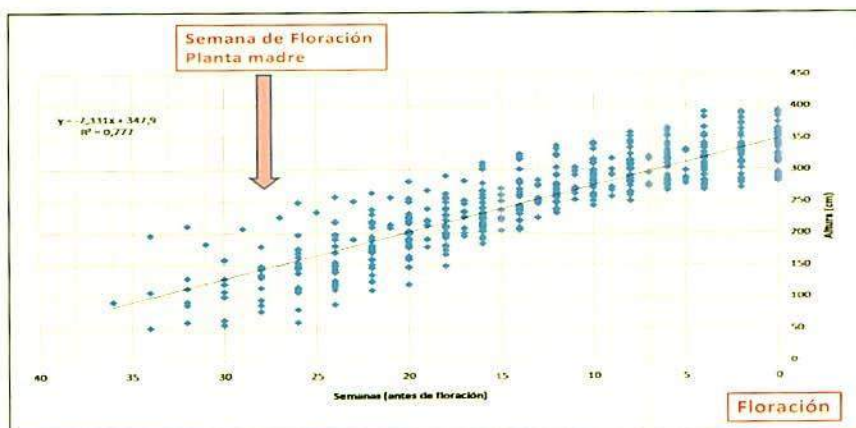


Figura 13. Crecimiento en altura de cultivariedad Giant cavendish hasta floración. Ecuación de regresión lineal indica el crecimiento en altura máximo promedio a floración y la tasa de crecimiento semanal.

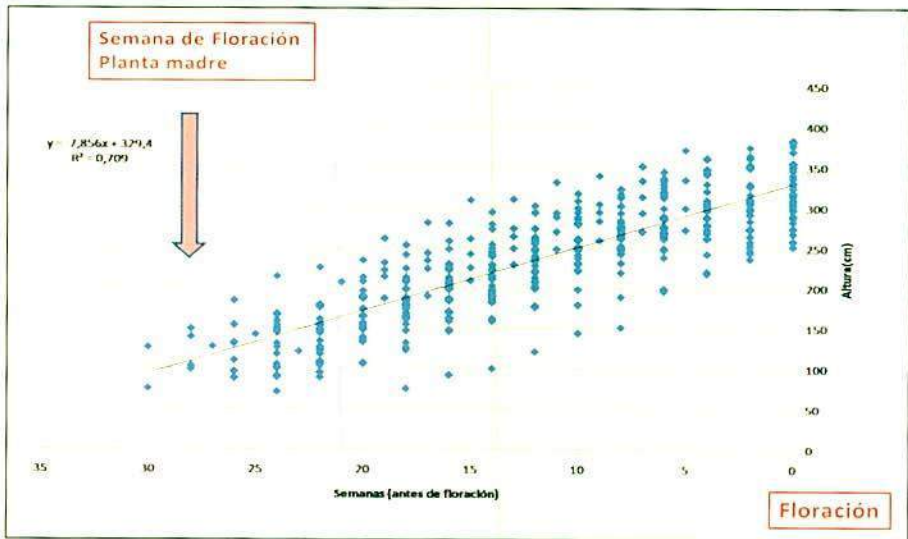


Figura 14. Crecimiento en altura de cultivariedad Williams hasta floración. Ecuación de regresión lineal indica el crecimiento en altura máximo promedio a floración y la tasa de crecimiento semanal.

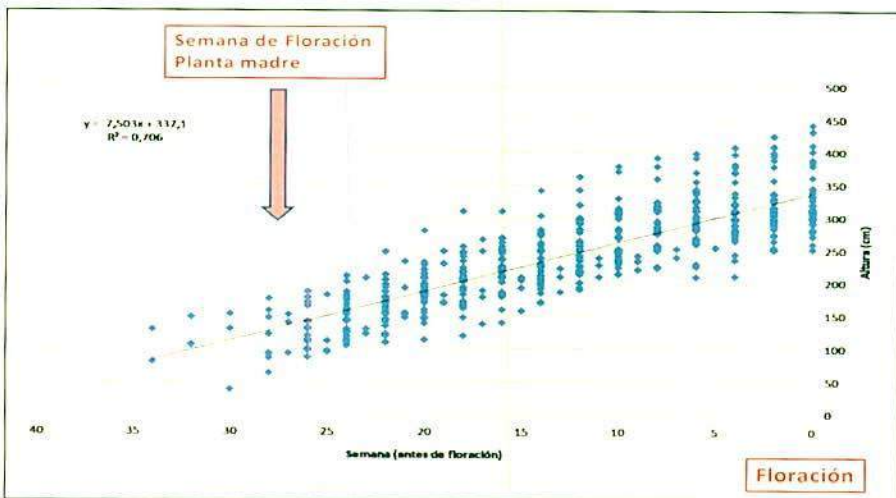


Figura 15. Crecimiento en altura de cultivariedad Gran enano hasta floración. Ecuación de regresión lineal indica el crecimiento en altura máximo promedio a floración y la tasa de crecimiento semanal.

La velocidad de crecimiento durante la fase juvenil, está regulada por el desarrollo de la planta madre, por lo que la tasa de crecimiento de los hijos de mayor edad es menor en comparación a los de segunda corona.

El intervalo de floraciones entre dos generaciones de plantas, es función de la tasa de crecimiento durante la fase autónoma, esta tasa es el reflejo de las condiciones de manejo del cultivo.

La cultivariedad gran enano bajo adecuadas condiciones de manejo presenta adecuadas tasas de crecimiento, no obstante bajo condiciones de exceso o déficit de agua se presenta retrasos en crecimiento y desarrollo y mayores síntomas de estrés.

La medición de tasas de crecimiento en altura y diámetro, son análisis sencillos de realizar en las fincas y que tiene un uso en la toma de decisiones en varias situaciones:

- Altura del la planta a la cual se debe seleccionar el hijo de sucesión, importante para determinar momentos de deshije de las plantaciones.
- Épocas del año oportunos para realizar prácticas de traslado de cosecha.

### 2.3.4 Desarrollo de los Hijos

Los brotes o retoños (hijos) se desarrollan a partir de las yemas laterales del rizoma. El desarrollo de nuevos hijos parece estar influenciado por la dominancia apical de la planta madre, la edad de esta y el tipo de clon.

El hijo de sucesión después de emitir alrededor de 12 a 13 hojas muy reducidas da origen a una nueva hoja con una lamina superior a 10 cm, esta hoja de denomina F10, desde el punto de vista fenológico, esta hoja sirve para separar la etapa juvenil de la etapa independiente del sistema foliar de las plantas de banano.

Es evidente la influencia del seudotallo de la planta madre cosechada sobre el crecimiento del hijo de sucesión, debido al suministro de reservas y agua desde esta estructura (Rodríguez *et al.*, 2006). Por esto la importancia de una adecuada sincronización entre la planta madre e hija.

Dentro de los aspectos más importantes de la relación entre madre e hijo se puede mencionar:

- Los retoños que mantienen el seudotallo de la planta madre presentan un mayor crecimiento en altura y diámetro del seudotallo debido a la transferencia de nutrimentos desde la planta madre.
- Se presenta un incremento en el peso del racimo, número de manos y ratio a mayor altura de corte del seudotallo de la planta madre.
- La eliminación total del seudotallo al momento de la cosecha genera reducción en el tamaño del puyón y aumento del tiempo hasta floración.

La conexión vascular entre la madre ya cosechada y el hijo, se ha evidenciado a través de inyecciones del herbicida sistémico glifosato dirigido al troncón de la madre recién cosechada, este herbicida se mueve vía xilema y floema dentro de las plantas, al cabo de 2 semanas se encontró efectos sobre la planta hija, explicado porque a través de esta conexión vascular se da el paso de solutos después de que el racimo se ha cosechado (Díaz, 2005).

Diferentes autores han sugerido que los hijos con raíces propias, participan en la nutrición de la planta madre, y que después de la floración es probable que los retoños intervengan en la absorción de nutrientes para la planta madre. El estado de desarrollo del hijo al momento de la floración de la planta madre o sea una buena sincronización entre madre e hijo, es primordial para el desarrollo del mismo.

## 2.4 ACUMULACIÓN DE MATERIA SECA EN PLANTAS DE BANANO

La acumulación de materia seca (asimilados del proceso de la fotosíntesis) de estas cultivariedades muestran una curva típica sigmoideal, con un periodo de lento crecimiento durante las primeras semanas, desde la siembra del material proveniente de vivero (figura 16). Posteriormente se presenta un crecimiento acelerado de las plantas que solo disminuye hasta dos semanas antes de la cosecha del racimo y luego una desaceleración en el crecimiento ya que la acumulación de materia disminuye.

En la figura 17 se observa la duración de cada fase en Gran enano y la distribución y dinámica de acumulación de materia seca en cada órgano de la planta de esta cultivariedad, a través de cada fase de crecimiento.

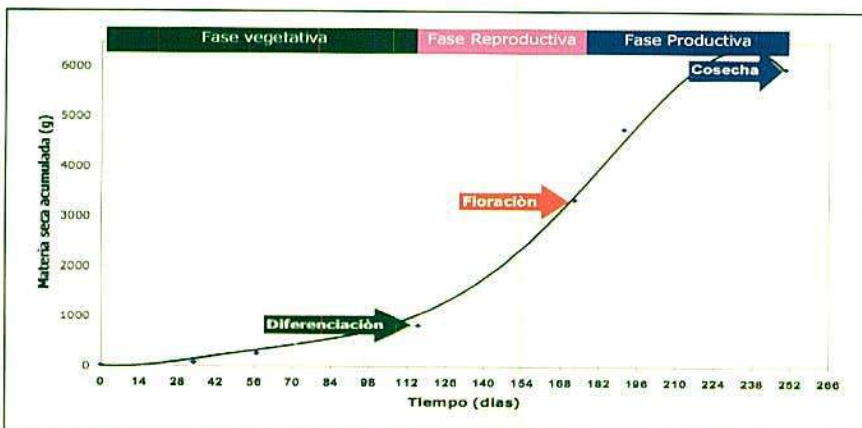


Figura 16. Acumulación de la materia seca total en plantas de banano Valery en la zona de Uraba- Colombia (Adaptado Martínez, 2006).

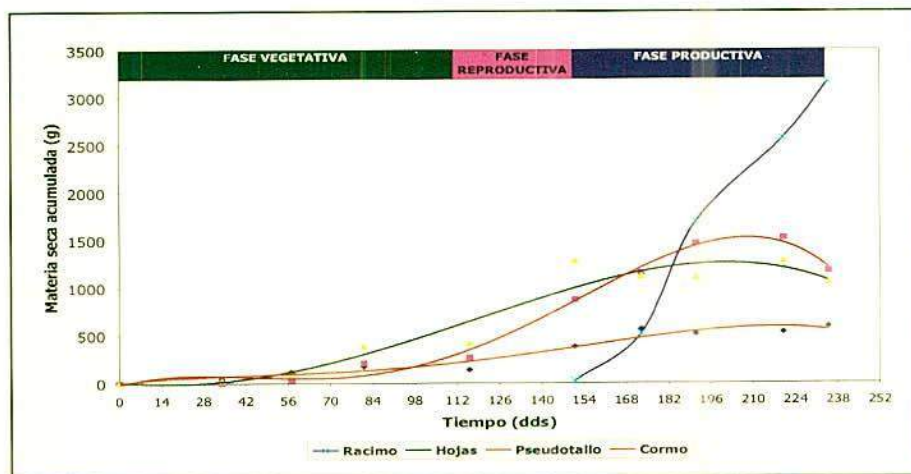


Figura 17. Acumulación de la materia seca de cada órgano en plantas de banano Gran Enano (Adaptado Martínez, 2006).

Los diferentes órganos presentan acumulación de materia seca hasta la floración. En la dinámica de acumulación del rizoma se puede observar que la tendencia después de floración es a mantener la materia seca ya acumulada.

En el caso de las hojas y el seudotallo durante la etapa productiva se aprecia una reducción de la materia seca acumulada, que es explicada porque estos órganos empiezan a translocar los productos elaborados y nutrientes a otros órganos y a los nuevos hijos de sucesión. A partir de la floración se inicia la acumulación acelerada de materia seca en el racimo del banano.

En la tabla 1 se presentan el contenido de minerales en la pulpa de fruta en diferentes sitios de siembra de banano, se observa que existe cierta variabilidad en sus contenidos por efecto del sitio y por efecto de las prácticas de manejo del cultivo.

En la tabla 2, se observan para las condiciones de Urabá el contenido de minerales en la fruta (incluyendo la cáscara), de los elementos mayores el nitrógeno y el fósforo presentan menor variación de su contenido por unidad de materia seca y de los micronutrientes es el zinc quien tiene una menor variación por unidad de materia seca.

**Tabla 1.**  
Contenido de macroelementos y microelementos en frutos de banano (Bugaud *et al.*, 2009).

		Macronutrientes				Micro nutrientes		
		Potasio	Magnesio	Fosforo	Calcio	Hierro	Zinc	Manganeso
		gkg <sup>-1</sup> materia seca de pulpa				mgkg <sup>-1</sup> materia seca de pulpa		
Sitio	1	13,3	1,16	0,72	0,16	15	12	3
	2	15,9	1,26	0,88	0,19	21	9	5
	3	15,5	1,28	0,96	0,2	19	11	9
	4	13,4	1,23	0,8	0,35	23	9	11
	5	14	1,23	0,84	0,26	17	9	38
	6	15,5	1,46	1,09	0,29	22	10	18
Efecto de sitio		No significativa	***	ns	***	ns	ns	***

**Tabla 2.**  
Contenido promedio de macroelementos y microelementos en frutos de banano en la región de Urabá

	Macronutrientes						Micro nutrientes				
	Nitrógeno	Fosforo	Azufre	Calcio	Magnesio	Potasio	Fe	Mn	Cu	Zn	B
	g kg <sup>-1</sup> materia seca del fruto						mg kg <sup>-1</sup> materia seca de l fruto				
Promedio	6,6	1,0	0,3	0,7	1,0	22,1	30,4	28,1	3,4	9,6	13,1
Ds	0,6	0,1	0,1	0,2	0,2	5,1	9,9	5,1	0,7	0,7	4,2
CV	8,7%	7,1%	25,9%	23,7%	20,1%	22,9%	32,6%	18,3%	21,1%	7,6%	31,8%

El potasio y el nitrógeno, son los macronutrientes de mayor acumulación en los frutos. El boro y el zinc, son elementos que tienen una importante acumulación en los frutos.

BIBLIOTECA AGROPECUARIA DE COLOMBIA

## BIBLIOGRAFIA

- Aguilar, E.A. *et al.* 2003. Oxygen distribution and movement, respiration and nutrient loading in banana roots (*Musa* spp. L.) subjected to aerated and oxygen depleted environments. En: *Plant and Soil*. Vol. 253, no. 1, p. 91-102.
- Araya, M. 2003. Stratification and spatial distribution of the banana (*Musa* AAA, Cavendish subgroup, cvs 'Valery' and 'Grande naine') root system. En: D.W. Turner and F.E. Rosales (eds.). *Banana root system: towards a better understanding for its productive management: Proceedings of an International Symposium held in San José, Costa Rica, 3-5 November 2003*. Montpellier: INIBAP. P. 83-103.
- Blomme, G., R. Swennen, A. Tenkouano. 2003. Assessment of genotypic variation in the root architecture of *Musa* spp. under field conditions. En: *Infomusa*. Vol. 12, no. 1; p. 24-29.
- Bugaud, C. *et al.* 2009. Relative importance of location and period of banana bunch growth in carbohydrate content and mineral composition of fruit. En: *Fruits*. Vol. 64, no. 2; p. 63-74.
- Carles, C. C. y J. C. Fletcher. 2003. Shoot apical meristem maintenance: the art of a dynamic balance. *Trends in Plant Science* Vol.8, no.8, p. 394-401.
- Delvaux, B., G. Rufuikiri y J. Dufey. 2003. Ion absorption and proton extrusion by banana roots. En: D.W. Turner and F.E. Rosales (eds.). *Banana root system: towards a better understanding for its productive management: Proceedings of an International Symposium held in San José, Costa Rica, 3-5 November 2003*. Montpellier: INIBAP. P 114-121
- Díaz, A.C. 2005. Respuestas fisiológicas, productivas y de calidad del banano (*Musa* AAA cv. Gran enano) a la aplicación de Ca en la zona de Urabá. Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 55 p.
- Draye, X., F. Lecompte y L. Pages. 2003. Distribution of banana roots in time and space: new tools for an old science. En: D.W. Turner and F.E. Rosales (eds.). *Banana root system: towards a better understanding for its productive management: Proceedings of an International Symposium held in San José, Costa Rica, 3-5 November 2003*. Montpellier: INIBAP. P. 58-74.
- De Langhe, E. 1961. La phyllotaxie du bananier et ses consequences pour la comprehension du système rejettant. En: *Fruits*. Vol. 16, no. 9, p. 429-441.

- Gauggel, C. A., F. Sierra y G. Arévalo. 2003. The problem of banana root deterioration and its impact on production: Latin America's experience. En: D.W. Turner and F.E. Rosales (eds.). *Banana root system: towards a better understanding for its productive management: Proceedings of an International Symposium held in San José, Costa Rica, 3-5 November 2003*. Montpellier: INIBAP. P. 13-22
- Lecompte, F., L. Pagès y H. Ozier-Lafontaine. 2005. Patterns of variability in the diameter of lateral roots in the banana root system. En: *New Phytologist*. Vol. 167, no, 3, p. 841–850.
- Martínez A., A.M. 2006. Dinámica del crecimiento, desarrollo y distribución de asimilados en el cultivo del banano (*Musa AAA Simmonds cv. Valery* y *cv. Gran Enano*) en la zona de Urabá. Trabajo de Maestría en Fisiología de Cultivos. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 108 p.
- Mira C., J., A. Díaz. y M. Hernández. 2004. Influencia del régimen de lluvias sobre la productividad bananera de Urabá. En: COMALFI. *Memorias XXXIV Congreso Sociedad Colombiana de Control de Malezas y Fisiología Vegetal*. Bogotá. 72 p.
- Robinson, C. y V. Galan-Sauco. 2010. *Bananas and plantains*. 2. ed. (Crop production science in horticulture; no. 19). Wallingford, UK.: CAB International. 311 p.
- Rodríguez, C., G. Cayón y J. Mira. 2006. Influencia del seudotallo de la planta madre cosechada sobre el crecimiento y producción del hijo de sucesión en banano (*Musa AAA Simmonds*). En: *Agronomía Colombiana*. Vol. 24, no. 2, p. 274-279.
- 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.
- Serrano, E. 2003. Relationship between functional root content and banana yield in Costa Rica. En: D.W. Turner and F.E. Rosales (eds.). *Banana root system: towards a better understanding for its productive management: Proceedings of an International Symposium held in San José, Costa Rica, 3-5 November 2003*. Montpellier: INIBAP. P. 25-34
- Soto B., M. 2008. *Bananos: técnicas de producción, manejo poscosecha y comercialización [CD ROM]*. 3. ed. Corr. y aum. San José, C.R. 1090 p.

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.

Turner, D W. 2003. Factors affecting the physiology of the banana root system. En: D.W. Turner and F.E. Rosales (eds.). *Banana root system: towards a better understanding for its productive management: Proceedings of an International Symposium held in San José, Costa Rica, 3-5 November 2003*. Montpellier: INIBAP. P. 107-113.

**CENIBANANO** ●

Centro de Investigaciones del Banano



## **CENIBANANO**

**Centro de Investigaciones del Banano**

Dependencia de la Asociación de Bananeros de Colombia - AUGURA, que tiene por objeto realizar labores de apoyo técnico a los productores bananeros de Urabá y Magdalena. Su objetivo central es desarrollar investigación en líneas fundamentales para asegurar la sostenibilidad de la producción bananera en Colombia que son: Fitoprotección, Fisiología y Nutrición, Suelos y Agricultura de Precisión, buscando siempre la innovación mediante el desarrollo de procesos de producción eficientes y limpios, para disminuir el uso de agroquímicos y la protección del ambiente, de modo que le permitan al sector bananero colombiano construir ventajas competitivas frente a otros países productores y exportadores de banano.

## 3. DURACIÓN DE FASES Y ETAPAS FENOLOGICAS Y SU RELACIÓN CON EL CLIMA

### 3.1 INTRODUCCIÓN

*En el campo la población de plantas se encuentran en distintas etapas fenológicas en una determinada época, y los eventos fenológicos, como la floración, se distribuyen a través del tiempo con diferentes patrones que dependen de las condiciones ambientales, de las épocas de siembra, de la edad de cultivo y de las prácticas de manejo.*

*El conocimiento y la comprensión de los patrones fenológicos y su relación con el clima, es una herramienta para maximizar la eficiencia del uso de los nutrientes, especialmente aquellos necesarios en momentos críticos de desarrollo de la planta. La floración es el evento fenológico con mayor información en el cultivo del banano y a partir de este se pueden tomar decisiones de manejo.*

### 3.2 DISTRIBUCIÓN DE LA FLORACIÓN

Durante la primera generación de banano, la floración de un población de plantas se presenta en un periodo de tiempo más corto en comparación con plantaciones establecidas donde esta distribución en el tiempo es mayor (figura 1). En la primera generación la distribución se presenta alrededor de 14 semanas, entre tanto en plantaciones ya establecidas se distribuye en promedio entre 28 a 34 semanas dependiendo del sistema productivo, siendo la duración de este periodo igual al intervalo de floración a floración de una población de plantas.

La amplitud de esta distribución depende de la cultivariedad, de las condiciones agroecológicas del sitio de siembra y del manejo agronómico del cultivo.

Cuando se realizan prácticas como el desbacote u otras prácticas de programación de cosecha, como el denominado chopeo, la distribución de la floración de los hijos de sucesión seleccionados, será muy similar a la distribución de floración de una primera generación.

El inicio de floración para primer ciclo y después de prácticas como las

mencionadas (desbacote y chopeo) puede iniciar desde 18 semanas después de siembra y distribuirse durante las 14 semanas mencionadas.



Figura 1. Distribución de la floración en primera y segunda generación de plantas de banano.

La distribución de floración para las cultivariedades, Giant Cavendish, William, Valery Gran Enano en plantaciones establecidas, se presenta en la figura 2. Se observa que el comportamiento de la floración de los tres cultivariedades, bajo idénticas condiciones agroecológicas y de manejo, es similar aunque el cultivar gran enano tiene una distribución de floración un poco más homogénea en relación a Williams y Giant Cavendish.

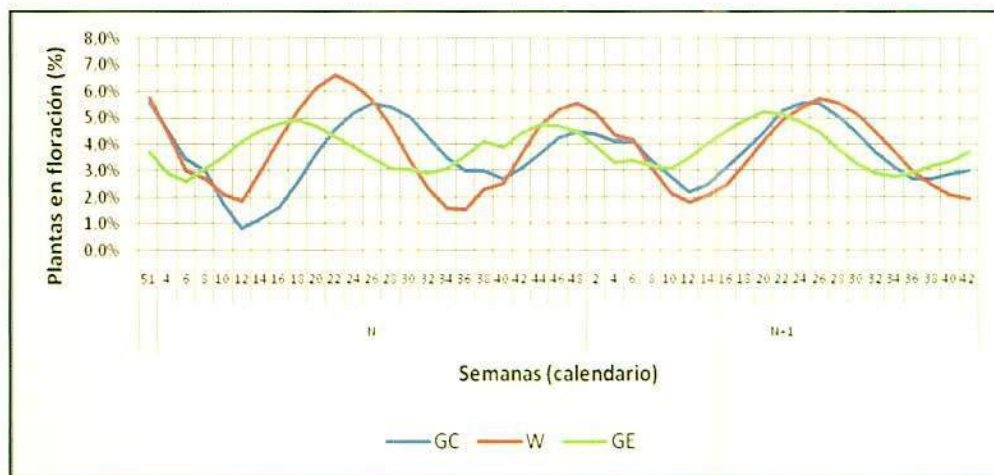


Figura 2. Comportamiento poblacional de la floración en tres cultivariedades Cavendish en la región de Urabá.

Hay condiciones agroecológicas de los sitios de cultivo de banano que influyen sobre la distribución de la floración a través del año, presentándose periodos en que una mayor cantidad de plantas pasa por la fase de floración, estos periodos deben tenerse en cuenta para definir los programas de fertilización teniendo como referencia el tiempo de duración de cada estado fenológico de banano.

Además de los periodos donde se incrementa la floración, hay que tener claridad en cada finca, del tiempo que se distribuye la floración de un corte poblacional de plantas (generación) (figura 3). Este periodo equivale al intervalo de floración promedio de la finca y es términos prácticos el tiempo en que una generación de plantas, recibe las diferentes prácticas de manejo directamente. A manera de ejemplo, en un lote de cultivo con una distribución de la floración de 32 semanas, para garantizar que cada generación de plantas reciba un “hércules” en el área de influencia de su rizosfera se debe realizar dicha labor al menos cada 32 semanas. Este mismo análisis se debe tener en cuenta tanto para las frecuencias de aplicación de nutrientes como de otras labores del cultivo.

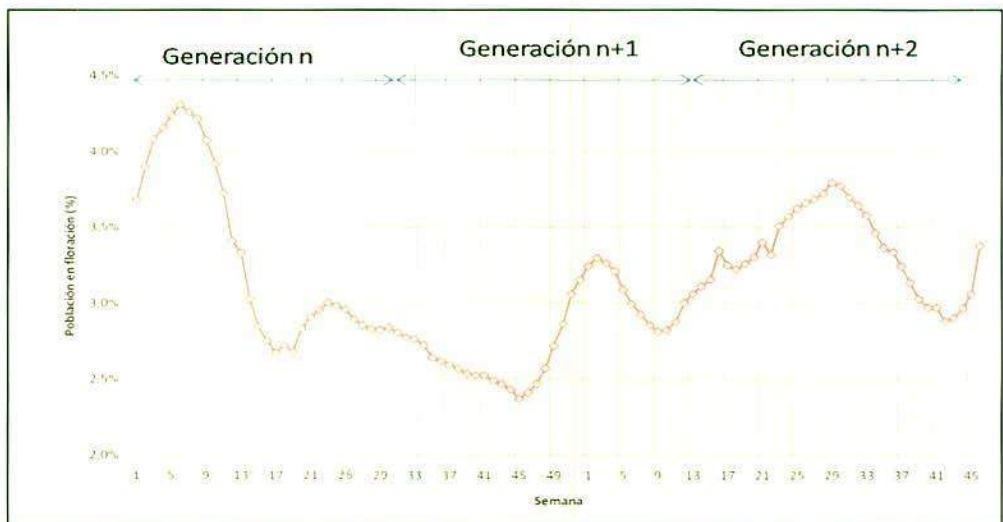


Figura 3. Comportamiento poblacional de la floración en una finca de la región de Urabá.

En cualquier caso hay que analizar los datos fenológicos con precaución, ya que son diferentes los factores que inciden sobre el desarrollo o comportamiento del banano entre las que mencionamos el papel de las características fisicoquímicas del suelo y su estado de humedad, la topografía de la zona e incluso la influencia de factores ambientales, sin olvidar la diversidad de genotipos.

### 3.3 DURACIÓN DE LAS ETAPAS FENOLÓGICAS Y SU RELACIÓN CON FACTORES AMBIENTALES

Muchos factores intervienen en el desarrollo de los diferentes órganos de las plantas, entre ellos factores bióticos y abióticos. Dentro de los factores abióticos se encuentran la radiación solar en términos de calidad, cantidad y duración; temperatura media diaria, las máximas y mínimas y las fluctuaciones de temperatura entre día y noche; precipitación en términos de duración, frecuencia, intensidad y vientos en términos de velocidad.

A continuación se describen aspectos de estos factores de mayor relevancia a tener en cuenta con relación al cultivo del banano.

#### 3.3.1 Temperatura

En varias latitudes del mundo donde se siembra banano, la temperatura se ha considerado crítica para su desarrollo y durante muchos años se ha usado el concepto de unidades térmicas para relacionar la duración de las etapas fenológicas del banano con la temperatura, a través de las sumas térmicas diarias encima de un determinado umbral de acuerdo con la siguiente ecuación.

$$GD = \sum_{i=1}^n (T_i - T_b)$$

Donde

GD: Grados día

T<sub>i</sub>: Temperatura media

T<sub>b</sub>: Temperatura base del cultivo

Este concepto de tiempo térmico está basado en que se asume que hay una cantidad fija de unidades térmicas que son requeridos para completar una etapa específica de desarrollo de la planta. La temperatura base es aquella por debajo de la cual no hay desarrollo de la planta y para el caso del banano es de 14 grados centígrados.

El concepto de grados día, es un buen referente para conocer la duración de las etapas de desarrollo del cultivo (Lassoudière, 2007) y debe tenerse muy presente principalmente para el periodo entre la floración y el momento óptimo de cosecha del racimo para garantizar una adecuada vida verde del banano.

Sin embargo, a pesar de que la temperatura es un factor importante en la tasa de desarrollo de las plantas, hay que tener en cuenta que otros factores

pueden modificar su efecto como disponibilidad de agua y luz, longitud del día y esto es más evidente en condiciones tropicales, como en Colombia donde la temperatura no sufre tantas variaciones a través del año, y la dinámica de la floración a través del año esta más asociada a factores como disponibilidad de agua o radiación solar incidente

El tiempo térmico para banano junto al tiempo cronológico que involucra todos los aspectos relacionados con el desarrollo del cultivo se presentan en la tabla 1. En las figuras 4 y 5 se presentan los tiempos promedio de duración de cada etapa en banano.

**Tabla 1.**

Duración de las fases y etapas fenológicas en banano en tiempo térmico y cronológico para la zona de Urabá Colombia. Los datos corresponden a los datos promedios de duración de las fases y etapas.

Población evaluada	Etapa evaluada	Tiempo térmico	Tiempo cronológico promedio	
		grados días (dd)	días	Semanas
Primera Generación de siembra a cosecha	De siembra a iniciación floral	1100	84,6	12,1
	De inducción floral a emergencia de la inflorescencia	1150	88,5	12,6
	De Floración a cosecha	1100	84,6	12,1
	Total Siembra a cosecha	3350	253,8	36,3
Intervalos de cosecha a cosecha	De cosecha planta madre a Diferenciación flora hijo	500	38,5	5,5
	De Inducción floral a emergencia de la inflorescencia	1150	88,5	12,6
	De Floración a cosecha	1100	84,6	12,1
Desarrollo del fruto	Cese de división celular del fruto manos superiores (Después de floración)	350	26,9	3,8
	Cese de división celular del fruto manos inferiores	420	32,3	4,6

Población evaluada	Etapa evaluada	Tiempo térmico	Tiempo cronológico promedio	
		grados días (dd)	días	Semanas
Plantaciones establecidas	De aparición de primeros hijos de sucesión al último hijo de sucesión	1120	86,1	12,3
	De hijo de sucesión de segunda corona a F10	1100	84,6	12,09
	de F10 a Inducción floral	1360	104,6	14,9
	De Inducción floral a emergencia de la inflorescencia	1150	88,5	12,6
	De Floración a cosecha	1100	84,6	12,1
	De selección hijo segunda corona a F10	4710,0	362,3	51,7
	de F10 a Inducción floral	1360	104,6	14,9
	De Inducción floral a emergencia de la inflorescencia	1150	88,5	12,6
	De Floración a cosecha	1100	84,6	12,1
	De selección hijo segunda corona a cosecha	4710,0	362,3	51,7

### 3.3.2 Insolación: Cantidad, calidad y duración

Las plantas se benefician de la radiación solar tanto cuantitativamente como cualitativamente. Las plantas usan la luz, no solamente como una fuente de energía, sino además sus señales para crecimiento y desarrollo, para adaptarse a las condiciones ambientales, para esto las plantas son capaces de percibir además tanto la calidad del espectro de luz y la duración de la misma.

La luz puede actuar en la iniciación de procesos de la planta cualitativamente para lo cual la radiación solar en la atmósfera es un buen parámetro para relacionarlo con los procesos fisiológicos de las plantas. No obstante, para el proceso de la fotosíntesis la cantidad de luz juega un papel importante y en este caso, fenómenos más locales como nubosidad pueden influir más sobre la tasa de acumulación de materia seca pero no sobre las señales antes mencionadas (Lüttge, 2009; Ritchie, 2010)



### a. Efecto de la cantidad en el cultivo del banano

La luz tiene la propiedad de comportarse simultáneamente como onda o como un flujo de paquetes discretos o cuantos de energía llamados fotones. La energía contenida en un fotón es inversamente proporcional a la longitud de onda. Un fotón de luz roja tiene alrededor de 60% de la energía contenida en un fotón de luz azul. La fotosíntesis se lleva a cabo con el uso de longitudes de entre 400 y 700 nm, lo que se conoce como radiación fotosintéticamente activa (RFA).

En condiciones tropicales se ha encontrado que las hojas 1, 2, 3 y 4 de banano incrementan la fotosíntesis neta en respuesta al incremento de la radiación fotosintéticamente activa. La hoja 1 tiene una relación lineal con la RFA entre tanto las demás hojas presentan una relación que se ajusta a una hipérbola rectangular Figura 6 (Rodríguez y Serrano, 2002).

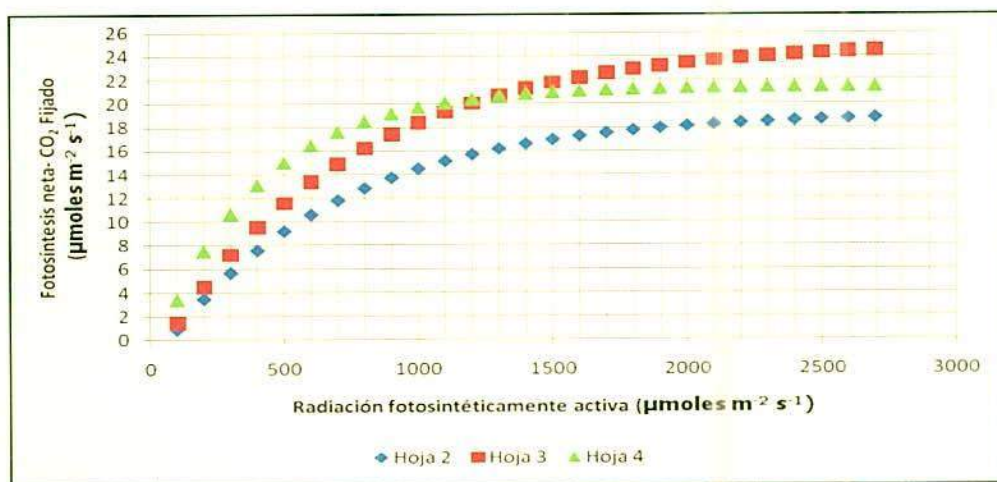


Figura 6. Respuesta de la fotosíntesis de las hojas 2, 3 y 4 de banano al incremento de RFA. Adaptado de Rodríguez y Serrano, 2002

### b. Efecto en el cultivo del banano: Duración e intensidad

En esencia las plantas tienen la capacidad de cuantificar la longitud del periodo oscuro para determinado fotoperiodo. Respecto a las señales de fotoperiodo para inducir floración se distinguen entre plantas de día corto, día largo y neutro.

Las plantas de día corto florecen, cuando la longitud del día es más corto que un umbral mínimo de duración del día. Las plantas de día largo florecen cuando la longitud del día es más larga que un determinado umbral de longitud de día.

Las plantas de día neutro no dependen del fotoperiodo para la iniciación floral (Lüttge, 2009).

El banano se considera como una planta neutra al fotoperiodo, ya que las inflorescencias emergen en cualquier época del año, aunque el número de inflorescencias emergidas en un periodo determinado, sí presentan incrementos en determinadas épocas dependiendo de la latitud donde se siembre.

Por esto recientemente, nuevas hipótesis para intentar explicar la dinámica fenológica del banano han sido lanzadas. Por ejemplo, se ha encontrado que remover racimos y hojas de plantas madres acelera el desarrollo del hijo de sucesión en las plantaciones cuando esta labor se hace en días de ciclo largo, pero esto mismo no tiene efecto en el desarrollo del cultivo cuando esto se realiza en días cortos. Por lo tanto, se presume que hay un factor ambiental que contribuye a la inducción floral, de allí han surgido hipótesis de que el banano responde al fotoperiodo (Turner *et al.*, 2007).

Sin embargo, entre más cerca al Ecuador la hipótesis del fotoperiodo (duración del día) no explica esta dinámica de la floración, ya que la duración del día es prácticamente constante durante todo el año (figura 7) y sin embargo se presentan los periodos donde se incrementa la floración.

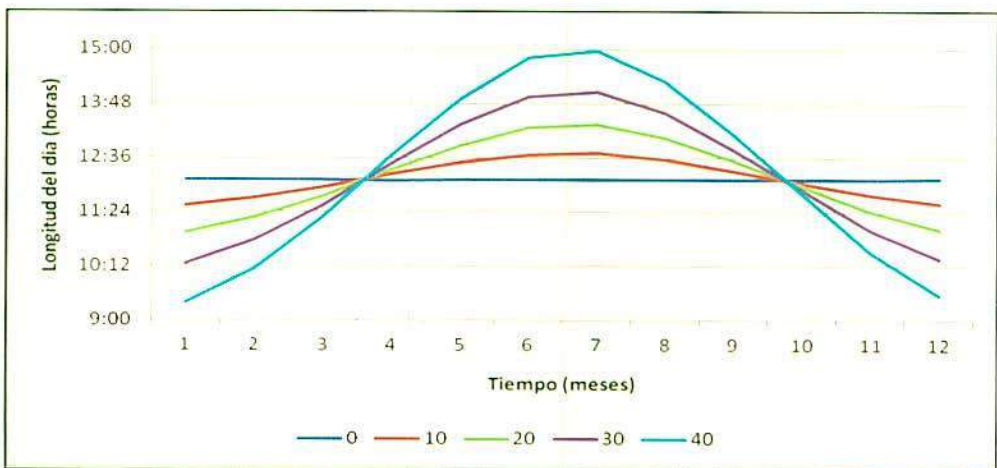


Figura 7. Duración del día a través del año en diferentes latitudes.

Por otro lado, el cambio estacional de la radiación solar diaria total recibida en un determinado sitio cercano al ecuador, sí podría explicar la dinámica de la floración cerca al Ecuador.

La radiación solar diaria es una función de la longitud del día y de la intensidad de la radiación solar que depende del ángulo en el cual los rayos del sol llegan

sobre un punto de la tierra. Por esto, solamente en los equinoccios en marzo y septiembre la irradiación es perpendicular al Ecuador entre tanto en solsticio en Junio y Diciembre está en su máximo ángulo (figura 8). Así la total insolación tiene su máxima en Marzo y Septiembre y es mínimo en junio y Diciembre (Calle et al., 2009, Calle *et al.*, 2010, Lüttge).

Entre más cerca al ecuador, la variación de radiación solar durante el año es dependiente enteramente del ángulo del sol, mientras la longitud del día no juega un papel preponderante debido a que la longitud es similar a través del año.

A medida que se incrementa la latitud, la longitud del día aumenta contribuyendo al total de la radiación solar recibida en un determinado punto. De esta manera la variación anual de radiación solar en un sitio está relacionada tanto por la longitud del día como por la intensidad de radiación y son concurrentes y aditivas.

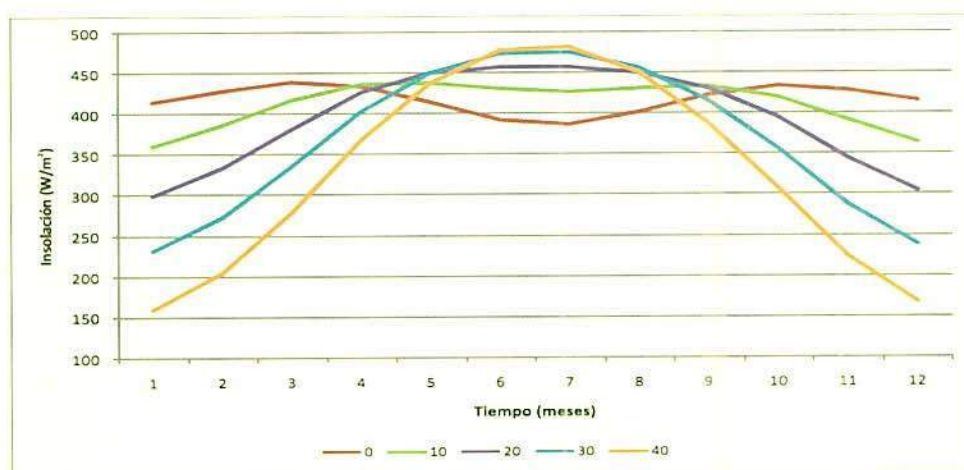


Figura 8. Insolación diaria a través del año en diferentes latitudes. 0°, 10°, 20°, 30°, 40° de latitud.

En este contexto, la iniciación floral en banano estaría estimulada en las épocas de mayor insolación solar que se verá reflejada semanas después en la floración que se presenta.

La insolación diaria promedia en la parte superior de la atmósfera, para la zona de Urabá Colombia, se presenta en la figura 9. Se puede observar que las épocas de mayor insolación son las épocas que se consideran que la mayor parte de la población de plantas están en iniciación y diferenciación floral (alrededor de 14 a 17 semanas antes de la floración).

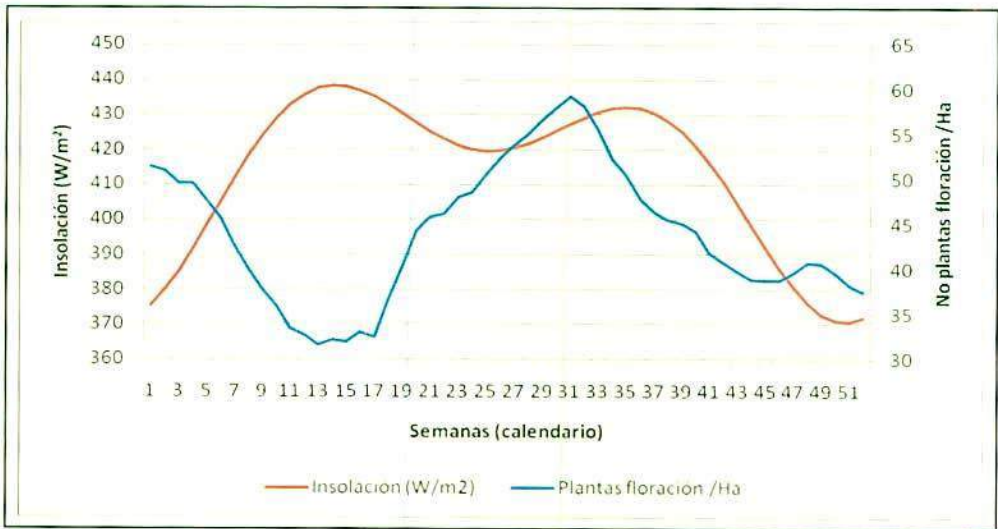


Figura 9. Relación entre la floración y la insolación a través del año en diferentes latitudes.

Hay que tener en cuenta que no se presentan las correcciones por nubosidad que es un factor que afecta la fotosíntesis y por lo tanto la acumulación de materia seca, que es función de la energía que absorbe.

En la figura 10 se presenta la variación anual de insolación en diferentes latitudes donde se siembra banano en el mundo.

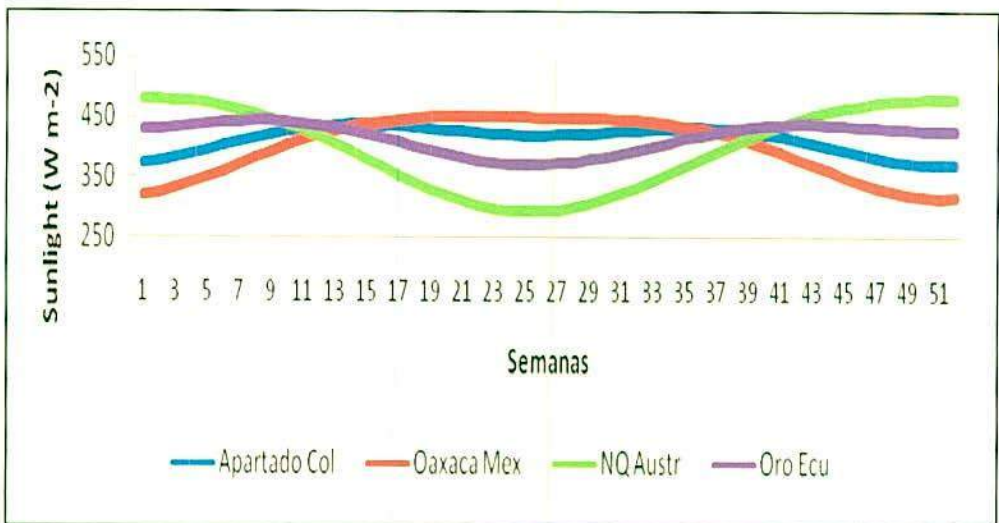


Figura 10. Duración del día a través del año en diferentes latitudes.

### c. Calidad

Con la irradiación total diaria también hay cambios en la calidad del espectro de luz, más radiación de onda corta (azul, UV) se recibe cuando el sol esta perpendicular a un punto, por ejemplo en los equinoccios que cuando está en otro ángulo, porque la radiación debe pasar una capa más gruesa de aire.

Para mayores longitudes de onda como el rojo y rojo lejano el efecto puede ser menor. Por esto, receptores de luz azul, criptocromo o fotopinas pueden estar involucrados en la detección de estos espectros del luz (Kořvancová-Zitová *et al.*, 2009). Estos aspectos deben profundizarse en el cultivo del banano.

### 3.3.3 Régimen de lluvias y estrés hídrico.

El régimen de lluvia tiene una marcada influencia en la productividad, crecimiento y desarrollo, tanto el exceso de lluvia y las sequías prolongadas ocasionan efectos nocivos en el cultivo.

La tasa de emergencia foliar es un indicador sensible de estado de humedad del suelo ya sea por exceso o también por déficit hídrico, lo cual está relacionado con el régimen de precipitación de las zonas de cultivo (figura 11).

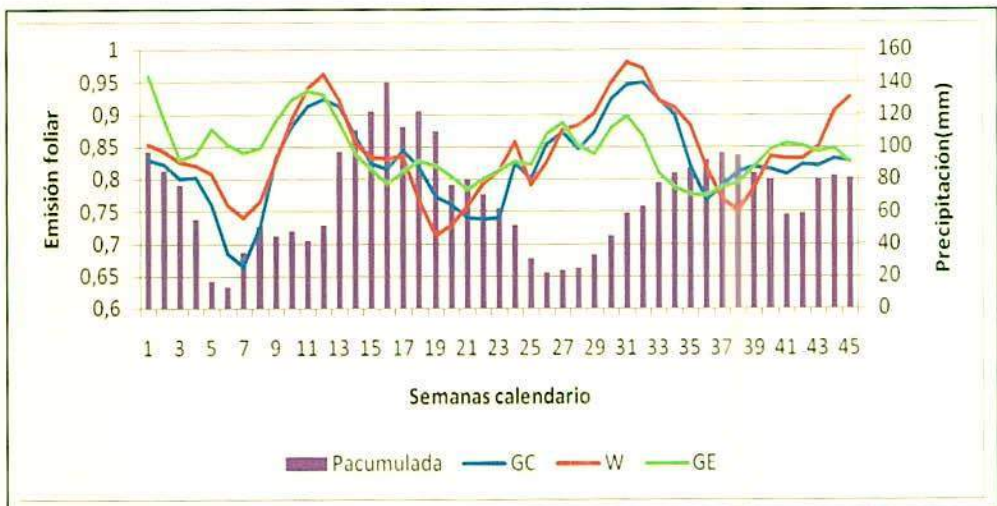


Figura 11. Tasa de Emisión foliar semanal en cultivariedades de banano Cavendish y relación con precipitación.

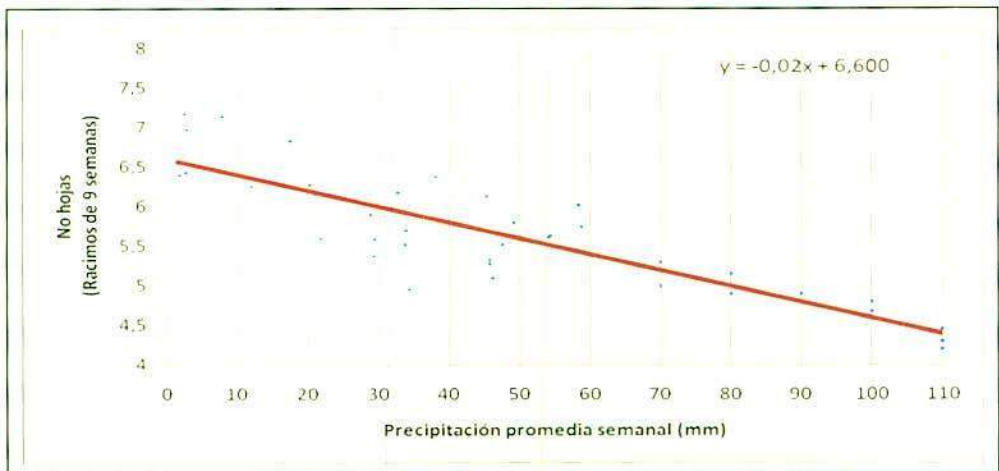
Durante la época de sequía la tasa de emisión foliar disminuye asociado al efecto negativo sobre el proceso de división celular que tiene un estrés hídrico sin que haya suspensión del proceso, este genera una menor velocidad de desarrollo durante el periodo de estrés (Aristizábal, 2003).

Se ha encontrado que con coeficientes de cultivo de 0,7 el peso de los racimos es mayor en comparación con coeficientes superiores (Guzmán-Gutiérrez, 2010) y el número de hojas, longitud de hojas, área foliar, intensidad de color de hoja, altura de la planta no son afectados cuando se aplica solo el 85% del agua de la máxima evapotranspiración (ETm) en comparación con la aplicación del 100% (Shongwe *et al.*, 2008).

Cuando la disponibilidad de agua para el cultivo se reduce entre un 65 y 40% de la máxima evapotranspiración (ETm), el número de hojas, longitud de hojas, área foliar, intensidad de color de hoja, altura de la planta son afectadas (Shongwe *et al.*, 2008).

El exceso de agua tiene un efecto sobre la duración de la vida productiva de las hojas, lo cual es expresado en menor número de hojas a floración y cosecha. Esta relación es desfasada en el tiempo al menos 12 semanas, y se ha determinado que precipitaciones promedio superiores a 70 mm durante 5 semanas o una acumulación de agua superior a 350 mm en dicho periodo en la región de Urabá, tiene un impacto negativo en el número de hojas en racimos prontos a ser cosechados (figura 12).

Este efecto sobre el sistema foliar es debido a respuestas fisiológicas de la planta al estrés por exceso en la raíz y también resultado del incremento de problemas bióticos como la Sigatoka negra.



**Figura 12.** Relación entre precipitación promedio semanal y el número de hojas en racimo de 9 semanas de desarrollo. Tiempo de desfase 12 semanas.

También se ha logrado determinar que períodos contrastantes de clima, por ejemplo alta precipitaciones durante varias semanas seguidas de un períodos prolongados de sequía, tienen un impacto mayor sobre las respuestas

fisiológicas de la planta como disminución de la duración del sistema foliar y menor duración de vida verde de la fruta. Por otro lado, periodos de sequía seguidos por intensas lluvias, desencadenan problemas fisiológicos como mancha de madurez. Entre más contrastantes los periodos, mayores será la severidad de los problemas.

En la figura 13 se presenta a manera de ejemplo un modelo para la zona de Urabá, basado en el cálculo de los deltas de precipitación entre dos periodos de tiempo. El valor calculado se relaciona con la semana de cosecha de la fruta. Deltas absolutos altos están asociados a problemas de mancha de madurez.

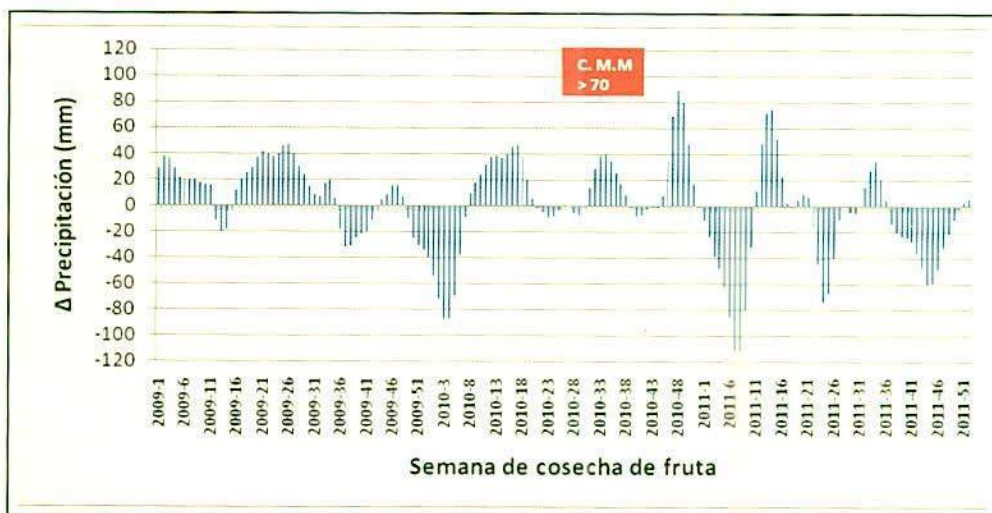


Figura 13. Deltas de precipitaciones entre dos periodos, periodo dos – periodo uno (Periodo dos: promedio ponderado de precipitaciones 3 semanas antes de cosecha – Periodo dos promedio ponderado de precipitaciones alrededor de floración de las plantas cosechadas, 2 semanas antes y 3 después de floración) en la zona de Urabá Colombia.

### 3.3.4 Vientos

Los vientos ocasionan volcamiento de plantas, con velocidades por encima de los 15 m/s (54 km/h) se observan estos problemas y con velocidades superiores a 20 m/s (54 km/h), se pueden presentar caídas de plantas entre un 50% a 100% dependiendo de la cultivariedad. Vientos entre 2,5 y 5 m/s pueden reducir la calidad de la fruta por se incrementa la fricción por viento y polvo (Robinson y Galán, 2010).

También los vientos genera los que se conoce como desfleque o rompimiento de la hoja lo que ocasiona estrés en las plantaciones cuando el fenómeno es muy severo y afecta la fotosíntesis y la transpiración de la planta.

## BIBLIOGRAFIA

- Aristizábal L., M. 2003. Crecimiento y desarrollo de las plantas. En: Aristizábal L., M. Fisiología Vegetal. Manizales: Universidad de Caldas. P. 9 –21.
- Calle, Z., A. H. Strahler y R. Borchert. 2009. Declining insolation induces synchronous flowering of *Montanoa* and *Simsia* (Asteraceae) between Mexico and the Equator. *Trees: Structure and Function*. Vol. 23, no. 6, p. 1247–1254.
- Calle, Z. et al. 2010. Seasonal variation in daily insolation induces synchronous bud break and flowering in the tropics. *Trees: Structure and Function*. Vol. 24, no. 1, p. 865–877.
- Guzmán G., S. M. 2010. Evaluación de la productividad del agua en el cultivo de banano (*MUSSA SPP*) para la zona de Santa Marta por medio de la variación de tres coeficientes de cultivo(kc)). Trabajo de grado. Facultad de ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 83 p.
- Košvancová Zitová, M. *et al.* 2009. Blue radiation stimulates photosynthetic induction in *Fagus sylvatica* L. En: *Photosynthetica*. Vol. 47, no. 3, p. 388–398.
- Lassoudière, A. 2007. Le bananier et sa culture. Versailles: Quae. 384 p.
- Lüttge, U. y B. Hertel. 2009. Diurnal and annual rhythms in trees. En: *Trees: Structure and Function*. Vol. 23, no. 4, p. 683–700.
- Ritchie, R.J.. 2010. Modelling photosynthetic photon flux density and maximum potential gross photosynthesis. En: *Photosynthetica*. Vol. 48, no. 4, p. 596–609.
- Robinson, C. y V. Galan-Sauco. 2010. Bananas and plantains. 2. ed. (Crop production science in horticulture; no. 19). Wallingford, UK.: CAB International. 311 p.
- Rodríguez, W y E. Serrano. 2002. Respuesta de hojas de banana (*Musa AAA*, CV. Grande Naine) de diferente edad a la radiación incidente. En: *Corbana*. Vol. 28, no. 55, p. 71-82.
- Shongwe, V.D. *et al.* 2008. Soil water requirements of tissue-cultured Dwarf Cavendish banana (*Musa spp.* L). En: *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A,B,C,D*. Vol. 33, nos. 8-13, p. 768–774

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.



Abonos Colombianos S.A es una compañía que nació en Colombia hace más de 50 años. Tiene participación en el mercado nacional e internacional, se dedica a producir y comercializar fertilizantes y productos industriales. Tiene sede principal en la ciudad de Cartagena y presencia en 7 países de Latinoamérica. ABOCOL, ofrece un completo portafolio de productos dentro de los que se encuentran: fertilizantes Complejos NPK, Nitrato de Calcio, fertilizantes Simples, Líquidos, Foliare y Mezclas Físicas.

## COMPLEJOS NPK

Obtenidos a partir de una reacción química de materias primas fuente de elementos mayores, menores y secundarios, cuyo producto final garantiza en cada gránulo la cantidad exacta ofrecida en su composición. Esta condición ofrece una nutrición uniforme, precisa, integral y eficiente.

- Diseñados productivamente para mejorar la logística de la fertilización en banano
- Otorgar a la planta el balance exacto, según el grado de composición
- Innovar en la creación de nuevos productos de acuerdo a las necesidades específicas y requerimientos de cada cultivo o cliente
- Todos los nutrientes en un solo grano
- Rentabilidad para el agricultor

**ABOTEK**  
15-4-23-4

**ABOTEK:** Brinda la nutrición integral al cultivo de banano. Es perfecto para etapas de producción y llenado de fruta, proporciona mejor cuajado, mayor peso de frutos y cosechas abundantes.

**Remital m**  
17-6-18-2

**REMITAL-M:** Fertilizante NPK enriquecido en nitrógeno y potasio, complementado con elementos secundarios y menores para un mejor rendimiento y calidad del cultivo.

**Nitrox-S**  
28-4-0-6(5)

**NITRAX-S:** Fertilizante sólido con alto contenido de nitrógeno para mejor crecimiento y desarrollo de cultivos, brindándole a la planta una fácil asimilación nitríca y amoniacal.

**RaFos**  
12-24-12-2

**RAFOS:** Complejo concentrado en fósforo con el mejor balance de nutrientes para las etapas iniciales del cultivo. Complementado con elementos secundarios y menores.

**NitraSul**  
26-0-0-15 (5)

**NITRASUL:** Complejo químico que reúne el poder nutritivo del nitrógeno y azufre en la relación ideal para el cultivo. Es fuente de nitrógeno en asimilación inmediata (nitríco) y progresivo (amoniacal), y azufre en forma de sulfato, para mejor aprovechamiento del cultivo.

**Embajador**  
20-4-18-3(MgO)

**coNplex**  
27-6-1-2

**GRADO PALMERO**  
13-5-27-5

**Triple**  
Quince  
15-15-15

**1024**

**103010**



CULTIVO DE BANANO

## ESPECIALIDADES



**ABOTAIN:** Es un fertilizante con nitrógeno estabilizado al 46% de alta eficiencia, lo que significa mayores unidades de nitrógeno para su cultivo. La eficiencia de la fertilización y las respuestas de los cultivos a las aplicaciones de Abotain son mayores comparadas con la urea normal ya que se reducen las pérdidas por volatilización, aun en condiciones de alta humedad y temperatura.

- Mayor aprovechamiento del nitrógeno aplicado en unidades y en tiempo
- Puede ser aplicado en la superficie del suelo y en todos los cultivos
- Menos pérdidas de amoníaco por volatilización
- Mejor relación costo beneficio comparado con la urea
- Impacta la ureasa, más no los microorganismos que generan esta enzima
- Totalmente noble con la naturaleza y en el suelo, no deja residuos químicos
- Puede ser aplicado en todos los cultivos

## Nitrofer<sup>®</sup> Calcio

**NITROFER CALCIO:** Es un fertilizante granular blanco. La combinación de nitrógeno nítrico (14%), amoniacal (1.3%) y calcio soluble (26%) le conceden propiedades incomparables. El aporte de ambos elementos son esenciales para cultivos como banano.

- Fuente más soluble de Calcio en el mundo
- Da estabilidad a las paredes celulares para mayor tolerancia a plagas y enfermedades (mancha de madurez)
- El nitrógeno nítrico aumenta la absorción del calcio
- Protege a la planta contra el estrés de temperaturas, participa en la inducción de proteínas de choque térmico
- Junto con el potasio y el boro aumentan el peso de la fruta
- Frutos robustos, saludables y de larga duración en anaquel
- Ideal para inducción y amarre de flores y frutos

## FERTILIZANTES LÍQUIDOS

Productos diseñados para mayor aprovechamiento del nitrógeno por las plantas tanto en forma de fertirrigación como en aplicaciones manuales.

- 3 diferentes fuentes de nitrógeno: amoniacal, nítrico y ureico
- Asimilación inmediata por las plantas
- Fuentes más eficiente para el nitrógeno en el cultivo de banano
- Rápida recuperación del cultivo en situaciones de estrés
- Menores pérdidas por escorrentías
- Distribución uniforme en el campo



Plan Integral de Nutrición con Tecnología Satelital  
Aprobado por Agronomía Chile

### ¿Qué es Pinsat?

Los Planes Integrales de Nutrición con tecnología Satelital PINSAT, son valiosas herramientas de visualización nutricional y física a disposición de productores, técnicos y profesionales del Agro, tendientes a mejorar su competitividad, contribuyendo al uso más racional y eficiente de los diferentes fertilizantes.

Pinsat por medio de mapas, entrega al cliente la más detallada información sobre el estado nutricional de su cultivo por lote, elemento por elemento, a nivel suelo (Pinsat Suelo), a nivel de foliar (Pinsat Foliar) y condición física (Pinsat Físico) con el fin de generar programas de corrección y fertilización más acordes con la realidad de cada área cultivada.

### Ventajas de Pinsat

- Fácil visualización de los elementos que intervienen en la nutrición del cultivo
- Eficiencia en el uso de los recursos
- Ajuste en los planes de fertilización con valores más reales
- No tiene limitaciones por tipo de siembra o cultivo
- Puede ser usado en cualquier tipo de suelo
- Elección de la fuente de fertilizante más adecuada para su tipo de suelo
- Apoyo y respaldo ABOCOL



Plan Integral de Nutrición con Tecnología Satelital

Plan Integral de Nutrición con Tecnología Satelital

Plan Integral de Nutrición con Tecnología Satelital

## 4. TRANSLOCACIÓN, DISTRIBUCIÓN, ASIMILACIÓN Y FUNCIONES DE LOS NUTRIENTES

### 4.1 INTRODUCCIÓN

*Los nutrientes que se encuentran en el suelo deben llegar a la raíz, absorberse y transportarse dentro de la planta antes de ser asimilados y cumplir sus funciones dentro de la planta. Los mecanismos y procesos generales se discutirán en el presente capítulo con aspectos específicos para la planta de banano.*

### 4.2 ACCESO DE LAS PLANTAS A LOS NUTRIENTES DEL SUELO

El contacto entre la superficie de la raíz y los nutrientes del suelo es un prerequisite para la absorción de los nutrientes. Este contacto se produce de dos formas: Por el crecimiento de la raíz hasta los sitios donde están localizados los nutrientes (interceptación radical) y por el transporte de nutrientes desde el suelo hasta la superficie (flujo de masas y difusión) (Jungk, 2001; Jungk, 2002).

#### 4.2.1 Interceptación radical

Es la cantidad de nutrientes que no tiene que moverse hasta la raíz para estar disponible para la absorción, si no que entra en contacto directo con la superficie de la raíces. Depende del volumen de suelo ocupado por el sistema radical, del tipo de raíces presentes y de la concentración de nutrientes en el volumen de suelo. La cantidad de raíces presentes por unidad de volumen de suelo, puede ser medida en términos de área de superficie radical, longitud de sistema radical o volumen de raíz (Jungk, 2002).

Una forma de expresar la capacidad del sistema de raíces para explorar el volumen del suelo es la densidad de longitud de raíces, que es una medida de la longitud de raíces por unidad de volumen de suelo. La densidad de longitud de raíces, en banano es alrededor de 1 cm de raíz/cm<sup>3</sup> de suelo.

El volumen de raíces de las plantas, es usualmente menos de 1% del volumen del suelo. Se estima que las raíces pueden contactar máximo un 3% de los nutrientes disponibles en el suelo. Por esta razón solo una pequeña parte de los requerimientos de nutrientes son suplidos por interceptación radical (Jungk, 2002).

## 4.22 Movimiento de nutrientes del suelo hasta la superficie de la raíz

La mayor parte de los nutrientes tiene que moverse determinadas distancias a través del suelo con el fin de llegar a la superficie de la raíz.

Cuando las raíces absorben agua y nutrientes, crean gradientes en el potencial hídrico del suelo y la concentración de nutrientes de la solución, el agua y los nutrientes se mueven a lo largo de estos gradientes de forma simultánea por flujo de masa y difusión.

### a. Flujo de masas

El flujo de masas es el transporte pasivo de nutrimentos hacia la raíz, mediante el agua que la planta absorbe. La cantidad de nutrientes que llegan a la raíz en este proceso, depende de la concentración de los mismos en la solución del suelo y de la proporción de agua que llega y circule en la raíz.

El suministro de nutrimentos por flujo de masas es afectado por las propiedades del suelo, condiciones climáticas, forma y solubilidad de los nutrimentos y por la especie de planta. La cantidad de nutrientes en la solución del suelo próxima a la raíz, puede aumentar, mantenerse o disminuir, dependiendo del balance entre la cantidad que llega a la raíz por flujo de masas y la cantidad que se absorbe (Marschner, 2002 y autores allí citados).

### b. Difusión

El proceso de difusión se refiere al movimiento de nutrientes de una zona de alta concentración a una de baja concentración. Cuando el suministro de nutrientes a la rizosfera por medio de flujo de masas o interceptación radical, no es suficiente para satisfacer la demanda de la planta, se desarrolla un gradiente de concentración y los nutrimentos se mueven por difusión.

Los iones se difunden fundamentalmente entre los espacios de los poros llenos de agua, y pueden interactuar con los iones adsorbidos en la fase sólida del suelo. La difusión en suelo es más lenta que en el agua, y cambia con las condiciones del suelo y el tipo de ion. En la tabla 1 se presenta coeficiente de difusión en el agua ( $D_I$ ) y suelos ( $D_e$ ) de diferentes cationes presentes en el suelo (Jungk, 2002). De es el parámetro general para la movilidad de nutrientes en el suelo.

La mayoría del fósforo, potasio y gran parte de los micronutrientes se mueven hacia la raíz por difusión. El fósforo es el macronutriente con el coeficiente de difusión más bajo (tabla 1). Cuando un nutrimento en la solución del suelo se

diluye y su coeficiente de difusión es bajo, su concentración en la superficie de la raíz disminuye rápidamente especialmente si la demanda por la planta es muy alta.

**Tabla 1.** Coeficientes de difusión de nutrientes iónicos en agua,  $D_L$ , Y orden de Magnitud en suelo,  $D_e$  ( $m^2 s^{-1}$ ) y movilidad diaria de nutrientes en el suelo.

Ion	Coefficiente difusión en Agua (25 C) $D_L$	Coefficiente difusión en Suelo $D_e$	Movilidad por día el en suelo (mm)
$NO_3^-$	$1,9 \times 10^{-9}$	$5,0 \times 10^{-11}$	5
$K^+$	$2,0 \times 10^{-9}$	$5,0 \times 10^{-12}$	1,4
$H_2PO_4^-$	$0,9 \times 10^{-9}$	$1,0 \times 10^{-13}$	0,2

### 4.2.3 Disponibilidad de nutrientes en la rizosfera

La interceptación radical es de gran importancia para estos casos:

- Si La movilidad de nutrientes es bajo, caso del fósforo
- Para nutrientes móviles como el nitrato, por el agotamiento que sufre en el subsuelo (Jungk, 2002).

Los nutrientes como  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$  y  $NO_3^-$  y  $SO_4^{-2}$  están generalmente presentes en mayores concentraciones en la solución del suelo y pueden alcanzar la superficie de la raíz vía flujo de masa. Por esta vía la tasa de llegada de estos nutrientes a la superficie de la raíz puede exceder los requerimientos de la planta, resultando en una acumulación en la rizosfera y se puede ocasionar precipitación como  $CaSO_4$  de baja solubilidad (Neumann & Romheld, 2002).

Los nutrientes que están en bajas concentraciones en la solución del suelo como P, K,  $NH_4^+$  y la mayoría de los micronutrientes (dependiendo del tipo y cantidad de minerales arcillas en el suelo) se agotan rápidamente de la rizosfera, lo que origina el gradiente para que lleguen principalmente por difusión. El contenido total en el suelo de estos nutrientes frecuentemente excede los requerimientos de las plantas, la difusión basada en la entrega del nutrientes desde la fase sólida de suelo, es mucho más lenta que la demanda del nutriente por la planta en determinados momentos de crecimiento de la planta (Neumann & Romheld, 2002).

## 4.3 MECANISMOS DEL TRANSPORTE NUTRIENTES EN LAS PLANTAS

### 4.3.1 Transporte de iones en la raíz

La toma inicial de los iones minerales y su movimiento posterior, desde la superficie de la raíz a través de la corteza y hasta el xilema, son procesos específicos y regulados. La anatomía de la raíz impone características especiales a la ruta de movimiento de los iones.

La absorción por las raíces es más pronunciada en la zona de pelos radicales que en los meristemos y en la zona de elongación. Los pelos radicales son extensiones de células epidérmicas específicas, que incrementan la superficie de área disponible para la absorción. Las células en la zona de pelos radicales han completado su elongación, pero aun no han comenzado el crecimiento secundario.

En el límite entre el cilindro vascular (la estela) y la corteza están las células especializadas de la endodermis. En la endodermis hay una capa de células suberizadas conocidas como banda de Caspary.

La toma de iones por la planta desde el suelo sigue dos rutas, la apoplástica y la simplástica (figura 1). Un ion que entra a la raíz puede entrar inmediatamente al simplasto atravesando la membrana celular de una célula epidermal o puede entrar al apoplasto y difundirse entre células epidermales a través de las paredes celulares (Sattelmacher, 2001).

Desde el apoplasto de la corteza, un ion puede difundirse radialmente por toda la ruta de la endodermis vía el apoplasto o cruzar la membrana de las celular corticales y entrar al simplasto. En todos los casos, el ion debe entrar al simplasto antes de poder entrar a la estela, por la presencia de la banda de Caspary. Esta capa bloquea efectivamente la entrada de agua y minerales hacia la estela vía apoplasto. Una vez el ion entra la estela sigue ruta célula a célula hasta el xilema.

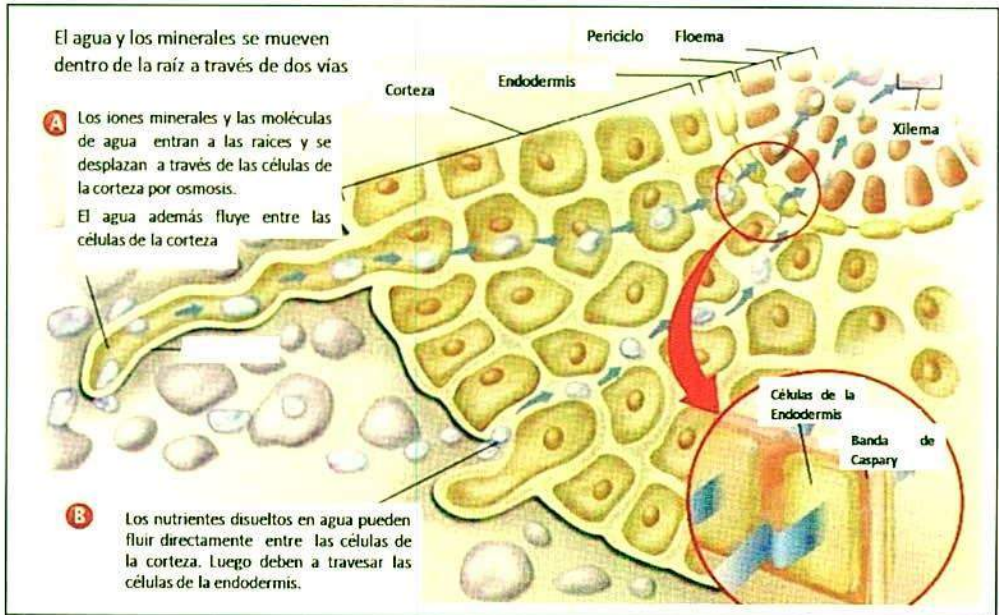


Figura 1. Absorción de nutrientes en las raíces de las plantas. A Vía Simplástica B. Vía apoplástica

### 4.32 Transporte a corta distancia de moléculas e iones

El adecuado funcionamiento de las células vegetales depende de la regulación de la entrada y salida de iones y moléculas a través de la membrana celular y entre los distintos compartimentos celulares. La región apolar de la membrana celular vegetal es altamente resistente al paso de iones, pero permite el paso fácilmente de moléculas gaseosas como  $O_2$  y  $CO_2$ . Por esto, el paso de sustancias a través de las membranas requiere la actividad de proteínas transportadoras (Rubio, 2004).

Las proteínas transportadoras o sistemas de transporte que se encuentran en las membranas cuando se activan, son permeables al paso de iones o metabolitos, permitiendo que dichos solutos fluyan en un sentido determinado. El correcto funcionamiento de estos sistemas de transporte permite el mantenimiento de gradientes metabólicos e iónicos esenciales para el crecimiento, desarrollo y transducción de señales en plantas (Rubio, 2004).

El flujo de iones mediados por proteínas puede ser pasivo o activo.

#### a. El transporte pasivo a través de canales

El flujo difusivo a favor de gradiente es mediado por proteínas, denominadas canales, incluidas en la membrana que pueden abrirse o cerrarse constituyendo

poros selectivos para el paso de iones, siendo los principales en células vegetales los canales de  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Na^+$  y  $Cl^-$ . Así mismo, los canales también permiten el paso de moléculas de agua, función atribuida a las denominadas *acuaporinas*.

## **b. Transporte activo: bombas y transportadores**

Los sistemas de transporte activo permiten el flujo de los iones o solutos en contra de su gradiente de potencial electroquímico. Se distinguen dos tipos de sistemas de acuerdo con la energía que utilizan para impulsar el transporte.

- Los transportadores primarios o bombas realizan el transporte consumiendo energía metabólica (ATP ó PPI).
- Los transportadores secundarios o carriers que utilizan la energía asociada al flujo difusivo de un ion, en un proceso de cotransporte, para impulsar el movimiento de sustancias en contra de su gradiente. A su vez hay dos tipos de transporte activo secundario:
  - El simporte, en el que ambos substratos se mueven en el mismo sentido y generalmente median la incorporación activa de nutrientes a través del plasmalema.
  - El antiporte en el que los sustratos del transportador se mueven en sentido contrario y permiten la extrusión activa de iones a través del plasmalema o su inclusión en la vacuola.

### **4.3.3 Movimiento de nutrientes a larga distancia**

Cuando los elementos minerales han sido absorbidos por las raíces, son transportados hacia órganos como las hojas y frutos a través de los vasos xilemáticos (Salisbury y Ross, 1994). La fuerza motora de este transporte es la corriente transpiratoria. Las hojas, en comparación con los frutos, presentan una mayor tasa de transpiración y por tanto, la llegada de nutrientes a través de la corriente transpiratoria es mayor en dichos tejidos y menor en los frutos (Marschner, 2002). Todos los elementos son móviles a través del xilema.

Los nutrientes además se mueven por el floema. La movilidad de nutrientes por el floema no es igual para todos, ya que algunos nutrientes se movilizan con rapidez, entre tanto otros tienen movilidad limitada. En la tabla 2 se presenta la clasificación de los elementos de acuerdo a su movilidad por el floema.

**Tabla 2.** Movilidad de los nutrientes minerales en el floema (Marschner, 2002)

Alta Movilidad	Movilidad intermedia	Baja movilidad
Potasio	Hierro	Calcio
Magnesio	Zinc	Manganeso
Fosforo	Cobre	
Nitrógeno (amino-N)	Boro	
Cloro	Molibdeno	
Azufre		

De acuerdo con lo anterior, es claro que en órganos con menores tasas de transpiración, la disponibilidad de nutrientes que tienen baja movilidad a través del floema pueden limitar su crecimiento y desarrollo, a pesar de que se encuentren disponibles en el suelo (Díaz *et al.*, 2007; Pilbeam y Morley, 2007).

La absorción de nutrimentos es un fenómeno que ocurre día a día y cada proceso metabólico de la planta requiere nutrimentos cualitativa y cuantitativamente diferentes.

## 4.4 CONSIDERACIONES DEL TRANSPORTE DE NUTRIENTES EN LAS PLANTAS

### 4.4.1 Generalidades

- La fuerza conductora de toma de la mayoría de los nutrientes en plantas es el gradiente electroquímico a través de la membrana, cuya mayor proporción es generado por la  $H^+$ -ATPasa.
- Los transportadores regulan la incorporación de los principales nutrientes inorgánicos ( $NH_4^+$ ,  $NO_3^-$ ,  $P_i$ ,  $K^+$  y  $SO_4^{2-}$ ) a través del plasmalema (figura 2).

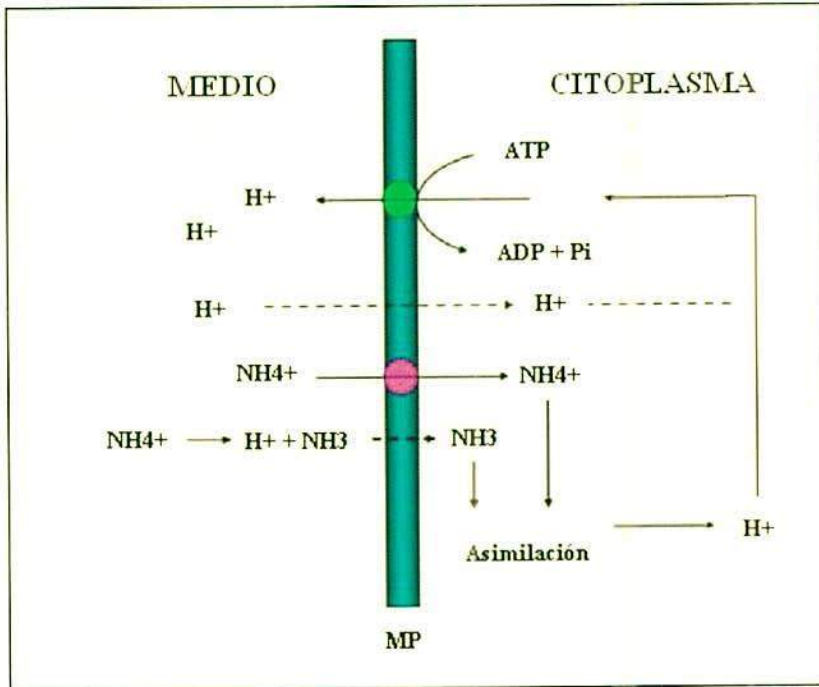


Figura 2. Mecanismo de transporte de amonio a corta distancia

- Los transportadores son responsables del movimiento de iones que se encuentran a baja concentración en el medio como  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  y  $\text{Ni}^{2+}$  o de iones que son menos importantes en el metabolismo celular como  $\text{Cl}^-$ .
- El transporte de sustancias orgánicas tales como azúcares o aminoácidos también se realiza a través de los transportadores (Rubio, 2004 y autores allí citados).
- Las plantas adquieren  $\text{P}_i$  a través de un gradiente de concentración a través de la membrana plasmática. La concentración de  $\text{P}_i$  dentro de las células de las plantas es 1000 veces mayor que fuera de ellas. Un proceso de cotransporte donde se requiere energía, impulsado por una  $\text{H}^+$  ATP-asa de la membrana plasmática se ha propuesto como mecanismo de toma de  $\text{P}_i$  en las plantas (Raghothama & Karthikeyan, 2005; Raghothama, 2000).
- Hay un considerable gradiente electroquímico que permite el influjo de  $\text{Ca}^{2+}$  hacia las células de la raíz, a través de una variedad de canales de  $\text{Ca}^{2+}$ . La apertura de estos canales debe ser estrechamente regulado, cambios en la concentración en el citosol generan respuestas específicas a muchos estímulos de desarrollo y ambientales.

La concentración en el citosol de calcio se mantiene en niveles submicromolares por ATPasas- $\text{Ca}^{2+}$  y mecanismos antiporte  $\text{Ca}^{2+}/\text{H}^{+}$ . Estos mecanismos exportan  $\text{Ca}^{2+}$  al apoplasto, retículo endoplasmático, plastidios y vacuolas entre otros orgánulos.

El  $\text{Ca}^{2+}$  alcanza el xilema vía el apoplasto en regiones donde la banda de Caspary está ausente o vía el citoplasma de células endodérmicas no suberizadas donde la banda de Caspary está presente. El transporte de calcio a la parte aérea ocurre mayormente desde los ápices de las raíces y regiones la iniciación de raíces laterales, donde la banda de Caspary está ausente.

El Ca es transportado en el xilema como  $\text{Ca}^{2+}$  libre o acompañado con ácidos orgánicos. Se libera la parte aérea siguiendo el flujo de agua. Hay poco movimiento de calcio desde las hojas por el floema.

- El potasio es el catión más abundante en las células de las plantas, la extracción de potasio del suelo y su distribución dentro de las plantas requiere la presencia de proteínas transportadoras ligadas a la membrana.

La alta permeabilidad relativa de las células de las plantas al potasio  $\text{K}^{+}$  permite establecer diferencias de potencial eléctrico a través de la membrana plasmática (Szczerba *et al.*, 2009).

El  $\text{K}^{+}$  es liberado a la superficie de la raíz por flujo de masa y difusión. La alta afinidad del influjo del  $\text{K}^{+}$  a células de la raíz, es mediada por un mecanismo simporte y el influjo de baja afinidad por canales. La diferencia de potencial eléctrico a través de la membrana plasmática de las células de la raíz, es un motor poderoso para el flujo de  $\text{K}^{+}$  al citosol, a pesar de su alta concentración.

El potasio es transportado simplásticamente al xilema desde todas las regiones de la raíz. Canales que están presentes en el periciclo de la raíz y parénquima de la estela, se cree regulan la descarga de potasio al xilema (Karley & White, 2009).

La descarga de potasio a la parte aérea está determinada por flujo de agua por transpiración y por la concentración apoplástica del  $\text{K}^{+}$  en el punto de descarga del xilema. La redistribución del  $\text{K}^{+}$  desde las hojas a tejidos del floema requiere la actividad de canales, los cuales son expresados en el floema y parénquima del xilema y están implicados en carga y descarga del floema (Karley & White, 2009).

El potasio es altamente móvil dentro de las plantas, recircula a larga distancia entre raíz y la parte aérea en el xilema y el floema. Esto es evidente en el

contrasporte de  $K^+$  con nitrato ( $NO_3^-$ ) a la parte aérea y su subsecuente retranslocación a las raíces con malato cuando las plantas se les suministra  $NO_3^-$ . La recirculación del potasio es una fuente importante de potasio en las raíces, particularmente con nitrato (Mengel, 2007).

- La concentración de  $Mg^{2+}$  en la solución del suelo es suficiente para el suministro de este nutriente por flujo de masas. La concentración del  $Mg^{2+}$  en el citosol permite su entrada a las células de la raíz a través de canales permeables  $Mg^{2+}$ , pero además proteínas transportadoras también están involucradas en el influjo a través de la membrana plasmática.

El  $Mg^{2+}$  es transportado en contra de gradientes electroquímicos desde las células hacia el xilema, o se transporta acompañado con ácidos orgánicos. Es frecuentemente almacenado en células de la raíz y descargado a xilema.

La llegada de  $Mg^{2+}$  a la parte aérea, está determinada por la transpiración y la concentración de  $Mg^{2+}$  en el apoplasto alrededor de los sitios de descarga, concentración que es aproximada a la de la savia del xilema. Proteínas transportadoras regulan la entrada de  $Mg^{2+}$  a las células de hojas y de los cloroplastos.

El  $Mg^{2+}$  es un elemento móvil en el floema. Sin embargo, concentraciones adecuadas son necesarias para la carga de fotoasimilados al floema. La deficiencia de este elemento genera la detención de la exportación de sacarosa desde las hojas.

- Las plantas absorben el azufre del suelo en forma de sulfato  $SO_4^{2-}$ . El mayor sitio de toma es la zona de pelos absorbentes.

Después de ser transportado activamente hacia la raíz, el sulfato es distribuido a través de la planta. El mecanismo sugerido de transporte es el co-transporte acoplado a  $H^+$  con probable estequiometría de  $3H^+:1SO_4$ .

El azufre es absorbido a través de la membrana plasmática de las células de la raíz, pasa al xilema, y se transporta por la corriente de transpiración. La absorción y el transporte de sulfato es dependiente de la energía suministrada por un gradiente de protones generado por ATPasas a través de un co-transporte protón / sulfato (Bimbraw, 2008).

#### 4.4.2 Toma de nutrientes en plantas de banano

La absorción del  $K^+$ ,  $NO_3^-$ ,  $NH_4^+$ , P y Mn depende claramente de mecanismos activos. Para la mayoría de microelementos (Fe, Mo, B), los mecanismos de exclusión pueden ocurrir en las raíces cuando hay mayor oferta que demanda (Delvaux *et al.*, 2003).

El balance  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  influye directamente sobre el balance de cargas y la excreción de protones por las raíces del banano. El nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) es la fuente preferida de la mayoría de las plantas. No obstante, en banano el amonio es absorbido selectivamente en comparación al nitrato. Cuando hay agotamiento de amonio en la solución del suelo la toma de nitrato por las raíces de banano se incrementa significativamente (Delvaux *et al.*, 2003).

El incremento en la absorción de amonio en las raíces de banano resulta en una reducción significativa de la absorción de magnesio y se presentan síntomas de deficiencia de este elemento (Rufyikiri *et al.*, 2000).

La absorción de calcio es controlada por simple convección (flujo de masas). La absorción de magnesio parece ser únicamente convectiva a una baja tasa de absorción de agua, mientras el proceso de transporte activo se realiza a altas tasas de toma de agua (Delvaux *et al.*, 2003).

La excreción neta de protones de las raíces de banano está cuantitativamente relacionada con un exceso de absorción de cationes sobre los aniones. De esta forma, la alta absorción de iones  $\text{K}^+$  y  $\text{NH}_4^+$ , induce una fuerte descarga de acidez por las raíces de banano.

## 4.5 DISTRIBUCIÓN DE NUTRIENTES EN PLANTAS DE BANANO

La acumulación y distribución de materia seca en las plantas de banano depende de la etapa fenológica del cultivo, lo mismo sucede con la dinámica de la toma de nutrientes desde el suelo y su distribución en los diferentes órganos de la planta. La definición clara de la duración y los cambios en peso de cada una de las etapas fenológicas, y su relación con los cambios en las concentraciones de elementos en los diferentes tejidos de la planta, permitirá familiarizarse con los requisitos nutricionales del cultivo.

### 4.5.1 Distribución del nitrógeno

En banano se encontró que el máximo contenido de nitrógeno en las hojas, seudotallo y rizoma se alcanza al momento de floración (figura 3). Al momento de la cosecha estos órganos pueden contener cerca del 55% del nitrógeno total de la planta, el 45% restante se encontrará en el racimo. La concentración de nitrógeno desciende durante la etapa productiva en las hojas, debido a la translocación hacia los frutos.

El nitrógeno acumulado en seudotallo y rizoma a floración se mantiene prácticamente estable (Martínez, 2006). Los nutrientes acumulados en estos órganos al momento de la cosecha se translocan al hijo de sucesión y parte se reincorporan al suelo. La proporción va a depender de que tan sincronizado estas las dos generaciones dentro de la unidad productiva.

Las necesidades de nitrógeno son continuas durante gran parte de su desarrollo. El nitrógeno es necesario para síntesis de aminoácidos, de aminas, proteínas y ácidos nucleicos, hace parte de la molécula de la clorofila.

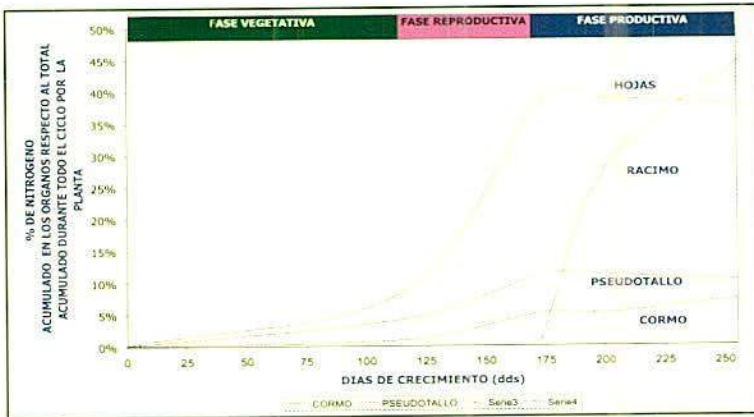


Figura 3. Porcentaje de acumulación de nitrógeno por órgano en cada etapa del cultivo respecto a la concentración máxima de nitrógeno de toda la planta durante el ciclo de desarrollo (Adaptado Martínez, 2006)

## 4.5.2 Distribución del fósforo

En banano al momento de floración en las hojas, seudotallo y rizoma se encuentra el 55% del fósforo que acumulara la planta durante todo su desarrollo. En la cosecha solamente un 39% del fósforo total acumulado por la planta se encontrará en estos órganos, el resto 61% se encontrará en el racimo. Se observa que el fósforo en las hojas, desciende después de floración hacia el racimo y el hijo de sucesión (figura 4).

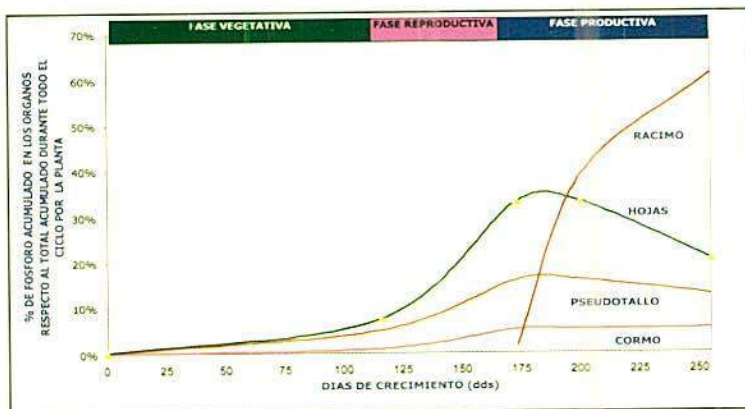


Figura 4. Porcentaje de acumulación de fósforo por órgano en cada etapa del cultivo respecto a la concentración máxima de fósforo de toda la planta durante el ciclo de desarrollo (Adaptado Martínez, 2006)

### 4.5.3 Distribución del potasio

En banano al momento de floración, la planta ha acumulado un 56% del potasio del total que acumulara durante su ciclo de desarrollo. Al momento de la cosecha las hojas, pseudotallo y rizoma tienen alrededor del 55% del potasio y el racimo contiene un 45% del mismo. En las hojas el potasio desciende después de floración (figura 5).

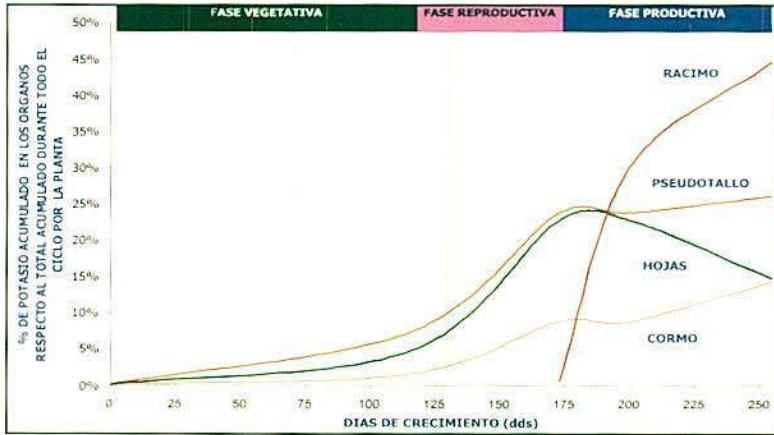


Figura 5. Porcentaje de acumulación de potasio por órgano en cada etapa del cultivo respecto a la concentración máxima de potasio de toda la planta durante el ciclo de desarrollo (Adaptado Martínez, 2006).

### 4.5.3 Distribución del calcio

En banano al momento de floración, la planta contiene cerca del 55% del calcio total que tendrá durante todo su desarrollo. En la cosecha alrededor del 88% del calcio se conservará en las hojas, pseudotallós y rizoma y el racimo contendrá solamente un 12% (figura 6).

El principal mecanismo de absorción de este nutriente es flujo de masa. Se considera que es inmóvil en cuanto a su redistribución, por esto los síntomas de deficiencia se observan primero en las hojas nuevas de las plantas, generando deformación y clorosis foliar.

Este nutriente puede estar en el suelo en concentraciones superiores a 10 veces la del potasio pero en el interior de la planta no sucede lo mismo, y su absorción disminuye competitivamente con otros cationes como el amonio y el potasio.

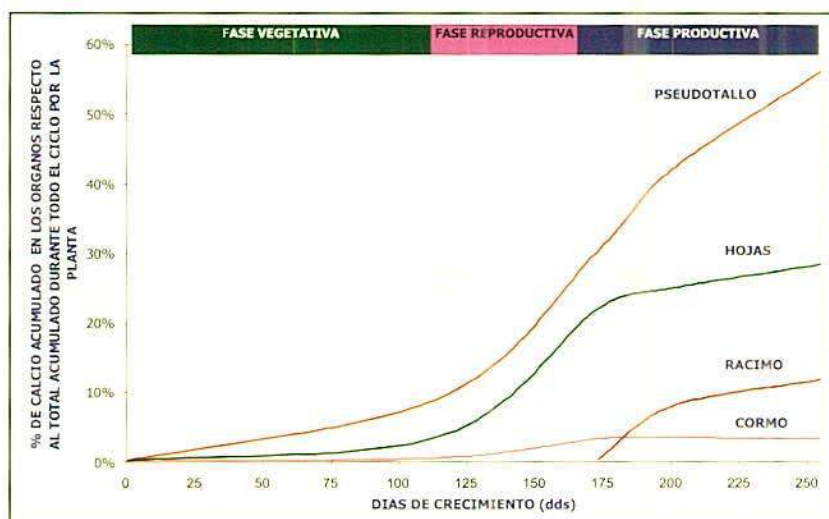


Figura 6. Porcentaje de acumulación de calcio por órgano en cada etapa del cultivo respecto a la concentración máxima de calcio de toda la planta durante el ciclo de desarrollo (Adaptado Martínez, 2006).

## 4.5.5 Distribución del magnesio

En banano cerca del 66% de magnesio utilizado por la planta durante su desarrollo se conserva en las hojas, pseudotallo y rizoma al momento de la cosecha. Un 34% es extraído por el racimo del banano (figura 7).

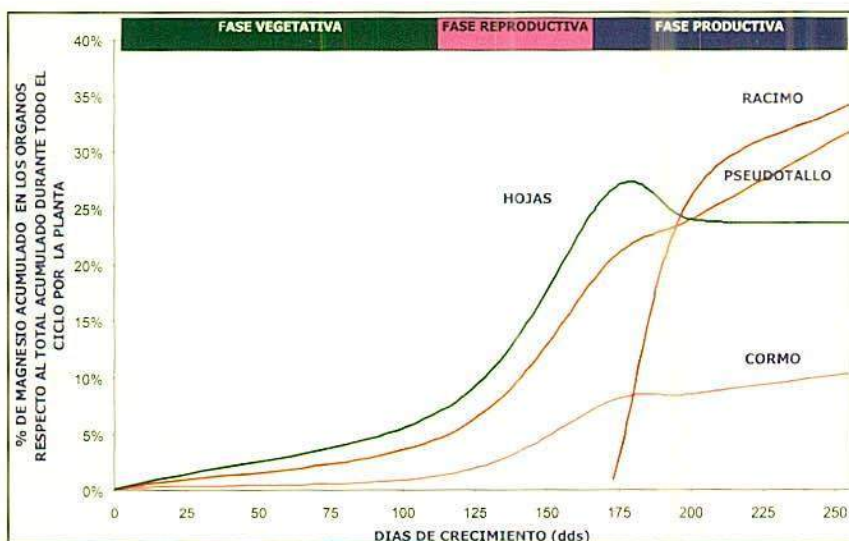


Figura 7. Porcentaje de acumulación de magnesio por órgano en cada etapa del cultivo respecto a la concentración máxima de magnesio en toda la planta durante el ciclo de desarrollo (Adaptado Martínez, 2006).

## 4.6 FUNCIONES DE LOS NUTRIENTES

### 4.6.1 Nitrógeno

La toma de N por la raíces ocurre en forma de nitrato y amonio principalmente, pero además en forma de urea, aminoácidos y péptidos (Gojon *et al.*, 2009).

Una parte del nitrato tomado por las plantas es utilizado o almacenado en las células de la raíz, mientras el resto se distribuye a través del xilema a la parte aérea. Las células del mesófilo son los principales sitios de reducción del nitrato, donde se reduce por la acción secuencial de las enzimas nitrato reductasa y nitrito reductasa. El producto final el amonio, es incorporado hacia aminoácidos vía glutamina sintetasa (GS) y glutamato sintasa (GOGAT) (Barker & Bryson, 2007).

El N se incorpora en numerosos compuestos esenciales a la planta, pero la mayoría (> 90%) está presente en las proteínas. El metabolismo del Nitrógeno tiene impacto en el crecimiento y desarrollo en dos funciones generales; (1) establecimiento y mantenimiento de la capacidad fotosintética, (2) desarrollo y crecimiento de flores y frutos (Barker & Bryson, 2007). En la figura 8 se presenta síntomas de deficiencia de nitrógeno en plantas de banano, el crecimiento y vigor de la planta es afectado además del rendimiento agronómico.



Figura 8. Síntomas de deficiencia de nitrógeno en plantas de banano. Expresados en amarillamiento generalizado de plantas; menor vigor y crecimiento de plantas; racimos más pequeños y de menor calidad.

### 4.6.2 Fósforo

El fósforo es uno de los macronutrientes esenciales requerido para crecimiento y desarrollo normal de las plantas, es un sustrato clave para el metabolismo

energético. Es uno de los mayores constituyentes de los ácidos nucleicos en la forma de esqueletos de fosfato de azúcar y de la membrana en la forma de fosfolípidos.

Es necesario en la transferencia de energía en la fotosíntesis y respiración, en la división celular, en señales de transducción, en la formación de biomembranas, en la transformación de almidón y azúcares, en la germinación de semillas, en la floración y formación de los frutos y en casi todos los procesos vitales en las plantas.

Las plantas toman el fósforo como fosfato inorgánico ( $P_i$ ), principalmente en las formas de  $H_2PO_4^-$  y  $HPO_4^{2-}$  desde la solución del suelo (Sánchez, 2007). Una vez asimilados por las plantas, el  $HPO_4^{2-}$  y el  $H_2PO_4^-$  son convertidos a formas orgánicas, como la adenosina difosfato (ADP) y la adenosina trifosfato (ATP), y puede ser encontrado en proteínas, enzimas y fosfolípidos (Sánchez, 2007).

La deficiencia de fosfato reduce la capacidad de transporte de electrones desde el fotosistema II hasta el fotosistema I, por lo tanto se reduce el contenido de ATP el cual limita la regeneración de RuBP y la tasa de asimilación de  $CO_2$ . Adicionalmente se reduce la absorción de luz porque se reduce el contenido de clorofila, debido a que la planta incrementa los mecanismos de disipación de energía, para proteger a las hojas deficientes de P del daño foto-oxidativo en condiciones de alta radiación (Lin *et al.*, 2009). La deficiencia de fosfato incrementa la sensibilidad de raíces al etileno. En la figura 9 se presenta un síntoma de deficiencia de fósforo en hojas de banano.



Figura 9. Síntomas de deficiencia de fósforo en plantas de banano. Necrosis marginal en forma de sierra en las hojas adultas.

### 4.6.3 Potasio

El potasio tiene una función en la bioquímica y biofísica de las plantas. El aparato fotosintético demanda  $K^+$  y la deficiencia de  $K^+$  reduce la actividad fotosintética, el contenido de clorofila y la translocación del carbono fijado. La apertura y cierre estomático, el movimiento de las hojas y otros tropismos de las plantas son impulsados por la presión de turgor generada por  $K^+$ . La presión osmótica por la acumulación de  $K^+$  dentro de las células es usada para la expansión celular de las hojas (Szczerba *et al.*, 2009; Mengel, 2007).

### 4.6.4 Calcio

El calcio es un elemento estructural en la planta, ya que constituye la lámina media, las paredes y membranas de la célula. Además, participa en la división y extensión celular, influye en la compartimentalización de la célula, modula la acción de hormonas y señales, estabiliza la pared y membrana, contribuye al equilibrio iónico de la célula e incluso participa en la secreción de la misma (Díaz *et al.*, 2007; Marschner 2002; Pilbeam y Morley, 2007). En la figura 10 se presenta síntomas de deficiencia de calcio en hojas de banano, debido a su limitada movilidad se observa en las hojas más jóvenes los síntomas más evidentes. La deficiencia de calcio esta asociada con la de boro.



**Figura 10.** Síntomas de deficiencia de calcio en plantas de banano. Se observa inicialmente en hojas más jóvenes debido relacionado con la movilidad del calcio en el floema.

## 4.6.5 Magnesio

El Mg y el N son los únicos nutrientes provenientes del suelo que son parte de la clorofila, y por esta razón, la mayoría del Mg en las plantas se encuentra en esta molécula. El Mg también interviene en el metabolismo del fósforo, en la respiración y en la activación de muchos sistemas enzimáticos en las plantas.

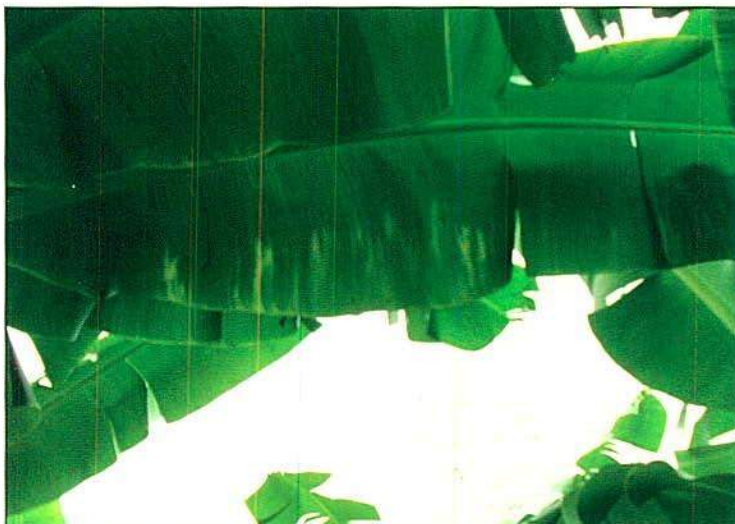
En las plantas el magnesio ( $Mg^{2+}$ ) es un constituyente esencial de la clorofila, activa más de 300 enzimas (ARN polimerasas, ATP asasa, Proteínas quinasas, fosfatasa, glutatión sintasa y carboxilasas) y está involucrado en la regulación del transporte de iones y en el balance de cationes en las plantas (Bose *et al.*, 2011).

La deficiencia de magnesio causa una acumulación de carbohidratos en las hojas, reduce el transporte y acumulación de carbohidratos, altera el metabolismo de la fotosíntesis y restringe la fijación de  $CO_2$  (Cakmak & Kirkby, 2008).

La incapacidad del transporte de electrones hasta para la reducción del  $CO_2$  a través de las membranas, puede causar la acumulación de electrones y energía absorbida. Bajo estas condiciones, los electrones que no se usan en la fotosíntesis conducen a la producción de especies reactivas de oxígeno. Las especies reactivas de oxígeno son una de las principales fuentes de daño celular bajo condiciones de estrés abióticos y bióticos.

El  $Mg^{2+}$  se une 3 a 4 veces en orden de magnitud, más estrechamente a las moléculas de agua de que otros cationes y por esto se une de manera relativamente débil a los grupos cargados negativamente en la pared celular de raíz. Por esto el exceso de cationes tales como  $H^+$  y  $Al^{3+}$  presentes en los suelos ácidos pueden inhibir la carga del  $Mg^{2+}$  hacia el apoplasto y la absorción a través de la membrana plasmática (Rufyikiri, *et al.*, 2004; Rufyikiri *et al.*, 2003; Rufyikiri, *et al.*, 2001; Rufyikiri, *et al.*, 2002; Gervais, 2004; Bose *et al.* 2011; Marschner, 2002).

En la figura 11 se presenta síntomas de deficiencia de magnesio en hojas de banano.



**Figura 11.** Síntomas de deficiencia de magnesio en plantas de banano. Su sintomatología se presenta por degradación de la molécula de la clorofila.

#### 4.6.6 Azufre

El azufre es el menos abundante de los macroelementos encontrados en las plantas. Esta entre el 10 al 15% del contenido de nitrógeno en la materia seca. El azufre generalmente es un componente no estructural de las biomoléculas. Por otro lado, casi siempre está involucrado en funciones catalíticas o electroquímicas de las moléculas de las cuales es componente.

El sulfato es transportado a los cloroplastos, donde se reduce. La concentración de sulfato en el citoplasma es relativamente constante y el exceso es almacenado en la vacuola. Distintas proteínas transportadoras de sulfato son las encargadas de la absorción, el transporte y la distribución del sulfato (Bimbraw, 2008).

El azufre es parte de 2 de los 20 aminoácidos que producen proteínas en las plantas. Se encuentra en los aminoácidos cisteína y metionina; en los oligopéptidos glutatión y fitoquelatinas; en vitaminas y cofactores como S-adenosilmetionina (SAM), biotina, tiamina y Coenzima A; y en una variedad de productos secundarios de azufre.

El sulfato es reducido a cisteína, que es el primer producto orgánico de la reducción del sulfato en plantas y es un componente central del metabolismo del azufre. La cisteína es el donante de azufre reducido para la síntesis de metionina y otros metabolitos que contienen azufre. La metionina es el precursor del S-adenosil metionina (SAM) el precursor del etileno, poliaminas y nicotinamida (Wu *et al.*, 2010).

Algunos de los metabolitos intermediarios de la ruta del azufre son precursores de un número de vitaminas y sulfolípidos de los cloroplastos. El glutatión tiene un papel importante en la planta incluyendo defensa contra estrés abióticos, bióticos, regulación de genes relacionados con estrés, división celular (Haneklaus *et al.*, 2007).

El glutatión G y S metilmationina son las mayores formas orgánicas almacenadas y transportadas en las plantas. El metabolismo del azufre está coordinado con la del nitrógeno. En la figura 12 se presenta síntomas de deficiencia de azufre en hojas jóvenes de banano, sus síntomas visuales se observan principalmente en plantaciones recién establecidas.



**Figura 12.** Síntomas de deficiencia de azufre en plantas de banano.

## BIBLIOGRAFIA

- Barker, A. V. y G. M. Bryson. 2007. Nitrogen. En: Barker, A. V. y V. Pilbeam. Handbook of plant nutrition. Taylos & Francis Group. P. 21-50.
- Bimbraw, A. S. 2008. Sulfur nutrition and assimilation in crop plants. En: N.A. Khan et al. Sulfur assimilation and biotic stress in plants. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. P 55-95.
- Bose, J., O. Babourina y Z. Rengel. 2011. Role of magnesium in alleviation of aluminium toxicity in plants. En: Journal of Experimental Botany. Vol. 62, no. 7, p. 2251–2264.
- Cakmak, I. y E. A. Kirkby. 2008. Role of magnesium in carbon partitioning and alleviating photooxidative damage. En: Physiologia Plantarum. Vol. 133, no. 4, p. 692–704.
- Delvaux, B., G. Rufuikiri y J. Dufey. 2003. Ion absorption and proton extrusion by banana roots. En: D. W. Turner and F.E. Rosales (eds.). Banana root system: towards a better understanding for its productive management: Proceedings of an International Symposium held in San José, Costa Rica, 3-5 November 2003. Montpellier: INIBAP. P. 114-121.
- Díaz, A., G. Cayón y J. J. Mira. 2007. Metabolismo del calcio y su relación con la "mancha de madurez" del fruto de banano: una revisión. En: Agronomía Colombiana. Vol. 25, no. 2, p. 280-287.
- Gojon, A., P. Nacry y J. C. Davidian. 2009. Root uptake regulation: a central process for NPS homeostasis in plants. En: Current Opinion in Plant Biology. Vol. 12, no. 3, 328–338.
- Haneklaus, S. *et al.*, 2007. Sulfur. En: Barker, A. V. y V. Pilbeam. Handbook of plant nutrition. Taylos & Francis Group. P. 183-238.
- Jungk, A. 2001. Nutrient movement at the soil-root interface its role in nutrient supply to plants. En: Revista de la Ciencia del Suelo y la Nutrición Vegetal. Vol. 1, no. 1, p. 1-18.
- Jungk, A. 2002. Dynamics of nutrient movement at the soil-root interface. En: Waisel, Y., A. Eshel y U. Kafkafi, eds. Plant roots: the hidden half. 3. ed. New York: Marcel Dekker. P. 587-616.
- Karley, A. J. y P. J. White. 2009. Moving cationic minerals to edible tissues: potassium, magnesium, calcium. En: Current Opinion in Plant Biology. Vol. 12, no. 3, p. 291–298.

- Lin, Z.H. *et al.*, 2009. CO<sub>2</sub> assimilation, ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase, carbohydrates and photosynthetic electron transport probed by the JIP-test, of tea leaves in response to phosphorus supply. En: *BMC Plant Biology*. Vol. 9, no. 43.
- Marschner, H. 2002. Mineral nutrition of higher plants. 2. ed. New York: Academic Press. 889 p.
- Martínez, A. M. 2006. Dinámica del crecimiento, desarrollo y distribución de asimilados en el cultivo del banano (*Musa AAA Simmonds cv. Valery* y *cv. Gran Enano*) en la zona de Urabá. Trabajo de Maestría en Fisiología de Cultivos. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 108 p.
- Mengel, K. 2007. Potassium. En: Barker, A. V. y V. Pilbeam. *Handbook of plant nutrition*. Taylos & Francis Group. P. 91-120.
- Neumann, G. y V. Romheld. 2002. Root-induced changes in the availability of nutrients in the rhizosphere. En: Waisel, Y., A. Eshel y U. Kafkafi, eds. *Plant roots: the hidden half*. 3. ed. New York: Marcel Dekker. P. 617-649.
- Pilbeam, D. J. y P. Morley. 2007. Calcium. En: Barker, A. V. y V. Pilbeam. *Handbook of plant nutrition*. Taylos & Francis Group. P. 121-144.
- Raghothama, K. G. y A. S. Karthikeyan. 2005. Phosphate acquisition. En: *Plant and Soil*. No. 274, p. 37-49.
- Raghothama, K. G. 2000. Phosphate transport and signaling. En: *Current Opinion in Plant Biology*. Vol. 3, no. 3, p. 182-187.
- Rubio Valverde, I. 2004. Mecanismos de transporte de nitrato, amonio y fosfato. y homeostasis citoplasmática de sodio en *Zostera marina* L. Tesis doctoral. Departamento de Biología Vegetal (Botánica y Fisiología Vegetal). Facultad de Ciencias. Universidad de Málaga, España. 246 p.
- Rufyikiri, G., *et al.* 2000. Effect of aluminium on bananas (*Musa* spp.) cultivated in acid solutions. I. Plant growth and chemical composition. En: *Fruits*. Vol. 55, no. 6, p. 367-379.
- Rufyikiri, G., *et al.* 2001. Effect of aluminium on bananas (*Musa* spp.) cultivated in acid solutions. II. Water and nutrient uptake. En: *Fruits*. Vol. 56, no. 1, p. 3-14.
- Rufyikiri, G., *et al.* 2002. Cation exchange capacity and Al-Ca-Mg binding in roots of bananas (*Musa* spp.) cultivated in soils and in nutrient solutions. En:

Communications in Soil and Plant Analysis. Vol. 33, nos. 5-6, p. 991-1009.

Rufyikiri G., *et al.*, 2003. Competitive absorption of H, Ca, K, Mg and Al on banana roots: experimental data and modeling. En: Journal of Plant Nutrition. Vol. 26, no. 1, p. 351-368.

Rufyikiri, G., *et al.* 2004. Mobilization of aluminium and magnesium by roots of banana (*Musa spp.*) from kaolinite and smectite clay minerals. En: Applied Geochemistry. Vol. 19, no. 4, p. 633-643.

Salisbury, F. y C. Ross. 1994. Fisiología vegetal. 4. ed. México: Grupo Editorial Iberoamerica S.A. P. 3-177.

Sanchez, C. A. 2007. Phosphorus. En: Barker, A. V. y V. Pilbeam. Handbook of plant nutrition. Taylos & Francis Group. P. 51-90.

Sattelmacher, B. 2001. The apoplast and Its significance for plant mineral nutrition. En: New Phytologist. Vol. 149, no. 2, p. 167-192.

Szczerba, M. W., D. T. Britto y H. J. Kronzucker. 2009. K<sup>+</sup> transport in plants: physiology and molecular biology. En: Journal of Plant Physiology. Vol. 166, no. 5, p. 447-466.

Wu, Y., *et al.* 2010. Isolation and characterization of low-sulphur-tolerant mutants of *Arabidopsis*. En: Journal of Experimental Botany. Vol. 61, no. 12, p. 3407-3422.





Deje sus **manos** en las nuestras.

**FITOKAL-B**

**FOSFI-K**

**MICROFERTISA S.A.**

Calle 10 No. 90 A - 54 | PBX: (57 1) 424 4990

Línea de Servicio al Cliente 01 8000 127 020

servicioalcliente@microfertisa.com.co

Bogotá D.C. - Colombia - Sur América

[www.microfertisa.com.co](http://www.microfertisa.com.co)

Manténgase actualizado, siganos en:



Microfertisa



@Microfertisa



MicrofertisaChannel



**Microfertisa**<sup>®</sup>  
Calidad que genera Vida!

# FOSFITOS EN MICROINYECCIÓN



El manejo de la fertilización foliar y utilización de nuevas técnicas de aplicación en la agricultura es cada vez más frecuente por la demanda nutricional de los cultivos de alto rendimiento, donde el objetivo es suplir los requerimientos nutricionales en épocas críticas (caso micronutrientes esenciales), acortar o retardar ciclos en la planta, además de mitigar condiciones de estrés en la planta como consecuencia de condiciones climáticas adversas y aporte energético en etapas productivas. El cultivo de Plátano y Banano en el país, no es la excepción. Para el crecimiento y desarrollo normal del cultivo es necesario que la planta tenga disponibles en cantidades óptimas y balanceadas, ciertos elementos nutritivos, de lo contrario se deben suministrar a partir de fuentes alternativas.

Por tal razón, MICROFERTISA S.A.<sup>®</sup> dentro de la búsqueda de herramientas para el manejo nutricional del cultivo de Plátano y Banano, ha desarrollado MF FOSFI-K<sup>®</sup> y MF FITOKAL-B<sup>®</sup>. La tecnología de estos productos es derivada del ión fosfito y presenta rápida absorción y alta movilidad en la planta, características que le permiten suplir de manera rápida y eficiente las necesidades de sus iones acompañantes Calcio (Ca), Potasio (K) y Boro (B) en épocas de máxima exigencia de los cultivos. MF FITOKAL-B<sup>®</sup>, contribuye a una mayor asimilación del Boro (B) en la planta, elemento que es tomado en altas cantidades antes de floración y usado totalmente

en el desarrollo de los frutos, además está involucrado en el transporte de azúcares y participa en el desarrollo y elongación celular. MF FOSFI-K<sup>®</sup> incrementa los contenidos foliares de Potasio, los cuales se verán reflejados en incrementos en producción y calidad, como por ejemplo peso del racimo y altura del hijo principalmente.

La interacción positiva de MF FOSFI-K<sup>®</sup> y MF FITOKAL-B<sup>®</sup> a dosis de 2.0-2.5 y 1.0-1.5 L/ha respectivamente INYECTADA A LA BASE DE LA PLANTA, presenta un beneficio económico, mejorando considerablemente la calidad de cosecha, disminuyendo las pérdidas de fruta defectuosa, con niveles menores del 5% de merma y mejoran la homogeneidad de cosecha, factores que inciden directamente en un mayor retorno económico y productividad para el agricultor.

El manejo de MF FOSFI-K<sup>®</sup> y MF FITOKAL-B<sup>®</sup>, es una alternativa importante para optimizar la productividad de los cultivos de Banano y Plátano, al maximizar la función productiva, con una mayor expresión del potencial genético de los cultivares. El manejo debe hacerse de manera técnica, combinando sus acciones fisiológicas y a partir de un diagnóstico integral de factores en la relación suelo-planta-ambiente que incluyan necesariamente en respuestas agronómicas en campo y objetivos claros para contrarrestar limitantes de producción.

**\*Antes de aplicar inyección en la dosis recomendada, consulte con un Ingeniero Agrónomo de Microfertisa S.A.**

Departamento de Investigación, Diseño  
& Desarrollo Microfertisa S.A.<sup>®</sup>

Todos los derechos reservados. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este documento, por cualquier medio, sin el previo y expreso consentimiento por escrito de Microfertisa S.A.<sup>®</sup>



## 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.

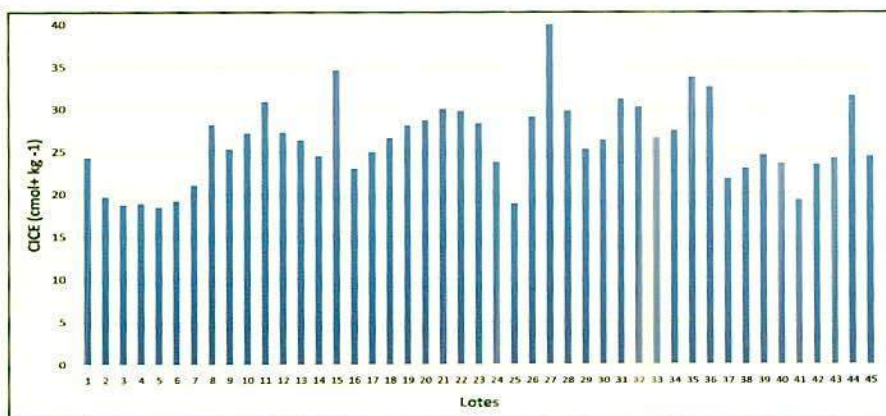


Figura 1. Variabilidad de la CICE en una finca.

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).

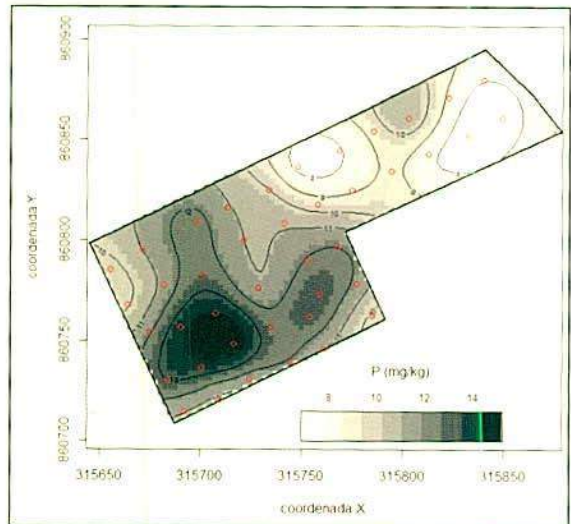


Figura 2. Distribución espacial del contenido de P (mg/kg) en un lote de la región de Urabá.

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.



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.

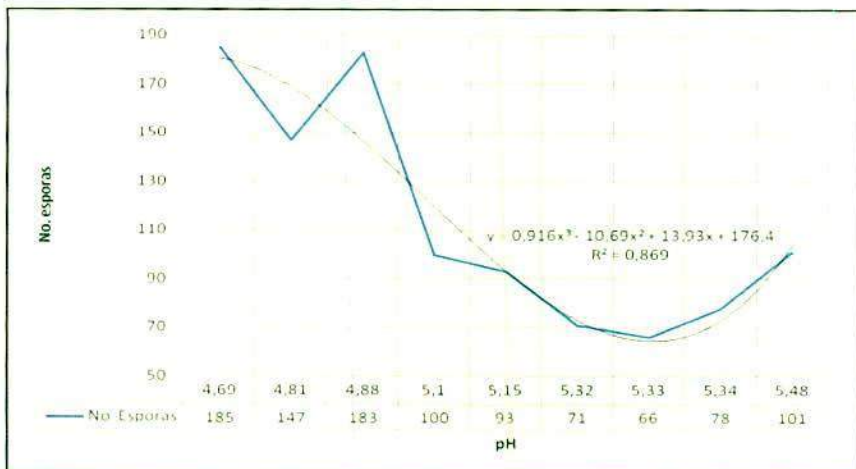


Figura 6. Regresión lineal entre el pH del suelo y el conteo de esporas de Micorrizas.

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).

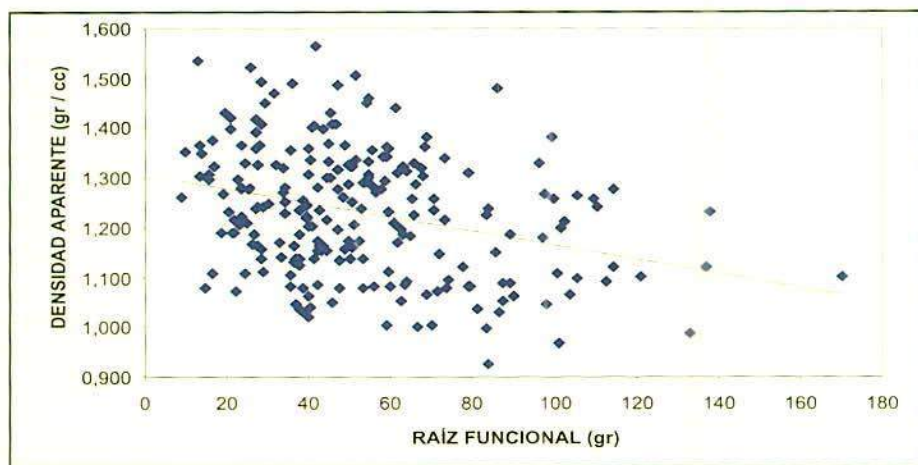


Figura 7. Regresión lineal entre el densidad aparence y raíz funcional.

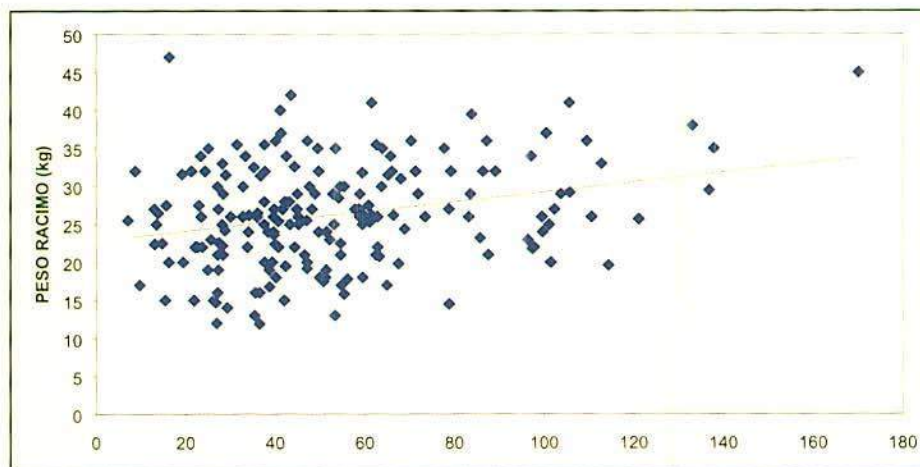


Figura 8. Regresión lineal entre raíz funcional y el peso del racimo.

## 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 mencionó 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).

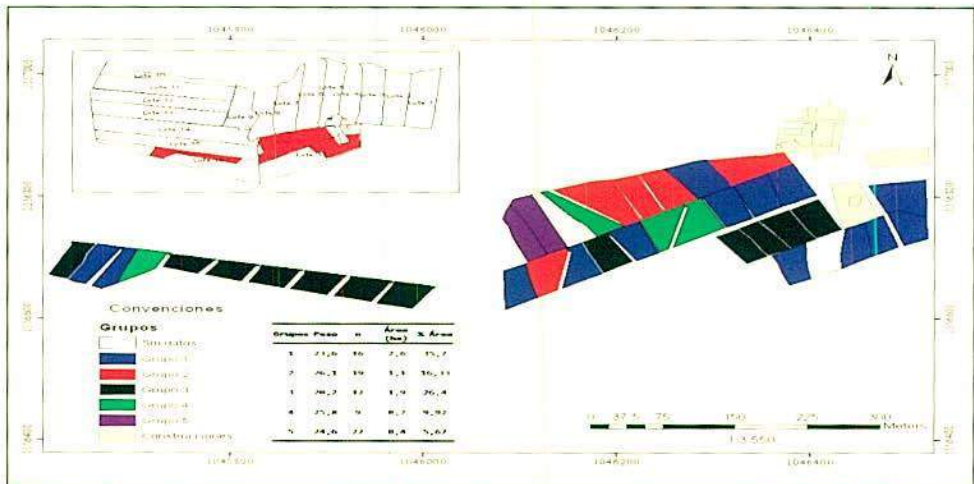


Figura 9. Agrupación de UMA por características químicas similares en una finca bananera.

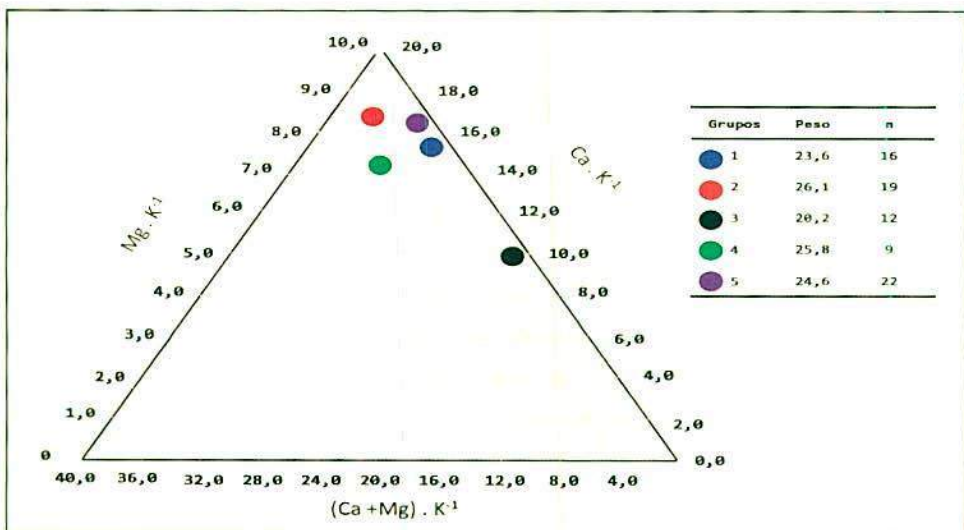


Figura 10. Agrupamientos por UMA y la relación de bases intercambiables en una finca bananera.

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.

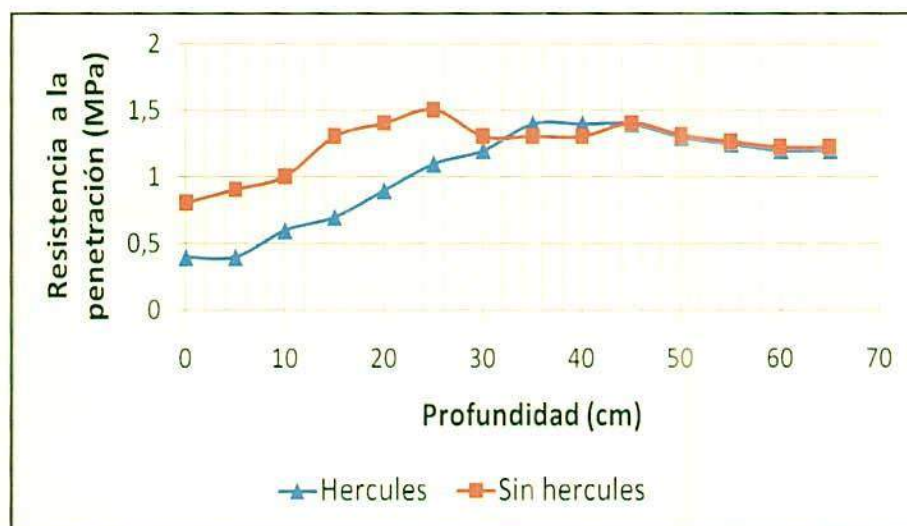


Figura 11. Comparación de la resistencia a la penetración a través del perfil del suelo al realizar Hércules o no en un suelo cultivado con banano.

## 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.

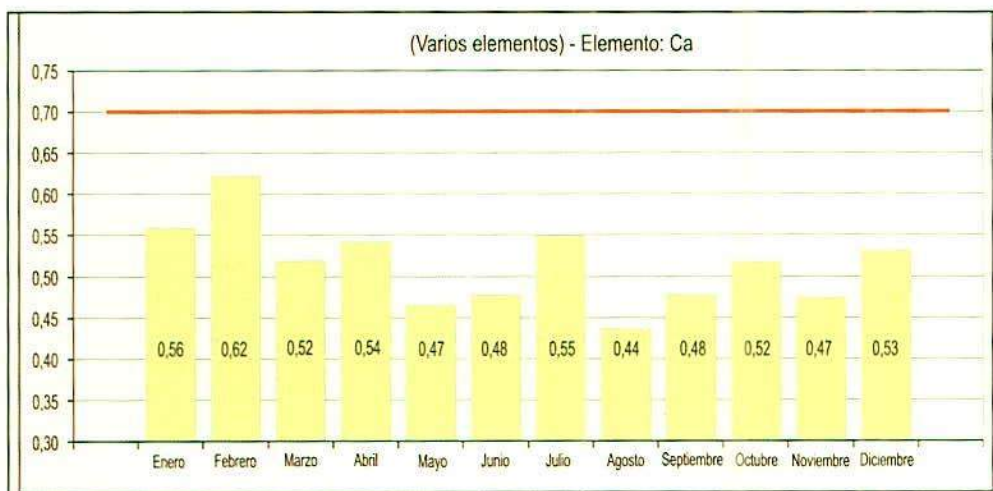


Figura 13. Contenido de calcio en tejido foliar a través del año en plantas de banano. (FUENTE BANACOL)

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.

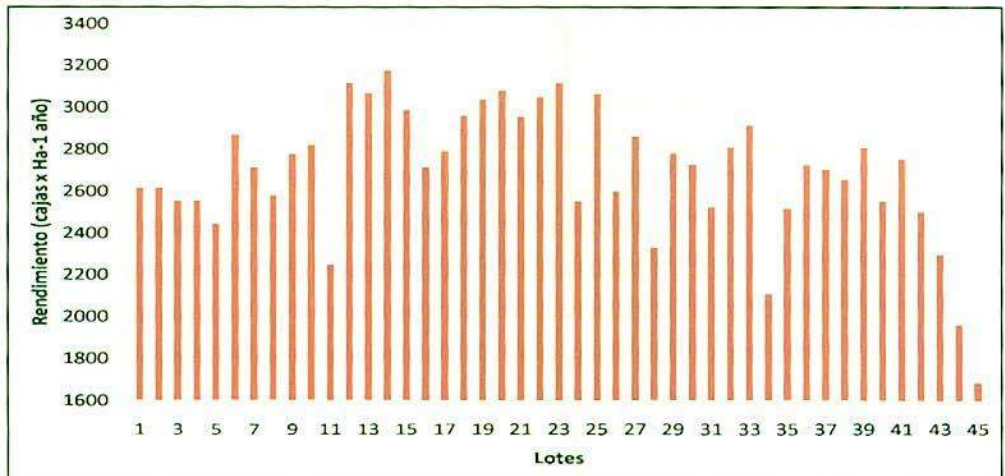


Figura 15. Variabilidad del rendimiento en un finca de la región de Urabá.

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 <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	67,29	Extracción kg/ha/año	33,5	22,97
		BPN	50%	34%
		FPP	52,0	35,7
SO <sub>4</sub>	44,37	Extracción kg/ha/año	13,12	9
		BPN	30%	20%
		FPP	78,9	54,1
Ca <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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 <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	Mg O	S	B	Zn
	kg/ha año <sup>-1</sup>							
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.

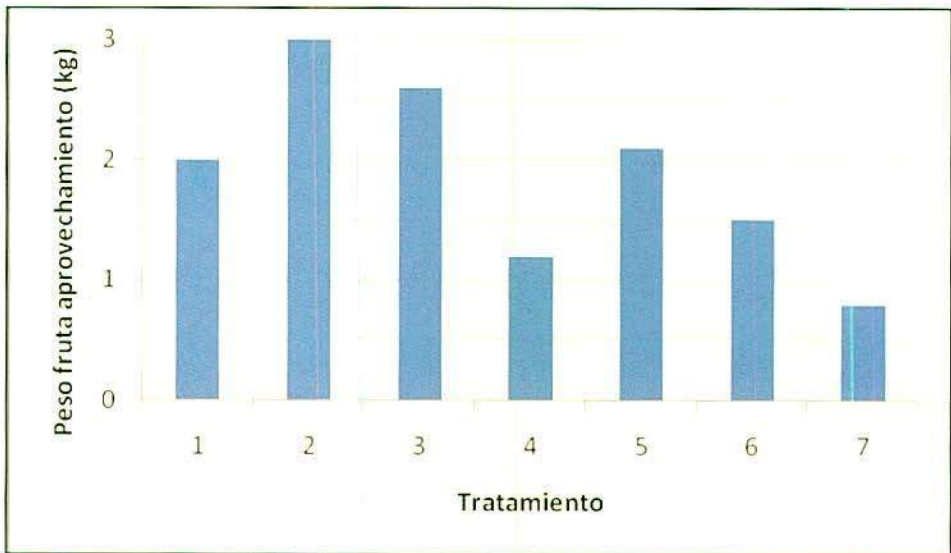


Figura 17. Peso de fruta de aprovechamiento con diferentes regimenes de fertilización.

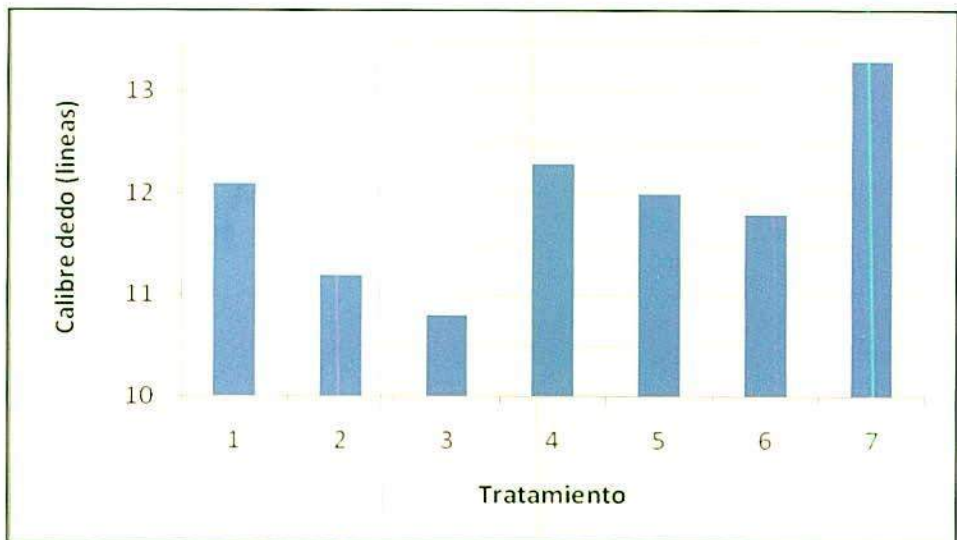


Figura 18. Calibre de dedos con diferentes regimenes de fertilización.

La fertilización balanceada incrementa la productividad, al mejorar el rendimiento del cultivo por unidad de área, disminuir las perdidas por calidad de la fruta o debida a problemas causados por patógenos o desordenes 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  $\text{NH}_4^+$  puede ser acompañada de la liberación de  $\text{H}^+$  y afecta con ello el pH de la vecindad de la raíz. La absorción del  $\text{NO}_3^-$  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  $\text{NO}_3^-$  es cotransportado con  $\text{H}^+$  con una estequiometría de  $2\text{H}^+ : 1\text{NO}_3^-$ , lo cual explica la alcalinización del medio externo cuando las plantas absorben  $\text{NO}_3^-$ . Los incrementos en el pH de la solución nutritiva se deben a que la absorción de  $\text{NO}_3^-$  se acompaña de absorción de  $\text{H}^+$  o excreción de  $\text{OH}^-$  para mantener el balance de cargas Salisbury y Ross (1994).

El  $\text{NH}_4^+$ , 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  $\text{NH}_4^+$ , mientras que una reducción del mismo favorece la absorción de  $\text{NO}_3^-$ . Se ha encontrado que las raíces de banano son capaces de absorber  $\text{NH}_4^+$  en preferencia a  $\text{NO}_3^-$  (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- $\text{NH}_4^+$  (amonio) que con el N- $\text{NO}_3^-$  (nitrato), debido a que la reducción del pH en la superficie de la raíz provocada por la absorción de  $\text{NH}_4^+$ , 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  $\text{NO}_3^-$  hacia la parte aérea de las plantas, vía xilema, es acompañado por el  $\text{K}^+$  que luego desciende vía floema con el malato. El malato, que transporta el  $\text{K}^+$  hacia las raíces, se descarboxila formando piruvato y carbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ). El ( $\text{HCO}_3^-$ ) puede ser intercambiado con el  $\text{NO}_3^-$ , 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  $\text{NH}_4^+$  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*. Taylos & Francis Group. P. 91-120.
- Merhaut, D. J. 2007. Magnesium. En: Barker, A. V. y V. Pilbeam. *Handbook of plant nutrition*. Taylos & 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*. Taylos & 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**<sup>®</sup>  
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. - 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.

## 6. RENDIMIENTO EN BANANO Y DETERMINACIÓN DE SUS COMPONENTES

### 6.1 INTRODUCCIÓN

*La dinámica del crecimiento y desarrollo de banano es producto de las relaciones que ocurren durante todo su ciclo con las diferentes condiciones bióticas y abióticas. Por lo tanto, el rendimiento está determinado por la interacción entre el genotipo y el ambiente (Hay & Porter, 2006).*

*El rendimiento potencial es el máximo rendimiento de un cultivar en una ambiente al cual se encuentra adaptado, creciendo con suficiente agua y nutrientes en la ausencia de estrés abióticos y bióticos.*

*Desde el punto de vista agronómico el rendimiento involucra la proporción de biomasa que se destina a la parte cosechable de la planta (racimo) de acuerdo con la ecuación siguiente.*

$$Y = Q \times I \times \varepsilon \times H$$

- *Q= Cantidad total de radiación solar incidente recibida en un periodo de tiempo.*
- *I= Fracción de Q que es interceptada por el cultivo.*
- *$\varepsilon$ = Eficiencia de la Conversión de la energía interceptada a energía química potencial.*
- *H= Índice de cosecha del cultivo.*

*La radiación solar incidente depende de la ubicación geográfica del sitio de cultivo y la época del año. Esto genera la variabilidad de este parámetro en los distintos lugares donde se siembra banano y variabilidad temporal en un mismo sitio.*

La fracción de radiación interceptada, depende de la densidad de siembra del cultivo, la disposición de plantas en el cultivo y la sincronización entre las plantas que pertenecen a una unidad de producción.

La eficiencia de conversión depende completamente de la fotosíntesis y respiración del cultivo, esta eficiencia es afectada por factores abióticos como radiación, precipitación, temperatura, vientos y bióticos como plagas y enfermedades.

El rendimiento puede analizarse a través de componentes numéricos, ejemplo número de racimos y pesos de los racimos. El análisis de componentes de rendimiento permite determinar el aporte de cada componente a la productividad y ayuda a detectar como cada uno de ellos es afectado por factores bióticos, abióticos o por manejo.

Cada componente de rendimiento puede variar independientemente de los demás y su magnitud es determinado en diferentes etapas de ciclo de vida de la planta o durante el procesamiento de la fruta.

En la figura 1 se esquematizan los componentes de rendimiento de banano, este análisis da información clave para mejorar la productividad de los cultivos.



Figura 1. Esquema de los componentes de rendimiento de banano.

## 6.2 DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES EN BANANO

En la producción bananera se busca optimizar el número de cajas obtenidas en un área, durante un determinado periodo y esto se logra manejar los factores que afectan los componentes de rendimiento, que son número de racimos por año y el peso aprovechado de cada racimo.

Cada uno de estos componentes depende de las características específicas de cada finca, en cuanto a la cultivariedad sembrada, manejo realizado al cultivo y condiciones agroecológicas del sitio. A continuación se describen cada uno de los componentes de rendimiento y como son afectados.

### 6.2.1 Determinación del número de racimos

El número de racimos por hectárea depende del número de plantas que depende a su vez del arreglo espacial de las plantas y de la densidad de siembra; del porcentaje de plantas cosechadas; y del índice de retorno de la población de plantas.

$$No.racimos \cdot año/ha = No.plantas/ha \times \%cosechadas/ha \times Retorno \cdot año$$

- **Número de plantas por hectárea.**

Es importante identificar el número de plantas que se tienen en una unidad agrícola para poder tomar decisiones de ajustes poblacionales y decisiones de control de labores como fertilización, hércules y aplicación de materia orgánica entre otras. Este número de plantas depende de:

- Densidad de siembra**

A mayor densidad de siembra lo que se espera es obtener un mayor número de racimos en un periodo de tiempo (figura 2). Generalmente se espera que un aumento en número de plantas, hasta cierto punto, compense la disminución del peso de los racimos y que un menor número de plantas se compense con el aumento del peso del racimo.

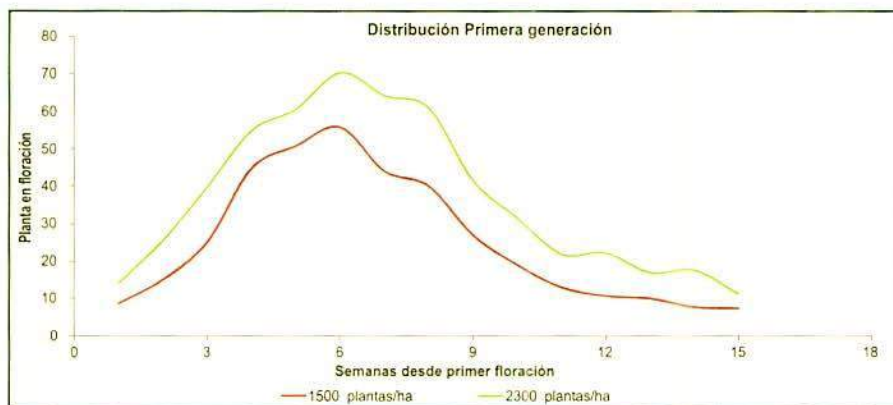


Figura 2. Distribución y cantidad de floración en dos densidades de siembra de banano.

En trabajos realizados en la región de Urabá con diferentes densidades de siembra (1500, 1900 y 2300 plantas/ha) se ha encontrado que durante la primera cohorte poblacional no hay diferencias significativas en el peso de los racimos, esto es explicado en parte, porque durante el primer ciclo los arreglos de siembra que se encuentran bien definidos permiten uniformidad en la entrada de luz para todas las unidades productivas independientemente de la densidad de siembra.

A partir de la segunda generación tanto el retorno, la distribución de la floración (figura 3) y el peso del racimo empiezan a ser afectados y esto es más evidente a mayores densidades de siembra (figura 4). Esto se debe a que los arreglos de siembra empiezan a desorganizarse y además hay mayor desuniformidad en el crecimiento entre las unidades productivas, por lo que hay mayor competencia por luz entre las mismas, lo que genera mayor variabilidad en la tasa de crecimiento y en el peso del racimo entre unidades productivas.

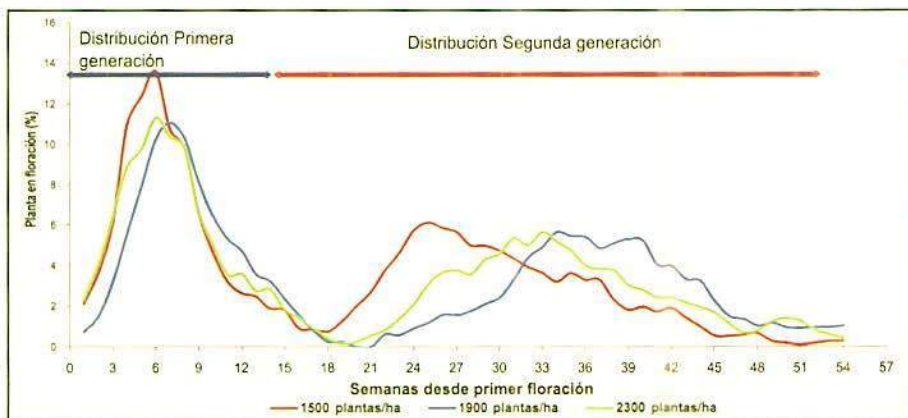


Figura 3. Distribución de floración en primera y segunda generación en tres densidades de siembra de banano.

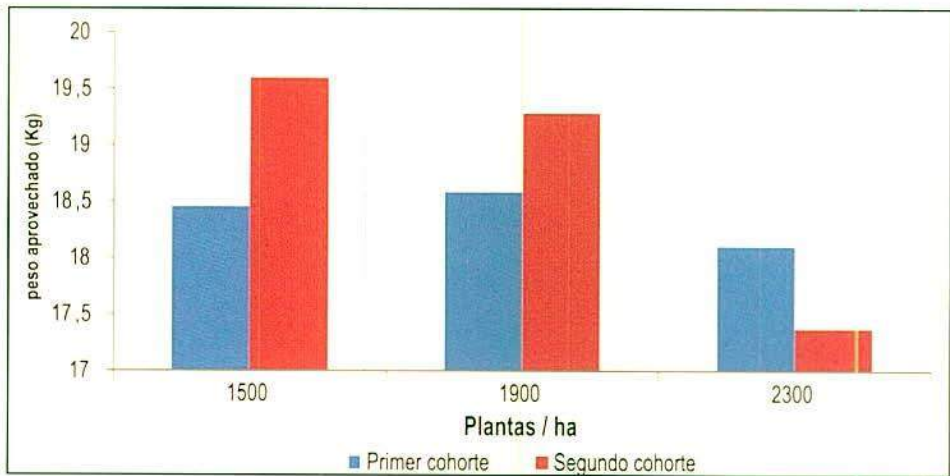


Figura 4. Peso de racimos durante la primera y segunda generación de banano sembrado bajo tres densidades de siembra.

En plantaciones demasiado densas, se puede presentar que un mayor número de racimos no compense la caída del peso por una alta competencia que ocasionan abortos florales, mal llenado de racimo. Esto sucede en altas densidades después de varias generaciones donde no hay una distribución adecuada de las unidades productivas y la competencia por luz se convierte en un factor limitante.

En plantaciones con densidades muy bajas, el aumento en peso de los racimos que se espera, no compensa la disminución del número de racimos y se pueden presentar problemas por mayor competencia con malezas por el cultivo, aumento de pérdidas de fruta, etc.

## b. Arreglo espacial

La forma como se distribuyen las plantas dentro de un área de cultivo se denomina arreglo de la población de plantas. Con los arreglos se pretende aprovechar al máximo el espacio disminuyendo la competencia entre unidades productivas de banano, mejorar la captura de recursos como luz agua y nutrientes y disminuir la competencia con las arvenses. Diferentes arreglos espaciales en banano ha sido utilizados en diferentes lugares del mundo, por ejemplo el arreglo espacial en círculo de cinco (figura 5) y seis plantas (figura 6), siembra en hexágonos (figura 7), arreglos en pentágonos, arreglos de dos plantas por unidad productiva con diferentes distancias entre surcos y plantas (figura 8), arreglos en surco sencillo con diferentes espaciamento entre surcos y plantas (figura 9).



Figura 5. Arreglo espacial en círculo con cinco plantas (González *et al.*, 2012 y autores allí citados).



Figura 6. Arreglo espacial en círculo con seis plantas. (González *et al.*, 2012 y autores allí citados).

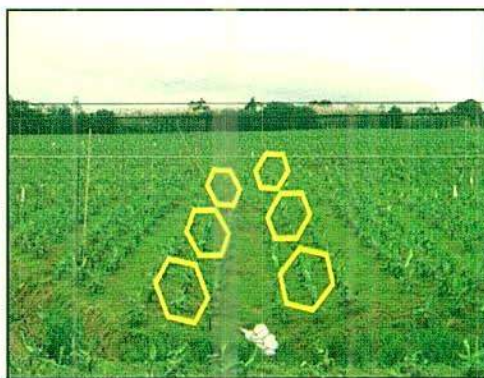
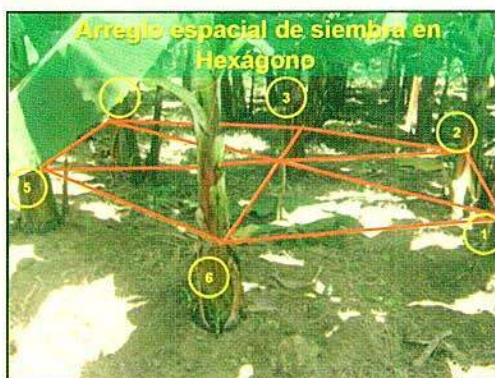


Figura 7. Arreglo espacial en hexágonos (González *et al.*, 2012).



Figura 8. Arreglo espacial de dos plantas por unidad productiva.



Figura 9. Arreglo espacial en surco sencillo con diferentes distancias entre plantas y surcos.

Una limitante en los sistemas productivos de banano es que, en plantaciones de varios años de establecidas, los arreglos de siembra iniciales paulatinamente van desapareciendo y por eso se pueden presentar áreas con una alta competencia por luz entre plantas y áreas pobremente pobladas en una misma área de cultivo. Esto resulta en desuniformidad en el tamaño de racimos, ya que la distribución de la radiación solar entre plantas produce pérdidas de productividad y esto puede ocasionar que muchos racimos no sean comerciales, disminuyendo el número de racimos comerciales por unidad de área (figura 10).



Figura 10. Pérdida de los espaciamientos y de los arreglos a través del tiempo de establecidos los cultivos.

Por esto uno de los retos en las fincas bananeras es poder garantizar en los lotes de cultivo, independientemente de la densidad de siembra, que los arreglos espaciales establecidos inicialmente se conserven (figura 11).



Figura 11. Selección direccionada de hijos de sucesión para conservar el arreglo espacial de la plantación.

### ● índice de retorno

El retorno desde el punto de vista económico nos indica que cantidad de racimos podemos obtener anualmente de una misma unidad productiva y desde el punto biológico es una medida que nos indica que tan rápido crece una población de plantas.

$$\text{Retorno} = \frac{\text{No. racimos cosechados} \cdot \text{año/ha}}{\text{Número de plantas/ha}}$$

El índice de retorno está relacionado directamente con intervalo de cosechas o floraciones en una misma unidad productiva.

El intervalo de floraciones en plantaciones establecidas, bajo adecuadas condiciones de manejo agronómico, está en promedio en 28 semanas con un potencial índice de retorno de 1,9. En sistemas productivos tradicionales el intervalo de cosecha a cosecha se encuentra alrededor de 32 y 34 semanas con un índice de retornos entre 1,6 y 1,5.

En la figura 12 se muestra como a través del acumulado de embolses en un periodo determinado se puede conocer el intervalo de floraciones poblacional y además se puede obtener una aproximación al índice de retorno de cada finca.

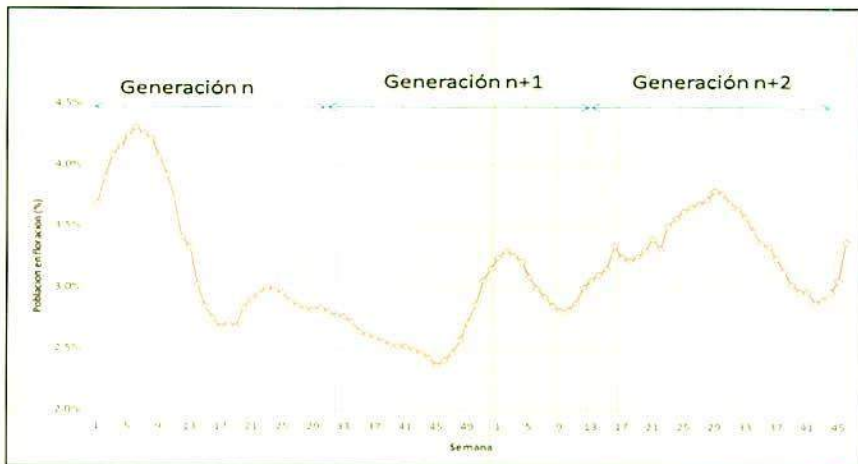


Figura 12. Comportamiento poblacional de la floración en una finca de la región de Urabá, índice de retorno de 1,5.

En términos prácticos un índice de retorno de 1,9 nos dice que alrededor del 90% de la población de plantas produce dos racimos durante el año y el otro 10% tan solo un racimo, mientras un índice de retorno de 1,5 nos indica que el 50% de la población de plantas produce dos racimos durante el año y el otro 50% produce tan solo uno. La mejora de los índices de retorno en las fincas es una meta productiva que debe plantearse para planear las actividades concretas para lograrlo.

El adecuado conocimiento y seguimiento de este componente de rendimiento permite mejorar el potencial de productividad, dirigiendo esfuerzos a mejorar el retorno en las fincas bananeras, sí se identifican problemas con este indicador.

Este componente es afectado por la interacción de condiciones de clima, fertilidad del suelo, fertilización del cultivo, la cultivariedad y por prácticas de manejo como deshierpe, control de malezas, etc.

El cálculo inadecuado de este componente, puede llevar a decisiones equivocadas en las fincas, por esto su cálculo debe discriminar las plantas que no son cosechadas por diferentes motivos.

Las decisiones relacionadas con el índice de retorno están direccionadas a mejorar las condiciones de crecimiento del cultivo para mejorar las tasas de crecimiento del mismo si se considera necesario.

### ● Porcentaje de plantas cosechadas

No todas las plantas en un área de cultivo son cosechadas, pero si han recibido aplicaciones de fertilizantes y de materia orgánica y labores de protección de fruta, todo esto con costos económicos. Entre las causas por las cuales no todas las plantas dan un racimo comercial están:

- Enfermedades como Sigatoka hacen que se repiquen racimos si no se cumplen los estándares del mercado por ejemplo número de hojas a cosecha.
- Caída de plantas por condiciones de mal drenaje, vientos fuertes, mal manejo de labores como el desmache, etc.
- Plantas con problemas fisiológicos como abortos florales o obstrucción foliar por exceso de agua, sequía o deficiencias nutricionales.
- Problemas de mercado que hace que se tomen de decisiones de manejo de la cosecha como por ejemplo desbacote, etc.
- Racimos muy pequeños donde la relación beneficio costo es muy baja y es mejor repicarlos en campo antes de incrementar costos en las labores de protección de fruta y demás.

El registro de plantas no cosechadas y la evaluación adecuada del porque no se cosecha un determinado porcentaje de plantas en lo posible por lotes, sirve para implementar manejos adecuados para disminuir dichos porcentajes.

## 2. Peso aprovechable de la fruta

La relación entre la fruta aprovechada para exportación proveniente de un racimo y el peso de una caja de banano se denomina ratio. Aunque el ratio no es un componente de rendimiento, es un indicador del peso de fruta exportada.

El ratio es función del peso de fruta y la calidad de la fruta. La determinación del peso y calidad se dan en diferentes momentos del desarrollo del cultivo y del proceso de cosecha y poscosecha de la fruta.

$$\text{Ratio} = \frac{\text{Pesofrutaaprovechada} \cdot \text{racimo}}{\text{Peso} \cdot \text{cajabanano}}$$

$$\text{Pesofrutaaprovechada} = \text{Pesofruta} \cdot \text{racimo} \times (100 - \% \text{fruta.rechazada})$$

- **Peso de la fruta**

El peso de la fruta de un racimo depende de la combinación de prácticas de manejo y condiciones agroecológicas que se presentaron durante todo el ciclo de crecimiento de la unidad productiva.

El peso de fruta es función del número de manos por racimo, el número de dedos por racimo y el peso de dichos dedos.

$$\text{Pesofruta} \cdot \text{racimo} = \frac{\text{No.manos}}{\text{racimo}} \times \frac{\text{No.dedos}}{\text{mano}} \times \frac{\text{Peso}}{\text{dedos}}$$

- El número de manos y de dedos son determinados por las condiciones presentadas durante la etapa vegetativa y etapa reproductiva, siendo una fase crítica el periodo alrededor de la iniciación y diferenciación floral, en este momento queda determinado el potencial del futuro racimo en cuanto a manos y dedos formados.
- el potencial de llenado de los dedos se determina por las condiciones durante la etapa reproductiva y alrededor de tres primeras semanas de la etapa productiva durante la fase de división celular de los mismos.
- El llenado de los dedos está influenciado por las condiciones de la planta durante la fase de expansión celular de los dedos en la etapa productiva, el número de hojas y por las condiciones agroecológicas previas a las cosechas que son muy importantes para alcanzar un buen peso de los dedos.

- **Calidad de la fruta**

La calidad de la fruta que puede ser exportada depende tanto de las condiciones bióticas y abióticas que se presentaron durante el crecimiento y desarrollo de las plantas y manejo de la fruta precosecha, en cosecha y poscosecha.

De acuerdo con lo anterior la fruta no aprovechada tiene diferentes causas que pueden dividirse en:

- Fisiológicas, que son determinadas en la etapa reproductiva y productiva de la fruta por ejemplo dedos deformes, dedos en pachas, peguetas y peinetas, mancha de madurez.
- Daños por Plagas y enfermedades, causadas principalmente en la etapa productiva de la fruta, ejemplo daños por trips, colaspis, pudrición suave del dedo.
- Precosecha, el no realizar o las inadecuadas prácticas de manejo de fruta, así como factores abióticos pueden ocasionar deterioro de la calidad de la fruta, algunos que se pueden mencionar son: Látex viejo, cicatriz vieja, cicatriz de punta, rozamientos.
- Manejo de cosecha y transporte inadecuado manejo de la fruta durante la cosecha y traslado de la fruta a la empacadora pueden ocasionar deterioro de la misma dentro de las que están: Cicatrices nuevas (cicatriz de manejo, cuello roto, rozamientos y fricciones, maltrato en el transporte magulladuras, daños mecánicos. Daño por herramientas.
- Poscosecha: En la empacadora en los procesos de selección y clasificación y empaque se puede causar deterioro.

Las compañías comercializadoras tienen excelentes manuales de identificación de los problemas que afectan la calidad de la fruta. Por esto en las fincas se deben caracterizar tanto espacial como temporalmente estos problemas a través de la cuantificación de las mermas, para tomar decisiones adecuadas y corregirlos en los momentos oportunos.

### **6.3 MANEJOS POBLACIONALES PARA MEJORAR ÍNDICES DE COSECHA O PARA PROGRAMAR COSECHAS**

Son diferentes las estrategias para mejorar los racimos producidos en un área de la finca después de períodos de estrés o para realizar la programación de cosechas basadas en el comportamiento del mercado. Estas estrategias están basadas en aspectos de crecimiento y desarrollo de la población de plantas y cada una se debe adoptar de acuerdo a las necesidades propias de cada finca y del mercado.

#### **6.3.1 Renovación generalizada de un área de cultivo**

La renovación generalizada de un área de cultivo se debe realizar cuando, al observar los históricos de la finca y al comparar con otras áreas de cultivo, se identifican pérdidas recurrentes de productividad. Si al identificar las causas de dicha disminución de productividad, se evidencia que son problemas estructurales del área de cultivo se debe decidir por este tipo de renovación.

Los problemas estructurales son compactación de suelo, problemas con la red de drenaje, problemas de nivelación de suelo. La renovación se puede realizar con material propagado in vitro que es lo más indicado siempre y cuando el material este certificado (figura 13) o por rizomas preferiblemente obtenidos en la misma finca. En muchas ocasiones, en las plantaciones que se hacen renovaciones y no se solucionan los problemas estructurales al final no se mejoran las condiciones del cultivo.

Cuando las fincas tienen muchos años de sembradas y cuando los problemas estructurales de las fincas son muy críticos, es importante que las fincas implementen planes de renovación de la plantación con el fin de solucionar los problemas estructurales paulatinamente (figuras 14 y 15), una estrategia es determinar un periodo de tiempo en el cual se realice toda la renovación de la plantación, por ejemplo a diez años y anualmente se podría renovar el 10% de la población de plantas. Esta decisión va a depender de la edad de la plantación, de la identificación de los problemas estructurales basados en las curvas de isobatas e isohipsas, el diseño del drenaje, los problemas de compactación, etc.



Figura 13. Renovación de plantación con vitroplantas.



Figura 14. Adecuación de drenajes al momento de realizar la renovación.



Figura 15. Descompactación del suelo al momento de realizar la renovación.

### 6.3.2 La poda generalizada de un área de cultivo

La poda generalizada es una práctica donde a toda la población de plantas, independientemente de su estado fenológico, se les detiene el crecimiento para incentivar el crecimiento de nuevos rebrotes (Shoot back).

La forma de realizarla es cortando a ras de suelo el pseudotallo, con esta práctica las plantas que se encuentran en estados reproductivos y productivos se les corta el tallo floral y a las plantas que se encuentran en estado vegetativo se les deben eliminar el meristemo apical vegetativo con ayuda de una herramienta (por ejemplo un sacabocado), para garantizar efectivamente el rompimiento de la dominancia apical.

La poda generalizada se recomienda en áreas de cultivo donde los problemas no son estructurales, sino que las pérdidas de productividad han sido a causa de factores bióticos o abióticos extremos, o por programación de cosecha. Al realizar esta práctica, la distribución de la población (floración y cosecha) tiene un comportamiento similar al de una plantación renovada.

### 6.3.3 Poda selectivas de plantas dentro de la población

Esta poda selectiva se realiza solo a una parte de la población de plantas que se encuentren en determinados estados fenológicos. Los estados fenológicos seleccionados van a depender de la causa u objetivo por el cual se realiza la práctica. Por ejemplo, después de periodos de inundaciones o exceso de agua en el suelo, la población de plantas que se encuentre en estado

reproductivo o próximo a entrar en él y productivo pueden presentar problemas de arrechamientos, pérdidas de productividad y maduración de fruta. Por lo tanto, esta práctica se realiza solo a la población de plantas que se encuentre dentro de estas etapas fenológicas, induciendo el crecimiento de los hijos de sucesión de las unidades seleccionadas.

Dentro de los criterios utilizados para seleccionar las plantas, están la altura y el diámetro del seudotallo, con esta información, que debe ser específica para cada finca, se puede determinar desde que o hasta que altura y diámetro se debe seleccionar las plantas a las cuales se les dirigirá la labor y durante que rango de semanas del año.

Cuando la práctica se realiza con el objetivo de programar cosechas se debe decidir la cantidad de plantas a las cuales se les detendrá el crecimiento de acuerdo con las estimaciones de mercado y las semanas del año en que se realizara la labor de acuerdo con las tasas de crecimiento (altura y diámetro) en la finca.

La manera de hacer esta poda más comúnmente utilizada es atravesando una estaca a unos 30 cm del seudotallo de la planta seleccionada, con el fin de afectar el tallo floral (figura 16). Luego de algunas semanas de haber realizado el estaquillado y una vez se ha iniciado la aparición de rebrotes, se elimina el follaje de la planta intervenida y se conserva gran parte del seudotallo (como si se cosechara la planta).

El objetivo del estaquillado, es incentivar el crecimiento de rebrotes de plantas que al momento de la labor se encuentren en estado reproductivo y productivo.



Figura 16. Vista de la unidad productiva donde aun se aprecia la estaca utilizada para afectar el crecimiento de la planta que fue seleccionada en un determinado momento.

Debido a que la población objetivo generalmente se encuentra distribuida en un rango de alturas y diámetros y como la labor no es homogénea en una área

de cultivo, la distribución fenológica (distribución de la floración y cosecha) de la población de plantas es más amplia en comparación con la poda generaliza y la renovación de la plantación.

### 6.3.4 Desbacote

La práctica de eliminación de la bacota (figura 17) puede ser realizada con dos objetivos, la más utilizada es programación de cosecha de acuerdo con estimaciones de mercado y la otra para eliminar plantas que han pasado por estrés severos, reflejados al momento de la floración o con bacotas pequeñas y que por ende no van a dar un racimo comercial adecuado.

Se hace sobre una sola fase fenológica que es la floración, tiene como ventaja que se conserva la mayor parte delseudotallo como reserva para los hijos de sucesión. Como no es una práctica generalizada en un área, si no afecta una parte de la población de plantas, la distribución de floración y cosecha de los hijos de sucesión de las unidades intervenidas es más amplia, que la de poda generalizada y renovación y más similar a la de poda selectiva. La distribución de floración y cosecha, va a depender del rango de alturas y diámetros que tenían los hijos de sucesión al momento del desbacote de su planta madre.



Figura 17. Evidencia de la práctica de desbacote en fincas bananeras.

## 6.5 EL RENDIMIENTO: ANÁLISIS INTEGRAL DE SUS COMPONENTES

El rendimiento depende de múltiples factores expresados en sus componentes, por esto, el análisis del buen o mal rendimiento en una finca debe ser integral y no se pueden hacer comparaciones basados en un solo indicador ya que se puede llegar a conclusiones erróneas. En la tabla 1 se presenta a manera de ejemplo la variación de cajas exportadas con la variación de los componentes de rendimiento.

**Tabla 1.** Variación del rendimiento con la variación de los componentes de rendimiento.

Retorno		1,2								
		RATIO								
		0,8	0,85	0,9	0,95	1	1,05	1,1	1,15	1,2
		No. Cajas/ha								
No Plantas/ha	1600	1536	1632	1728	1824	1920	2016	2112	2208	2304
	1700	1632	1734	1836	1938	2040	2142	2244	2346	2448
	1800	1728	1836	1944	2052	2160	2268	2376	2484	2592
Retorno		1,3								
		RATIO								
		0,8	0,85	0,9	0,95	1	1,05	1,1	1,15	1,2
		No. Cajas/ha								
No Plantas/ha	1600	1664	1768	1872	1976	2080	2184	2288	2392	2496
	1700	1768	1878,5	1989	2099,5	2210	2320,5	2431	2541,5	2652
	1800	1872	1989	2106	2223	2340	2457	2574	2691	2808
Retorno		1,4								
		RATIO								
		0,8	0,85	0,9	0,95	1	1,05	1,1	1,15	1,2
		No. Cajas/ha								
No Plantas/ha	1600	1792	1904	2016	2128	2240	2352	2464	2576	2688
	1700	1904	2023	2142	2261	2380	2499	2618	2737	2856
	1800	2016	2142	2268	2394	2520	2646	2772	2898	3024
Retorno		1,5								
		RATIO								
		0,8	0,85	0,9	0,95	1	1,05	1,1	1,15	1,2
		No. Cajas/ha								
No Plantas/ha	1600	1920	2040	2160	2280	2400	2520	2640	2760	2880
	1700	2040	2167,5	2295	2422,5	2550	2677,5	2805	2932,5	3060
	1800	2160	2295	2430	2565	2700	2835	2970	3105	3240
Retorno		1,6								
		RATIO								
		0,8	0,85	0,9	0,95	1	1,05	1,1	1,15	1,2
		No. Cajas/ha								
No Plantas/ha	1600	2048	2176	2304	2432	2560	2688	2816	2944	3072
	1700	2176	2312	2448	2584	2720	2856	2992	3128	3264
	1800	2304	2448	2592	2736	2880	3024	3168	3312	3456
Retorno		1,7								
		RATIO								
		0,8	0,85	0,9	0,95	1	1,05	1,1	1,15	1,2
		No. Cajas/ha								
No Plantas/ha	1600	2176	2312	2448	2584	2720	2856	2992	3128	3264
	1700	2312	2456,5	2601	2745,5	2890	3034,5	3179	3323,5	3468
	1800	2448	2601	2754	2907	3060	3213	3366	3519	3672
Retorno		1,8								
		RATIO								
		0,8	0,85	0,9	0,95	1	1,05	1,1	1,15	1,2
		No. Cajas/ha								
No Plantas/ha	1600	2304	2448	2592	2736	2880	3024	3168	3312	3456
	1700	2448	2601	2754	2907	3060	3213	3366	3519	3672
	1800	2592	2754	2916	3078	3240	3402	3564	3726	3888

 CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS  
 DE COLOMBIA

## BIBLIOGRAFIA

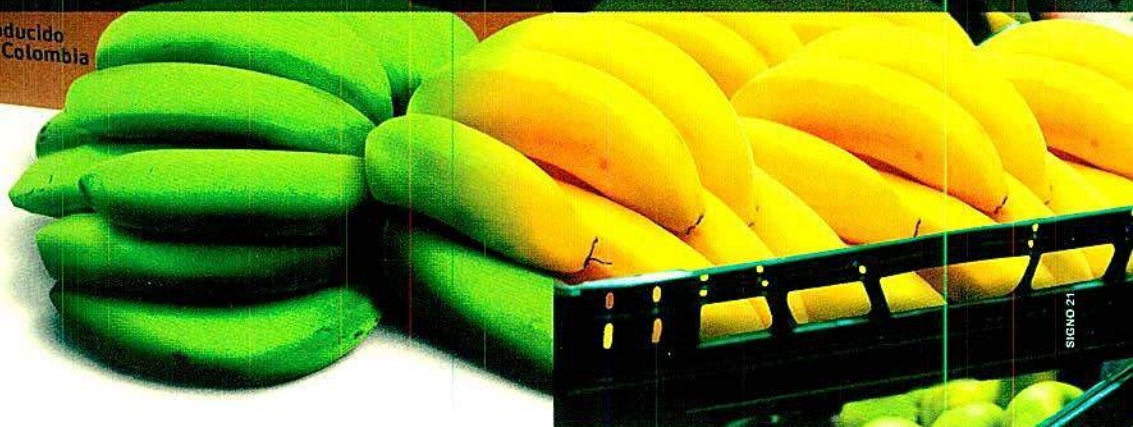
Hay, R. K.M., y A.J Porter. 2006. The physiology of crop yield. 2nd edition Blackwell Publishing, Oxford. 328p.

González, J. M. Romano O., F. Masis. Cultivo de banano en un arreglo espacial de siembra en hexágonos: Innovación y producción. EN MEMORIAS IV CONGRESO INTERNACIONAL DE BANANO 2012. CORBANA, San José de Costa Rica. Del 20 al 24 de Febrero, 2012



**SANOS Y FRESCOS POR MÁS TIEMPO.**

Producido  
en Colombia



**Te invitamos a conocer más de nuestra compañía**



Descarga desde nuestra página web [www.yara.com](http://www.yara.com), la primera aplicación YARA, diseñada específicamente para iPad, donde se destacan todos los aspectos claves de la marca, rendimiento, soluciones, fiabilidad, conocimiento y compromiso.

**YaraLiva™**  
**NITRABOR**

Centro industrial Metroparque Intersección Circunvar Cordialidad  
Bodega MC11 • PBX: 3289380 • Barranquilla - Colombia

Cra. 68 D No. 25 B 86 Of. 734 Edificio Torre Central  
Telefax: 5706269 • Bogotá - Colombia • [www.yara.com.co](http://www.yara.com.co)



**NUTRIENDO  
LOS CULTIVOS  
EN COLOMBIA**  
y 108 años en el mundo



## YARA Y EL MEDIO AMBIENTE

Yara ofrece soluciones para un medio ambiente y agricultura sostenibles. Nuestros fertilizantes y programas de nutrición de cultivos ayudan a producir el alimento necesario para una población creciente. Nuestros productos industriales son una solución para la reducción de emisiones, mejora la calidad del aire y ofrece seguridad y operaciones eficientes. Fundada en Noruega en 1905, Yara tiene una presencia mundial con ventas en más de 150 países, y una producción anual de 24 millones de toneladas de fertilizantes. La seguridad es siempre nuestra máxima prioridad.



SIGMO 21



NUTRIENDO  
LOS CULTIVOS  
EN COLOMBIA  
y 108 años en el mundo

## 7. DINÁMICA DE LOS ELEMENTOS EN EL SUELO

### 7.1 INTRODUCCIÓN

*La comprensión de la dinámica de los procesos que se presentan en el suelo con los elementos minerales que sirven como nutrientes para las plantas es fundamental para realizar el manejo de fertilización de los cultivos con una mayor eficiencia de los fertilizantes aplicados, esta dinámica depende de las características propias de cada suelo.*

*Dentro de los aspectos relevantes que se deben conocer están los relacionados con los mecanismos de adsorción de los nutrientes en el suelo y su liberación en la fase soluble, las formas químicas de los minerales presentes y las reacciones que pueden suceder en el suelo.*

### 7.2 INTERCAMBIO IÓNICO

Los procesos más importantes que afectan el comportamiento y biodisponibilidad de los nutrientes en el suelo son los relacionados con el intercambio iónico que es un proceso dinámico reversible, por medio del cual aniones y cationes son intercambiados entre la fase líquida y sólida. Estos procesos se producen por la presencia de coloides cargados positiva y negativamente (figura 1), con cargas permanentes o variables, que atraen a elementos o especies iónicas de signo contrario a la de la superficie adsorbente o los liberan a la solución del suelo (Juan-Aracil, 2010).

Esta capacidad dependen de las características y composición de los coloides inorgánicos (arcillas minerales, óxidos, hidróxidos y carbonatos) y materiales orgánicos; y de la composición de la solución del suelo (Lora, 2010; Rytwo, 2004; Juan-Aracil, 2010).

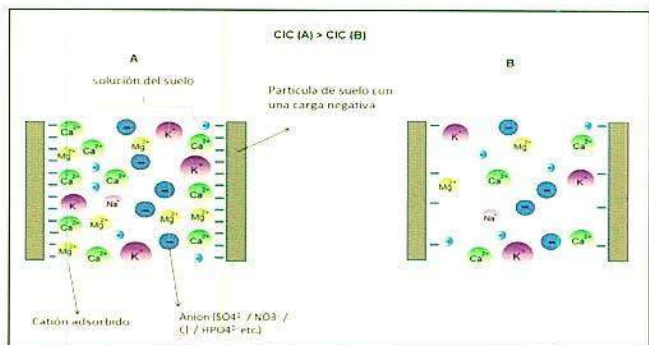


Figura 1. Esquema del complejo de intercambio catiónico en el suelo.

Una partícula coloidal es aquella que posee un tamaño menor de 0,001 mm de diámetro (1000 nm), dimensiones responsables de la alta superficie específica que las caracteriza; poseen, además, carga eléctrica que les confiere una alta reactividad química (figura 2).

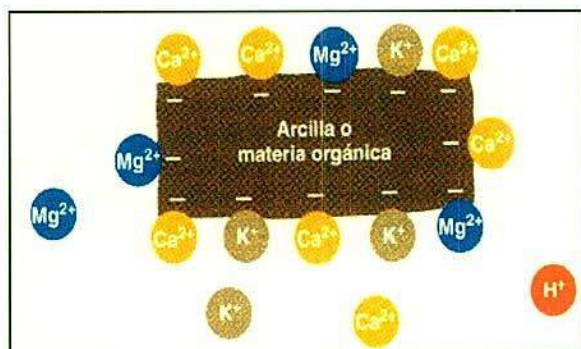


Figura 2. Representación de una partícula coloidal del suelo.

Los procesos de intercambio iónico son considerados de gran importancia porque determinan la cantidad de nutrientes, metales, plaguicidas y otros químicos orgánicos que son retenidos en el suelo, afectando el transporte y destino de nutrientes y contaminantes (Rytwo, 2004; Juan-Aracil 2010; FAO & IFA, 2002)

Las propiedades que afectan la capacidad de intercambio iónico de un suelo son:

- La cantidad y tipo de arcilla y de materia orgánica activa del mismo.
- Superficie específica que presenten los coloides. Es función directa del tamaño de las partículas, lo que supone que los coloides deben presentar un alto valor en esta propiedad.
- Densidad de carga de los coloides, que es la cantidad de carga que tiene una partícula por unidad de superficie que posea (Fassbender, 1982), se determina con la siguiente relación:

$$\text{Densidad de carga} = \frac{\text{Cantidad de carga}}{\text{Superficie específica}}$$

## 7.2.1 Tipos de carga negativa que aportan los coloides del suelo

Mediante diferentes mecanismos los componentes del suelo que pueden aportar carga superficial son los minerales silicatados laminares (tabla 1), los óxidos libres y el humus (Zhang *et al*, 2010; Jaramillo, 2002).

Los coloides del suelo pueden poseer dos tipos de carga electrostáticas negativas: cargas permanentes y cargas variables.

## • Carga permanente

Es aquella carga en el coloide, sin importar las condiciones del medio en el cual se encuentre, debido a que dicha carga la adquiere durante su proceso de formación.

El mecanismo que interviene en la producción de este tipo de carga es el de la sustitución isomórfica, que consiste en reemplazar el catión central de las unidades estructurales básicas de los filosilicatos (tetraedros y octaedros) por otros cationes de tamaño similar de iones ( $\text{Si}^{4+}$  por  $\text{Al}^{3+}$  o  $\text{Al}^{3+}$  por  $\text{Mg}^{2+}$ ). La carga se genera cuando la sustitución se hace por un ion que tiene menor carga que el reemplazado (Jaramillo, 2002).

**Tabla 1.** Clasificación de minerales arcillosos. (Zhang, *et al.*, 2010 y autores allí citados).

Tipo de capa	Materiales intercapa *	Grupo	Caracter octaédrico	Especies
1:1	Nada o agua solamente (x 0)	Caolinita-serpentina	trioctaédrica	Lizardita, bertierina, amesina, cronstedita, nepouita, queleita, fraipontita, brindleyita
			diocetaédrica	caolinita, dikita, nacrita, haloisita
			Di-trioctaédrica	odinita
2:1	Nada (x 0)	Pirofilita-Talco	trioctaédrica	Talco, willemseita, kerolita, pimelita
			diocetaédrica	pyrofilita, ferripyrofilita
	Cationes hidratados intercambiables (x 0,2-0,6)	Esmeclita	trioctaédrica	saponita, hectonita, sauconita, estevensita, swinerfordita
			diocetaédrica	montmorillonita, beidellita, nontronita, volkonskoita
	Cationes hidratados intercambiables (x 0,6-0,9)	Vermiculita	trioctaédrica	vermiculita trioctahedral
			diocetaédrica	vermiculita dioctahedral
	Cationes monovalentes no hidratados (x 0,6-1,0)	Verdadera Mica (flexible)	trioctaédrica	biotita, flogopita, lepidolita
diocetaédrica			muscovita, illita, glauconita, celadonita, paragonita	
Cationes divalentes no hidratados (x 1,8-2,0)	Mica frágil	trioctaédrica	clintonita, quinoshaltita, bytita, anandita	
		diocetaédrica	margarita	
Capa hidroxido (x=variable)	Clonita	trioctaédrica	clinoclora, chamosita, pennantita, nimita, baileychora	
		diocetaédrica	donbassinita	
		Di-trioctaédrica	cookeita, sudoita	
2:1	Regularmente interstratificado (x=variable)	Variable	trioctaédrica	corrensitita, arietita, hidrobiotita, kulkeita
			diocetaédrica	ractorita, tosudita

\* es la carga neta por unidad de fórmula

En la tabla 2 se presenta la capacidad de intercambio catiónica de diferentes silicatos laminares. Este tipo de carga predomina en los silicatos laminares 2:1 y 2:1:1, estando prácticamente ausente en los 1:1 y en los demás coloides del suelo. Este tipo de carga es característico de suelos de los órdenes Vertisol, Mollisol y de buena parte de los Alfisoles (Jaramillo, 2002).

**Tabla 2.** Capacidad de intercambio catiónico de minerales arcillosos  
Tabla. Bergaya *et al.*, 2006.

Mineral arcilloso	cmol(+) kg <sup>-1</sup>
Caolinita	3 - 15
Halloisita 2H <sub>2</sub> O	5 - 10
Halloisita 4H <sub>2</sub> O	40 - 50
Montmorillonita	70 - 120
Vermiculita	130 - 210
Illita	10 - 40
Micas (biotita, muscovita)	>5
Clorita	10 - 40
Sepiolita, paligorskita	20 - 30

### • Carga variable

Este tipo de carga corresponde a aquella que se desarrolla en el coloide cuando cambian las condiciones ambientales del medio en el cual se encuentra. La propiedad que más afecta los coloides del suelo, con respecto a su carga es el pH, por lo cual a esta carga variable también se la conoce como carga dependiente del pH.

La carga variable predomina en los minerales silicatados de tipo 1:1, en los sesquióxidos de Fe y de Al, en los aluminosilicatos no cristalinos y en los coloides orgánicos. Se presenta por disociación de protones de grupos carboxílicos (-COOH), fenólicos (-C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>OH) e hidroxilos (-OH), de grupos OH de la superficie de oxihidróxidos y de grupos SiOH, AlOH de los bordes de los minerales de arcilla. Es dominante, en general, en los órdenes Oxisol, Ultisol, Andisol y Espodosol e Inceptisoles (Jaramillo, 2002).

Los suelos de carga variable tienen la capacidad de retener aniones como nitratos y sulfatos, protegiéndolos contra la lixiviación, cosa que no es posible en los suelos de carga permanente.

## 7.2.2 Propiedades iónicas relacionadas con la adsorción

En soluciones acuosas, las interacciones no covalentes definen los arreglos de las moléculas y los iones. Debido a la naturaleza débil de las interacciones

no covalentes, la posición relativa de iones y moléculas son continuamente reorganizadas (Tansel, 2012).

Las propiedades de los iones que más intervienen en los procesos de intercambio se presentan en la tabla 3 para los cationes y en la tabla 4 para los aniones.

**Tabla 3.** Características termodinámicas y físicas de cationes. (Tomado de Tansel, 2012 y autores allí citados)

Ion	Radio iónico (nm)	Radio hidratado (nm)	Energía libre de hidratación (KJ/mol)	Z <sup>2</sup> /r (1/nm)
Li <sup>+</sup>	0,076	0,340	-515	12,35
	0,078	0,382	-544	
	0,090			
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,148	0,331		9,35
	0,161			
Na <sup>+</sup>	0,098	0,276	-365	9,35
	0,101	0,299	-398	
	0,102	0,358	-405	
	0,116	0,360	-414	
	0,117		-453	
Mg <sup>2+</sup>	0,057	0,300	-1828	61,54
	0,066	0,428	-1922	
	0,072	0,430		
		0,470		
Al <sup>3+</sup>	0,030	0,480	-4665	147,54
	0,068		-4750	
K <sup>+</sup>	0,133	0,201	-271	6,99
	0,138	0,232	-295	
	0,149	0,275	-321	
	0,152	0,331	-343	
Ca <sup>2+</sup>			-351	36,7
	0,100	0,412	-1308	
	0,101	0,420	-1504	
	0,106		-1592	
	0,114		-1650	
Fe <sup>2+</sup>	0,075	0,430	-1946	52,63
	0,076		-1949	
	0,078		-1980	
Fe <sup>3+</sup>	0,064	0,480	-4365	140,63
Ni <sup>2+</sup>	0,069	0,404	-2106	57,14
	0,070			
Cu <sup>2+</sup>	0,072	0,419	-2160	54,05
	0,073			
	0,077			
Zn <sup>2+</sup>	0,074	0,404	-2044	54,05
		0,430	-2100	
			-2197	
Cd <sup>2+</sup>	0,095	0,426	-1979	38,1
	0,115			
Ag <sup>+</sup>	0,130	0,212	-400	7,46
Cs <sup>+</sup>	0,174	0,329	-376	5,62
	0,181			

**Tabla 4.** Características termodinámicas y físicas de aniones. (Tomado de Tansel, 2012 y autores allí citados)

Ion	Radio iónico (nm)	Radio hidratado (nm)	Energía libre de hidratación (Kj/mol)	Z <sup>2</sup> /r (1/nm)
F <sup>-</sup>	0,117	0,350	-580	8,06
	0,119	0,352		
	0,136			
Cl <sup>-</sup>	0,167	0,324	-340	5,52
	0,181	0,332	-355	
	0,194		-363	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,189	0,335	-328	5,29
		0,340		
Br <sup>-</sup>	0,182	0,330	-358	5,29
	0,196			
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,223	0,339		38,96
	0,238			
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,215	0,300	-1145	16,33
	0,230	0,379		
	0,290			
ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0,226	0,338	-238	3,98
	0,236			
I <sup>-</sup>	0,206	0,300	-254	4,74
	0,216			

- El potencial iónico ( $Z^2/r$ ) indica la fuerza con que un ion puede ser atraído electrostáticamente a iones de cargas opuestas y repeler a los de la misma carga, está relacionado con la carga iónica ( $z$ ) y el radio iónico ( $r$ ). Similarmente el potencial de hidratación indica la fuerza con que un ion atrae moléculas de agua y ha sido correlacionado con  $Z^2/r$  (Tansel, 2012).
- La carga del ión, cationes de tamaño pequeño y con mayor carga ejercen un efecto mayor en polarizar aniones en comparación a cationes de mayor tamaño y/o monovalentes. Los iones con carga mayor son retenidos con mayor firmeza por los cambiadores del suelo, cuando tienen igual tamaño.
- El radio hidratado cerca de las cargas del ion, las moléculas de agua se organizan en una estructura superior, la cual está asociada a la carga iónica. El radio hidratado depende de la carga y radio cristalográfico del ion central (Tansel, 2012).

Un mayor radio hidrato significa que la carga del catión central, esta mas lejos de la superficie, así la interacción electrostática catión-sólido es más débil.

El radio hidrato de un ion varía con el número de coordinación del ion central (Tansel, 2012). El número de coordinación depende del tamaño relativo de ion central en comparación a los átomos que lo rodean y como estos se arreglan a su alrededor (Tabla 5).

**Tabla 5.** Efecto de los números de coordinación en el radio iónico (Tansel, 2012 y autores allí citados)

Ion	Radio iónico <sup>a</sup>			
	Número de coordinación			
	4	6	8	12
Na <sup>+</sup>	0,099	0,102	0,118	
K <sup>+</sup>			0,151	
Mg <sup>+2</sup>	0,057	0,0072		0,164
Ca <sup>+2</sup>		0,1	0,112	
Al <sup>+3</sup>	0,039	0,048		

a. Cationes coordinados con oxígeno.

Para los cationes el radio hidratado decrece con el incremento del radio iónico y esta correlacionado positivamente con el potencial iónico. Los aniones no presentan relaciones entre dichas propiedades (Tansel, 2012).

- La energía libre de hidratación es una medida de la estabilidad del ion hidratado en relación a la estabilidad de su forma no hidratada.

La energía libre de hidratación es siempre exotérmica, ya que implica la unión débil entre los iones y moléculas de agua que forman la capa de hidratación. Cuando la unión se produce, se libera energía. Por lo tanto, para eliminar las moléculas de agua en la capa de hidratación se requiere energía. Una baja energía de hidratación libre, permite a los iones reducir el número de moléculas de agua en sus capas de hidratación.

La energía de hidratación afecta la tendencia de hidratación de iones, la fuerza de la capa de hidratación, y el número de moléculas de agua que pueden acomodarse dentro de la capa de hidratación (Tansel, 2012). La energía de hidratación en un ión es directamente proporcional al cuadrado de la carga del ión e inversamente proporcional a su tamaño para cationes y aniones. Los cationes con menores radios hidratados presentan bajas energías libres de hidratación (tabla 3).

## 7.2.3 Mecanismos del intercambio iónico

### • Doble capa difusa

La presencia de cargas electrostáticas en la superficie de las partículas coloidales del suelo, hace que éstas traten de neutralizarse atrayendo iones con carga contraria desde la fase soluble, mientras la concentración de iones de carga similar es baja. Al aumentar la distancia de la superficie coloidal, la concentración de cationes decrece hasta la solución libre, en donde la concentración de cationes y aniones son iguales. Por su parte, la concentración de aniones aumenta desde la superficie del coloide a la solución libre. Esta estructura se conoce como doble capa difusa (Lora- Silva, 2010; Rahnemaie *et al.*, 2006).

En la figura 3 se presentan diferentes modelos que han sido utilizados para tratar de explicar la distribución de los iones alrededor de las superficies cargadas electrostáticamente de los coloides del suelo. Los modelos de Gouy y Stern son los que mejor explican la mayoría de los procesos de intercambio en el suelo.

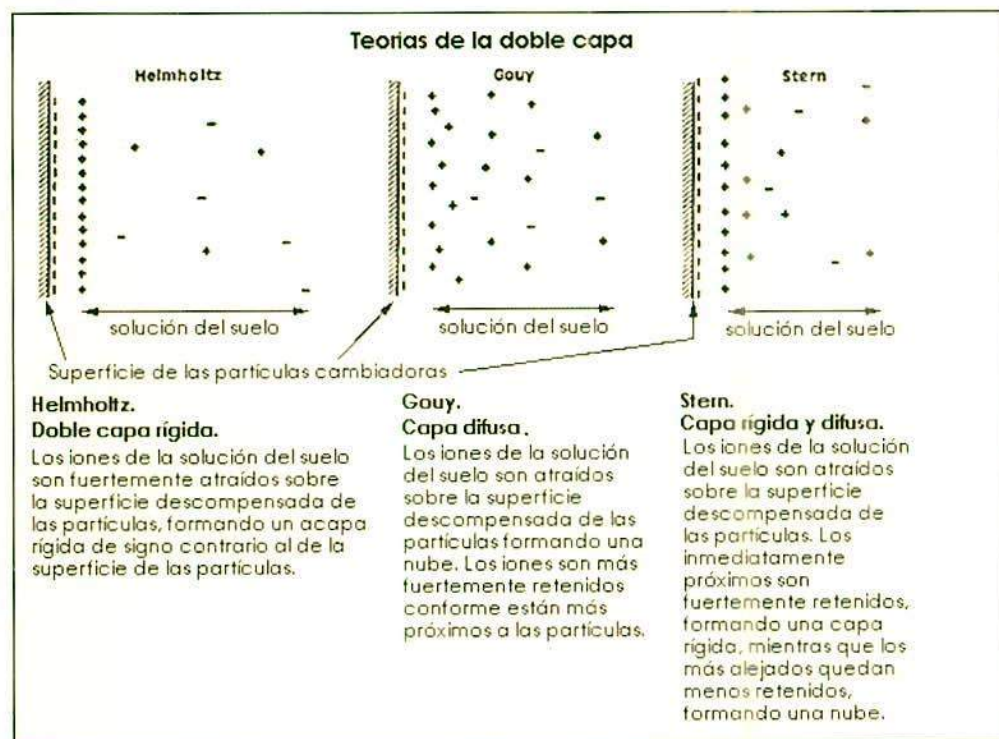


Figura 3. Teorías de la doble capa.

El espesor de la doble capa difusa depende primordialmente de la carga de los iones involucrados y de la concentración de la solución del suelo. Entre mayor sea la carga de los iones, menor será el espesor de la doble capa difusa, mientras menor sea la concentración de la solución del suelo, más se extiende la doble capa difusa.

El espesor de la doble capa difusa define la distancia hasta la cual actúan las fuerzas de retención del coloide sobre los iones del suelo, estableciéndose así el espacio que tiene el suelo para acumular los iones intercambiables. Los iones por fuera de la doble capa difusa son los que están disponibles para la planta o para ser lixiviados de éste, causando pérdidas de nutrientes (Fassbender, 1982).

- **Reacciones en la superficie coloidal**

La interacción entre los grupos funcionales de superficie y un ion o molécula de la solución se realiza a través de diversos tipos de mecanismos, que van desde las fuerzas físicas débiles de Van der Waals y fuerzas electrostáticas hasta interacciones químicas con enlaces iónicos y covalentes. En este proceso se pueden formar dos tipos de complejos, de esfera interna o de esfera externa (Juan-Aracil, 2010).

#### **Complejo de esfera externa**

Un complejo de esfera externa se forma cuando se asocia un catión metálico de la solución del suelo, con un grupo funcional de la superficie de un coloide, por interacciones electrostáticas, siempre que el catión metálico conserve su esfera de solvatación (figura 4). Estos complejos son de rápida formación y sus enlaces son débiles, son procesos reversibles. El orden de reemplazamiento relativo de los iones depende de su número de oxidación, del radio del ion hidratado y de la concentración de otros iones en la solución (Hedley, 2008).

Estos complejos son menos estables porque al estar hidratados, su grado de atracción por la superficie es menor.

#### **Complejo de esfera interna**

Los complejos de esfera interna se forman cuando la unión entre el grupo funcional de superficie y el sorbato es directa sin molécula de agua intermedia (figura 4).

Los complejos de esfera interna se producen por enlaces covalentes o iónicos y son más fuertes que los de esfera externa. Son procesos más lentos y no suelen ser reversibles. La sorción de iones o moléculas por complejación de esfera interna puede darse independientemente del tipo de carga de la superficie del adsorbente (Juan-Aracil, 2010)

Los iones adsorbidos específicamente son relativamente inmóviles y no están afectados por elevadas concentraciones de otros iones. Los oxihidróxidos de Al, Fe y Mn son los principales constituyentes del suelo implicados en este tipo de reacción. Para la mayoría de los metales, a excepción del Cd y Zn, la adsorción específica por óxidos de Fe y Mn y materia orgánica es un mecanismo de retención en el suelo más importante que el intercambio catiónico.

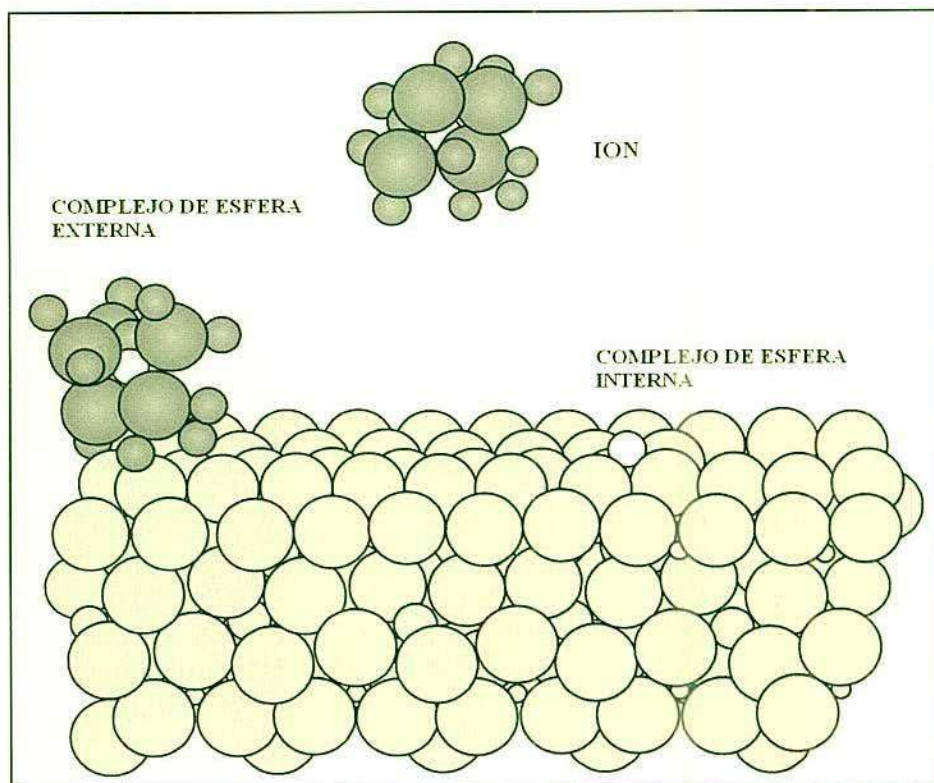


Figura 4. Complejos de superficie (Churchman *et al.*, 2006).

### 7.3 DINÁMICA DE NUTRIENTES EN EL SUELO

En el suelo existe un equilibrio entre los nutrientes adsorbidos en las partículas del suelo y los nutrientes liberados en la solución del suelo. Si este equilibrio es alterado, por ejemplo por la absorción de los nutrientes a través de las raíces de las plantas, los nutrientes son liberados del complejo de adsorción para establecer un nuevo equilibrio (Hedley, 2008).

En el proceso, los cationes son reemplazados por  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  procedentes del material sólido (nutrientes no disueltos) o por iones  $\text{H}^{+}$ , mientras los aniones son reemplazados por  $\text{OH}^{-}$ .

Los nutrientes liberados se mueven de la solución más concentrada en la proximidad del complejo de adsorción a la solución de más baja concentración en la vecindad de las raíces. Este proceso de transporte de nutrientes desde el complejo de adsorción a las raíces es llamado difusión (Marschner, 2002)

La fuerza de atracción por el complejo de adsorción difiere con nutrientes diferentes (cationes y aniones).

- Con cationes es influenciada esencialmente por la hidratación y por la carga que ellos llevan, por esto el aluminio ( $Al^{3+}$ ) es más fuertemente mantenido por el complejo de adsorción y le siguen los microelementos metálicos (tales como hierro, manganeso, zinc) y potasio ( $K^+$ ), amonio ( $NH_4^+$ ), calcio ( $Ca^{2+}$ ) y magnesio ( $Mg^{2+}$ ).
- Con los aniones, el fosfato ( $PO_4^{3-}$ ), el cual es prácticamente inmóvil, es fuertemente mantenido por las posiciones cargadas positivamente de ciertos minerales arcillosos y componentes del suelo como calcio, hierro y aluminio. Por el contrario, el cloro ( $Cl^-$ ) y el nitrato ( $NO_3^-$ ) tienden a permanecer en la solución del suelo, permaneciendo móviles y moviéndose con el agua del suelo a las raíces (flujo de masa) cuando las plantas absorben agua, o son lixiviados. El sulfato ( $SO_4^{2-}$ ), como el nitrato permanece relativamente móvil y es también sujeto a lixiviación.

La afinidad relativa de diferentes minerales arcillosos para cationes ha sido recopilada por diferentes autores y se presenta en la tabla 6 (Churchman et al., 2006; Bergaya et al., 2006).

**Tabla 6.** Afinidad relativa de minerales arcillosos por cationes.

Mineral arcilloso	Afinidad de cationes
Esmectita	$Cs^+ > Rb^+ > K^+ > Na^+ > Li^+$ y $Ba^{2+} > Sr^{2+} > Ca^{2+} > Mg^{2+}$
Vermiculita	$Mg^{2+} > Ca^{2+} \approx Sr^{2+} \approx Ba^{2+}$
Montmorillonita	$Ca^{2+} > Pb^{2+} > Cu^{2+} > Mg^{2+} > Cd^{2+} > Zn^{2+}$
Illita	$Pb^{2+} > Cu^{2+} > Zn^{2+} > Ca^{2+} > Cd^{2+} > Mg^{2+}$
Caolinita	$Pb^{2+} > Ca^{2+} > Cu^{2+} > Mg^{2+} > Zn^{2+} > Cd^{2+}$

## 7.3.1 Nitrógeno

Las formas inorgánicas de nitrógeno presentes en el suelo incluyen amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), óxido nítrico ( $\text{NO}$ ) y nitrógeno elemental ( $\text{N}_2$ ), el cuál es inerte excepto para aquellos microorganismos fijadores de nitrógeno. Desde el punto de vista de fertilidad del suelo,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ , y  $\text{NO}_3^-$  son los más importantes y son producidos a partir de la descomposición de la materia orgánica del suelo o de la adición de fertilizantes nitrogenados (Barker y Bryson, 2006).

Las plantas absorben nitrógeno en forma de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$ . El  $\text{NO}_3^-$  generalmente se encuentra en mayores concentraciones y se puede movilizar hacia las raíces, pero por ser tan soluble se lixivia o es arrastrado fácilmente por el agua de escorrentía y eventualmente puede llegar a aguas subterráneas o superficiales. Las cantidades de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  disponibles para las plantas dependen de la cantidad de nitrógeno aplicado como fertilizante y de la cantidad de nitrógeno mineralizado del nitrógeno orgánico del suelo (figura 5).

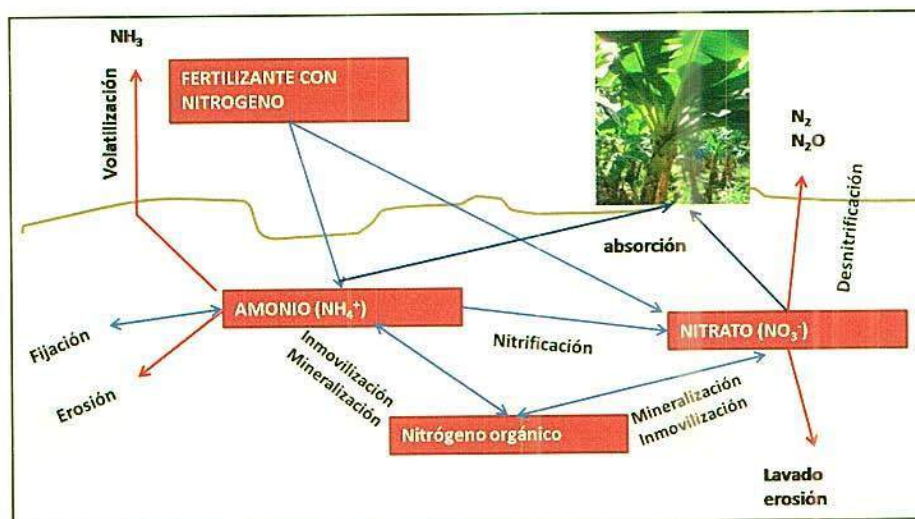


Figura 5. Ciclo del nitrógeno en sistemas agrícolas bananeros.

### • Mineralización

La mayor proporción del nitrógeno del suelo se encuentra asociado a la materia orgánica en forma de aminoácidos o proteínas. Este N orgánico sufre una serie de transformaciones en el suelo que lo llevan a N mineral, en la cual se dan básicamente tres procesos de la mineralización: Aminación, Amonificación; estos primeros procesos por lo general se conocen como Amonificación que es la conversión de nitrógeno orgánico a amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) a través de la actividad de microorganismos, bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas (figura 6).



Figura 6. Reacciones generales del nitrógeno en el suelo.

Posteriormente se da el proceso de la nitrificación, que se refiere a la oxidación de amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) a nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). El nitrato es la forma más común como las plantas absorben el nitrógeno. (De Boer & Kowalchuk, 2001; Sierra, 2006; Dincer y Kargı, 2000). Este proceso es una fuente acidificante de los suelos agrícolas (figura 7).

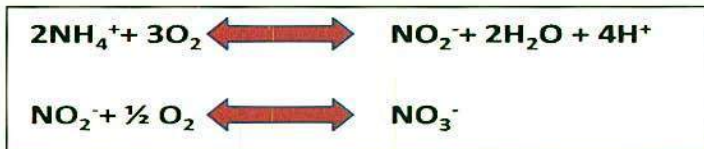


Figura 7. Proceso de nitrificación en el suelo.

En este proceso de oxidación de amonio intervienen microorganismos autotróficos en dos pasos que consisten en la conversión de amonio a nitrito y su consecuente conversión a nitrato:

- En el primer paso, las bacterias de los géneros Nitrospira y Nitrosomonas, oxidan el amoníaco a hidroxilamina en una reacción catalizada por la enzima amoníaco deshidrogenasa, posteriormente la hidroxilamina es oxidada a nitrito en una reacción catalizada por la hidroxilamina monooxigenasa (De Boer & Kowalchuk, 2001; Rodríguez y Toro, 2006).
- En el segundo paso las bacterias de géneros como Nitrobacter, Nitrococcus, Nitrospina y Nitrospira (solamente Nitrobacter ha sido detectado en los suelos), oxidan el nitrito a nitrato mediante la nitrito oxidoreductasa (De Boer & Kowalchuk, 2001).

El conocimiento del proceso ha sido importante para el desarrollo de fertilizantes que incluyen compuestos que reducen la oxidación del amoníaco a nitrito, actuando como inhibidores competitivos (Mohanty *et al.*, 2009; Giltrap, 2009).

### • Inmovilización

El N puede también pasar de una forma inorgánica a una forma orgánica, mediante la conversión de nitrógeno inorgánico (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) a nitrógeno orgánico. Este proceso se llama inmovilización y es el reverso de la mineralización.

Bajo determinadas condiciones este proceso puede ocasionar deficiencias de nitrógeno para las plantas, por ejemplo con aplicaciones de residuos de cosecha con una relación de C:N alta. Esto se da porque los microorganismos descomponen la nueva fuente de energía presente en los residuos orgánicos, pero al mismo tiempo necesitan N para formar las proteínas de su cuerpo. Entre menor sea el contenido de nitrógeno en la materia orgánica en descomposición con relación al contenido de carbono, mayor será la necesidad de los microorganismos de obtener nitrógeno del suelo, compitiendo con las plantas por el mismo y ocasionando mayor inmovilización del N del suelo (Burger & Jackson 2003).

Esta es una de las razones de la razón de conocer la relación Carbono-Nitrógeno (C:N) de residuos orgánicos que se incorporen al suelo, siendo la relación ideal alrededor de 15:1.

El N inmovilizado no es inmediatamente disponible para el crecimiento de las plantas, pero mucho de este N regresa gradualmente a forma disponible a medida que los microorganismos mueren y sus cuerpos se descomponen.

### • Pérdidas de nitrógeno al ambiente

En el ciclo del nitrógeno algunos productos provenientes de las transformaciones del N del suelo pueden conducir a que este elemento se pierda del agroecosistema por diferentes vías. Entre ellas están: la lixiviación, especialmente del  $\text{N-NO}_3^-$ , la volatilización del  $\text{NH}_4^+$  y la desnitrificación con producción de gases ( $\text{N}_2\text{O}$  y  $\text{N}_2$ ) hacia la atmósfera.

La lixiviación se da porque el nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) es soluble en agua, por esto los excesos de agua en el perfil lo arrastran fuera del alcance de las raíces. El nitrato lavado puede alcanzar las napas freáticas contribuyendo a la contaminación de las mismas.

Las condiciones predisponentes para la ocurrencia de lavado de nitratos son la presencia de nitratos en el perfil; aplicación en épocas de baja absorción de N por los cultivos; suelos arenosos y de baja capacidad de retención de agua; suelos saturados; precipitaciones excesivas y riegos excesivos.

Algunas formas inorgánicas de nitrógeno pueden pasar a estado gaseoso y perderse hacia la atmósfera. Las principales rutas son la desnitrificación y la volatilización (Xing *et al.*, 2002; Dincer y Kargı, 2000).

La desnitrificación consiste en la reducción de los nitratos a óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) con la consecuente liberación del N en su forma elemental gaseosa ( $\text{N}_2$ ). Las fuentes nítricas son las más susceptibles a estas pérdidas (Bernat y Wojnowska 2007).

Esto ocurre frecuentemente en suelos con valores de pH por encima de 5, bajo condiciones de poca aireación y en presencia de una población activa de microorganismos. Por esto, en las zonas tropicales húmedas las pérdidas del nitrógeno son mayores durante períodos de altas precipitaciones, en suelos con temperaturas elevadas y con un alto contenido de materia orgánica.

Las principales enzimas encargadas de la desnitrificación son la nitrato reductasa, nitrito reductasa y hidroxilamina reductasa.

La volatilización es la pérdida del nitrógeno inorgánico, principalmente del amonio, en forma de gas amoníaco hacia la atmósfera por medios estrictamente químicos. El hidróxido de amonio formado se disocia en amoníaco y agua. La urea y las fuentes amoniacaes están menos expuestas a las pérdidas por desnitrificación bajo condiciones de hipoxia o anoxia. No obstante, pueden estar expuestas a pérdidas por volatilización, en forma de amoníaco, pero esto va depender principalmente del pH del agua presente en el suelo.

Las condiciones que favorecen la volatilización del nitrógeno en forma de amoníaco a partir de urea son falta de lluvia o riego luego de la aplicación, altas temperaturas, alto pH del suelo y/o del agua libre del suelo, bajo contenido de materia orgánica y suelos inicialmente húmedos que se secan rápidamente, la concentración de  $\text{CaCO}_3$  y el contenido total de sales y correlacionada negativamente con el contenido de materia orgánica, la CIC y el contenido de arcilla (Mikkelsen, 2007). En la figura 8 se presenta la reacción de la urea que en contacto con el suelo húmedo, ocurre un incremento del pH que conlleva la formación de gas  $\text{NH}_3$  que se volatiliza.

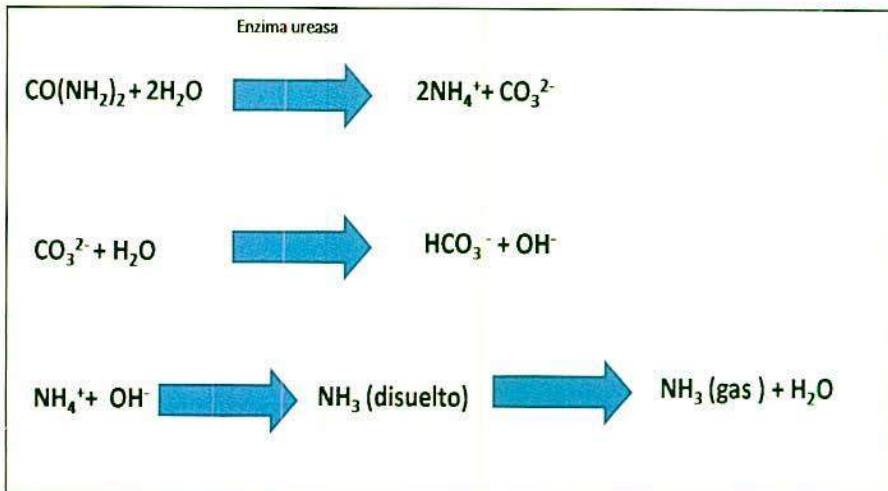


Figura 8. Pérdida de nitrógeno desde la urea por volatilización.

## 7.32 Fósforo

El fósforo que interactúa con las partículas del suelo es su forma intercambiable es conocido como ortofosfato y está presente en dos formas diferentes: ortofosfato primario ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) y el ortofosfato secundario ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ). El primero es el de mayor utilización por las plantas. A medida que va siendo extraído por las plantas el complejo de cambio del suelo lo va restituyendo a la solución (Abou *et al.*, 2007; Sánchez, 2007).

Las formas del fosfato en el suelo depende del pH. Los pK para la disociación de  $\text{H}_3\text{PO}_4$  hacia  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  y posteriormente hasta  $\text{HPO}_4^{2-}$  son 2,1 y 7,2 respectivamente. Por debajo de pH de 6, la mayoría de Pi está presente como la forma monovalente  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , mientras  $\text{H}_3\text{PO}_4$  y  $\text{HPO}_4^{2-}$  están disponibles solo en pequeñas trazas (figura 9) (Marschner 2002).

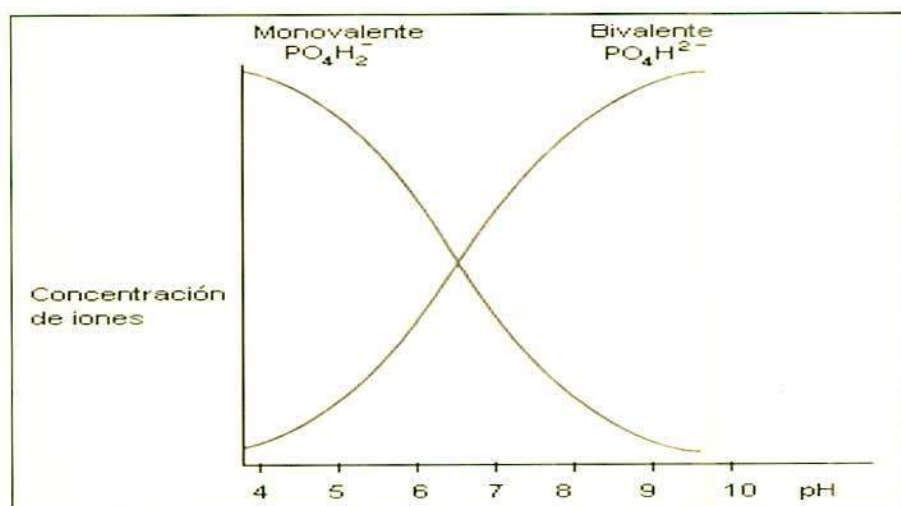


Figura 9. Disponibilidad de ortofosfatos en el suelo dependiente del pH

Aunque es fosfato inorgánico es abundante en muchos suelos, la disponibilidad en la solución es de 1 a 2 micromoles debido a que es adsorbido por los minerales del suelo o es fijado en formas inorgánicas. De esta manera el fosfato inorgánico es un nutriente mineral poco disponible e inaccesible en muchos suelos (Gojon *et al.*, 2009).

El Pi en la solución del suelo reaccionan fuertemente con la superficie de las arcillas (minerales secundarios) y otros compuestos. Ocurren dos reacciones primarias: adsorción y precipitación.

- En las reacciones de adsorción, el P es fuertemente retenido en la superficie de los minerales.

- En las reacciones de precipitación, el P puede reaccionar con otras especies químicas en solución o con la superficie de los minerales, formando compuestos insolubles.

Los dos tipos de reacciones dejan poco P en la solución del suelo. El paso del fósforo asimilable a sus formas insolubles y no asimilables se conoce como "fijación del fósforo".

Una parte del P adsorbido y una parte del P precipitado, pueden resolubilizarse y regresar a la solución del suelo. El pH del suelo determina la disponibilidad de fosfatos asimilables por la planta (Sánchez, 2007).

En suelos ácidos, los fosfatos asimilables se combinan con el hierro (Fe) y el aluminio (Al) formándose sales y complejos químicos insolubles. A medida que aumenta el pH crece la disponibilidad de fosfatos.

En suelos alcalinos se combinan principalmente con el calcio y el magnesio y se forman sales insolubles como el fosfato tricálcico ( $(PO_4)_2Ca_3$ ).

### 7.3.3 Potasio

El potasio es un macronutriente absorbido por las plantas en grandes cantidades, el potasio está presente en la solución del suelo solamente como un catión cargado positivamente ( $K^+$ ) (Mengel, 2007).

Las formas del potasio en el suelo son las siguientes (Simonsson *et al.*, 2007; Mengel, 2007):

- K estructural: es la fracción que se encuentra formando parte de los minerales, constituyendo un 90- 99% del K total (figura 9).
- K soluble: Es la fracción cuantitativamente menos importante. Se encuentra en concentraciones que oscilan entre 0,1 a 1000 ppm (pocos kg/ha), y es renovado constantemente. El potasio de la solución del suelo se encuentra en equilibrio con el K intercambiable; la concentración de equilibrio es una propiedad particular de cada suelo.
- K intercambiable: es la fracción que se encuentra adsorbida en el complejo de cambio y que es intercambiable con otros cationes.
- K fijado: es el K no intercambiable acumulado en el espacio interlamilar de las arcillas. El término fijación es relativo ya que el K fijado puede ser luego disponible para las plantas. La fijación ocurre frecuentemente en suelos que contienen minerales arcillosos 2:1 del tipo de la illita y de la vermiculita. Cuando se seca el suelo aumenta la fijación por contracción del espacio entre láminas. El fenómeno es variable y depende de la naturaleza del material (Barré *et al.*, 2009).

El poder de fijación de los distintos minerales es el siguiente:

- Caolinita: nulo.
- Montmorillonita: débil.
- Illita-vermiculita: alto.

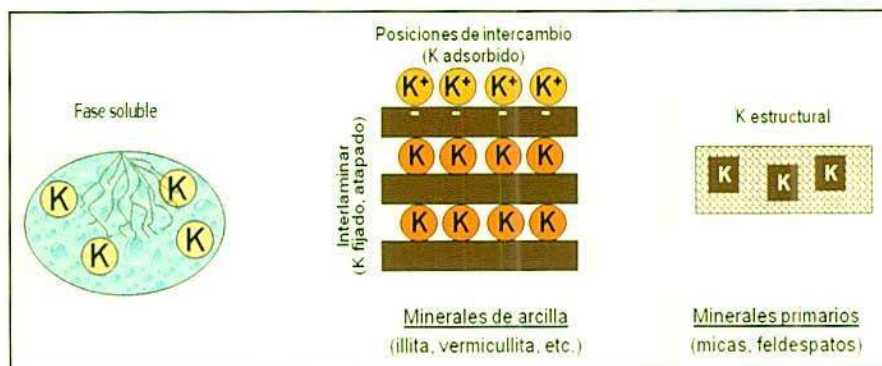


Figura 10. Formas del potasio en el suelo

Entre los factores que influyen la disponibilidad de K en el suelo para las plantas están:

- La lixiviación, mayor en condiciones de intensa y frecuente precipitación y que se acentúa en suelos de baja CIC.
- La cantidad y tipo de arcillas que controlan la concentración de K en la solución del suelo y la capacidad de reponer K.
- El aumento del pH del suelo; el encalado incrementa la CIC de los suelos en cantidades significativas de minerales con cargas eléctricas dependientes del pH.

Una mayor CIC incrementa la habilidad del suelo de retener K, removiéndolo de esta forma de la solución del suelo y reduciendo las pérdidas por lixiviación (Andrist-Rangel *et al.*, 2007; Barré *et al.*, 2008; Vidal-Martínez, 2003).

### 7.3.4 Calcio

El calcio está gobernado por los fenómenos del intercambio catiónico y se mantiene adsorbido como  $Ca^{2+}$  intercambiable en la superficie de los coloides cargados negativamente. Es la principal base intercambiable de las arcillas y el catión dominante en el suelo, aún a valores de pH bajos (Pilbeam y Morley, 2007).

El calcio es absorbido por la planta en forma de ion  $Ca^{2+}$ . El calcio presenta una alta densidad de carga neta en su superficie, lo que le permite unirse a las moléculas de agua, es decir, como ion hidratado se absorbe con más lentitud que un catión monovalente (Agbenin & Yakubu, 2006; Marschner, 2002)

### 7.35 Magnesio

Los suelos generalmente contienen menos Mg que Ca ya que el Mg no es adsorbido tan fuertemente como el Ca por los coloides del suelo y puede perderse más fácilmente por lixiviación. Además, la mayoría de los materiales parentales contienen menos Mg que Ca.

El magnesio es particular entre los cationes mayores porque tiene el mayor radio hidratado (0,428 nm), y el menor radio iónico (0,072 nm), y la densidad de carga más alta. Por esto se adhiere 3 a 4 veces en orden de magnitud más estrechamente a las moléculas de agua de que otros cationes, el magnesio frecuentemente interactúa con otros iones y moléculas mientras aun se mantiene en la esfera de hidratación. Como resultado,  $Mg^{2+}$  se une relativamente débilmente a los grupos cargados negativamente (Bose *et al.*, 2011; Ruffykiri *et al.*, 2004).

Las deficiencias de Mg ocurren con más frecuencia en suelos ácidos sujetos a alta precipitación, suelos con baja capacidad de intercambio catiónico y/o en suelos arenosos.

### 7.36 Azufre

La mayoría de las fuentes de S son sulfatos que van de moderadamente a muy solubles en agua. Las formas solubles también incluyen los bisulfatos, tiosulfatos y polisulfatos. La fuente insoluble en agua más importante es el S elemental, que debe primero oxidarse por acción bacteriana para formar sulfato ( $SO_4^{2-}$ ), para que las plantas puedan utilizarlo. La oxidación bacteriana del S en el suelo está favorecida por las siguientes condiciones:

- Temperatura normal, adecuada humedad y buena aireación del suelo.
- Tamaño fino de las partículas del S elemental usado.

Debido a su carga negativa, no es atraído por las arcillas del suelo y los coloides orgánicos, excepto en ciertas condiciones, y se mantiene en la solución del suelo y se mueve con el flujo de agua, por lo tanto se puede lixiviar fácilmente. Ciertos suelos acumulan  $SO_4^-$  en el subsuelo que estaría disponible para los cultivos de raíces profundas. En regiones áridas, los sulfatos de magnesio ( $SO_4Mg \cdot 7H_2O$ ), de calcio ( $SO_4Ca_2H_2O$ ), de potasio ( $SO_4K_2$ ) y de sodio son las formas predominantes de S inorgánico (Haneklaus *et al.*, 2007).

La mayoría del azufre en suelos de regiones húmedas está asociado con la materia orgánica, más del 95 % del S encontrado en el suelo está retenido en esta. Otras fuentes naturales incluyen residuos de animales, agua de irrigación y la atmósfera.

## 7.4 ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS DE LA REGIÓN DE URABÁ RELACIONADAS CON LA DINÁMICA DE NUTRIENTES EN EL SUELO

El origen, composición y distribución del material parental de suelos en la región de Urabá es muy heterogéneo, dado que la mayoría de los suelos han evolucionado a partir de sedimentos finos y medios y ocasionalmente sedimentos gruesos. Predominan sedimentos aluviales recientes del cuaternario, materiales que contienen una amplia gama de minerales entre los que sobresalen esmectita, illita, óxidos de hierro, carbonatos de calcio y magnesio y feldespatos (Gutiérrez y Castañeda, 2009).

La alta capacidad de intercambio catiónico de los suelos de la región de Urabá es explicada por la presencia de arcillas tipo 2:1 esmectitas, illitas y vermiculitas que aportan carga permanente a los suelos y la presencia de óxidos de hierro y materia orgánica que aportan carga variable o dependiente de pH.

En la figura 11 se observa la relación lineal que presenta el contenido de arcilla y el contenido de materia orgánica con la capacidad de intercambio catiónico efectivo (CICE) de los suelos de esta región.

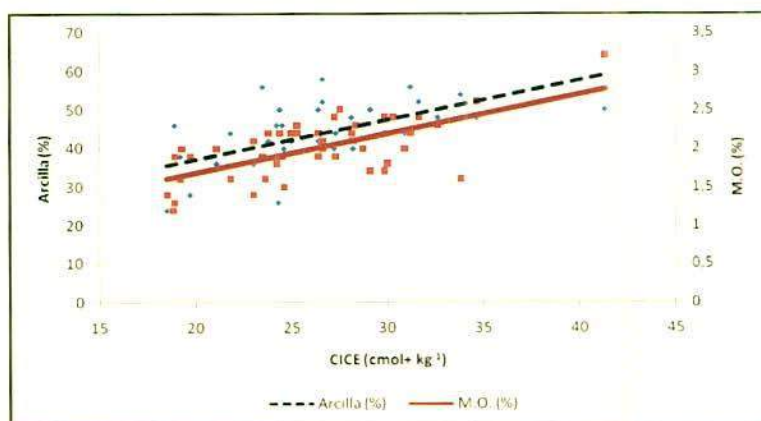


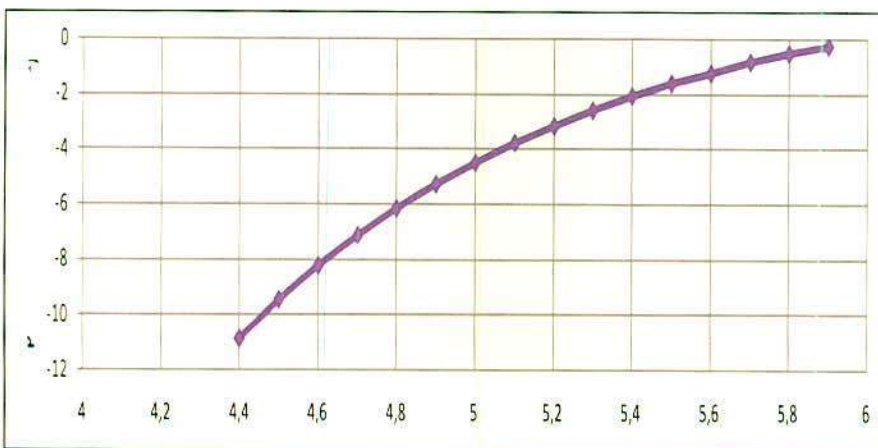
Figura 11. Relación de la CICE y el contenido de arcillas materia orgánica en el suelo, en la región central de la región bananera de Urabá Colombia.

A continuación se presenta una breve descripción de cada uno de los minerales que afectan la capacidad de intercambio catiónico de los suelos en la región de Urabá.

- Las illitas son filosilicatos 2:1 dioctaédricos de ocurrencia normal en suelos y rocas sedimentarias, tienen una capa no expandible y con una composición química variada. La carga de capa se encuentra entre 0,6 y 0,9.

- Esmectitas son filosilicatos 2:1 con una carga de capa negativa entre 0,2 y 0,6. Las láminas octaédricas pueden estar principalmente por cationes trivalentes (esmeclita dioctaédrica) o por cationes divalentes (esmeclitas trioctaédricas).
- Vermiculita es generalmente trioctaédrica. Al igual que la esmeclita con una capa 2:1 están separadas por cationes hidratados ocupando el espacio intercapa. La carga de vermiculita es ( $>0,6$ ).
- Los óxidos de hierro son minerales provenientes de la alteración de rocas y suelos y, debido a que no se encuentran unidos química o estructuralmente a los silicatos, ocurren como óxidos libres. Los óxidos de hierro presentes en el suelo, en especial depositados como recubrimiento de minerales primarios y secundarios o infiltrados en agregados de arcilla, alteran la carga eléctrica, modifican las propiedades de superficie e incrementan la capacidad amortiguadora del suelo (Acevedo et al., 2004). Estos minerales se presentan en cristales muy pequeños y se pueden agregar, dispersar a través del suelo o revestir a otros minerales.

La mayor parte de la capacidad de intercambio catiónica de los suelos de la región de urabá es dada por la carga de las capas de los filosilicatos 2:1. No obstante el aporte de carga variable (por la materia orgánica del suelo y la presencia de óxidos de hierro) tienen una gran influencia sobre la fertilidad natural del suelo. En muchos suelos, a través del tiempo se ha presentado una pérdida de CICE originada por disminución del pH (figura 12), como resultado de los años de explotación en monocultivo y las practicas de manejo utilizado lo que conlleva a la disminución paulatina de los rendimientos del cultivo.



**Figura 12** Curva ajustada de la pérdida de CICE relativa de los suelos en la región de Urabá relacionada con la disminución del pH del suelo (pH base de referencia 6,0). Análisis basado en datos de la CICE y CIC al pH 7,0 obtenida en laboratorio.

La capacidad de intercambio catiónico efectivo del suelo en la región de Urabá cambia con el tiempo debido a las prácticas de manejo del cultivo y del suelo. Por esto, las relaciones entre nutrientes basados en la CICE son diferentes en suelos recientemente utilizados en actividades agrícolas a los que llevan años de explotación, esto debe considerarse al momento de tomar decisiones de fertilización de cultivos, para evitar prácticas de fertilización inadecuadas que afecten al dinámica de los nutrientes en el suelo.

En la tabla 7 y 8 Se presenta una aproximación de contenido de nutrientes ideal en los suelos y las relaciones para las condiciones de la región de Urabá Colombia. El contenido ideal de cada nutriente depende de la CICE de cada suelo, sin embargo las relaciones ideales entre nutrientes son relativamente constantes independientemente del valor de la CICE. Es importante en los análisis de suelos siempre se solicite como variable de medición la capacidad de intercambio catiónico con el método del  $\text{NH}_4\text{OAc}$  1N y a pH neutro, para tener un parámetro para comparar cómo puede variar la CICE de cada finca con la disminución del pH.

**Tabla 7.** 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 8.** 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	8	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>12	>0,2	>3
20	15	4,8	0,4								
22	16	5,3	0,4								
24	18	5,8	0,5								

## BIBLIOGRAFIA

- Abou N., J.S., C.A. Madramootoo, W. H. Hendershot. 2007. Modelling phosphate adsorption to the soil: Application of the non-ideal competitive adsorption model. En: Environmental Pollution. Vol. 149, no. 1, p. 1-9.
- Acevedo-Sandoval, O.A., et al., 2004. El papel de óxidos de hierro en suelos. En: Terra Latinoamericana. Vol. 22, no. 4, p. 485-497.
- Agbenin, J. O. y S. Yakubu. 2006. Potassium-calcium and potassium magnesium exchange equilibria in an acid savanna soil from northern Nigeria. En: Geoderma. Vol. 136, nos. 3-4, p. 542-554.
- Andrist Rangel, Y., et al., 2007. Long-term K dynamics in organic and conventional mixed cropping systems as related to management and soil properties. En: Agriculture, Ecosystems & Environment. Vol. 122, no. 4, p. 413-426
- Barker, A. V. y G. M. Bryson. 2007. Nitrogen. En: Barker, A. V. y V. Pilbeam. Handbook of plant nutrition. Taylos & Francis Group. P. 21-50.
- Barré, P., et al., 2008. Which 2:1 clay minerals are involved in the soil potassium reservoir? Insights from potassium addition or removal experiments on three temperate grassland soil clay assemblages. En: Geoderma. Vol. 146, no. 1-2, p. 216-223.
- Bergaya, F., G. Lagaly y M. Vayer. 2006. Cation and anion exchange. En: Bergaya, F., B.K.G. Theng & G. Lagaly, eds. Handbook of clay science. Amsterdam: Elsevier. P. 979-1001. (Developments in Clay Science, 1)
- Bernat, K y I. Wojnowska Baryła. 2007. Carbon source in aerobic denitrification. En: Biochemical Engineering Journal. Vol. 36, no. 1, p. 116-122.
- Bose, J., O. Babourina y Z Rengel. 2011. Role of magnesium in alleviation of aluminium toxicity in plants. En: Journal of Experimental Botany, Vol. 62, no. 7, p. 2251-2264.
- Burger, M. y L.E. Jackson. 2003. Microbial immobilization of ammonium and nitrate in relation to ammonification and nitrification rates in organic and conventional cropping systems. En: Soil Biology & Biochemistry. Vol. 35, no. 1, p. 29-36.

- Churchman, G.J., et al., 2006. Clays and clay minerals for pollution control. En: Bergaya, F., B.K.G. Theng & G. Lagaly, eds. Handbook of clay science. Amsterdam: Elsevier. P. 625-675. (Developments in Clay Science, 1).
- De Boer, W y G.A. Kowalchuk. 2001. Nitrification in acid soils: micro-organisms and mechanisms. En: Soil Biology and Biochemistry. Vol. 33, no. 7-8, p. 853-866.
- Dincer, A.R. y F. Kargi. 2000. Kinetics of sequential nitrification and denitrification processes. En: Enzyme and Microbial Technology. Vol. 27, no. 1-2, p. 37-42.
- FAO e IFA. 2002. Los fertilizantes y su uso: una guía de bolsillo para los oficiales de extensión. 4. ed. Roma: FAO. 76 p.
- Fassbender, H.W. y E. Bornemisza. 1982. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. San José, Costa Rica, IICA. 422 p.
- Giltrap, D. L., et al., 2010. A preliminary study to model the effects of a nitrification inhibitor on nitrous oxide emissions from urine-amended pasture. En: Agriculture, Ecosystems and Environment. Vol. 136, nos. 3-4, p. 310-317.
- Gojon, A., P. Nacry y J.C. Davidian. 2009. Root uptake regulation: a central process for NPS homeostasis in plants. En: Current Opinion in Plant Biology. Vol. 12, no. 3, p. 328-338.
- Gutiérrez H., J.C. y D. Castañeda S. 2009. Metodología para el manejo y uso del suelo por sitio específico en el cultivo de banano. Medellín: Asociación de Bananeros de Colombia, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y Universidad del Magdalena. 78 p.
- Haneklaus, S. et al., 2007. Sulfur. En: Barker, A. V. y V. Pilbeam. Handbook of plant nutrition. Taylos & Francis Group. P. 183-238.
- Hedley, M.J. 2008. Techniques for assessing nutrient bioavailability in soils: current and future issues. En: Hartemink, A.E., A.B. McBratney and Ravendra Naidu. Chemical Bioavailability in Terrestrial Environment. P. 283-327. (Developments in soil science; 32).
- Jaramillo J., D. F. 2002. Introducción a la ciencia del suelo. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. 613 p.

- Lora, R. 2010. Propiedades químicas del suelo. En: Burbano Orjuela, H. & Silva Mojica, F (Eds), Ciencia del suelo, principios básicos. Bogotá: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. P 77-137.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2. ed. New York: Academic Press. 889 p.
- Mengel, K. 2007. Potassium. En: Barker, A. V. y V. Pilbeam. Handbook of plant nutrition. Taylos & Francis Group. P. 91-120.
- Mikkelsen, R.L. 2007. Biuret en urea fertilizer. En: Better Crops with Plant Food. Vol. 91, no. 3, p. 6-7.
- Mohanty, S.R., et al., 2009. Dynamics of changes in methanogenesis and associated microflora in a flooded alluvial soil following repeated application of dicyandiamide, a nitrification inhibitor. En: Microbiological Research. Vol. 164, no. 1, p. 71-80.
- Pilbeam, D. J. y P. Morley. 2007. Calcium. En: Barker, A. V. y V. Pilbeam. Handbook of plant nutrition. Taylos & Francis Group. P. 121-144.
- Rábago Juan Aracil, I. 2010. Capacidad de amortiguación de la contaminación por plomo y por cadmio en suelos de la comunidad de Madrid. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Farmacia Departamento de Edafología. 285 p.
- Rahnemaie, R., T. Hiemstra, W. H. van Riemsdijk. 2006. Inner and outer-sphere complexation of ions at the goethite–solution interface. En: Journal of Colloid and Interface Science. Vol. 297, no. 2, p. 379–388.
- Rodríguez M., N.C. y C. Toro L. 2006. Estandarización del tiempo de incubación y concentración de  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$  y  $\text{KNO}_3$  para la prueba de NMP con bacterias nitrificantes y denitrificantes usando como matriz compost. Tesis de pregrado. Pontifica Universidad Javeriana. Bogotá. 74 p.
- Rytwo, G. 2004. Applying a Gouy–Chapman–Stern model for adsorption of organic cations to soils. En: Applied Clay Science. Vol. 24, nos. 3-4, p. 137– 147.
- Rufyikiri, G., et al., 2004. Mobilization of aluminium and magnesium by roots of banana (*Musa spp.*) from kaolinite and smectite clay minerals. En: Applied Geochemistry. Vol. 19, no. 4, p. 633-643.

- Sanchez, C. A. 2007. Phosphorus. En: Barker, A. V. y V. Pilbeam. Handbook of plant nutrition. Taylos & Francis Group. P. 51-90.
- Sierra. J. 2006. A hot-spot approach applied to nitrification in tropical acid soils. En: Soil Biology and Biochemistry. Vol. 38, no. 4, p. 644–652.
- Simonsson, M., S. et al., 2007. Potassium release and fixation as a function of fertilizer application rate and soil parent material. En: Geoderma. Vol. 140, no. 1-2, p. 188–198
- Tansel, B. 2012. Significance of thermodynamic and physical characteristics on permeation of ions during membrane separation: hydrated radius, hydration free energy and viscous effects. En: Separation and Purification Technology. Vol. 86, no. 15, p. 119–126
- Vidal Martínez. J.L. 2003. Dinámica del potasio en el suelo y su requerimiento por los cultivos. Proyecto de Maestría. Colegio de Postgraduados Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. México. 30 p.
- Xing, G.X., et al., 2002. Denitrification in underground saturated soil in a rice paddy region. En: Soil Biology and Biochemistry. Vol. 34, no. 11, p. 1593–1598.
- Zhang, D., et al., 2010. Synthesis of clay minerals. En: Applied Clay Science. Vol. 50, no. 1, p. 1–11.



Más productividad  
en sus cultivos



# Cosmo-R 14-8-19

Completo aporte de elementos menores para su cultivo



Para lograr los rendimientos más altos posibles, es necesario aplicar todos los micronutrientes

## Beneficios de la aplicación de Cosmo R 14-8-19

- ✓ Elementos menores quelatados con EDTA los cuales permiten una mayor disponibilidad para la planta.
- ✓ Mayor productividad por hectárea.
- ✓ Mayor sanidad del cultivo al desarrollar una nutrición balanceada en la planta.

## Características del contenido Cosmo-R 14-8-19

- ✓ Mezcla balanceada de 11 elementos esenciales.
- ✓ Elementos menores quelatados con EDTA los cuales permiten una mayor disponibilidad para la planta.
- ✓ Contiene los tres elementos mayores *N, P, K*, en lugar de rellenos inertes.
- ✓ Formulación con adecuada relación *Ca/Mg*.
- ✓ Aporte complementario a los abonos con *N, P, K*
- ✓ Los elementos menores de *Cosmo R 14-8-19* no se bloquean, ni disminuyen las reservas del suelo de otros aniones que también son nutrientes esenciales para la nutrición de la planta.

## Aporte el Balance Nutricional a su Cultivo con la aplicación de COSMO R 14-8-19

El concepto de balance nutritivo es vital en la fertilidad del suelo y la producción agrícola. El nitrógeno (N) puede ser el primer nutriente más importante, pero sin las cantidades adecuadas de los otros nutrientes, el nitrógeno no muestra su potencial. A medida que la fertilización nitrogenada aumenta los rendimientos, el cultivo exige mayores cantidades de los otros micronutrientes lograndose un aporte óptimo de estos con la aplicación de *Cosmo R 14-8-19*.



Zona Franca del Pacifico.  
Via Yumbo-Aeropuerto, Palmira, Col.  
Teléfono: (572)280.06.60 Fax: 280.06.70  
[www.cosmoagro.com](http://www.cosmoagro.com)

Contacto Comercial  
Celular (57) 315.492.25.69  
Email: [diego.pulgarin@cosmoagro.com](mailto:diego.pulgarin@cosmoagro.com)

# COSMO-QUEL®



Por su eficiente asimilación en la planta y su acertada formulación, los micronutrientes quelatados de **Cosmoagro®** son la mejor alternativa de balance nutricional para plantaciones de banano altamente productivas.

**COSMO-QUEL®**  
EDTA - Calcio

**COSMO-QUEL®**  
EDTA - Cobre

**COSMO-QUEL®**  
EDTA - Hierro

**COSMO-QUEL®**  
EDTA - Magnesio

**COSMO-QUEL®**  
EDTA - Manganeso

**COSMO-QUEL®**  
EDTA - Zinc

**COSMO-ION®**  
Boro

**COSMO-QUEL®**  
Balance de Micronutrientes



## 100% Quelatado con EDTA

- ✓ Quelatación con **EDTA** al 100% que lo hace más efectivo que otras fuentes de elementos menores.
- ✓ Sustancias altamente solubles que permiten una asimilación total por la planta.
- ✓ Compuestos estables que no reaccionan con otras sustancias presentes en el medio.
- ✓ Compatibles con otros ingredientes activos utilizados en las aplicaciones.

**COSMOAGRO® S.A.**  
Zona Franca del Pacífico Km 6 vía Yumbo - Aeropuerto  
Tel: 57 (2) 2800660 Fax : 57 (2) 2800670  
Contacto Comercial: 315-4922569  
Palmira – Colombia

[www.cosmoagro.com](http://www.cosmoagro.com)



## 8. BORO Y ZINC

### 8.1 INTRODUCCIÓN

*El crecimiento y desarrollo de las plantas de banano en condiciones de cultivo es determinado en parte por el balance de nutrientes del sistema suelo-planta, siendo la aplicación de nutrientes vía fertilizantes, importante para mantener dicho balance. Así los excesos como los déficits pueden generar desequilibrios y afectar el crecimiento, desarrollo y productividad.*

*La disponibilidad de micronutrientes afecta la producción y calidad de los cultivos y sus deficiencias son cada día más comunes y se dan por el cultivo intensivo, la alta productividad de los cultivares y no reposición de la nutrientes extraídos en las cosechas, el encalado, la pérdida por lixiviación y erosión, de allí la importancia creciente de la fertilización con micronutrientes en los sistemas productivos (Hansch & Mendel, 2009; Gupta et al., 2008).*

*De otra parte, el estado nutricional tiene un gran impacto en la sanidad vegetal debido a la complejidad de los efectos sinérgicos entre los macro y micronutrientes y puede influir tanto en la capacidad de virulencia de un determinado patógeno o en la respuesta de defensa de la planta hacia su ataque (Stangoulis & Graham, 2007; Duffy, 2007).*

*Dentro de los micronutrientes, dos han tomado gran importancia para su suministro vía fertilización en el cultivo del banano, el boro y zinc. En el presente capítulo resaltaremos los aspectos más importantes de estos dos micronutrientes y su importancia en el crecimiento, productividad, calidad del cultivo del banano.*

### 8.2 BORO

#### 8.2.1 Boro en el Suelo

El boro en una solución neutra se encuentra como ácido bórico ( $H_3BO_3$ ). El ácido bórico es una molécula pequeña con tres electrones de valencia. El radio molecular de ácido bórico es de 2,573 Å, similar al de algunas otras moléculas

no cargadas como la urea (2,618 Å) (Miwa & Fujiwara, 2010).

El ácido bórico es un ácido de Lewis débil con un pKa de 9,24 (Figura 1). En las plantas se asume que el pH citoplasmático está alrededor de 7,5, y por esto la mayor parte del boro existe en forma de ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) (Tanaka & Fujiwara, 2008).

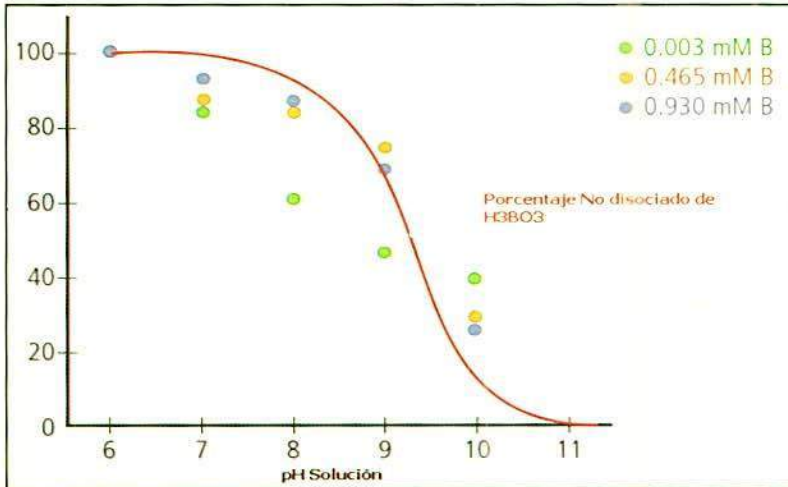


Figura 1. Toma relativa de boro en función al pH de la solución. Tomado de Kafkafi & Tarchitzky, 2011 y autores allí citados.

Cuando el pH del suelo se encuentra entre 5 a 7, el B se encuentra en su forma molecular ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) (poco disociado y no queda retenido por los coloides, lo que permite la absorción de este nutriente por las plantas, sin embargo, en esta condición, es fácilmente lixiviado. Al aumentar el pH la forma ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) tiende a ser aceptor de  $\text{OH}^-$ , lo que genera la forma ionizada  $\text{B}(\text{OH})_4^-$  (anión borato), modo en el cual la planta no es capaz de absorber.

El movimiento del B en el suelo y su disponibilidad depende de diversos factores, que se encuentran interrelacionados, como: pH, textura, temperatura, humedad del suelo y contenido de otros nutrientes. La mayor razón que puede ocasionar deficiencia de boro es la alta precipitación y es fácilmente lixiviado debido a su alta solubilidad.

El B se puede encontrar fijado por la materia orgánica, puesto que los hidroxilos del B se asocian con los grupos de hidroxilo de las sustancias húmicas. La materia orgánica al ser descompuesta por los microorganismos del suelo, lo libera de forma gradual, de manera que una parte puede ser absorbido por las plantas, otra lavado por el agua de infiltración y un pequeño grupo ser fijada o retenida por las arcillas. La retención también se puede generar al aplicar carbonato de calcio que incrementa el pH.

## 8.2.2 Boro en la planta

### ● Absorción y movimiento de boro

En el caso del boro, una difusión pasiva (transporte que no es catalizado por proteínas) a través de la membrana ocurre y se creía que a través de este mecanismo se cubría todo el requerimiento de boro en las plantas. Dicha hipótesis estuvo basada en la alta permeabilidad de la bicapa lipídica al ácido bórico.

Estudios recientes han puesto de manifiesto que el ácido bórico también utiliza canales y transportadores durante su paso por la raíz y el transporte de ácido bórico en contra de su gradiente de concentración se puede presentar bajo condiciones de bajo boro disponible en el suelo (Tanaka *et al.*, 2008; Miwa, & Fujiwara, 2010).

Después de la toma por las raíces, el boro es descargado en el xilema y es transportado en el flujo transpiratorio. Este transporte es pasivo porque se acumula en los sitios de alta transpiración como márgenes de las hojas maduras.

El boro no se removiliza eficientemente en el floema en la mayoría de los vegetales (Tanaka *et al.*, 2008), por lo que las plantas pueden presentar un problema fisiológico durante estados críticos de su desarrollo por deficiencias de este nutriente. Sin embargo, plantas ricas en polioles presentan un transporte efectivo de boro a larga distancia por la formación de complejos de boratos con polioles solubles y móviles en el floema, especialmente manitol y sorbitol (Jiang *et al.*, 2008).

### ● Funciones de boro en la planta

El boro está involucrado en múltiples funciones como la síntesis y estructura de la pared celular, lignificación, metabolismo y transporte de carbohidratos, metabolismo de ácidos nucleicos, AIA, fenoles y ascorbatos e integridad de la membrana plasmática (Kirkby & Römheld, 2008; Goldbach & Wimmer, 2007; Yamada, 2000).

Se estima que cerca del 90% del boro de la planta se encuentra en las paredes celulares (figura 2). El boro junto con  $\text{Ca}^{2+}$  forman complejos con varios componentes de la pared celular tales como pectinas, polímeros polihidroxicos, polioles y  $\text{Ca}^{2+}$  (Ahmad *et al.*, 2009).

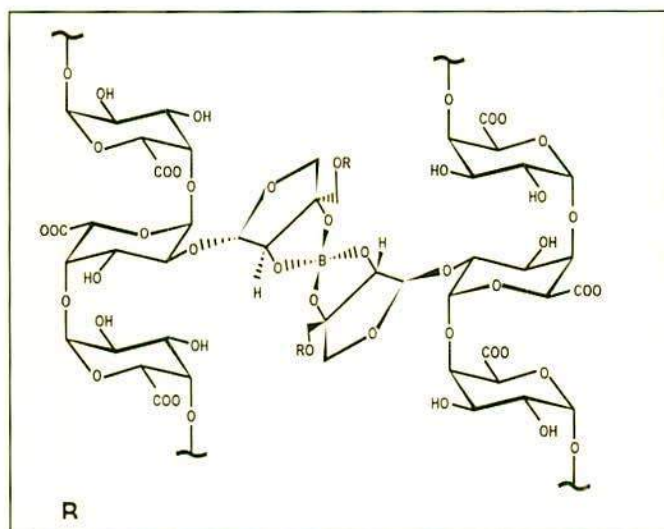


Figura 2. Borato es directamente involucrado en la dimerización reversible de dos moléculas de RG-II las cuales juegan un rol en la resistencia a la expansión de la pared celular y tiene un papel especializado en sistemas reproductivos y meristemáticos de las plantas.

Según Yamada (2000), en la figura 3, se encuentran las principales funciones del Boro en los procesos fisiológicos que son afectados por la deficiencia del micronutriente.

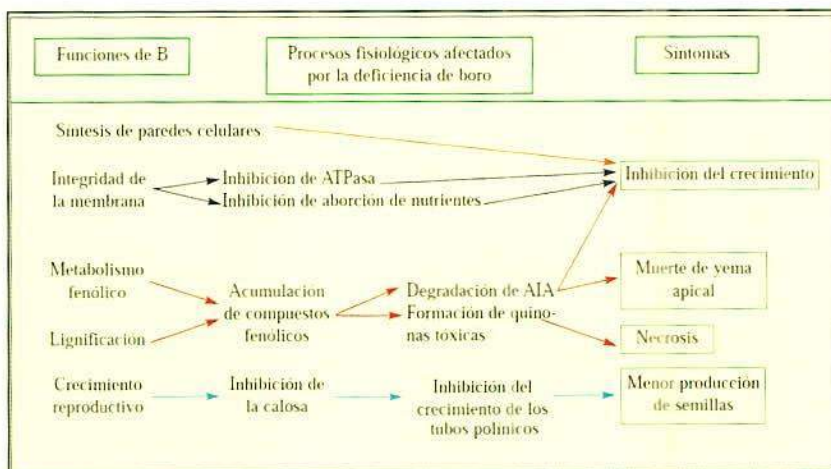


Figura 3. Funciones del boro y procesos fisiológicos afectados por su deficiencia y síntomas en la planta (Fuente: Yamada, 2000).

### ● Distribución del boro en las plantas de banano

El 45% del boro requerido por la planta durante su desarrollo es extraído por el racimo el restante 55% se encuentra en las hojas, rizoma yseudotallo (figura 4).

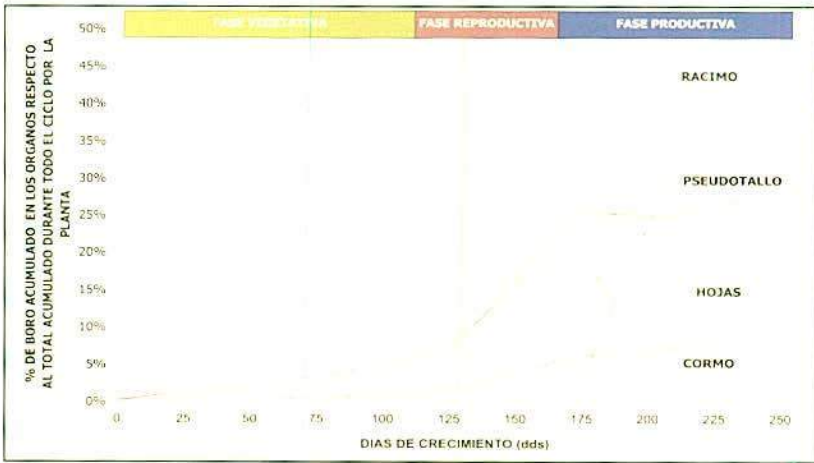


Figura 4. Porcentaje de acumulación de boro por órgano en cada etapa del cultivo respecto a la concentración máxima de boro en toda la planta durante el ciclo de desarrollo (Adaptado Martínez, 2006).

### ● Síntomas de Deficiencia de Boro en Banano

Debido a que este nutriente es inmóvil dentro de la planta, los síntomas de deficiencia se caracterizan por la presencia de rayas cloróticas perpendiculares a la vena central de las hojas nuevas y si continúa la deficiencia puede ocurrir malformación de la hoja, (Figura 5). Si la deficiencia es extrema, la planta puede morir al no existir formación de hojas nuevas (Vargas et al., 2007; López & Espinosa, 1995).



Figura 5. Deficiencia de Boro, deformación de las hojas nuevas y presencia de estrias paralelas a la nervadura central

En plantas deficientes de boro, existe una alteración en la composición de la membrana y en el transporte a través de ella y la acumulación de carbohidratos en las hojas.

En el racimo la deficiencia afecta el llenado del fruto tanto así que los dedos se deforman, maduran prematuramente y su tamaño se reduce, lo que genera en la producción mayor rechazo. En las raíces, la falta de B provoca un pobre desarrollo del sistema radical, con muy poca presencia de pelos absorbentes, el sistema radical termina necrosándose severamente (López & Espinosa, 1995).

## 8.3 ZINC

### 8.3.1 Zinc en suelo:

El zinc en el suelo depende de la composición del material parental. El zinc está en diferentes formas en la corteza terrestre, tal como en minerales de sulfato, sílice y carbonato. También está en diferentes formas en el suelo en la solución del suelo, en la fase de intercambio, conectado a la materia orgánica del suelo y estabilizado en minerales arcillosos secundarios (Alloway, 2008).

Dentro de los factores más importantes que afectan la disponibilidad de zinc están (figura 6):

- El contenido total de zinc es muy bajo en suelos ácidos que presentan altas precipitaciones debido a la intensa lixiviación del suelo.
- El zinc aprovechable se reduce con el incremento del pH porque la solubilidad de los minerales se reduce y la adsorción o fijación de zinc se incrementa por las partículas coloides del suelo como las arcillas, óxidos de hierro y aluminio, materia orgánica y carbonato de calcio.
- El zinc aprovechable se reduce cuando disminuye la temperatura e intensidad de luz debido al limitado crecimiento de raíces.
- El zinc disponible disminuye por altos niveles de fósforo en el suelo.
- El zinc absorbido por las plantas se inhibe por cationes como cobre y hierro (debido a las mismas cargas de estos elementos en las raíces de las plantas).
- Factores como el potencial de oxidación, el contenido de agua en el suelo y la actividad microbiana influyen sobre la disponibilidad de zinc en el suelo (Alloway, 2008; Broadley *et al.*, 2007).



Figura 6. Esquema de las principales causas de deficiencia de zinc en los cultivos. Adaptado de Alloway, 2008.

### 8.3.2 Zinc en la planta

- **Toma y transporte de Zinc por la planta**

La absorción de zinc de la solución del suelo es en forma de catión divalente ( $Zn^{2+}$ ). El zinc en las plantas solo está en su forma divalente y no participa en reacciones de oxidación y regenerativas.

Las funciones metabólicas del Zn se deben a su fuerte tendencia a formar complejos tetraédricos con los elementos N, O y particularmente con ligandos que contienen S. Por esa razón juega un papel funcional catalítico y simultáneamente otro estructural en las reacciones enzimáticas.

El transporte de Zn a grandes distancias se da fundamentalmente en el xilema, donde el Zn se encuentra libre como catión divalente o complejoado por ácidos orgánicos. Por otro lado, la movilidad de Zn en el floema es intermedia, comparada con aquellos nutrientes que son muy móviles N, K y P, y aquellos que son inmóviles en el floema Ca, Mn (Peña, 2007).

En las hojas, el Zn soluble se encuentra principalmente como compuestos aniónicos posiblemente asociado a aminoácidos. Los iones de Zn libres solamente representan una pequeña parte del contenido total de Zn soluble (Alloway, 2008 ; Marschner, 2002).

- **Función de zinc en las plantas**

En las plantas, el Zn actúa de forma funcional, estructural o como co-factor regulador de un gran número de enzimas.

El zinc es un componente de enzimas implicadas en la síntesis de proteínas, la producción de energía y el mantenimiento de la integridad de las biomembranas,

más de 1200 proteínas se han descrito que contienen, ligan o transportan zinc incluyendo entre otras un gran número de factores de transcripción, oxidoreductasas y enzimas hidrolíticas como las metaloproteasas (Pinho *et al.*, 2010; Hansch & Mendel, 2009; Gupta *et al.*, 2008; Takano *et al.*, 2008; Gupta, 2007; Marschner, 2002). Algunas funciones fisiológicas del zinc son:

#### - **Metabolismo de carbohidratos**

El zinc tiene efecto sobre el metabolismo de carbohidratos a través de su efecto en la fotosíntesis y transformación de azúcares.

Sobre la fotosíntesis al afectar las enzimas anhidrasa carbónica y la Ribulosa 1,5 bifosfato carboxilasa o por reducir el contenido de clorofila y la estructura normal de los cloroplastos.

Además, las enzimas involucradas en la formación de sacarosa, como las aldolasas son afectadas por la deficiencia de zinc y la fructosa-1,6-bifosfatasa es un enzima clave en el particionamiento de los azucares C6 en los cloroplastos y el citoplasma.

#### - **Metabolismo de Proteínas**

El efecto fundamental del zinc en el metabolismo de proteínas es por estar involucrado en la estabilidad y función del materia genético.

El Zn es necesario para la actividad del enzima ARN polimerasa y para la protección del ARN ribosomal del ataque del enzima ribonucleasa (Alloway, 2008; Kirkby & Römheld, 2008).

#### - **Integridad de las Membranas**

El Zn como el Cu están en las isoenzimas superóxido dismutasa (SOD o Cu-Zn-SOD), las cuales desempeñan un papel importante en la remoción de radicales superoxidados ( $O_2^-$ ) y por tanto, en la protección de las membranas y proteínas, contra la oxidación (Kirkby & Römheld, 2008; Marschner, 2002).

#### - **Metabolismo de Auxinas**

Una de las funciones principales del Zn es su participación en la regulación del crecimiento a través del control de la síntesis del triptófano, el cual, es un precursor del ácido indol-acético, ya que activa el sistema triptófano sintetasa, de esta forma AIA, se encuentra indirectamente influida por el Zn (Alloway, 2008; Kirkby & Römheld, 2008; Marschner, 2002).

#### - **Reproducción**

La floración y producción de semillas es afectada en plantas deficientes de zinc de muchas especies de plantas. Esto es debido a que en plantas deficientes,

se incrementa la formación de ácido abscísico que causa pérdida prematura de hojas y flores y se interrumpe el desarrollo y fisiología de anteras y granos de polen (Alloway, 2008).

- **Papel del zinc en algunas enzimas:**

- **Alcohol deshidrogenasa**

Esta enzima tiene dos átomos de zinc. Uno de los átomos tiene una función catalítica y el otro una función estructural. Esta enzima cataliza la reducción del acetaldehído a etanol. El etanol se produce en la puntas meristemáticas de la raíz bajo condiciones aeróbicas, si disminuye la alcohol deshidrogenasa en las plantas por deficiencia de zinc se reduce el desarrollo de la raíz.

- **Anhidrasa carbónica**

Esta enzima contiene un solo átomo de zinc la cual cataliza la hidratación del  $\text{CO}_2$ . La enzima está localizada en los cloroplastos y el citoplasma. La actividad de esta enzima está estrechamente relacionada con el contenido de zinc. Bajo deficiencia extrema de zinc, se pierde esta enzima.

La anhidrasa carbónica es una enzima adaptable, su síntesis se incrementa rápidamente a bajas concentraciones de  $\text{CO}_2$  y su actividad cae en unos pocos días bajo oscuridad, ó bajo deficiencia de nitrógeno.

- **Superóxido dismutasa-CuZn**

En esta isoenzima, el zinc está asociado con cobre (CuZnSOD). El átomo de cobre representa el componente metálico catalítico y el átomo de zinc es un componente estructural esencial para el normal funcionamiento de la CuZnSOD.

Es particularmente crítica la disminución en la actividad SOD bajo la deficiencia de zinc, ya que se presenta un incremento simultáneo en la tasa de generación de  $\text{O}^-$  libre. El mayor nivel de radicales tóxicos  $\text{O}^-$  libres y otros oxidantes relacionados, son los principales responsables de la peroxidación lipídica de la membrana y del incremento de su permeabilidad.

Además el zinc es parte de algunas enzimas como fosfatasa alcalina, fosfolipasa, Carboxipeptidasas, ARN polimerasas, dehidrogenasas y aldolasas.

- **Distribución del zinc en las plantas de banano**

El 22% del zinc requerido por la plantas es extraído por el racimo, el restante 78% se encuentra acumulado al momento de la cosecha en las hojas, rizoma y seudotallo de la planta. Las hojas presentan un importante descenso en el

contenido de zinc después de floración posiblemente por translocación hacia el racimo y los hijos de sucesión (figura 7).

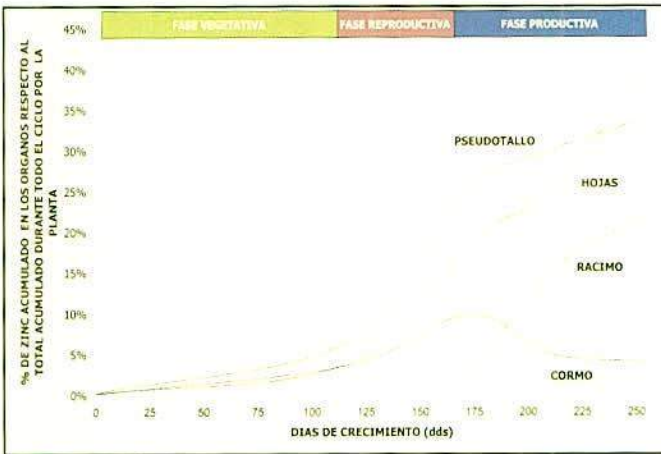


Figura 7. Porcentaje de acumulación de zinc por órgano en cada etapa del cultivo respecto a la concentración máxima de zinc en toda la planta durante el ciclo de desarrollo (Adaptado Martínez, 2006).

### ● Síntomas de Deficiencia de Zinc en Banano

Los síntomas visuales de la deficiencia de Zn se caracterizan con rayas cloróticas blanquecinas a lo largo de las venas de las hojas nuevas, las cuales se alternan con rayas color verde oscuro (Figura 8), esto se debe a que este elemento es inmóvil; esta deficiencia de Zn se le conoce como "rayadilla" debido a la forma como aparecen los síntomas en la planta (López & Espinosa, 1995;). Conforme aumenta la deficiencia, las hojas nuevas se hacen más angostas.

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".





Figura 8. Síntomas de deficiencia de zinc en banano.

Además, provoca la formación de racimos pequeños y deformados y acortamiento de la distancia entre manos, dando a la fruta una apariencia compacta, la fruta se mantiene horizontal, posiblemente por su poco peso, los dedos se ubican en forma inclinada y cortos, lo cual reduce la calidad del fruto; Otro síntoma característico es el alargamiento de la sección terminal de los dedos (López & Espinosa, 1995).

## 8.4 FUENTES DE FERTILIZANTES PARA LA NUTRICIÓN CON MENORES

### 8.4.1 Fuentes de Boro

Los fertilizantes que contiene boro provienen de productos refinados o de minerales triturados (Tabla 1). Los principales productos refinados son bórax (tetraborato de sodio) y ácido bórico que esta disponibles en formas de polvo o gránulos y se utilizan para aplicaciones foliares y edáficas. Estas fuentes son solubles en agua y su disponibilidad para las plantas va a depender de las reacciones en el complejo de intercambio del suelo.

Tres formas de tetraborato de sodio están disponibles comercialmente, estos difieren en el grado de hidratación lo que genera diferencias en solubilidad aunque agrónomicamente pocas diferencias. Otro fertilizante el Solubor es

BIBLIOTECA AGROPECUARIA

considerado como una mezcla entre bórax y ácido bórico y es más soluble que estos, fue desarrollado para usos en la aplicación foliar y forma soluciones supersaturadas.

Los minerales triturados que contienen boro como colemanita y ulexita han sido usados como fertilizantes, estos son menos solubles que los productos refinados debido a su composición y cantidad de materiales insolubles las cuales varía con las fuentes (Bell & Dell, 2008).

**Tabla 1.** Fuentes minerales de boro para la industria de fertilizantes (Bell & Dell, 2008 y autores allí citados).

Compuesto	Formula	Contenido del elemento (%)	Solubilidad en agua
<b>Productos refinados</b>			
Acido Bórico	$H_3BO_3$	17,5	Soluble
pentaborato de sodio	$Na_2B_{10}O_{16} \cdot 10H_2O$	18	Soluble
Tetraborato de sodio	$Na_2B_4O_7$	21	Soluble
tetraborato pentahidrato de sodio	$Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$	15	Soluble
tetraborato de sodio decahidrato	$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$	11	Soluble
octaborato disódico tetrahidratado	$Na_2B_8O_{23} \cdot 4H_2O$	21	Soluble
<b>Productos triturados</b>			
Ascharita	$2MgO \cdot B_2O_3 \cdot H_2O$	variable	Ligeramente soluble
Colemanita	$2CaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 5H_2O$	variable	soluble
Datolita	$2CaO \cdot B_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot H_2O$	variable	Ligeramente soluble
Hidroboracita	$CaO \cdot MgO \cdot 3B_2O_3 \cdot 6H_2O$	variable	Ligeramente soluble
Ulexita	$Na_2O \cdot 2CaO \cdot 5B_2O_3 \cdot 16H_2O$	variable	Soluble

## 8.4.2 Fuentes de Zinc

El zinc al igual que otros cationes metálicos (Cu, Fe, Mn) está disponible como óxidos, carbonatos y sales, como sulfatos, nitratos y cloruros (Tabla 2). Los sulfatos son lo más usados comúnmente como fuentes de micronutrientes, son

solubles y pueden utilizarse en aplicaciones foliares y al suelo. Los sulfatos están disponibles en formas cristalinas y granuladas. Una de las ventajas que ofrecen los sulfatos es su relativo bajo costo, y fácil manejo. Los cloruros y nitratos de Cu, Fe, Mn y Zn son utilizados en fertilizantes líquidos. Los óxidos son más económicos por unidad de metal en comparación con los sulfatos pero son insolubles.

La efectividad inmediata de los óxidos es baja, en los casos que se usen deben ser aplicados incorporados con el suelo para maximizar su contacto con el mismo. Si se aplican en forma granular no son efectivos.

Los oxisulfatos son óxidos de Cu, Mn y Zn parcialmente acidulados con ácido sulfúrico. La solubilidad en agua está relacionada con el grado de acidulación (Bell & Dell, 2008).

**Tabla 2.** Fuentes minerales de zinc para la industria de fertilizantes (Tomado de Bell & Dell, 2008 y autores allí citados).

Compuesto	Fórmula	Contenido del elemento (%)	Solubilidad en agua
<b>Productos refinados</b>			
Sulfato de zinc amoniacal	$Zn(NH_3)_4SO_4$	10	soluble
Sulfato de zinc básico	$ZnSO_4 \cdot 4Zn(OH)_2$	55	Ligeramente soluble
Carbonato de zinc	$ZnCO_3$	50-56	Insoluble
Cloruro de zinc	$ZnCl_2$	47-50	Soluble
Nitrato de zinc	$Zn(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$	22	Soluble
Oxido de zinc	$ZnO$	50-80	No es totalmente insoluble (depende del tamaño de partícula)
Zinc oxisulfato	$xZnSO_4 \cdot xZnO$	20-60	Variable
sulfato de zinc heptahidratado	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	22-23	soluble
sulfato de zinc Monohidrato	$ZnSO_4 \cdot H_2O$	36-37	soluble

### 8.4.3 Estrategias para la aplicación de micronutrientes

Debido a la baja cantidad de micronutrientes a aplicar en comparación con los nutrientes mayores, se deben considerar diferentes formas de suministrar los micronutrientes para mejorar la eficiencia de su uso dependiendo de la condiciones del cultivo.

- **Los micronutrientes quelatados y acomplejados**

Son un grupo de productos en los cuales la fuente de micronutrientes se une a un ligando orgánico para mejorar su disponibilidad para las plantas. Estos compuestos incluyen quelatos naturales y sintéticos y complejos naturales. La tecnología fue implementada inicialmente para corregir deficiencia de hierro en suelos calcáreos.

Un quelato utiliza una serie de enlaces coordinados con un metal formando una estructura cíclica relativamente estable. La palabra quelato es derivada del griego *quela* que significa pinza, lo cual describe la estructura química del complejo de quelación.

El quelato alrededor del metal previene la reacción de este con el suelo, así lo mantiene disponible para las plantas. La eficacia del complejo metal quelato es determinada por la constante de estabilidad, que es una medida de la capacidad para mantener el micronutriente en la forma quelatada en contra a la sustitución de cationes competidores. La reacción entre el ion metálico y el agente quelatante es afectada por el pH de la solución, pero además por la interferencia de otros ligandos y cationes del sistema.

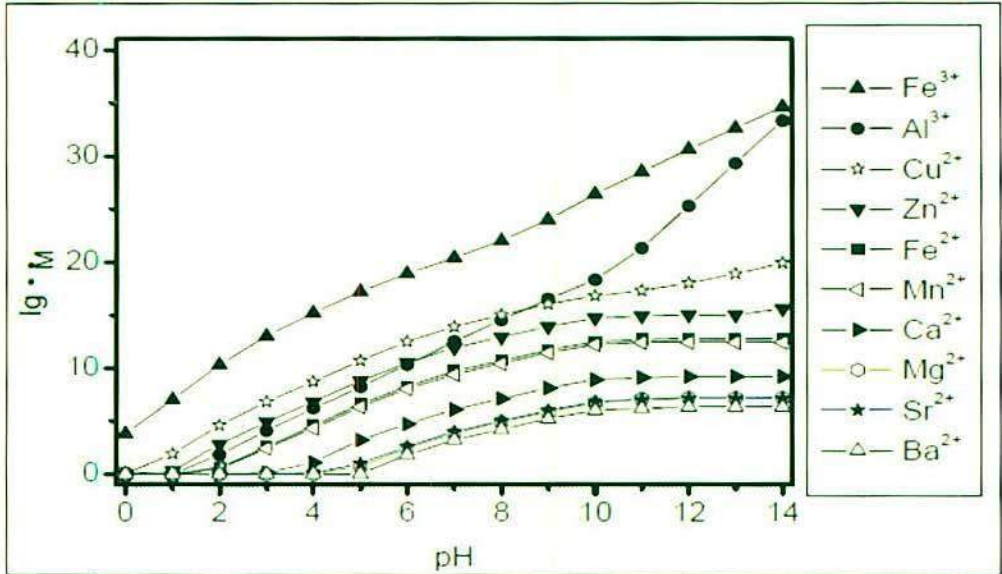
De otro lado, los complejos orgánicos naturales son un grupo diverso de productos formados por la reacción de sal metálica con productos orgánicos. La estructura de los complejos orgánicos no está bien definida y puede variar considerablemente según los procesos usados en la fabricación. Como resultado no es posible definir su constante de estabilidad (Bell & Dell, 2008).

Uno de los quelatos utilizados comúnmente en la industria de fertilizantes es el ácido etilendiaminotetraacético EDTA que es un agente quelatante multidentado con seis sitios de coordinación, forma complejos con la mayoría de iones metálicos. EDTA tiene tanto grupos funcionales  $-\text{COOH}$  y  $-\text{NH}_2$  y forma una estructura quelatada alrededor del metal.

En la figura 9 se presenta cálculos de constantes de estabilidad para algunos metales con 0,0027 M EDTA. Los metales como el potasio y el Na forman quelatos muy débiles con EDTA por esto no se presentan. Los iones metálicos son quelatados con distintas fuerzas.  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ , y  $\text{Cu}^{2+}$  forman los quelatos

más estables, pero  $Zn^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$  y  $Mn^{2+}$  forman también quelatos fuertes con el EDTA. La fuerza de quelación con el hierro también es afectada por el estado de oxidación de este metal.

A mas bajo pH es mas bajo el efecto de quelación del EDTA. Esto es debido a la protonación del EDTA (Granholm *et al.*, 2010).



**Figura 9.** Fuerza de quelación entre EDTA de diferentes iones metálicos expresados en  $lg \alpha M$  vs. pH. La concentración del ligando 0.0027 M (Granholm *et al.*, 2010 y autores allí citados).

La eficacia de fertilizantes inorgánicos de zinc en los suelos, se determina por su solubilidad en agua. Se ha encontrado que el sulfato de zinc (98% soluble), lignosulfonato de zinc (91% soluble) y ZnEDTA (100% soluble) pueden suministrar adecuadamente zinc a las plantas. Sin embargo, Zn EDTA puede ser hasta cinco veces más eficiente que el sulfato de zinc o lignosulfonato de zinc.

Los anterior es explicado porque los sulfatos dependiendo del tipo de suelo al entrar en contacto con el, se pueden disociar y reaccionar formando precipitados insolubles. Por otro lado, los Complejos de Citratos, Gluconatos, Lignosulfonatos y Aminoácidos Naturales compuestos con limitados anillos que les impide ser estables. En la tabla 3 se presentan algunas fuentes de zinc quelatados y acomplexados.

**Tabla 3.** Algunas formas quelatadas de Zinc y otros complejos orgánicos usados como fertilizantes. (Bell & Dell, 2008 y autores allí citados).

Producto	Formula	Contenido (%)
Quelatos de zinc	$\text{Na}_2\text{ZnEDTA}$	8- 14
	$\text{NaZnHEDTA}$	6 - 10
	$\text{NaZnEDTA}$	9 - 13
	$\text{NaZnNTA}$	9- 13
Lignosulfonato de zinc		5- 12
Poliflavonoide de de zinc		5- 10

- **Con las mezclas físicas con fertilizantes NPK,**

Esto se puede realizar a través de la tecnología "Bulk blending", que es la mezcla física o mecánica de dos o más materiales en seco y en la cual sus componentes son completamente granulados y de aproximadamente el mismo tamaño de partícula, sin que medie reacción química alguna (Guerrero, 1996).

Una desventaja es que se puede presentarse segregación. En consecuencia, al efectuar la aplicación de esta mezcla fertilizante en el lote del cultivo cuando se ha segregado, la distribución nutricional no será uniforme ya que en los diferentes sitios se estarán aplicando grados nutricionales diferentes. La principal causa de la segregación es una diferencia en tamaño de partículas entre los componentes del fertilizante. La segregación es minimizada entre mayor sea la semejanza del tamaño de partícula de las fuentes de micronutrientes y los NPK (Bell & Dell, 2008 ; Guerrero, 1996).

El mezclado en seco de materiales no granulares es cada vez menos común.

- **Mezclas químicas**

Se incorporan los micronutrientes a los fertilizantes NPK durante la fabricación bajo condiciones de altas temperaturas y humedad (Bell & Dell, 2008).

- **Recubrimiento de fertilizantes NPK con micronutrientes,**

A través del uso de agentes que permiten la adherencia. Los adherentes usados son agua y aceites, ceras y otras soluciones fertilizantes. El agua y soluciones de fertilizantes logran la adherencia a través de enlaces químicos mientras aceites y ceras proveen una unión mecánica (Bell & Dell, 2008).

## ● Mezclas en fertilizantes líquidos

Estas mezclas mejoran la uniformidad de la aplicación. Sin embargo es importante seleccionar las fuentes compatibles tanto de micronutrientes y macronutrientes, así como conocer la solubilidad de los componentes.

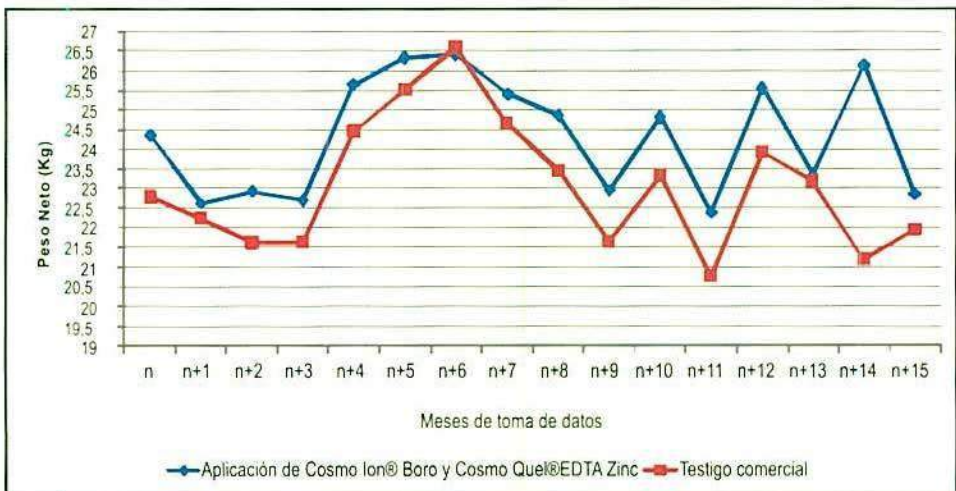
## 8.5 NUTRICIÓN Y FERTILIZACIÓN CON ZINC Y BORO EN BANANO

### 8.5.1 Fertilización edáfica con boro y zinc

En la región bananera de Magdalena se ha encontrado una estrecha relación entre la aplicación de Zn edáfico y foliar y la adición de B con incrementos entre el 20 y 25% en el rendimiento del cultivo (Gómez y Ortiz, 2006).

En Costa Rica, se han encontrado incrementos del peso de racimo con dosis de 3,5 kg B ha año y disminución con dosis superiores a 7 kg B ha año; otros investigadores han encontrado aumentos del 6% en el rendimiento con la aplicación de 1,4 kg B ha año (Romero, 2008).

En la región de Urabá, en una plantación de banano de cinco años de establecida, al comparar parcelas donde se aplicaron boro 1,4 B kg/ha y zinc 2,1 kg/ha provenientes de mezclas con NPK con parcelas donde adicionalmente se aplicaron 1,1 kg/ha de zinc quelatado con EDTA y 4 kg de Boro, se encontró que las aplicaciones adicionales con esas fuentes incrementaron el rendimiento del cultivo a través del tiempo (figura 10) (Gómez *et al.*, 2011).



**Figura 10.** Peso de racimo de banano a través del tiempo de parcelas tratadas con Fuentes de zinc y boro proveniente de mezcla de micronutrientes con fertilizantes NPK y parcelas donde adicionalmente se les suministro Zinc quelatado y boro (Campo experimental AUGURA- Carepa Antioquia Colombia).

De acuerdo con estos autores las aplicaciones de 5,4 kg/ha año de Boro proveniente de diferentes fuentes (4 kg proveniente de cosmo ion B y el resto de mezclas de NPK y menores) y de 3,2 Kg/Ha año de zinc (1,1 proveniente de EDTA zinc y el resto de mezclas de NPK y menores) distribuidos a través del año, fueron dosis óptimas edáficas para alcanzar pesos promedio de racimo superiores a 30 kg/Ha en áreas que inicialmente contenían niveles bajos en el suelo de boro y zinc y esto limitaba su productividad (Gómez *et al.*, 2011).

Durante la segunda generación de la población de plantas evaluadas, después del inicio de la aplicación de los tratamientos, se encontró que las aplicaciones edáficas frecuentes de zinc quelatado y boro cada seis semanas, mejoran los parámetros de crecimiento del cultivo, altura y diámetro. Además mostraron que en el cultivo del banano los efectos de la nutrición con boro y zinc son graduales y acumulativos (figura 11 y 12) (Gómez *et al.*, 2011).

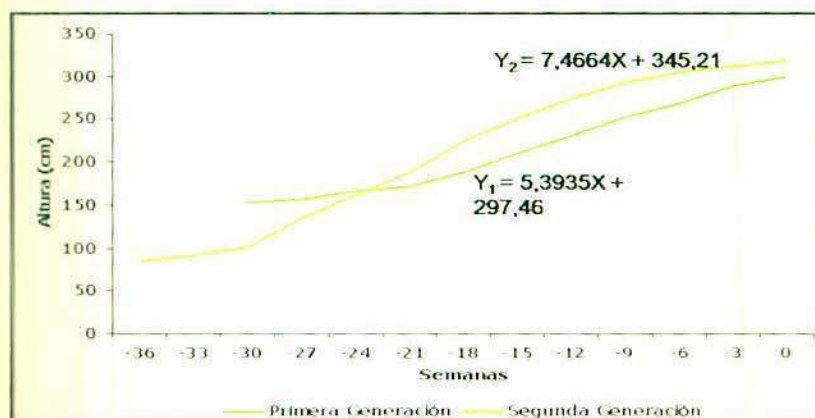


Figura 11. Altura de plantas de primera y segunda generación en tratamientos con B acompañado y Zn quelatado.

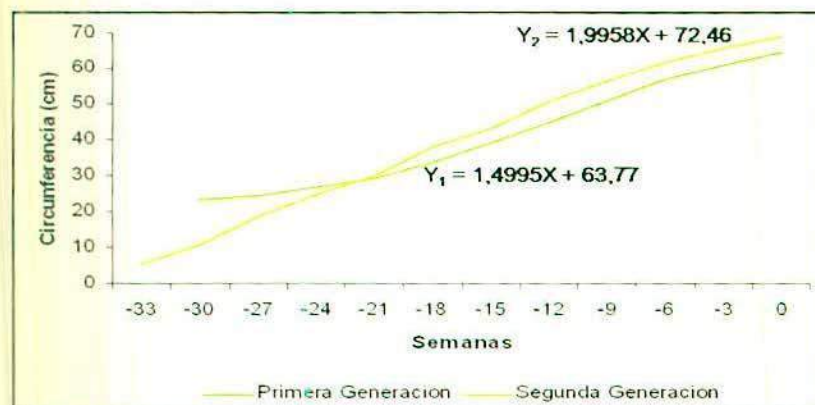


Figura 12. Circunferencia del pseudotallo de banano de primera y segunda generación en tratamientos con B acompañado y Zn quelatado.

Las aplicaciones edáficas de boro y zinc de manera frecuente y en cantidades apropiadas y balanceadas con otros nutrientes en el cultivo del banano, mantienen niveles de productividad altas y adecuados estándares de calidad de la fruta.

Hay que tener en cuenta que la aplicación de Zinc en forma quelatada es una alternativa de fertilización en suelos que presentan limitaciones para la bio-disponibilidad del zinc, por ejemplo en un suelo de la región del Urabá (Textura franco arenosa, contenido de materia orgánica de 1,79%, zinc intercambiable de 3 mg/kg, P 39,6 p.p.m, pH:5,6, C.E 0,65dS/cm y CICE:26,07) al comparar Zn EDTA (10%) con sulfato de zinc (28%) se encontró que el zinc quelatado es alrededor de 5 veces más eficiente para mantener el zinc en la solución del suelo (figura 13).

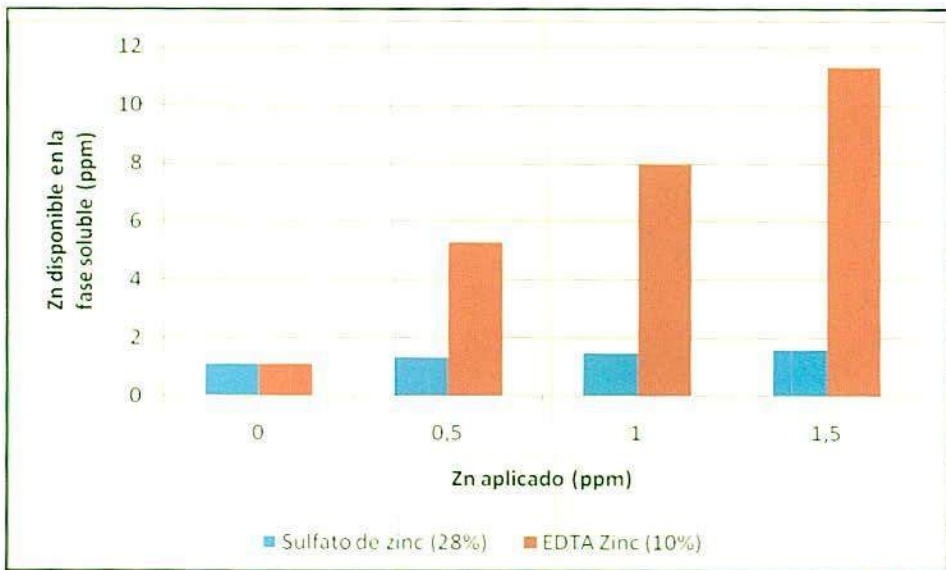


Figura 13. Disponibilidad de Zinc en la fase soluble de acuerdo con dos fuentes de zinc utilizadas y tres dosis (Fuente Cosmoagro).

Es importante resaltar que el aumento de boro y zinc, sin tener en cuenta el balance de los demás nutrientes, no siempre mejora significativamente el rendimiento del cultivo del banano. Esto se debe a que el posible efecto positivo del boro y zinc, se puede perder porque según la ley del mínimo "el elemento menos disponible limitará la respuesta de la producción", y probablemente cuando hay desbalance y bajos contenidos de nutrientes en el suelo entre otros factores y solamente se corrige uno mediante la fertilización, el factor que permanezca como limitante, será el que continúa restringiendo la productividad (Gómez *et al*, 2011). Por esto el manejo de la fertilización y nutrición debe ser integral.

## 8.5.2 Fertilización foliar

En la mayoría de los sistemas productivos de banano hay limitantes para la absorción de nutrientes al menos durante algunas épocas del año, ya sea por sequía o exceso de agua y bajo dichas condiciones el aporte de estos nutrientes vía fertilización foliar es la mejor alternativa. Carmona (2005), encontró que la aplicación foliar de los micronutrientes Zn y B indujeron incrementos en productividad y parámetros de crecimiento del cultivo, como el diámetro del pseudotallo y en la cantidad de fitomasa.

No obstante, cuando aplicaciones frecuentes de manera edáfica, la fertilización foliar no contribuye de manera significativa sobre la productividad y los parámetros de calidad y crecimiento del cultivo (Gómez *et al.*, 2011).

De otro lado, se ha demostrado que aunque el Zn de las sales inorgánicas era absorbido en mayor medida que el Zn quelatado; las formas quelatadas son más fáciles de translocar dentro de la planta, Las aplicaciones de quelatos podrían ser reducidas hasta un tercio de las aplicaciones con ZnSO<sub>4</sub> (Rosolem & Sacramento, 2001).

## BIBLIOGRAFIA

- Ahmad, W., et al. 2009. Role of boron in plant growth: a review. En: Journal of Agricultural Research. Vol. 47, no. 3, p. 329-338.
- Alloway, B. J. 2008. Zinc in soils and crop nutrition. 2. ed. Paris: International Zinc Association, IZA. International Fertilizer Industry Association, IFA. 139 p.
- Bell, R. W. y B. Dell. 2008. Micronutrients for sustainable food, feed, fibre and bioenergy production. Paris, France: International Fertilizer Industry Association, IFA. 195 p.
- Broadley, M., et al. 2007. Zinc in plants: tansley review. En: New Phytologist. Vol 173. P. 677-702.
- Carmona M., A.M., M. Díaz M. y J. J. Mira C. 2008. Compatibilidad de fungicidas en mezcla con micronutrientes quelatados en la zona de Urabá para el control de Sigatoka negra en el cultivo de banano. Medellín: Convenio AUGURA COSMOAGRO. 68 p.
- Duffy, B. 2007. Zinc and plant disease. En: Datnoff L. E., W. H. Elmer, D. M. Huber (eds). Mineral nutrition and plant disease. Minnesota, U.S.A.: APS. P. 155-175.
- Goldbach, H. E. y M. E. Wimmer. 2007. Boron in plants and animals: is there a role beyond cell-wall structure?. En: Journal of Plant Nutrition and Soil Science. Vol. 170, no. 1, p. 39-48.
- Gómez Ossa, D. M., et al. 2011. Influencia del balance con micronutrientes (b-zn) en la productividad del banano y la severidad de *Mycosphaerella fijiensis*. En: Ingenierías & Amazonia. Vol. 4, no. 2, p. 88 – 102.
- Gómez, S. y O. Ortiz. 2006. Optimización de la producción y calidad de banano mediante el balance nutricional con micronutrientes (B-Zn). En: XVII Reunión Internacional Acorbat Bananos: Un Negocio Sustentable. Memorias. P. 646-648.
- Granhölm, K., L. Harju, y A. Ivaska. 2010. Desorption of metal ions from kraft pulps. Part 1. Chelation of hardwood and softwood kraft pulp with EDTA. En: BioResources. Vol. 5, no. 1, p. 206-226.
- Guerrero. R. 1996. Propiedades generales de los fertilizantes: manual técnico. 2. ed. Barranquilla: Monómeros Colombo Venezolanos S.A. 51 p.

- Gupta, U. 2007. Boron. En: Barker, A. V. y V. Pilbeam. Handbook of plant nutrition. Estados Unidos: Taylor & Francis Group. P. 242-268.
- Gupta, U., K. Wu, y S. Liang. 2008. Micronutrients in soil, crops and livestock. Earth Science Frontiers. Vol. 15, no. 5, p. 110-125.
- Hansch, R y R. R. Mendel. 2009. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). En: Current Opinion in Plant Biology Vol. 12, no. 3, p. 259–266.
- Jiang, F., et al. 2008. Mobility of boron–polyol complexes in the hemiparasitic association between *Rhinanthus minor* and *Hordeum vulgare*: the effects of nitrogen nutrition. En: Physiologia Plantarum. Vol. 134, no. 1, p. 13–21.
- Kafkafi, U. y J. Tarchitzky. 2011. Fertigation: a tool for efficient fertilizer and water management. Paris, France: IFA : IPI. 141 p.
- 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.
- López M., A. y Espinosa M., J. 1995. Manual de nutrición y fertilización del banano. Quito, Ecuador : INPOFOS. P. 30-58.
- Marschner, H. 2002. Mineral nutrition of higher plants. Londres: Academic Press. 889 p.
- Martínez, A. M. 2006. Dinámica del crecimiento, desarrollo y distribución de asimilados en el cultivo del banano (*Musa AAA Simmonds cv. Valery* y *cv. Gran Enano*) en la zona de Urabá. Trabajo de Maestría en Fisiología de Cultivos. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 108 p
- Miwa, K. y T. Fujiwara. 2010. Boron transport in plants: co-ordinated regulation of transporters. En: Annals of Botany 105, no. 7, p. 1103–1108.
- Peña, B. 2007. Disponibilidad y efectividad relativa de quelatos de zinc aplicados a suelos en un cultivo de lino (*Linum usitatissimum* L.) textil. Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. 319 p.
- Pinho, L. G. R., et al. 2010. Boron deficiency affects gas exchange and photochemical efficiency (jpi test parameters) in green dwarf coconut. En: Journal of Plant Nutrition. Vol. 33, no. 3, p. 439-451.

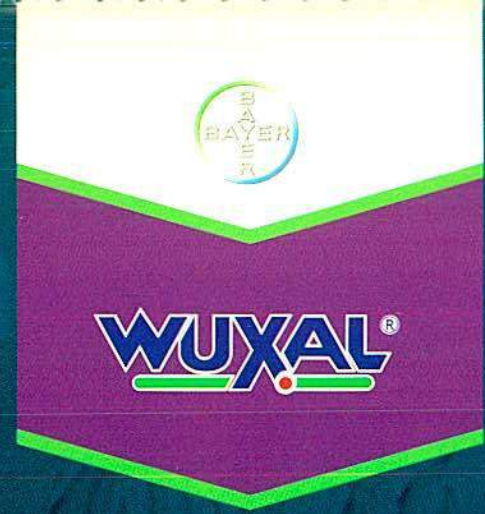
- Romero, M. A. 2008. Relación entre la nutrición y el crecimiento y desarrollo del banano (Musa AAA Simmonds). Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 39 p.
- Rosolem, C. y L. Sacramento. 2001. Efficiency of foliar Zn fertilizers in coffee and citrus. En: Horst, W. et al. (Eds.). Food security and sustainability of agro-ecosystems. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers. P. 704-705.
- Stangoulis, J. C. R. y R. D. Graham. 2007. Boron and plant disease. En: Datnoff, L. E., Elmer W. H., D. M. Huber (eds). Mineral nutrition and plant disease. Minnesota, USA: APS. P. 207-213.
- Takano, J., K. Miwa y T. Fujiwara. 2008. Boron transport mechanisms: collaboration of channels and transporters. En: Trends in Plant Science. Vol. 13, no. 8, p. 451-457.
- Tanaka, M. y T. Fujiwara. 2008. Physiological roles and transport mechanisms of boron: perspectives from plants. En: Pflügers Archiv European Journal of Physiology. Vol. 456, no. 4, p. 671-677
- Vargas, A., et al. 2007. Toxicidad de boro en plantaciones de banano (Musa AAA) en Costa Rica. En: Agronomía Costarricense. Vol. 31, no. 2. p. 21-28.
- Yamada, T. 2000. Boro: se están aplicando las dosis suficientes para el adecuado desarrollo de las plantas?. En: Informaciones Agronómicas. No. 90, p. 8-12.





**Nuevo  
Empaque**  
1 y 5 Litros

**Fertilizante  
foliar**



Cada **ETAPA**  
tiene su **TAPA**



Dudas, Comentarios, Sugerencias  
llame gratis al 01 8000 111212  
[www.bayercropscience.com.co](http://www.bayercropscience.com.co)





**WUXAL®**

Cada **ETAPA**  
tiene su **TAPA**

La misma **CALIDAD** en su Nuevo Empaque

- Agentes Anti-evaporantes
- Agentes Surfactantes
- Agente Adherente
- Agente Ph
- Agente De Miscibilidad

Consulte a un Ingeniero agrónomo antes de usar el producto. Para uso en otros cultivos consulte siempre a un Ingeniero agrónomo, previo análisis de suelos o foliar.

Este producto es un complemento y no un sustituto de los fertilizantes radicales o edáficos.

Wuxal ca: usos registrados gypsophylla, tomate y papa. Wuxal tapa roja: usos registrados algodón, papa. Wuxal tapa negra: usos registrados arroz, algodón, papa, zanahoria

La venta y aplicación de estos fertilizantes, debe hacerse únicamente por prescripción de un Ingeniero Agrónomo con base en el análisis de suelo o tejido foliar. Para uso en otros cultivos, consulte siempre un Ingeniero Agrónomo.

Wuxal® Ca, Registro de Venta ICA No. 3106 / Wuxal® Tapa Negra, Registro de Venta ICA No. 790 / Wuxal® Tapa Roja, Registro de Venta ICA No. 789.

Fertilizantes. Lea cuidadosamente la etiqueta antes de usar.



## 9. DESORDENES FISIOLÓGICOS EN LA PLANTA DE BANANO DURANTE LAS ETAPAS CRÍTICAS DE DESARROLLO DE LA INFLORESCENCIA, FLORES Y FRUTOS.

### 9.1 INTRODUCCIÓN

*Muchos desordenes fisiológicos que se observan en la fruta del banano son ocasionados por condiciones ambientales, de suelo y manejo adversas durante periodos críticos de desarrollo de la planta, que pueden ser durante la iniciación y diferenciación de la inflorescencia, durante la diferenciación y desarrollo de la flor o durante las primeras semanas de desarrollo del fruto cuando aún se está presentando la división celular.*

*Estos desordenes causan pérdida de productividad en las fincas bananeras, sin embargo el momento en que se generaron y los factores ambientales, de suelo y de manejo que incidieron para la presencia e incremento de estos desordenes muchas veces no son claramente entendidos. Lo que conlleva a que se tomen medidas de manejo desfasadas en el tiempo respecto al momento oportuno para realizarlas y por eso los resultados no se reflejan en la disminución de los problemas.*

*Además, cada día se presentan eventos climáticos más extremos y por esto los desordenes fisiológicos son más comunes y frecuentes y se generan mayores pérdidas económicas. Por esto hay que profundizar en su conocimiento para tomar las medidas adecuadas en el tiempo y lograr disminuir sus impactos sobre la productividad.*

## 9.2 DESORDENES FISIOLÓGICOS

### 9.2.1 Durante el Desarrollo de la Inflorescencia

Durante de la diferenciación de la inflorescencia condiciones adversas, carencia de elementos esenciales o condiciones genéticas propias de la planta, pueden originar que se presenten frutos denominados peguetas, pachas o peinetas (figura 1).

Estos frutos provienen de flores que no se diferencian adecuadamente y que se unen con otros flores con diferentes patrones, como la unión parcial de dos flores por su pedicelo (pegueta) generalmente se presentan en las manos basales. La unión de dos o más flores (pacha) se encuentra en la manos basales en tres posiciones (lateral, triple y entrefila) o por conformación de una sola fila de dedos (peinetas).

Cuando se identifica en la cosecha el incremento de uno de estos desordenes se debe correlacionar con las condiciones ambientales y nutricionales que se presentaron durante la iniciación y diferenciación floral. Esto es al menos 26 a 28 semanas antes de la semana en que se cosecho la fruta (suma de las semanas de la etapa productiva + la suma de la etapa reproductiva en la finca), para el caso la zona de Urabá.

Condiciones de sequía o exceso de agua en el suelo son dos de las condiciones asociados con el incremento de este defecto de la fruta pero las deficiencias de nutrientes como boro, zinc y calcio esenciales para procesos de diferenciación y división celular pueden de igual forma incrementar el problema.



Figura 1. Defectos de calidad en la fruta: Peguetas.



Figura 2. Defectos de calidad en la fruta: Pachas



Figura 3. Defectos de fruta: peinetas.

## 9.2.2 Durante el Desarrollo de la Flor

La flor es sensible a condiciones adversas cuando:

- El ovario y tejidos asociados se está diferenciando poco después de la iniciación floral.
- Cuando el perianto y los estambres se están formando.
- Cuando el megasporangio esta diferenciándose tres a seis semanas antes de floración (Turner *et al.*, 2007).

Condiciones adversas cuando el ovario se está diferenciando está asociado con deformación de la fruta. Estos frutos son caracterizados por un reducido número de lóculos en el ovario (figura 4), o incluso algunas flores no tienen lóculos. Las condiciones adversas durante la megasporogénesis y formación del saco embrionario ocasionan la malformación del ovulo por sí mismo (Turner *et al.*, 2007; Fortescue & Turner, 2004; Fahn *et al.* 1961).

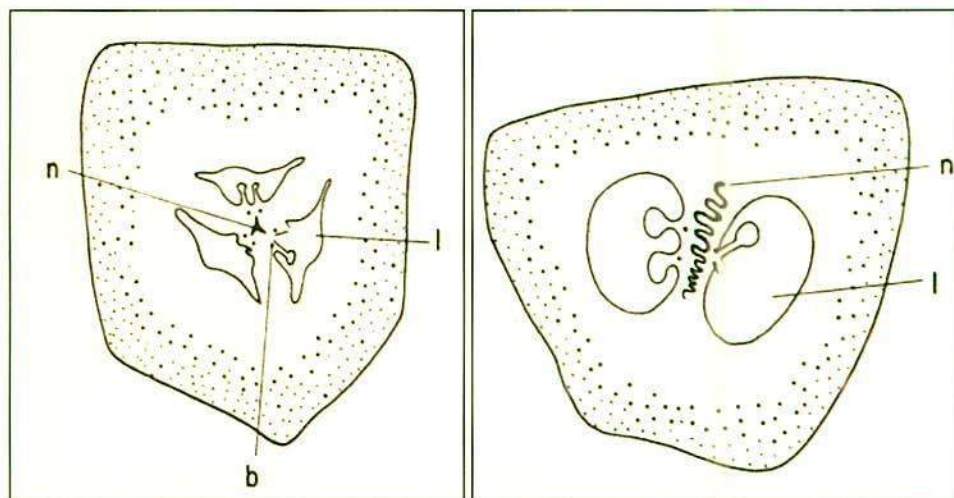


Figura 4. Flores normales mostrando tres lóculos y anormales de banano con dos lóculos. (Fahn *et al.*, 1961).

### 9.2.3 Durante el Desarrollo del Fruto

El fruto es sensible a desordenes fisiológicos en condiciones adversas durante las primeras semanas de su desarrollo cuando aun se presenta división celular. Esto se da principalmente por la carencia de nutrientes claves en los procesos de formación de pared y estabilidad de la membrana celular.

## 9.3 DESORDEN FISIOLÓGICO: MANCHA DE MADUREZ

### 9.3.1 Generalidades

La mancha de madurez es un desorden fisiológico que se presenta en los frutos del banano causado por una deficiencia de calcio, magnesio y boro o un desbalance con otros nutrientes en las células epidérmicas de la cáscara del banano (figura 5). Esto origina el colapso de las membranas celulares, seguido por la oxidación de los fluidos intracelulares (Daniells *et al.*, 1987; Díaz *et al.*, 2007).

Estos desordenes durante el desarrollo del fruto se presentan porque una vez cada célula se divide, se debe formar su pared y membrana celular, y para esto deben haber disponibilidad de los elementos necesarios para ello. Si los nutrientes no han estado previamente disponibles en la planta y tampoco son absorbidos o translocados hacia los frutos durante el periodo de división celular, los desordenes fisiológicos se presentaran y su intensidad dependerá de las condiciones ambientales durante la expansión de la células de la fruta.

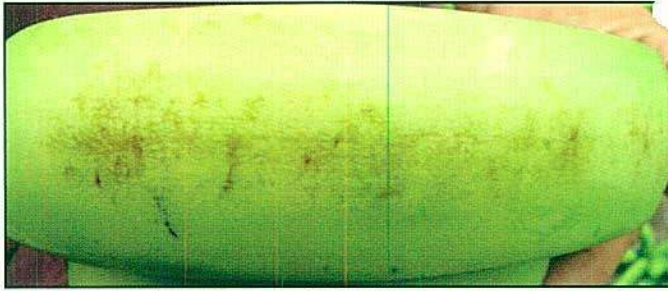


Figura 5. Mancha de madurez en banano

El primer síntoma de la mancha de madurez es una coloración marrón rojiza en la región curvada exterior de la fruta. A medida que el trastorno se intensifica la lesión se convierte en una lesión sólida. Los dedos laterales presentan mayor incidencia del problema. Los dedos torcidos o mal formados son también susceptibles a la mancha de madurez (Williams *et al*, 1990 y autores allí citados).

La tasa de crecimiento del racimo influye en la severidad con que se presenta el desorden, siendo mayor el problema a mayor tasa de crecimiento y llenado del fruto (figura 6), después de periodos de limitada absorción y movilidad de calcio hacia los frutos.

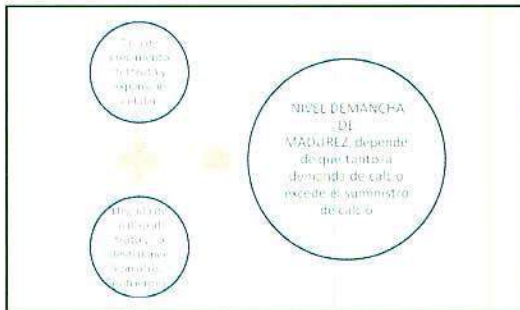


Figura 6. Variables relacionadas con los niveles de mancha de madurez.

Normalmente el desorden se observa en los frutos de las manos basales que son los de mayor crecimiento y la sintomatología empieza aparecer cerca a la cosecha. Pero, bajo condiciones extremas de absorción y translocación de calcio, magnesio o boro durante varias semanas, la sintomatología puede presentarse en todo el racimo y observarse desde etapas tempranas del desarrollo del mismo.

No debe confundirse con la sintomatología ocasionada por el trips de la mancha roja (*Chaetanaphothrips signipennis*) figura 7, aunque los dos problemas pueden estar estrechamente asociados. Las dos generan una decoloración marrón rojiza y en ambos casos las lesiones son superficiales. Sin embargo, la decoloración de mancha de madurez es en una lesión continua, entre tanto la decoloración causada por los trips tiene una forma ovalada.

Algunas diferencias de estas dos sintomatologías:

- El daño por trips ocurre principalmente al lado de los frutos, entre dedos, pero en casos severos todo el fruto puede afectarse; la decoloración tiene forma ovalada y al interior hay tejido sano; hay orificios de punción por insectos; visto al microscopio se observa que se presenta tanto grietas longitudinales y transversales en la superficie del fruto (Williams *et al*, 1990 y autores allí citados).
- La mancha de madurez se presenta en la curvatura externa del fruto principalmente y la lesión puede ser continua o difusa, no hay señales por daños por punción; visto al microscopio se observan que las grietas se presentan en el sentido longitudinal del fruto.



Figura 7. Sintomatología del daño por el trips de la mancha roja.

### 9.32 Factores asociados con mancha de madurez en banano

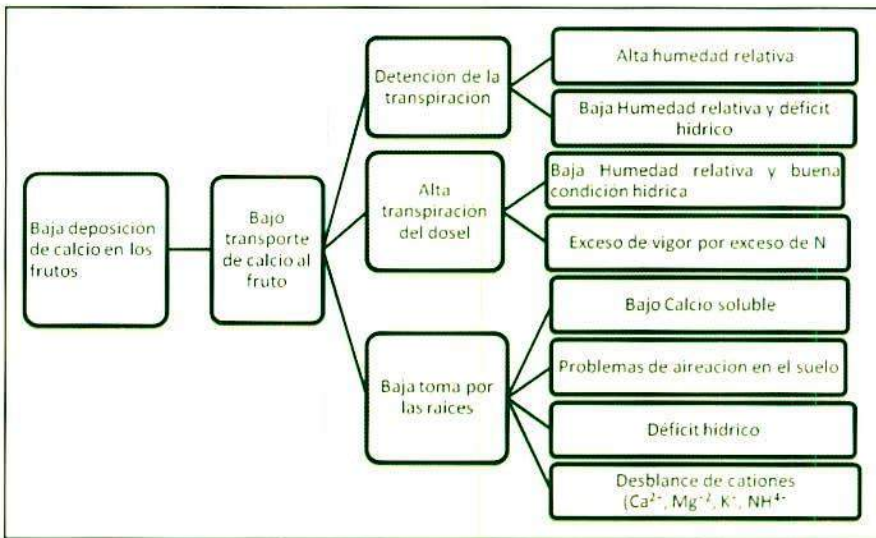
El desbalance de nutrientes al interior de los tejidos del fruto y la deficiencia de calcio, magnesio y boro se pueden dar por dos razones fundamentales:

1. La incapacidad de la planta de tomar nutrientes del suelo (Absorción). Esto se puede dar por exceso o déficit hídricos, salinidad, deficiencias o desbalances de nutrientes en el suelo.
2. La baja movilidad inherente al calcio y al boro dentro de la planta lo que puede limitar bajo ciertas condiciones ambientales su llegada al fruto (Translocación):

Por estas razones, no solamente se debe relacionar este problema con la cantidad de fertilizante aplicado (Mora y García, 2010), sino más bien al conjunto de condiciones que limiten la absorción de nutrientes o su movilidad, como las propiedades físicas del suelo y su manejo (niveles freáticos, drenaje, resistencia

a la penetración, infiltración, macro y microporosidad, etc), las condiciones ambientales, la humedad del suelo y las relaciones entre los nutrientes. Todos estos aspectos están relacionados con un adecuado crecimiento y desarrollo del cultivo y con la nutrición del mismo.

A continuación se presenta un diagrama de todos los factores asociados con la mancha de madurez en banano (figura 8).



**Figura 8.** Factores asociados a la baja deposición de calcio en los frutos y que causan la mancha de madurez.

### 9.3.3 Periodos y fases críticas relacionados con el desorden.

El rendimiento y calidad de la fruta obtenida en una semana en particular, es el reflejo del conjunto de prácticas agronómicas realizadas o no y de las condiciones ambientales que afectaron a una población de plantas durante su ciclo de vida.

Durante el desarrollo de las plantas hay etapas y fases críticas como la iniciación floral (alrededor de 14 semanas antes de la floración). Las condiciones ambientales y nutricionales previas y durante esta fase tienen una gran influencia en la determinación del potencial racimo a cosechar.

Para el caso del calcio, desde la etapa de iniciación y diferenciación floral hasta floración la acumulación en los tejidos de la planta se da en forma acelerada y en el caso del racimo la mayor acumulación se da hasta la semana 2 (figura 9).

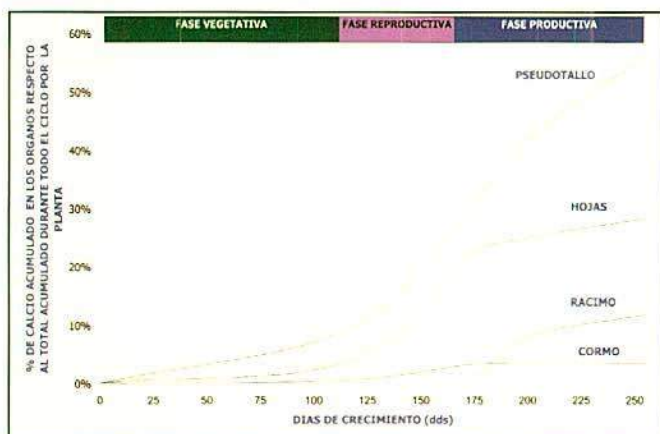


Figura 9. Porcentaje de acumulación de calcio por órgano en cada etapa del cultivo respecto a la concentración máxima de calcio en toda la planta durante el ciclo de desarrollo.

Las condiciones que limitan la absorción y movilidad de nutrientes desde la iniciación floral, durante la etapa reproductiva y hasta 2 semanas después de la floración, influyen en la manifestación de la mancha de madurez. Las condiciones previas a la floración y durante las dos primeras semanas de llenado del racimo son más críticas y determinantes en la severidad con que se presente este desorden fisiológico.

El incremento de la temperatura promedio entre 0,5 a 1 °C y un periodo de sequía prolongado, son factores que afectan la llegada de nutrientes a la fruta y por ende tiene influencia sobre el desorden fisiológico, debido a la natural disminución de la transpiración por el cierre de estomas, generando disminución de la absorción de nutrientes (figura 10).

Esta disminución de la transpiración afecta principalmente la llegada de los nutrientes que tiene baja movilidad por el floema (calcio y boro) o que su transporte en la planta es principalmente pasivo como el caso del magnesio.

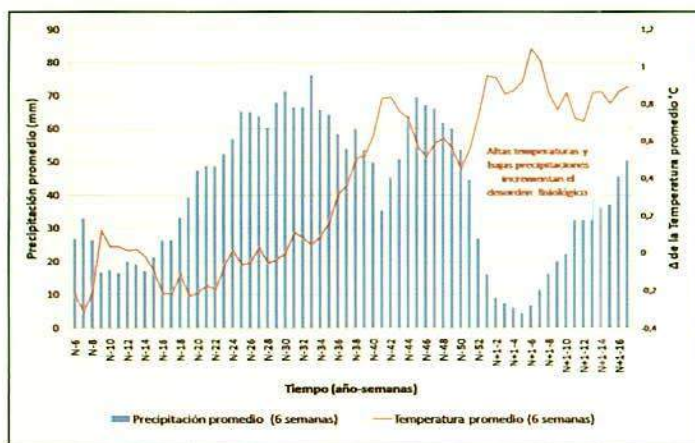


Figura 10. Factores ambientales que inciden sobre la transpiración y por ende predisponen la presencia de mancha de madurez. N: Año inicial de medición, seguido de la semana calendario.

El posterior aumento de precipitaciones durante el periodo de expansión celular de la fruta, de las poblaciones de plantas predispuestas por condiciones ambientales y nutricionales, influye sobre la severidad del desorden fisiológico. Por esto entre mayor sea el contraste en condiciones de precipitación entre el periodo de floración y el periodo de llenado de la fruta mayor será la severidad por la mancha de madurez (figura 11).

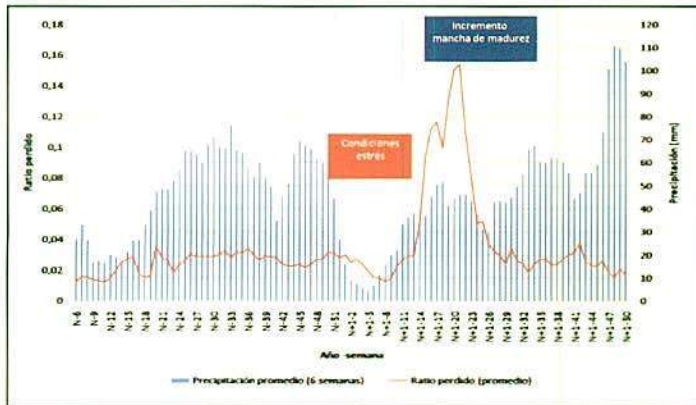


Figura 11. Variabilidad temporal de mancha de madurez y precipitaciones en la región de Urabá Colombia. N: Año inicial de medición, seguido de la semana calendario.

En periodos de déficit hídrico la absorción de nutrientes es limitada o nula y depende del estado de humedad del suelo, por esto el efecto del desorden fisiológico es diferente en fincas con y sin riego.

### 9.3.4 Disponibilidad de nutrientes en la solución del suelo

Desde la solución del suelo las plantas absorben los nutrientes que necesitan para su crecimiento y desarrollo. Los limitantes que se pueden presentar para la absorción son:

- Durante los periodos de sequía, principalmente en sistemas productivos sin riego los nutrientes no son absorbidos por las plantas ya que no se encuentran en la solución del suelo independientemente de su riqueza en el complejo de cambio, o en condiciones de baja humedad del suelo los nutrientes que se mueven hacia la rizosfera por flujo de masas es limitado.
- No hay una concentración adecuada en la solución del suelo de un determinado nutriente que satisfaga los requerimientos nutricionales del cultivo debido a:

- **Desbalance de nutrientes:**

Algunos cationes y aniones pueden predominar sobre otros. Por ejemplo, la nutrición con nitrógeno en donde se utilizan solo fuentes amoniacales o

amídicas puede reducir la absorción y concentración de calcio dentro de la planta.

De la misma manera puede haber antagonismo en la absorción de nutrientes entre calcio, magnesio y potasio, por lo que un exceso de fertilización con alguno de estos nutrientes puede limitar la absorción de los otros.

En la tabla 1 se presenta las correlaciones entre nutrientes evaluados en la cáscara de banano en fincas afectadas por mancha de madurez, durante semanas críticas del problema. El contenido de nutrientes como el calcio, magnesio y boro están correlacionados positivamente entre sí y los tres nutrientes presentaron correlaciones negativas con el potasio.

El potasio que es importante para la expansión celular, en condiciones de baja absorción y de movilidad de los demás nutrientes, su exceso o desequilibrio puede incrementar el problema fisiológico. Esto indica que el balance de nutrientes tiene una influencia sobre el desorden fisiológico.

**Tabla 1.** Correlaciones entre el contenido de nutrientes en la cáscara de la fruta en banano en periodos de alta severidad por mancha de madurez.

	sem	N	P	K	Ca	Mg	S	Cl	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Na
sem	1,00	0,23	-0,26	-0,17	0,13	0,14	-,390(*)	-0,03	-,406(*)	0,22	-,745(**)	-,424(*)	-,396(*)	-,407(*)
N	0,23	1,00	-0,08	0,23	-0,05	-0,13	0,15	0,33	0,15	0,13	-0,11	-0,23	-0,18	0,11
P	-0,26	-0,08	1,00	,655(**)	-0,12	-0,06	,642(**)	,399(*)	-0,20	-0,17	0,22	,743(**)	,395(*)	,411(*)
K	-0,17	0,23	,655(**)	1,00	-,598(**)	-,605(**)	,596(**)	,527(**)	-0,13	-0,01	0,22	,582(**)	0,14	0,27
Ca	0,13	-0,05	-0,12	-,598(**)	1,00	,926(**)	-0,32	-0,25	-0,13	-0,27	-0,18	-0,27	,382(*)	0,03
Mg	0,14	-0,13	-0,06	-,605(**)	,926(**)	1,00	-0,35	-0,18	-0,16	-0,29	-0,19	-0,19	,365(*)	0,01
S	-,390(*)	0,15	,642(**)	,596(**)	-0,32	-0,35	1,00	0,17	0,21	0,21	0,35	,672(**)	0,01	,398(*)
Cl	-0,03	0,33	,399(*)	,527(**)	-0,25	-0,18	0,17	1,00	-,428(*)	-0,21	-0,08	0,34	0,12	0,33
Fe	-,406(*)	0,15	-0,20	-0,13	-0,13	-0,16	0,21	-,428(*)	1,00	,410(*)	,492(**)	0,04	-0,22	-0,19
Mn	0,22	0,13	-0,17	-0,01	-0,27	-0,29	0,21	-0,21	,410(*)	1,00	-0,01	0,06	-,556(**)	-0,33
Cu	-,745(**)	-0,11	0,22	0,22	-0,18	-0,19	0,35	-0,08	,492(**)	-0,01	1,00	,383(*)	0,15	0,00
Zn	-,424(*)	-0,23	,743(**)	,582(**)	-0,27	-0,19	,672(**)	0,34	0,04	0,06	,383(*)	1,00	0,16	0,28
B	-,396(*)	-0,18	,395(*)	0,14	,382(*)	,365(*)	0,01	0,12	-0,22	-,556(**)	0,15	0,16	1,00	,489(**)
Na	-,407(*)	0,11	,411(*)	0,27	0,03	0,01	,398(*)	0,33	-0,19	-0,33	0,00	0,28	,489(**)	1,00

\* Correlaciones significativas estadísticamente entre nutrientes. \*\* Correlaciones altamente significativas entre nutrientes.

- **Solubilidad de nutrientes**, muchas de las especies químicas presentes en el suelo son poco solubles y no pasan a la solución del suelo con la rapidez y cantidad necesaria que lo requiere el crecimiento del cultivo.

Por esta razón, en muchas ocasiones no se encuentran correlaciones entre el contenido de nutrientes en el suelo y el contenido de nutrientes en la planta, como se indica en las figuras 12 y 13. Por esto los análisis de suelos, que son una herramienta en la toma de decisiones de nutrición del cultivo, deben interpretarse con precaución y junto con los análisis foliares y las condiciones ambientales de la zona.

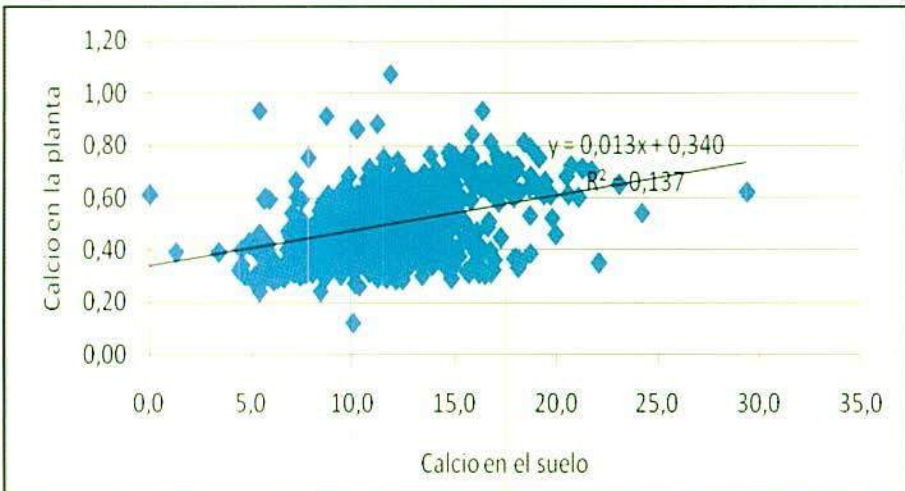


Figura 12. Relación entre el contenido de Calcio en el suelo vs el contenido de calcio foliar

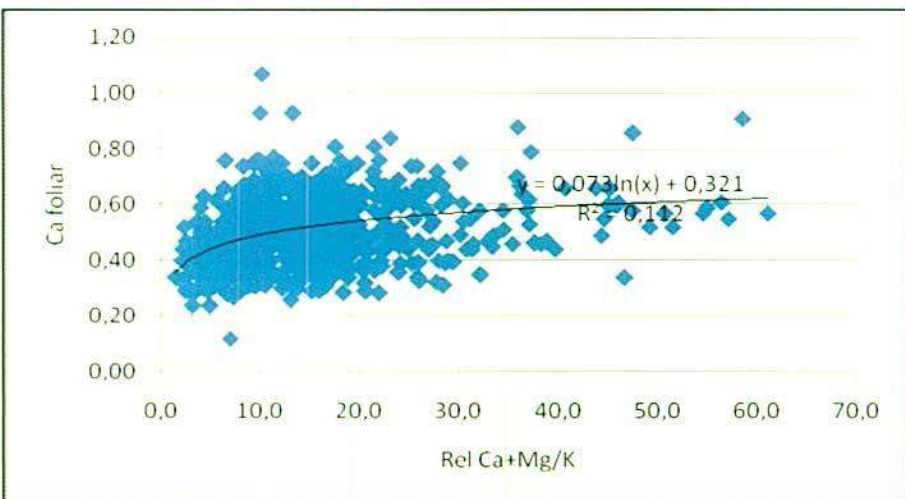


Figura 13. Regresión entre la relación Ca +Mg/ K en el suelo y el contenido de Calcio foliar.

### 9.3.5 Movilidad de nutrientes en la planta

Cuando los elementos minerales han sido absorbidos por las raíces son transportados hacia órganos como las hojas y frutos a través de los vasos xilemáticos. La fuerza motora de este transporte es la corriente transpiratoria. Las hojas, en comparación con los frutos, presentan una mayor tasa de transpiración y por tanto, la llegada de nutrientes a través de la corriente transpiratoria es mayor en dichos tejidos y menor en los frutos. El calcio tiene baja o nula movilidad a través del floema.

Los nutrientes que tiene baja movilidad por el floema y los que llegan a la superficie de la raíces a través de flujo de masas son los que están asociados a este desorden fisiológico, como el caso de calcio, magnesio y boro.

La disponibilidad de nutrientes para el crecimiento y llenado del racimo durante dicha condición adversa, proviene de las reservas del nutriente dentro de la planta, pero si la transpiración es afectada severamente su movilidad será limitada.

Las plantaciones con un manejo adecuado de nutrición y fertilización del cultivo que contemple periodos críticos de aplicación de nutrientes van a disminuir el problema, pero bajo condiciones adversas extremas este no desaparece completamente, porque la movilidad de los nutrientes asociados al desorden, depende de la corriente transpiratoria que disminuye en condiciones de sequía, temperaturas altas, etc.

### 9.3.6 Manejo agronómico para reducir el impacto de mancha de madurez

La variabilidad en la magnitud de las pérdidas en producción entre las fincas de una misma zona, está influenciado por el manejo agronómico específico realizado en cada finca y el nivel de productividad; por esto algunas son afectadas en mayor grado que otras. Algunas prácticas relevantes que ayudan a reducir el impacto de la mancha de madurez son:

#### Aireación del suelo

Bajo condiciones de baja disponibilidad de oxígeno, el crecimiento radical es afectado y la absorción de nutrientes se reduce o se detiene independientemente de su disponibilidad en la solución del suelo.

Por esto hay que mejorar las condiciones de aireación de acuerdo a las condiciones específicas de cada lote, con prácticas que permitan descompactar el suelo y mejorar la infiltración del agua en el perfil del mismo, como el "hércules

o trincheo" realizado planta a planta o el subsolado generalizado del suelo (figura 14).



Figura 14. Prácticas de fraccionamiento mecánico y manual del suelo.

El hércules planta a planta, debe realizarse antes de iniciación y diferenciación floral y se recomienda que sea específico a cada unidad productiva. En términos prácticos se debe realizar así:

- Seleccionar plantas que tengan racimos de 7 y 8 semanas de identificados (depende de cada finca).
- En esas plantas realizar el hércules con aplicación de materia orgánica o enmienda a los hijos de sucesión. Gran parte de los hijos de sucesión de estas plantas les faltan varias semanas antes de la iniciación y diferenciación floral, por lo que el efecto de la práctica es leve fisiológicamente.
- Cada dos semanas se deben seleccionar la nuevas plantas sobre las que se realizará la práctica.
- Bajo este sistema el número de veces a realizar hércules es el mismo valor del retorno calculado en la finca, esto quiere decir que si la finca tiene un

retorno de 1,5, este es el número de veces que por unidad de área se realizara el hércules durante el año.

Si la práctica del hércules se hace de manera generalizada, sin tener en cuenta los estados fenológicos y se concentra en un lapso de tiempo determinado, hay la desventaja que una parte de la población se encontraría en las fases críticas de iniciación y diferenciación floral y pueden ser estresadas, aspecto que debe tenerse en cuenta para determinar la época del año más apropiada.

Por esto, se recomienda para la zona de Urabá realizar el Hércules generalizado durante el segundo semestre de cada año cuando haya una proporción de plantas jóvenes y próximas a la diferenciación floral (les falta algunas semanas para llegar a dicha fase) previa evaluación poblacional, esto se presenta generalmente alrededor de la semana 40. Esto además estimula el crecimiento de radical de las plantas que se cosecharan durante el primer semestre del año. Bajo este sistema se debe realizar la práctica del hércules al menos una vez al año.

#### ● **Mantenimiento adecuado de la red de drenajes**

Se debe garantizar una evacuación adecuada del exceso de agua en el suelo para un apropiado crecimiento radical y absorción de nutrientes. Por lo tanto hay que monitorear los niveles freáticos y la velocidad de infiltración del agua en el suelo y con base en esta información determinar las adecuaciones o construcciones a realizar en la red de drenaje.

#### ● **Monitoreo de la humedad del suelo en fincas con riego**

Se debe realizar el monitoreo del contenido de humedad de agua en la zona de mayor desarrollo radical de las plantas (0-60 cm), para que con dicha información y con la información climática disponible, se puedan tomar decisiones de frecuencias y cantidades apropiadas de riego de acuerdo a las características particulares de cada finca.

#### ● **Aplicación de nutrientes**

Realizar el plan de fertilización que contemple aspectos como:

1. La extracción de nutrientes por el cultivo que depende del nivel de productividad esperado.
2. La dinámica de acumulación de nutrientes.
3. Determinar las épocas críticas de aplicación de acuerdo con el comportamiento de los estados fenológicos de la población de plantas.

4. Hacer los ajustes al plan de acuerdo con los contenidos de nutrientes y la relación de bases que se presentan en el suelo.
- **Monitoreo de las condiciones climáticas para tomar decisiones de corte de fruta**

Es indispensable monitorear las condiciones climáticas para tomar medidas durante las épocas de riesgo como ya se indicó, que reduzcan el efecto. Por ejemplo realizar “precorte del racimo” para evitar un mayor grado de fruta y por ende disminuir la severidad de la mancha de madurez.

- **Evaluación de prácticas de protección de la fruta que limiten la transpiración en algunos periodos del año.**

En algunos periodos del año El guantelete puede ser un factor adicional que limite la transpiración del fruto, por lo que se debe evaluar la pertinencia de su uso en la época de sequía y en las semanas de alta humedad relativa por excesivas lluvias y bajo brillo solar. Su uso va a depender del nivel de pérdida de fruta por cicatrices de crecimiento versus las pérdidas por mancha de madurez. Esta decisión debe tomarse para las condiciones particulares de cada finca.

## BIBLIOGRAFIA

- Daniells, J. W., et al.. 1987. Soil water stress at bunch emergence increases maturity bronzing of banana fruit. En: *Queensland Journal of Agriculture of Animal Science*. Vol. 44, no. 2, p. 97-100.
- Díaz, A., G. Cayón y J. J. Mira. 2007. Metabolismo del calcio y su relación con la "mancha de madurez" del fruto de banano: una revisión. En: *Agronomía Colombiana*. Vol. 25, no. 2, p. 280-287.
- Fahn, A., N. Klarman Kislev y D. Ziv. 1961. The abnormal flower and fruit of may-flowering dwarf Cavendish bananas. En: *Botanical Gazette*. Vol. 123, no. 2, p. 116-125.
- Fortescue, J. A. y D. W. Turner. 2005. The association between low temperatures and anatomical changes in preanthetic ovules of musa (Musaceae). En: *Scientia Horticulturae: an international journal*. Vol. 104, no. 4, p. 433-444.
- Mora P., I. y J. García M. 2010. Efecto de dos programas de fertilización sobre rendimiento, sigatoka negra y mancha de madurez en banano. En: *XIX Reunión Internacional ACORBAT 2010. Memorias*. P. 525-526.
- Turner, D. W., J. A. Fortescue y D. S. Thomas. 2007. Environmental physiology of the bananas (*Musa* spp.). En: *Brazilian Journal of Plant Physiology*. Vol. 19, no. 4, p. 463-484.
- Williams, M. H., M. Vesk, y M. G. Mullins. 1990. Development of the banana fruit and occurrence of the maturity bronzing disorder. En: *Annals of Botany*. Vol. 65, no. 1, p. 9-19.

## 10. EFECTO DEL EXCESO DE AGUA EN LA FISIOLOGÍA DEL BANANO Y EN EL SUELO.

### 10.1 INTRODUCCIÓN

*Como resultado de la variabilidad climática, cada vez son más frecuentes y prolongados los eventos climáticos extremos como las precipitaciones de mayor intensidad, que impactan la actividad bananera, ocasionando principalmente sobresaturación de agua en los lotes de cultivo.*



Figura 1. Sobresaturación de agua en lotes de banano.

*Por esto, es necesario revisar con mayor profundidad los efectos del exceso de agua en el suelo sobre el desarrollo, crecimiento y productividad de los cultivos, para diseñar estrategias de adaptación y estar preparados para afrontarlos desde el punto de vista técnico y económico siendo menos vulnerables a dichos eventos.*

*La saturación del agua en el suelo es común en áreas que presentan altos niveles de precipitación a través del año, pobre drenaje natural del suelo y*

*alta fluctuación de la tabla de agua (figura 2), esto afecta el crecimiento y productividad de los cultivos.*



**Figura 2.** Moteados grises y rojos en los suelos evidencias de fluctuaciones en la tabla de agua en el suelo.

*La saturación del agua en el suelo induce cambios en las propiedades físicas, químicas y microbiológicas, del suelo, que afectan la fisiología, morfología y anatomía de las plantas. Los principales efectos son la disminución en el crecimiento de tallos y raíces, disminución de la toma de nutrientes y en la acumulación y distribución de la materia seca y el incremento en la senescencia y mortalidad de los órganos de las plantas.*

## 10.2 GENERALIDADES

Las plantas son organismos aerobios y el oxígeno es el aceptor terminal de electrones en la ruta de fosforilación oxidativa, que es el proceso de formación del ATP para el metabolismo celular. De acuerdo con la disponibilidad de oxígeno son diferentes los mecanismos que tienen las células de las plantas para la producción de energía en forma de ATP.

En condiciones normales de oxígeno, la respiración es aeróbica y el metabolismo se lleva a cabo normalmente y más eficientemente. A medida que decaen los niveles de oxígeno disponible en el suelo (hipoxia) se limita la producción de ATP y la respiración anaeróbica explica una mayor proporción de la producción de ATP. Bajo la carencia total de oxígeno disponible (anoxia) el ATP solo se produce a través de la respiración anaeróbica (Ecuación 1).

**Aerobiosis:**  $1 \text{ glucosa} + 6 \text{ O}_2 \text{ ----- } 6 \text{ CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + 38 \text{ ATP}$

**Anaerobiosis:**  $1 \text{ glucosa} \text{ ----- } 2 \text{ Ac. láctico} + 2 \text{ ATP}$

**Ecuación 1.** Comparación de la Producción de ATP en condiciones aeróbicas y anaeróbicas.

La respiración anaeróbica es muy ineficiente, por lo tanto la disponibilidad de energía necesaria para el crecimiento y desarrollo cuando hay carencia de oxígeno es menor y el vigor de la planta se afectará así como la productividad de la misma.

Entonces el principal problema de la saturación de agua en el suelo es la disminución de la disponibilidad de oxígeno para órganos que se encuentran sumergidos, raíz y rizoma de las plantas de banano. La saturación de agua desplaza el aire desde el suelo lo que reduce el nivel de oxígeno, además el oxígeno se difunde 10.000 veces más lento en el agua que el aire.

El oxígeno disponible es rápidamente consumido por los microorganismos del suelo y por la respiración de las raíces de las plantas, lo que conduce a varios niveles de agotamiento del oxígeno (hipoxia) o ausencia (anoxia) y se genera un ambiente reductor en el suelo (Figura 3).



**Figura 3.** Drenaje superficial saturado con agua.

## 10.3 EFECTOS EN LA PLANTA

### 10.3.1 Afecta la fotosíntesis

La saturación de agua afecta la emisión y expansión de las hojas e induce senescencia foliar prematura y abscisión, todo esto tiene un efecto en la inhibición del crecimiento de la planta al afectar el tamaño del sistema fotosintético (Figura 4).

Por otro lado, se induce una reducción en la eficiencia con la que la planta realiza la fotosíntesis, lo cual está correlacionado con la caída en la absorción de  $\text{CO}_2$  como resultado del cierre estomático, este es un mecanismo de las plantas para evitar la pérdida interna de agua (Chen *et al.*, 2005).

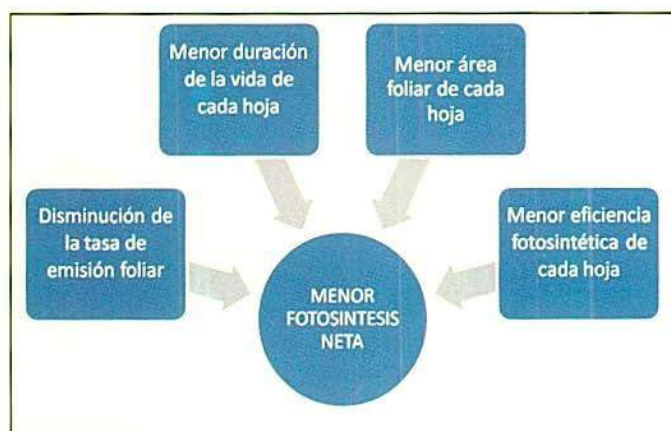


Figura 4. Efectos sobre el sistema foliar de las plantas que afectan la fotosíntesis bajo condiciones de suelos con poco oxígeno.

## 10.2.2 Afecta el crecimiento radical

El crecimiento de la raíz se reduce por la escasez de oxígeno disponible para su respiración y por la presencia de compuestos tóxicos que inhiben la formación de raíces (Dat *et al.*, 2004) (figura 5).



Figura 5. Bajo las condiciones reductoras la materia orgánica del suelo se descompone produciendo compuestos tóxicos para el crecimiento radical.

La hipoxia y el etileno afectan tanto el transporte dentro de la planta del ácido indol acético (AIA) y conduce a su acumulación en la base de los tallos, por esto los altos niveles de etileno estimulan la formación de raíces adventicias.

### 10.2.3 Incremento de la producción de especies reactivas de oxígeno.

La exposición de las plantas a condiciones ambientales adversas ocasiona estrés oxidativo, esto es un desequilibrio entre la producción de especies reactivas de oxígeno y la capacidad para eliminarlos a través de los mecanismos de defensa antioxidante que tienen las plantas.

La escasez de oxígeno en la raíz tiene un importante componente oxidativo, ya que esta situación genera la acumulación de especies reactivas de oxígeno como superóxidos, peróxido de hidrógeno y radicales de hidrógenos en la hoja, estos ocasionan daños a nivel celular en los tejidos vegetales. La peroxidación de lípidos es considerada como un mecanismo importante de la senescencia foliar.

### 10.2.4 Disminución de la toma y absorción de nutrientes

En suelos con bajos contenidos de  $O_2$  el crecimiento más lento y la caída de la respiración radical, originan disminución en la absorción de nutrientes y en el transporte de minerales a la parte aérea, causando disminución de la concentración de la mayoría de los elementos en las hojas como N, P, K, Ca, S, Mg, Zn y B (Chen *et al.*, 2005), generalmente representado todo esto en clorosis de las hojas (figura 6).

El nitrógeno es un constituyente clave de enzimas fotosintéticas, especialmente en la enzima Rubisco.

Alrededor del 75% del nitrógeno de las hojas está contenido en los cloroplastos. Bajo deficiencia de nitrógeno se produce degradación de clorofilas lo que conduce a pérdidas de color verde en las hojas.

El potasio es activador de muchas enzimas fotosintéticas, está involucrado en la asimilación de  $CO_2$ , en la regulación del transporte de azúcares en el floema, es un osmolito importante relacionado la expansión de tejidos de la planta y es importante para la regulación hídrica de la planta.



Figura 6. Deficiencia de nitrógeno.

El magnesio es un importante componente de la clorofila y está involucrado en la activación de un gran número de enzimas fotosintéticas, partición de carbohidratos y carga del floema. La deficiencia de magnesio afecta la función de cloroplastos y la transferencia de electrones en el fotosistema II.

La disminución de la fotosíntesis en hojas altas en manganeso es causada por la inhibición de la reacción RuBP carboxilasa, debido al reemplazo del  $Mg^{2+}$  por el  $Mn^{2+}$  (Marschner, 1995). Probablemente esto ayuda a explicar porque los síntomas asociados a la deficiencia de magnesio es uno de los más notables después de épocas de saturación de agua (figura 7).

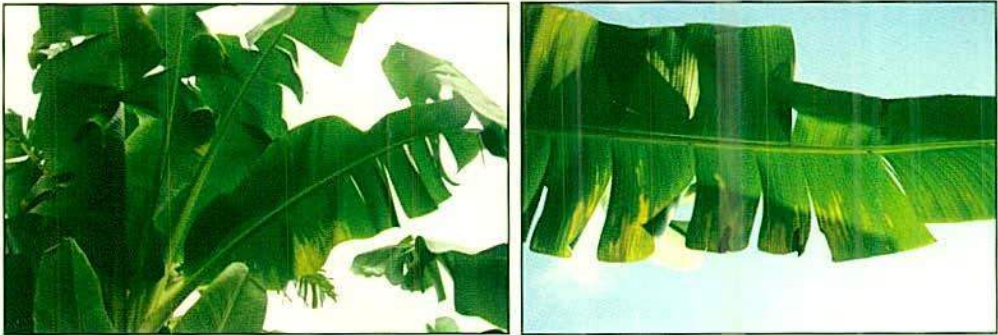


Figura 7. Síntomas de deficiencia de magnesio asociados a la menor biodisponibilidad de este nutriente bajo condiciones de carencia de oxígeno.

El calcio hace parte de la lámina media, de las paredes y membranas de la célula, además, participa en la división y extensión celulares, influye en la compartimentalización de la célula, modula la acción de hormonas y señales, y contribuye al equilibrio iónico de la célula (Díaz *et al.*, 2007). La menor llegada de este nutriente a los frutos a causa de la sobresaturación de agua, es posiblemente una de las razones de la menor durabilidad de la vida verde de la fruta.

La toma de azufre en las plantas está estrechamente interrelacionada con la del nitrógeno, en la mayoría de las especies alrededor del 70% del azufre esta los aminoácidos cisteína y metionina constituyentes de proteínas y enzimas de los tejidos vegetales. Un compuesto azufrado dentro de las plantas es el glutatión que es un antioxidante que protege a las plantas al reducir o eliminar especies reactivas de oxígeno.

### 10.2.5 Deficiencia de Boro y zinc y aumento de radicales libres.

El boro y zinc ayudan a las plantas a reducir el estrés generado por condiciones ambientales extremas como sequías y excesos de agua, debido a que reducen los impactos de los radicales libres de oxígeno que se generan bajo estas condiciones, además de sus otras funciones dentro de las plantas.

Por ejemplo, para hacer frente a los radicales libres de oxígeno las plantas poseen enzimas como la superóxido dismutasa (SOD), ascorbato peroxidasa y catalasas. Las enzimas SOD están implicadas en la desintoxicación de radicales superóxidos y el zinc es el componente metálico de la enzima CuZnSOD que se encuentra en los cloroplastos (Arbona et al., 2008).

Por lo anterior, muchos de los síntomas más obvios de deficiencia de zinc como la clorosis y necrosis foliar, inhibida elongación caulinar y la incrementada permeabilidad de membrana son expresiones del estrés oxidativo llevado a cabo por la mayor generación de radicales libres de oxígeno.

El boro está implicado en el metabolismo de los fenoles y si hay carencia estos se acumulan en las vacuolas. Bajo condiciones de estrés, debido a los daños que se presentan en los tejidos celulares hay mezclas de compuestos que normalmente se encuentran confinados en diferentes compartimentos celulares.

Por lo anterior, se produce la mezcla entre fenoles y la enzima polifenol oxidasa y esta combinación da origen a intermediarios altamente reactivos capaces de dañar las membranas celulares mediante la peroxidación lipídica. Por esto, una planta con un adecuado suministro de boro acumulará menos fenoles y habrá menos sustrato para generar intermediarios reactivos que causen daños celulares (Kirkby y Römheld, 2007).

## 10.2.6 Aumento de la absorción de nutrientes que pueden causar toxicidad

En suelos con un bajo contenido de  $O_2$ , 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 8).



**Figura 8.** Toxicidad en hojas de banano asociada a mayor biodisponibilidad de hierro y manganeso.

La baja concentración de oxígeno en la rizosfera reduce la selectividad de la toma  $K^+/Na^+$  a favor del Na y retrasa el transporte del K a la parte aérea.

### 10.2.7 Desbalance entre fitoreguladores

La dinámica de los fitoreguladores en las plantas es complejo y más aun bajo condiciones de inundación.

La inundación (ó anaerobiosis) inhibe el crecimiento radical y la síntesis y transporte a la parte aérea de citocininas y giberelinas. Los fitoreguladores desempeñan una función importante en la senescencia foliar.

#### ● Etileno

La producción de etileno en muchas especies es una respuesta adaptativa de las plantas ante la escasez de oxígeno. La epinastia que es curvatura hacia abajo de las hojas, es el resultado de la acumulación del precursor de etileno ACC en raíces que están sumergidas, el cual es transportado a través del flujo transpiratorio a la parte aérea de la planta, donde la presencia de oxígeno permite su conversión a etileno (Grichko *et al.*, 2001).

A nivel de raíz, el etileno tiene un efecto al incrementar la sensibilidad de las plantas a las auxinas y guiar a la producción de raíces adventicias (Shiono *et al.*, 2008) (figura 9).



Figura 9. Raíces adventicias, respuesta de las plantas como mecanismo para la toma de oxígeno.

Por otro lado, el etileno producido en el suelo por bacterias normalmente no se acumula en el, pero en condiciones de suelos sobresaturados en la zona radical el etileno se presenta en concentraciones elevadas.

#### ● Acido abscísico

El ABA, históricamente y de manera equivocada se ha considerado como un inhibidor del crecimiento, regula procesos como división y elongación celular, apertura estomática, desarrollo radical, transición floral y tolerancia a estreses bióticos y abióticos (Hancock *et al.*, 2011).

Se estudió inicialmente para entender la caída de frutos y hojas en las plantas y la latencia de yemas, ahora se le reconoce su participación el cierre estomático y

por ende en el control de la transpiración de la planta, está implicado en controlar la pérdida de agua a través de los estomas en condiciones de estrés.

El ABA es uno de las hormonas más efectivas de plantas en términos de promoción de senescencia foliar. El incremento endógeno de ABA coincide con la senescencia foliar en múltiples especies ya que es relacionado con la generación de especies reactivas de oxígeno que pueden iniciar la peroxidación de lípidos.

### ● Giberelinas

Las GA son consideradas como promotoras de crecimiento que regulan positivamente procesos como elongación del tallo, expansión de hojas (figura 10), floración y desarrollo del fruto y transición floral. Las giberelinas retrasan senescencia en muchas especies (Yu *et al.*, 2009).

Figura 10. Arrepollamientos consecuencia del efecto del exceso de agua sobre la producción de reguladores de crecimiento como giberelinas y de la baja absorción de nutrientes.



En varios procesos como transición floral y desarrollo de frutos las giberelinas y el ABA tienen efectos antagónicos, normalmente giberelinas promoviendo y ABA inhibiendo dichos procesos (Razem *et al.*, 2006).

### ● Citocininas

Las citocininas juegan un rol central en el desarrollo de las plantas incluyendo división celular, diferenciación celular, senescencia foliar, y dominancia apical (Perilli *et al.*, 2010). Las citocininas son sintetizadas en los meristemos apicales de raíz y tallos y durante la emergencia de las hojas. En estos sitios la actividad metabólica se reduce y las células mueren por la saturación de agua.

La senescencia prematura en plantas expuestas a estrés por exceso de agua se atribuye a la reducción a síntesis de citocininas y su transporte a la parte aérea. Las citocininas retrasan la senescencia foliar mientras el ABA lo acelera.

Las citocininas no evitan la senescencia por completo pero la retrasan mediante la movilización de nutrientes, uno de los indicadores de la senescencia de la hoja es la degradación de clorofilas (figura 11). Por el contrario, el ABA acelera la senescencia a través del aumento del etileno.



Figura 11. Abscisión prematura de hojas asociado a desbalance endógenos entre reguladores de crecimiento.

## ● Auxinas

Las auxinas regulan muchas respuestas del desarrollo de la planta, estas juegan un papel en el establecimiento y elaboración del diseño de meristemas radicales. Las auxinas son sintetizadas aunque no exclusivamente en las partes aéreas de las plantas y son redistribuidas dentro del cuerpo de la planta a través de una compleja red de transporte. A larga distancia el transporte de auxinas hacia la raíz se da través de floema. Estos procesos son esenciales para la división de las células de la raíz y su elongación, de esta manera regula el crecimiento radical.

## 10.3 EFECTO DE LA SATURACIÓN DEL AGUA EN EL SUELO

El exceso del agua altera las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, lo que se traduce en una pérdida progresiva de su capacidad productiva.

El exceso de agua ocasiona déficit o carencia de oxígeno en la zona radical debido al ascenso del agua y permanencia del nivel freático alto por encima de 1 m (figura 12) ó sí la intensidad de las precipitaciones exceden la infiltrabilidad del suelo se producen encharcamientos superficiales (figura 13) que pueden ser más prolongados sí hay problemas de compactación del suelo o por la micro topografía irregular del terreno (topografía cóncava).



**Figura 12.** Condiciones de óxido-reducción, causado por Ascenso y descenso del nivel freático, en suelo cultivado en banano



**Figura 13.** Encharcamientos superficiales en una finca bananera

Las condiciones de reducción y oxidación en el suelo, determinan la dinámica de diversos nutrientes como el hierro, el manganeso, el nitrógeno, el carbono, el azufre y otros en el suelo, o sea aquellos elementos que pueden existir en el suelo en dos o más estados de oxidación. Estas reacciones, conocidas como de óxido-reducción o redox participan en una multitud de procesos químicos y biológicos.

En los suelos una forma de conocer que reacciones químicas están predominando es a través del potencial redox, que es una medida cuantitativa de un determinado sistema a oxidar o a reducir sustancias susceptibles.

El potencial redox es positivo y alto en sistemas fuertemente oxidantes y negativo y bajo en sistema fuertemente reductores (figura 14) (Unger *et al.*, 2009).

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 $Mn^{2+}$	350 - 450
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 14.** Reacciones en el suelo bajo diferentes niveles de potencial redox del suelo.

A continuación se describen brevemente lo que sucede en los suelos.

### 10.3.1 Desnitrificación

Tan pronto como el oxígeno libre se ha agotado en el suelo, el nitrato es usado por los microorganismos del suelo como un aceptor alternativo de electrones en la respiración.

La desnitrificación es el proceso microbiano por el cual el nitrógeno en forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) es reducido a formas gaseosas principalmente óxido nítrico (NO), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) y nitrógeno elemental  $\text{N}_2$ .

Los principales microorganismos que llevan a cabo la desnitrificación son bacterias anaeróbicas facultativas y heterótrofas ya que utilizan fundamentalmente la materia orgánica del suelo como fuente de carbono y energía.

### 10.3.2 Aumento de la biodisponibilidad de manganeso

Los óxidos de manganeso principalmente en estado de oxidación  $\text{Mn}^{4+}$  al agotarse el nitrato del suelo son los siguientes aceptores de electrones, por esto a pH alrededor de 5, en un periodo de 3 días de sobresaturación de agua, pueden concentrarse altos niveles de  $\text{Mn}^{2+}$  intercambiable y soluble en agua que conduce a un contenido de manganeso en las hojas que es tóxico (Marschner, 1995).

### 10.3.3 Aumento de la biodisponibilidad de hierro

Después de una prolongada inundación se presenta la reducción del  $\text{Fe}^{3+}$ , de esta forma se incrementa su disponibilidad y las plantas pueden sufrir de niveles excesivos de hierro (Acevedo-Sandoval., 2004) (figura 15).



**Figura 15.** Moteados rojos y grises en el suelo Evidencias de las fluctuaciones en los niveles de oxígeno en el suelo.

### 10.3.4. Deterioro en la red de drenaje

El exceso de agua en el suelo tiene un impacto directo al afectar la infraestructura de drenajes (figura 16) ya sea por derrumbe de los taludes en los canales (figura 17) o por la sedimentación de los drenajes (figura 18).



Figura 16. Obstrucción de la salida de agua, evidencia del deterioro generalizado de la red de drenajes.



Figura 17. Erosión de suelos en fincas bananeras.



Figura 18. Sedimentación en canales de drenaje.

### 10.3.5 Arrastre de materiales a los lotes

Si en el cultivo ha habido inundaciones debido a desbordamientos de quebradas o ríos pueden llegar materiales indeseables que se convierte en obstáculo para el adecuado crecimiento y desarrollo del cultivo (figura 19).



Figura 19. Materiales vegetales depositados por arrastre durante inundaciones.

Además puede presentarse la acumulación de partículas que generan una nueva capa superficial de suelo, esta nueva capa tiene efectos en las propiedades físicas del suelo que pueden limitar el crecimiento del cultivo y además generalmente presentan un comportamiento químico diferente que debe analizarse (figura 20).



Figura 20. Acumulación de sedimentos en el lote.

## 10.4 MANEJO AGRONÓMICO PARA REDUCIR EL IMPACTO DEL EXCESO DE AGUA

### 10.4.1 Prácticas preventivas

- **Evaluar frecuentemente el nivel freático.**

Para el manejo adecuado de problemas de drenaje subterráneo es necesario conocer la variabilidad del nivel freático espacial y temporalmente. En las fincas bananeras que cuentan con pozos de observación del nivel freático (figura 21), estos se deben medir entre 48 a 72 horas después de que se presenten eventos de precipitación significativos. Esto ayuda a conocer el comportamiento espacial de la tabla de agua en la finca.

Si para describir la variabilidad de los niveles freáticos no hay la cantidad de pozos suficientes o su distribución no es la adecuada, es importante contemplar la posibilidad de construir nuevos pozos de observación que complementen la red de pozos existentes (Higuita y Sánchez, 2012). En fincas nuevas es importante desde el inicio implementar una adecuada de red de pozos.

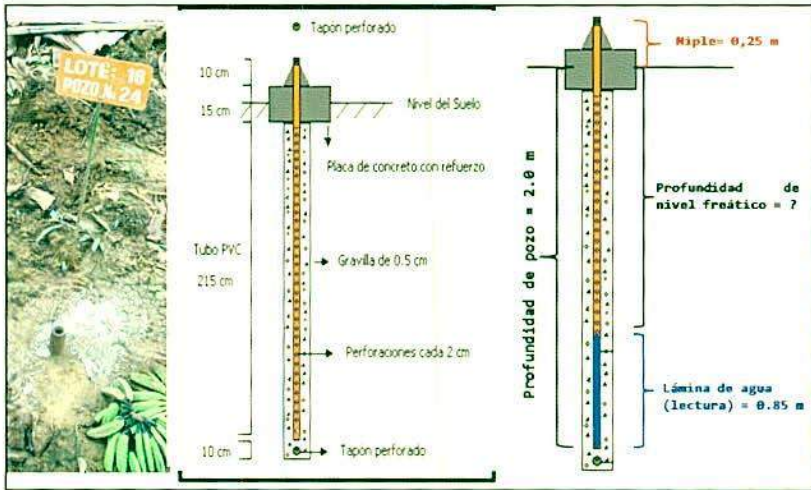


Figura 21. Características de pozos de observación para su construcción y medición (Higueta y Sánchez, 2012).

Con la información de los pozos de observación se puede obtener los mapas de isohipsas e isobatas. Las isohipsas son líneas que unen puntos de igual cota de nivel freático. A partir de estas se puede determinar la dirección del flujo del agua subterránea (figura 22). Si se cuenta con la altimetría de los pozos de observación se pueden generar las isobatas que son líneas que unen puntos de igual profundidad en el nivel freático, estas nos ayudan a delimitar áreas críticas del nivel freático en la finca (figura 23).

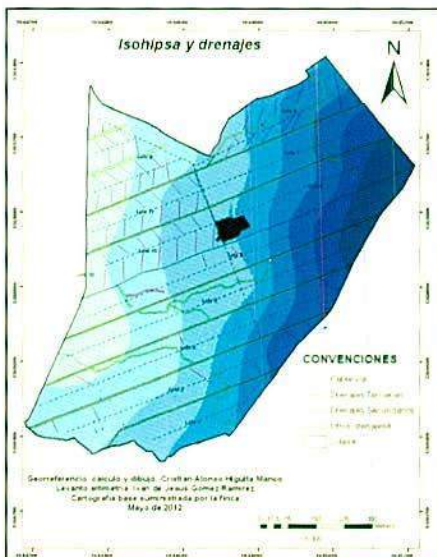


Figura 22. Mapa de isohipsas de una finca.

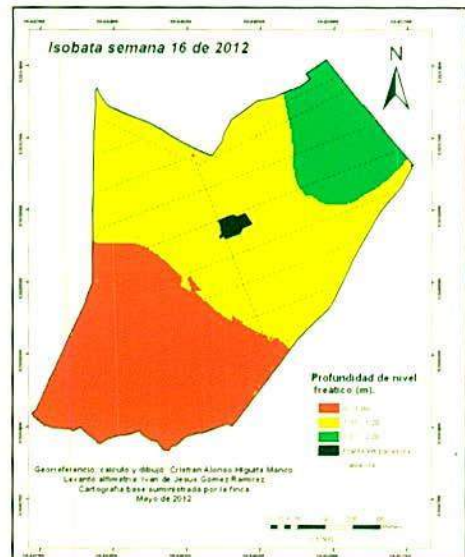


Figura 23. Mapa de isobata de una finca.

Debido a la variabilidad espacial de la finca también en áreas críticas se puede utilizar un barreno que le permita perforar hasta encontrar el nivel del agua.

Recuerde que si este nivel frecuentemente se encuentra por encima de los 100 cm, generalmente se observan colores grises en el perfil del suelo y empiezan a presentarse daños en el sistema radicular de la planta (figura 24).



Figura 24. Colores grises en el perfil del suelo.

- **Mantenimiento constante de la red de drenaje**

Es importante la adecuación constante de la red de drenaje ya que la salida lenta del agua, aumenta el tiempo sin oxígeno de las plantaciones y por ende los síntomas. Por esto, cuando el suelo se encuentre a capacidad de campo y las condiciones ambientales lo permitan, se deben adecuar los drenajes profundos secundarios, terciarios, madres viejas, primarios (figura 25).



Figura 25. Practicas de estabilización de taludes con el uso de trinchos.

El drenaje superficial cumple la función de evacuar el exceso de agua en los primeros centímetros de la zona radical (30 a 40 cm) principalmente agua de escorrentía. En los drenajes superficiales el mantenimiento debe ser constante, porque es en los primeros centímetros del perfil del suelo, donde se desarrollan la mayoría de raíces de la planta de banano que son poco tolerantes a la escasez de oxígeno.

En las áreas de topografía irregular (topografía cóncava y convexa) donde se presentan encharcamientos en superficie se recomienda realizar labores de adecuación (nivelación) de tierras, tratando de homogenizar los lotes y botalones con base en las cotas mínimas de las pendientes, dando corte en el sentido y dirección de la pendiente.

Una vez nivelado el terreno se recomienda, construir drenajes superficiales, teniendo en cuenta la textura del suelo, el drenaje y la profundidad efectiva del suelo (figura 26).



Figura 26. Adecuación de drenajes superficiales.

- **Uso de coberturas nobles en plantación y canales.**

Mantener coberturas nobles dentro del cultivo y en los taludes para reducir la erosión y por ende la sedimentación de canales y su taponamiento (figura 27).

Supervisar la aspersion de herbicidas para evitar que se realice en los taludes de los canales.



Figura 27. Uso de coberturas nobles conservando el área de plateo.

- **Realizar la labor de desmane de acuerdo con las condiciones agroecológicas**

De acuerdo con los pronósticos de lluvias, temperatura y radiación se deben prever las épocas en que la fruta alcanza menor grado, y en dichas épocas contemplar un desmane mayor por ejemplo de falsa+3, si normalmente se realiza falsa +2.

- **Plan de fertilización balanceado**

Para realizar el plan de fertilización tenga en cuenta:

Las curvas de embolse y los intervalos de floración a floración de cada finca, para determinar épocas oportunas de aplicación de nutrientes. Si la información está a nivel de lote podrá tomar decisiones a esta escala.

Utilice la información de extracción de nutrientes y los análisis de suelos y foliares para determinar la cantidad de nutrientes a aplicar y para balancear los mismos. El orden de extracción de nutrientes en banano es K-N-Mg-P-Ca- S- B y Zn.

Mejore la eficiencia de aplicación de nutrientes, aumentando la frecuencia de aplicación y disminuyendo las dosis de fertilizantes.

Determine las frecuencias de aplicación de fertilizantes de acuerdo con el tipo de suelo (textura) y con las condiciones climáticas.

En suelos arenosos que tienen menor capacidad de intercambio catiónica, las frecuencias deben ser mayores y las dosis menores en comparación con los suelos con mayor contenido de arcillas. Por esto un buen criterio para determinar frecuencias de aplicación, es la capacidad de intercambio catiónico de los suelos que está relacionada con el contenido de arcillas en el suelo.

En las zonas con mayores niveles de precipitación la frecuencia se debe aumentar y disminuir las dosis.

Utilice las fuentes de fertilizantes apropiadas de acuerdo con las condiciones climáticas. Por esto, para el caso de los fertilizantes nitrogenados el balance de aplicación entre fuentes nítricas y amoniacales va a depender de la interacción de varias propiedades químicas del suelo con ciertas condiciones ambientales.

En épocas de exceso de agua en el suelo y condiciones de hipoxia o anoxia hay mayores pérdidas de nitrógeno por desnitrificación y son las fuentes nítricas las más susceptibles a estas pérdidas.

La urea y las fuentes amoniacales están menos expuestas a las pérdidas por desnitrificación bajo condiciones de hipoxia o anoxia. No obstante, pueden estar expuestas a pérdidas por volatilización, en forma de amoníaco, pero esto va depender principalmente del pH del agua presente en el suelo.

Para el caso de la urea las condiciones que favorecen la volatilización del nitrógeno en forma de amoníaco son falta de lluvia o riego luego de la aplicación, altas temperaturas, alto pH del suelo y/o del agua libre del suelo, bajo contenido de materia orgánica y suelos inicialmente húmedos que se secan rápidamente (Mikkelsen, 2007).

Fertilizantes que contienen amonio como el nitrato de amonio y el sulfato de amonio no tienen pérdidas significativas de nitrógeno en forma de amoníaco (Mikkelsen, 2007).

- **Descompactación del suelo para mejorar la infiltración del agua del perfil del suelo.**

En suelos compactados la infiltración del agua es menor, por lo que se debe realizar labores de descompactación para mejorarla.

## 10.4.2 Prácticas de respuesta en épocas de saturación de agua.

- **Manejo adecuado de los tiempos de cosecha**

Cosechar la fruta hasta once semanas si durante las seis semanas anteriores a la floración de dichas plantas se presentaron precipitaciones acumuladas superiores a 350 mm y o si durante las dos últimas semanas previas a la cosecha se ha presentado sobresaturación de agua en el suelo.

Repicar la fruta de plantas que sufrieron inundación con edad de racimos entre 9 y 11 semanas.

- **Fertilización foliar**

Aplicación de fertilizantes foliares con adecuados contenidos de nitrógeno y potasio.

El nitrógeno porque es el nutriente que presenta mayores pérdidas por el exceso de agua, se ha demostrado que la aplicación de fertilizantes nitrogenados reduce el estrés por la sobresaturación de agua, debido en parte por la compensación de las pérdidas por la desnitrificación

El potasio regula el contenido hídrico al interior de la planta.

Fertilización foliar con elementos menores boro y zinc, para reducir la sobreproducción de radicales libres de oxígeno.

La aplicación de aminoácidos tiene como función que la planta pueda realizar la respiración de mantenimiento mientras sale de estrés inicial de la inundación y se activa de nuevo su sistema radical.

- **Uso de reguladores de crecimiento**

Aplicación de reguladores de crecimiento citocininas y giberelinas para contrarrestar el efecto del etileno en la senescencia del sistema foliar.

### **10.4.3 Prácticas de recuperación una vez cese la presión de las lluvias**

- **Adecuación del suelo**

Con el fin de controlar y prevenir más daños, se recomienda identificar las áreas, lotes, botalones y canales afectados e identificar y delimitar los tipos de eventos que están afectando los suelos, como: sedimentación o formación de una nueva capa de suelo, niveles freáticos altos y/o encharcamientos superficiales, formación de cárcavas, pérdida de la cobertura vegetal y afloramiento del horizonte subsuperficial.

En una finca es posible encontrar uno o varios de estos eventos asociados, una identificación oportuna permite ahorrar tiempo y tomar decisiones efectivas sobre el manejo y recuperación de las áreas afectadas.

El manejo o práctica a seguir va a depender de las condiciones texturales de los suelos, del drenaje, la topografía (micro topografía) y pendiente del terreno.

En caso que la finca haya sido afectada por una acumulación de sedimentos, con la formación de una nueva capa de suelos en superficie; se recomienda tomar una muestra representativa de suelos y enviarla al laboratorio, con el fin de identificar el tipo de material y minerales presentes en este nuevo horizonte, para determinar el tipo de manejo que se le debe dar al suelo.

Es importante un suministro adecuado de materia orgánica para iniciar el mejoramiento de los suelos (figura 28).

Cuando el suelo se encuentre a capacidad de campo se recomienda realizar el "Hércules" para mejorar el desarrollo radical de las plantas (figura 29).



Figura 28 Aplicación de materia orgánica



Figura 29. Practicas de fraccionamiento del suelo tendiente a mejorar la infiltración del agua.

### ● Fertilización foliar

Se debe continuar con aspersiones foliares de fertilizantes durante las semanas siguientes a los eventos de saturación de agua, esto con el fin de reducir el estrés de las plantas.

### ● Fraccionamiento de la fertilización edáfica

Siempre y cuando el suelo se encuentre a capacidad de campo durante los siguientes meses posteriores a la inundación, se debe aumentar la frecuencia de aplicación de fertilizantes y disminuir las dosis de los mismos.

Utilizar fertilizantes nitrogenados donde una buena parte del nitrógeno venga en forma amoniacal y aplicar fuentes que tengan además fósforo para iniciar a recuperar el sistema radical.

Utilizar fuentes ricas en magnesio porque altos contenidos de manganeso compiten por la absorción con el magnesio. En lo posible acompañado con fuentes de potasio, nitrógeno y calcio.

No descuidar la aplicación de calcio en etapas críticas del cultivo.

Explorar la posibilidad de aplicación de fuentes de silicio en la plantación el cual en otras especies mitiga el efecto del manganeso en la hoja.

### ● Evaluación de la plantación

Evalúe el comportamiento de las plantas en campo al menos varias semanas después de los periodos de inundación o de excesos de agua en el suelo.

Las plantas entre jóvenes (altura promedio de 1,7) y hasta prontas a floración que presenten amarillamientos, disminución del crecimiento, arrepollamiento, obstrucciones foliares (figura 30) principalmente si son de la cultivariedad gran enano, se les debe detener el crecimiento para acelerar el crecimiento del hijo de sucesión.



Figura 30. Identificación de plantas con evidencias severas de estrés semanas posteriores a los periodos de sobresaturación de agua.

- **Implementar un programa de resiembras en la plantación.**

Con base en la identificación de las áreas afectadas y el grado de afectación por efecto de la sobresaturación de agua en el suelo, se debe diseñar un programa de resiembras o renovación de la plantación.

Si el nivel de afectación es muy alto, la mejor estrategia sea la renovación del lote o botalón con nivelación de terreno, mejoramiento de red de drenaje y siembra de variedades menos susceptibles a la saturación de agua.

Si la decisión es resembrar, se deben hacer seguimiento a las resiembras con programas específicos en el manejo nutricional.

## BIBLIOGRAFIA

- Acevedo-Sandoval. O, Ortiz-Hernández. E, Cruz-Sánchez. M, Cruz- Chávez. E. 2004. El papel de óxidos de hierro en suelos. TERRA Latinoamericana, Universidad Autónoma Chapingo México. Vol. 22, Núm. 4, octubre-diciembre. pp. 485-497.
- Arbona. V. Z, Hossain. M. F. Lopez-Climent, R.M. Perez-Clemente, and A. Gomez-Cadenas. 2008. Antioxidant enzymatic activity is linked to waterlogging stress tolerance in citrus *Physiologia Plantarum* 132: 452–466.
- Chen H., R. G. Qualls, R. R. Blank. 2005. Effect of soil flooding on photosynthesis, carbohydrate partitioning and nutrient uptake in the invasive exotic *Lepidium latifolium*. *Aquatic Botany* 82 (2005) 250–268.
- Dat. J. F, N. Capelli, H. Folzer, P. Bourgeade, P.M. Badot. 2004. Sensing and signalling during plant flooding. *Plant Physiology and Biochemistry* 42 273–282.
- Díaz. A., G. Cayón. y J.J. Mira. 2007. Metabolismo del calcio y su relación con la “mancha de madurez” del fruto de banano. Una revisión. *Agronomía Colombiana* 25(2): 280-287.
- Grichko. V. P., B. R. Glick. 2001. Ethylene and flooding stress in plants. *Plant Physiol. Biochem.* 39 1–9
- Kirkby, E. Y V. Romheld. 2008. Micronutrientes en la fisiología de las plantas: funciones, absorción y movilidad (Tercera Parte). International Plant Nutrition Institute. *Informaciones Agronómicas* N° 70. pp: 10 – 13.
- Hancock. J.T., S.J. Neill, I.D. Wilson. 2011. Nitric oxide and ABA in the control of plant function. *Plant Science* 181 555– 559.
- Higuita. C. A & J. D. Sánchez. 2012. Importancia de las propiedades físicas y químicas del suelo para la productividad bananera. En memorias Segunda reunión técnica bananera. AUGURA- CENIBANANO. Apartado, Antioquia Colombia. 26 y 27 de Julio de 2012.
- Marschner H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. second edition. 889pp. London: Academic Press.
- Mikkelsen, R.L. 2007. Biuret in Urea Fertilizers. *Better Crops/Vol.* 91 ( 3):6-7.

- Perilli, S. L., Moubayidin and S. Sabatini. 2010. The molecular basis of cytokinin function. *Current Opinion in Plant Biology*, 13:21–26.
- Razem, F.A, K. Baron and R. D. Hill. 2006. Turning on gibberellin and abscisic acid signaling. *Current Opinion in Plant Biology*, 9:454–459
- Shiono, K, H. Takahashi, T. D. Colmer, M. Nakazono. 2008. Role of ethylene in acclimations to promote oxygen transport in roots of plants in waterlogged soils. *Plant Science* 175 52–58
- Unger, I. M., P. P. Motavalli, R. M. Muzika. 2009. Changes in soil chemical properties with flooding: A field laboratory approach. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 131 105–110 V.P.
- Yu, K, J. Weib, Q. Ma, D. Yu, J Li. 2009. Senescence of aerial parts is impeded by exogenous gibberellic acid in herbaceous perennial *Paris polyphylla*. *Journal of Plant Physiology* 166 819—830.

## 11 ACIDEZ DE LOS SUELOS Y SU MANEJO

### 11.1 INTRODUCCIÓN

*La acidez de los suelos es uno de los principales retos para la agricultura en las regiones tropicales (Barcelo & Poschenrieder, 2002; Rufyikiri et al, 2004). Los suelos pueden volverse ácidos después de largos periodos de uso intensivo, como es el caso del banano y por esto es importante abordar este problema para manejarlo y lograr sostener e incrementar el rendimiento.*

*Los fundamentos de la acidez en el suelo son universales, pero las estrategias de manejo son específicas a cada tipo de suelo y sistema agrícola, por lo que no se debe usar una sola. Las características particulares de cada suelo son las que finalmente determinan las estrategias de control a corto, mediano y largo plazo, más efectivas.*

### 11.2 NATURALEZA DE LA ACIDEZ DE LOS SUELOS.

Existen varios procesos en el suelo que promueven la disminución del pH. Todos estos procesos ocurren naturalmente dependiendo del tipo de suelo, del tipo de cultivo y de las condiciones de manejo.

Dentro de las principales causas de la acidificación de los suelos en los sistemas productivos agrícolas se encuentran: (1) Remoción de nutrientes por el cultivo y lavado de bases (2) la aplicación de fertilizantes nitrogenados y (3) El contenido de aluminio en el suelo y su reacción en cadena (Espinosa y Molina. 1999).

#### 11.2.1 Remoción de nutrientes

Las arcillas, la materia orgánica y en menor medida los hidróxidos de hierro, retienen nutrientes en una forma disponible para la planta. La capacidad del suelo para retener una cierta cantidad de nutrientes (almacenamiento o capacidad de adsorción) determina la fertilidad natural de un suelo.

Los nutrientes tienen cargas positivas (+) (cationes) o cargas negativas (-) (aniones) (figura 1). De acuerdo a estas cargas los nutrientes son atraídos

por los minerales arcillosos y la materia orgánica. A mayor pH del suelo mayor cantidad de bases intercambiables harán parte del complejo de adsorción.



Figura 1. Remoción de nutrientes por las plantas en el complejo de intercambio.

El reemplazo de cationes benéficos para las plantas por  $H^+$  en el complejo de adsorción contribuye a la acidificación del suelo y disminuye la riqueza de nutrientes disponibles. Por ejemplo, en la zona de Urabá la capacidad de retener nutrientes en el suelo es afectada por el pH y a medida que el suelo se acidifica su capacidad de intercambio catiónico efectivo (CICE) disminuye respecto a la capacidad de intercambio catiónico medido a pH neutro (CIC).

En la figura 2 se muestra la pérdida relativa de CICE en forma exponencial a medida que el pH del suelo disminuye teniendo como referencia suelos que tiene un pH de 6, que es pH promedio de los suelos en la región de Urabá, que no han sido intervenidos con fines agrícolas o que tiene poco tiempo esta intervención (figura 2). Esto se puede dar por tres motivos:

- La absorción de  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  y  $K^+$  por las raíces de las plantas y liberación de  $H^+$  como mecanismo que le permite mantener el equilibrio al interior de la planta.
- La pérdida de cationes a capas inferiores del suelo debido a el movimiento del agua por gravedad.
- La presencia de aniones como ( $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$  y  $Cl^-$ ) que forman pares iónicos con los cationes y de esta forma son arrastrados del perfil del suelo por el movimiento del agua.

Esta pérdida gradual de CICE, se puede reducir con un adecuado plan de fertilización que debe tener en cuenta frecuencias adecuadas de aplicación de

nutrientes para minimizar pérdidas por lixiviación y escorrentía y un adecuado balance de nutrientes y el uso de enmiendas.

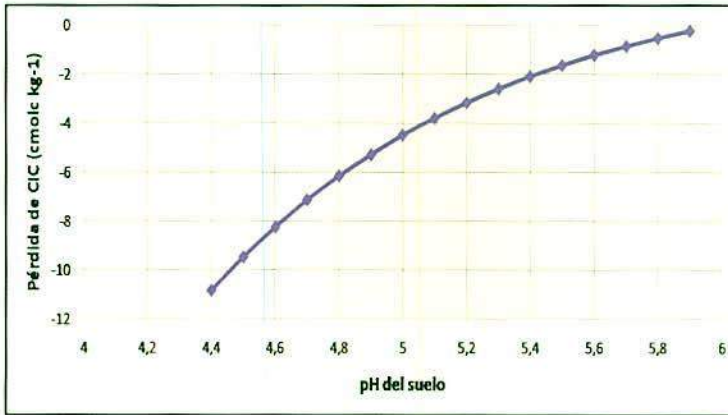


Figura 2. Curva ajustada de la pérdida de CICE relativa de los suelos en la región de Urabá relacionada con la disminución del pH del suelo (CICE de referencia en suelos con pH 6,0). Análisis basado en datos de la CICE y CIC a pH 7,0 obtenida en laboratorio.

## 11.2.2 Utilización de fertilizantes nitrogenados

La nitrificación de los fertilizantes que contienen amonio produce acidez en el suelo debido a la liberación de iones hidrogeno ( $H^+$ ). Las diferentes reacciones de los fertilizantes nitrogenados que conllevan a la acidificación de los suelos se presentan la figura 3.

Cada mol de N proveniente del sulfato de amonio produce en teoría 4 moles de  $H^+$ , mientras que cada mol de N proveniente de la urea o del nitrato de amonio produce solamente 2 moles de  $H^+$ . Esto sugiere que el Sulfato de amonio es dos veces más acidificante que el Nitrato de amonio o la urea.

No obstante, a través de experimentos de invernadero se ha encontrado que la acidez generada en suelos que han recibido aplicaciones urea y el nitrato de amonio es solamente un 50% del valor teórico. Por esto, la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales basados en dicha información señala que la cantidad de cal requerida para neutralizar la acidez inducida por la urea y el Nitrato de amonio sería de 1,8 kg de carbonato de calcio ( $CaCO_3$ ) por kg de N proveniente de estas fuentes.

Respecto al sulfato de amonio se sugiere que la acidez desarrollada por un mol de N proveniente de SA es solo el 75% del valor teórico. Por lo que es tres veces mayor que la acidez desarrollada por un mol de N proveniente del nitrato de amonio o de la urea (Chien *et al*, 2009).

De acuerdo con lo anterior sería necesario 5,4 kg de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) por kg de N proveniente del sulfato de amonio. No obstante, otros estudios señalan que se requiere de 1,4 a 2,3 más cal para neutralizar la acidez de sulfato de amonio frente al Nitrato de amonio y la urea o sea entre 2,52 a 4,14 kg de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) por kg de N proveniente del sulfato de amonio (Chien et al, 2009).

Todas las fuentes nitrogenadas tienen un efecto menor sobre el pH en suelos arcillosos en comparación a los suelos arenoso y franco-arcilloso (Chien et al, 2009)

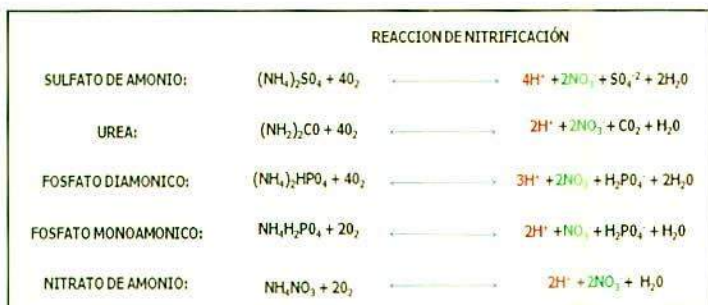


Figura 3. Reacción de nitrificación en el suelo de los fertilizantes nitrogenados

### 11.2.3 Aluminio intercambiable

La acidez favorece la presencia de aluminio intercambiable en el suelo y este a su vez favorece el desarrollo de la acidez en el suelo. Por esto la presencia de aluminio genera una reacción en cadena acidificando más los suelos (Espinosa & Molina, 1999).

Esto se da porque los iones de aluminio ( $\text{Al}^{3+}$ ) desplazados de los minerales arcillosos, se hidrolizan para formar complejos monoméricos y poliméricos hidrox-aluminicos, cada una de estas reacciones libera  $\text{H}^+$  y contribuyen a la acidez del suelo. Este incremento de la acidez promueve la presencia de más  $\text{Al}^{3+}$  e incrementando su disponibilidad para plantas (figura 4).

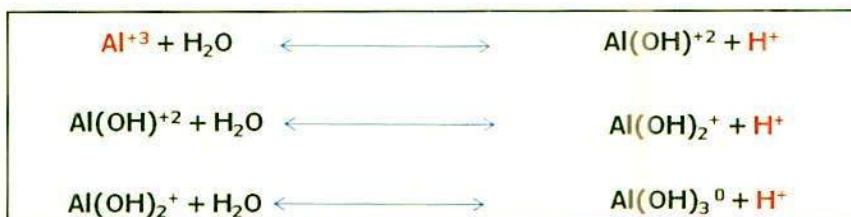


Figura 4. Reacciones del aluminio en el suelo que producen mayor acidificación.

En la figura 5 se presenta la relación entre el pH del suelo y el aluminio intercambiable en los suelos de Urabá.

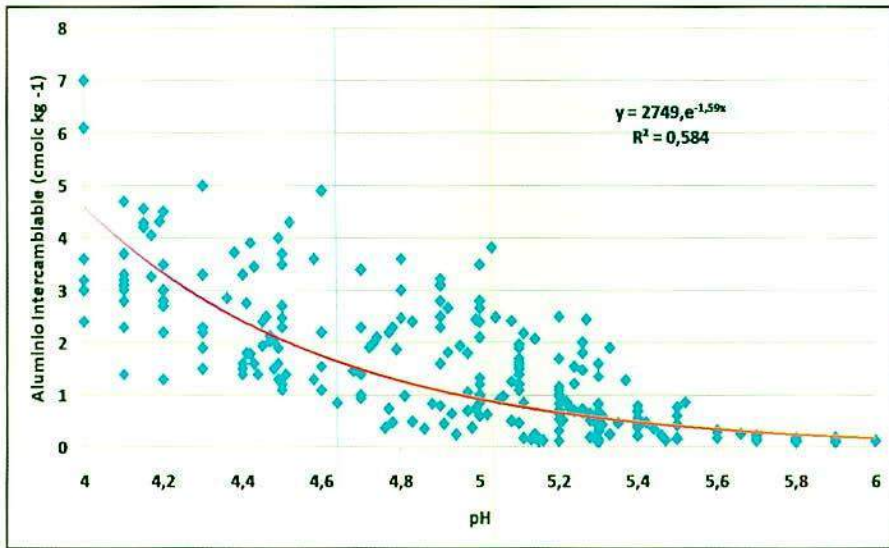


Figura 5. Relación entre aluminio intercambiable y el pH del suelo en un sistema productivo de la zona Sur eje bananero del Urabá Colombia. Fuente CENIBANANO 2011.

## 11.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS SEGÚN SU pH.

### 11.3.1 Suelos minerales con pH < 4.5

En este grupo de suelos predominan las formas de aluminio intercambiable del  $Al^{3+}$ ; también en éste es apreciable el contenido y solubilidad de iones como  $H_3O^+$  y de  $Mn^{2+}$ , por lo cual tienen altas probabilidades de que se presenten toxicidades con ellos (Jaramillo, 2002).

Los procesos de transformación de amoníaco a nitrato son muy lentos, pudiendo causar deficiencias de nitrógeno en plantas que no sean hábiles en la utilización del amonio. Los contenidos de bases intercambiables y de molibdeno son muy bajos, en tanto que los de los demás elementos menores pueden ser bajos.

La disponibilidad de fósforo puede ser muy baja en estos suelos debido a que frecuentemente hay una alta fijación de este elemento que lo lleva a formar compuestos completamente insolubles.

### 11.3.2 Suelos minerales con pH entre 4.5 y 5.5

En estos suelos actúan las formas de aluminio intercambiable  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$  y  $\text{Al}^{3+}$ ; en este rango de pH no es significativo el contenido de  $\text{H}_3\text{O}^+$  y los demás problemas expuestos para los suelos del grupo anterior también se presentan en este grupo, aunque con menor intensidad (Jaramillo, 2002).

### 11.3.3 Suelos minerales con pH entre 5.5 y 6.5

En este grupo de suelos ya no hay ningún contenido de acidez intercambiable por lo que desaparece la posibilidad de toxicidad con  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H}_3\text{O}^+$  o  $\text{Mn}^{2+}$ . Hay una mejora en la actividad biológica bacteriana; el suministro de bases, de molibdeno y de fósforo (Jaramillo, 2002).

## 11.4 ACIDIFICACIÓN DE LOS SUELOS BANANEROS

La acidificación de los suelos va a limitar la producción bananera en el tiempo, si no se toman medidas correctivas. El pH y la concentración de aluminio intercambiable en suelos bananeros es variable espacialmente a pequeña escala como se observa en las figuras 6 y 7 (Gutiérrez y Castañeda, 2009) lo que puede ayudar a explicar en parte la alta variabilidad en el desarrollo y rendimientos dentro de un mismo lote de cultivo. Además, se ha encontrado a través de los años de explotación bananera en suelos de la región de Urabá un aumento en los porcentajes de saturación de aluminio (figura 8).

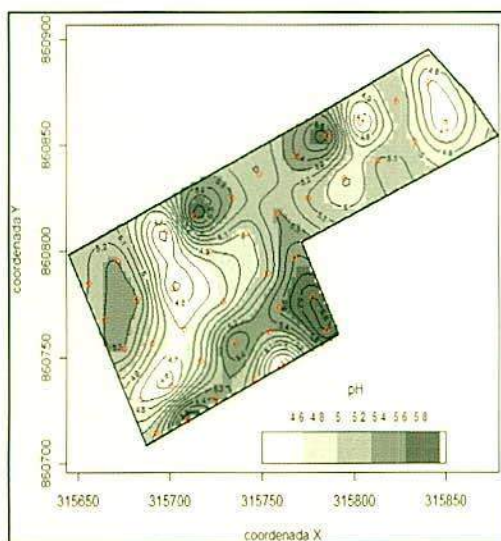


Figura 6. Variabilidad del pH dentro de un lote bananero (Gutiérrez y Castañeda, 2009).

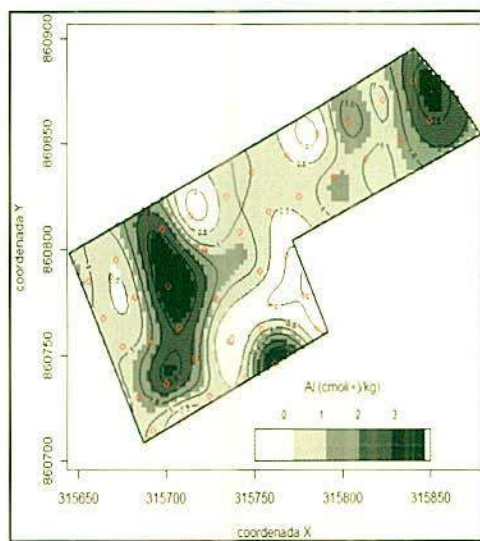


Figura 7. Variabilidad del contenido de aluminio en un suelo bananero (Gutiérrez y Castañeda, 2009).

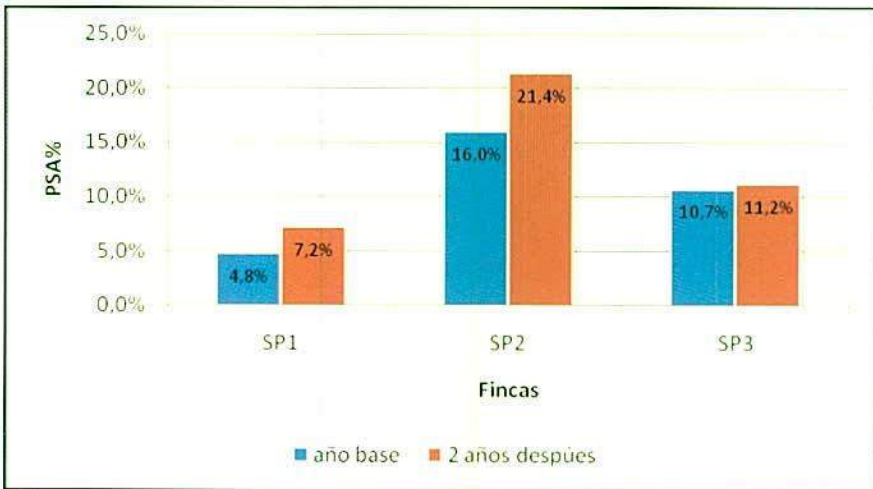


Figura 8. Variación del porcentaje de saturación de aluminio en diferentes sistemas productivos a través de dos años. SP: Sistema productivo.

### 11.4.1 Efectos del aluminio en la plantas

La limitante más importante de la acidificación de los suelos es el incremento de la disponibilidad de aluminio para las plantas.

El aluminio es tóxico para las plantas, interfiriendo con estructura y función del citoesqueleto, interrumpiendo la homeostasis del calcio, interfiriendo con el metabolismo del fósforo, y causando estrés oxidativo (Barcelo & Poschenrieder, 2002; Corrales *et al*, 2008; Poschenrieder *et al*, 2008, Rufyikiri *et al*, 2004).

A corto plazo se observa que la elongación de la raíz se inhibe y a largo plazo el aumento del aluminio en la solución del suelo reduce la biomasa de las raíces finas y en general del sistema radical, por lo cual la planta reduce el volumen de suelo que puede explorar, disminuyendo de este modo la absorción de nutrientes, de agua y reduciendo la producción de materia seca total y puede haber caída de plantas por pérdida de anclaje.

Un síntoma en algunas especies es que las raíces son usualmente gruesas en los ápices y pueden tornarse de color café (Poschenrieder *et al* 2008; Corrales *et al*, 2008; Barcelo & Poschenrieder, 2002). La zona de transición de la raíz que está localizada entre la zona de división celular activa y la de elongación, es la más sensible a la toxicidad por aluminio (Poschenrieder *et al*, 2008). Además, el metabolismo nitrogenado es afectado por la presencia de Al, reduciendo principalmente la actividad de la nitrato reductasa y ocurre una disminución en la absorción de  $\text{NO}_3^-$ .

En banano se ha encontrado que el aluminio se acumula en las raíces y su translocación a la parte aérea es limitada. El aluminio se fija fuertemente a los sitios de intercambio de la raíz. La absorción de aluminio por las raíces del banano reduce significativamente la tasa de transpiración de las planta, reduce la absorción de calcio y magnesio pero particularmente magnesio, los cuales son transferidos a la planta por flujo de masa. La toxicidad por aluminio reduce la materia seca, detiene el crecimiento radical e induce deficiencia de magnesio (Rufyikiri *et al* 2002).

### 11.4.2 Biodisponibilidad de aluminio en el suelo

La forma más fitotóxica del aluminio es el  $Al^{3+}$ , esta predomina en la solución del suelo por debajo de pH 4,5. Posiblemente el  $AlOH^{2+}$  y  $Al(OH)_2^+$  son también fitotóxicos, estas especies de aluminio están interrelacionadas con la variabilidad del pH. En contraste, Al-F, Al-SO<sub>4</sub> y Al-P, son menos o no tóxicas para las plantas (Feng *et al*, 2001).

La hidrólisis del  $Al^{3+}$  es la causante de producir grandes cantidades de  $H_3O^+$ , siendo la presencia de este ion igual de negativa para el crecimiento normal de las raíces para las cuales es tóxico. Además es claro que el  $Al^{3+}$  no se presenta por encima de pH de 5,5 y es por debajo de este valor que los valores de Al y H aumentan exponencialmente, como se observa en la figura 9 por grupos de fincas en la región de Urabá.

La adsorción de nutrientes como  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$  puede ser afectada por la disponibilidad de aluminio en la solución del suelo, pero es más seriamente afectada la adsorción del Mg (Rufyikiri *et al* 2002).

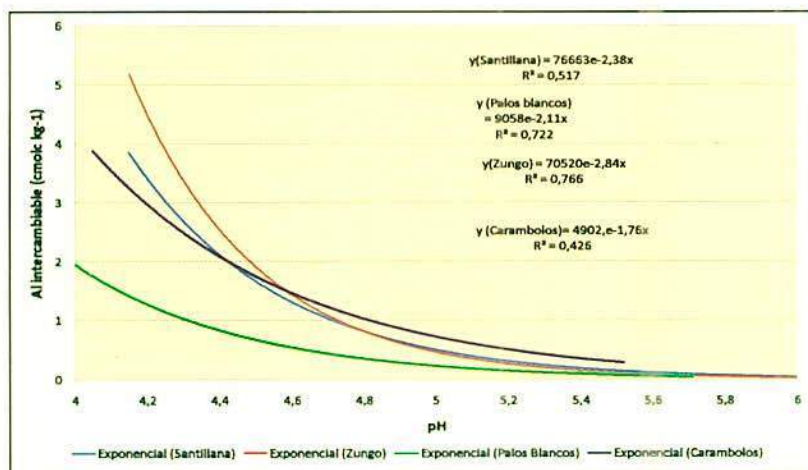


Figura 9. Incremento del aluminio con la disminución del pH en diferentes sectores del eje bananero de Urabá Colombia.

## 11.5 CONTROL DE LA ACIDEZ

No es necesario pensar para el manejo de los problemas derivados de la acidez con el incremento del pH, sí no neutralizar y precipitar el aluminio para eliminar su efecto tóxico sobre las plantas. Una estrategia es a través del encalado. Por otro lado, existen cultivos tolerantes al aluminio que pueden crecer y producir satisfactoriamente a moderadas tasas de saturación del aluminio en la fase del intercambio.

En el caso del banano la experiencia señala que este porcentaje de saturación de aluminio no debe superar el 10% y dentro del rango de 5% a 10% se deben iniciar las medidas de manejo de la acidez. Este porcentaje de saturación debe calcularse con base en la CIC a pH neutro y no como comúnmente y erróneamente se hace con base en la CICE.

El encalado consiste en la aplicación al suelo de sales básicas que neutralizan la acidez. Los materiales que se utilizan como alcalinizantes o correctivos de acidez son principalmente carbonatos, óxidos, hidróxidos y silicatos de Calcio o magnesio. Debido a su diferente naturaleza química, estos materiales presentan una variable capacidad de neutralización (Espinosa & Molina, 1999). El uso apropiado de la cal agrícola es uno de los factores más importantes en la producción exitosa de cultivos.

Las necesidades de cal agrícola están influenciadas por varios factores (Lazcano-Ferrat, 2003; Espinosa & Molina, 1999):

**El pH del suelo:** determina el grado de actividad ácida [ $H^+$ ] o alcalina [ $OH^-$ ] del suelo. Indica el nivel de acidez del suelo en el cual la raíz de la planta se desarrollará. Como único parámetro, el pH no es un buen indicador de las necesidades de cal agrícola.

**La capacidad tampón:** o capacidad a la resistencia al cambio. Es una medida de la resistencia del suelo a los cambios de pH. Indica la cantidad de cal agrícola que se requerirá para ajustar el pH a un nivel deseado y depende de la textura, CIC, materia orgánica y origen del suelo

**El tipo de cultivo:** determina el nivel saturación de aluminio que es capaz de soportar el cultivo.

**La cantidad de aluminio:** En suelos ácidos, la cantidad de aluminio (Al) se incrementa en la solución del suelo. La cantidad de cal aplicada debe ser la suficiente para disminuir la cantidad de Al soluble a niveles no tóxicos para el cultivo. Este principio se debe aplicar a otros elementos minerales como lo son el Manganeseo (Mn) y el Hierro (Fe).

## 11.5.1 Aspectos a tener en cuenta sobre la enmienda a aplicar

- **Equivalente químico de carbonato de calcio (ECC)**

Es una expresión de la capacidad de neutralizar la acidez de una material encalante. El carbonato de calcio puro es usado como el estándar con un valor de neutralización de 100%. El ECC que se presenta en las tablas se obtiene basado en 100% de pureza del material.

Algunas cales agrícolas, pueden tener valores superiores al 100 %. La tabla 1 presenta algunos de los materiales más comunes de encalado con sus respectivos valores de ECC o valores de neutralización. La cal agrícola contiene generalmente impurezas como grava o arena o materia orgánica que reducen el valor de ECC.

**Tabla 1.** Equivalentes químicos y composición química de materiales de encalado puros

Material de encalado	Equivalentes de carbono de calcio, % (CCE)	Formula	Contenido de Ca (%)	Contenido de Mg(%)
Carbonato de calcio (CaCO <sub>3</sub> ) puro	100	CaCO <sub>3</sub>	40	
Piedra caliza calcítica	85 a 100			
Piedra caliza dolomítica	95 a 108	CaCO <sub>3</sub> *MgCaCO <sub>3</sub>	21,6	13,1
Hidróxido de calcio (cal hidratada)	120 a 135	Ca(OH) <sub>2</sub>	54	
Oxido de calcio (cal viva)	150 a 175	CaO	71	
Silicato de calcio	88	CaSiO <sub>3</sub>	34,4	
Hidróxido de magnesio	172			41
Carbonato de magnesio	119			28,5
Oxido de Magnesio	248	MgO		60
Silicato de Calcio	86	CaSiO <sub>3</sub>	34,4	
Silicato de Magnesio	100	MgSiO <sub>3</sub>	34,4	24

- **Tamaño de partícula y eficiencia granulométrica**

La cal agrícola de alta calidad debe contener una distribución de tamaño de partícula que le permita reaccionar con la acidez del suelo en un periodo de uno a cuatro años. La fineza de la cal es expresada generalmente como el porcentaje del material que pasa a través de una malla específica. Las partículas que pasan a través de una malla de 100 mesh son consideradas como muy finas, mientras que aquellas que no pasan a través de 20 mesh son consideradas muy gruesas.

A medida que se reduce el tamaño de la partícula de cualquier material de encalado se aumenta el área o superficie de contacto. Entre más superficie específica tenga el material, más rápido reacciona la cal en el suelo. La cal no es soluble en agua, entonces las partículas deben ser finas para poder reaccionar en el suelo en un periodo razonable de tiempo.

Se han reportado respuestas del encalado en seis meses con materiales que pasan un tamiz de 0,25 mm (60 mesh). Los materiales en el rango de 0,338 mm (44 mesh) a 0,22 mm tiene sus máximas reacciones en 12 meses, partículas más gruesas que 0,338 mm toman 18 meses, y partículas más gruesa de 2 mm (10 mesh) tiene poco valor para corregir la acidez.

Otros estudios muestran que partículas entre 2,0 (10 mesh) a 0,85-mm (20 mesh) son solamente 14% de efectivas en comparación con partículas de 0,15 mm (100 mesh) (Haby & Leonard, 2002). En la tabla 2 se muestra la eficiencia relativa de la cal de acuerdo con la finura de molienda.

**Tabla 2.** Disponibilidad de cal agrícola de acuerdo con su grado de finura.

Tamaño de partícula (mm)	Número de malla (mesh)	Eficiencia relativa (%)
>2,36	<8	0
2,36 - 0,85	8 - 20	20
0,85 - 0,25	20 - 60	60
<0,25	>60	100

- **Poder relativo de neutralización total-PRNT**

La eficiencia de un material de encalado para la neutralización de la acidez está basada en sus características químicas y físicas. El PRNT indica que porcentaje de cal es capaz de reaccionar en un lapso no mayor a un año.

El valor de neutralización efectivo es una sencilla clasificación numérica que ha sido calculada para indicar la eficiencia de una material de encalado. No obstante, en Colombia esta información es poco conocida para los materiales de encalado que se encuentra en el mercado. El poder relativo de neutralización total se obtiene multiplicando la eficiencia granulométrica de un material encalante por el equivalente químico de carbonato de calcio.

La eficiencia granulométrica se obtiene de la siguiente manera: De una muestra conocida de cal, que se pasa a través de una secuencia de mallas, se obtiene la cantidad retenida entre cada una y se calcula el porcentaje.

Cada porcentaje se multiplica por eficiencia relativa (tabla 3) y se suma al final para obtener la eficiencia granulométrica del material analizado. En la tabla 3 se presenta un ejemplo con dos materiales encalantes.

**Tabla 3.** Calculo de eficiencia granulométrica de materiales de encalado.

Material 1				Material 2			
Tamaño de partícula (mm)	Eficiencia relativa (%)	Cantidad de material retenido cada malla (%)	Eficiencia	Tamaño de partícula (mm)	Eficiencia relativa (%)	Cantidad de material retenido cada malla (%)	Eficiencia
>2,36	0	5,6	0	>2,36	0	0	0
2,36-0,85	20	28,1	5,62	2,36-0,85	20	0	0
0,85 - 0,25	60	26,2	15,72	0,85 - 0,25	60	50	30
<0,25	100	40,1	40,1	<0,25	100	50	50
Eficiencia granulométrica del material 1			61,44	Eficiencia granulométrica del material 2			80

El valor obtenido para cada material se multiplica por su equivalente químico de carbonato de calcio. Entre mayor el valor de neutralización del material es más efectivo.

## 11.5.2 Reacciones de la cal en el suelo

El encalado permite la neutralización de los iones  $H^+$  en la solución del suelo por medio de los iones  $OH^-$  que se producen al entrar la cal en contacto con el agua del suelo (Zapata, 2004; Espinosa & Molina, 1999).

Los óxidos reaccionan inmediatamente con el agua del suelo transformándose en hidróxidos y neutralizan la acidez a través de su  $OH^-$  que es una base fuerte. Los materiales a bases de carbonatos neutralizan la acidez a través de la hidrólisis de los iones  $CO_3^{2-}$  y  $SiO_3^{2-}$ , que son bases débiles. Los óxidos e hidróxidos aun cuando más efectivos son difíciles de manejar y por esta razón los carbonatos son los materiales de encalado de uso en la agricultura (Espinosa & Molina, 1999).

Las reacciones básicas de la cal en el suelo ilustradas en el caso del carbonato de calcio se presentan a continuación (Figura 10):

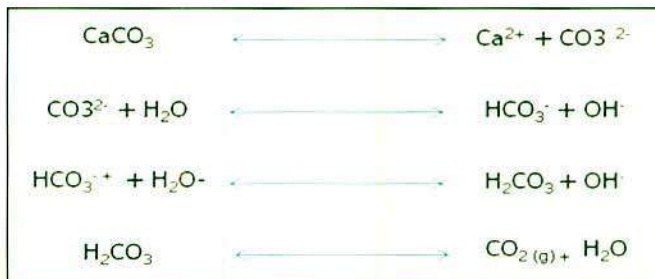


Figura 10. Reacciones de la cal en el suelo.

Los  $OH^-$  producidos en la reacción de la cal en el suelo húmedo reaccionan con los  $H^+$  producidos en los diferentes procesos que acidifican el suelo produciendo agua y el ion calcio proveniente de la disolución del  $CaCO_3$  no interviene en las reacciones de incremento del pH.

De igual forma el ion carbonato 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 como  $CO_2$  después de las reacciones de hidrólisis. Esta es la razón por la cual la cal se limita al lugar de aplicación y se aplica superficialmente no afecta el pH de capas inferiores debido a que la cal no migra a través del perfil sino más bien se disipa como  $CO_2$  en el sitio de aplicación (Espinosa & Molina, 1999).

El encalado 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 y la principal fuente de iones  $H^+$ . De igual forma las aplicaciones de cal también precipitan el manganeso y el hierro que en ocasiones se encuentran en exceso en suelos ácidos.

## 11.6 DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE CAL A APLICAR EN EL CULTIVO

Para determinar las necesidades de cal se deben conocer cuatro factores:

1. Tolerancia de la planta a la acidez
2. Contenido de acidez del suelo
3. Calidad del producto encalante
4. Aspectos de manejo del producto a aplicar

Las experiencias en el tema de encalado han conducido a que lo más importante es tener una buena saturación de bases para un rendimiento óptimo o dicho de otra forma lo que se busca es reducir el porcentaje de saturación de aluminio a un nivel que pueda ser tolerado por el cultivo antes de encalar para neutralizar todo el aluminio intercambiable.

En suelos tropicales hay diferentes métodos para definir la cantidad de cal a aplicar, presentamos a continuación las fórmulas de varios métodos.

### 11.6.1 Método de Cochrane, Salinas Y Sánchez (1980)

$$CaCO_3_{(TM/HA)} = \frac{1,8 (Al - PSAI) (CICE)}{100}$$

- **Al:** Porcentaje de saturación de Aluminio existente en el suelo, se calcula con el análisis de suelos.
- **PSAI:** Porcentaje de saturación de Aluminio deseado. Para el caso del banano el manejo debe iniciarse con un 5% de saturación de aluminio.
- **CICE:** Capacidad de intercambio catiónico efectiva
- **1,8:** Es una constante que pretende cubrir los factores que limitan la eficiencia de la reacción química de la cal en el suelo.

### 11.6.2 Método de Van Raij

$$CaCO_3_{(TM/HA)} = \frac{(V1 - V2) (CIC)}{100} * F$$

- **V1:** porcentaje de saturación de bases deseado
- **V2:** Porcentaje de saturación de bases que presenta el suelo
- **CIC:** Capacidad de intercambio catiónico a pH 7
- **F:** 100/ PRNT
- **PRNT:** Poder relativo de neutralización total: Este parámetro se obtiene

multiplicando la eficiencia granulométrica por el equivalente químico y este producto se divide por 100. Por ejemplo un material encalante un EQ de 90% y una eficiencia granulométrica (EG) del 80% tendrá un PRNT de 72%

### 11.6.3 Método combinado

El método combinado aprovecha los criterios prácticos de los dos anteriores. Se expresa en términos de porcentaje de saturación de acidez y se incluye el factor *f* de calidad del material encalante.

$$CaCO_3 (TM/HA) = \frac{1,5 (AI - PSAl) (CICE)}{100} * F$$

- **AI:** Porcentaje de saturación de aluminio actual
- **PRS:** Porcentaje de saturación de aluminio deseado 1,5: Es una constante que pretende cubrir los factores que limitan la eficiencia de la reacción química de la cal en el suelo, la contante es menor porque con este método hay menos factores de eficiencia sin contemplar.
- **F:** Factor de calidad del material encalante.

### 11.6.4 Método de neutralización del aluminio y suplemento de calcio y magnesio

Este método combina la neutralización del aluminio en el suelo con el incremento de la saturación de Magnesio y Calcio en el suelo (Vieira Soares et al, 2002).

$$CaCO_3(TM/HA) = Y \times (AI_2 - AI_1) + \left( \sum_2 Ca^{2+} + Mg^{2+} \right) - \left( \sum_1 Ca^{2+} + Mg^{2+} \right) \times F$$

**Y:** Es un factor de capacidad buffer del suelo definido de acuerdo con la textura del suelo, algunos rangos propuestos son los siguientes.

Suelo	% Arcilla	Y
Arenoso	0 a 15	0 a 1
Franco	15 a 35	1 a 2
Arcilloso	35 a 60	2 a 3

- **Al 2:** Contenido de aluminio en el análisis de suelos
- **Al 1** Contenido de Aluminio máximo permitido.
- **Σ2:** Suma de Ca y Magnesio deseado
- **Σ1:** Suma de Ca y Magnesio intercambiable del análisis de suelos
- **F:** Factor de calidad del material encalante.

Este método puede sobre estimar las necesidades de cal por esto es mejor descomponer la formula y utilizar una de las siguientes formulas para el cálculo de los requerimientos de cal.

$$CaCO_3(TM/HA) = Y \times (Al2 - Al1) \times F$$

$$CaCO_3(TM/HA) = \left( \sum_2 Ca^{2+} + Mg^{2+} \right) - \left( \sum_1 Ca^{2+} + Mg^{2+} \right) \times F$$

### 11.6.5 Ajuste final de la recomendación de cal a aplicar en el cultivo del banano

En el cultivo del banano una vez se calcula los requerimientos de cal para toda la hectárea, con las formulas y criterios expuestos anteriormente, se procede a realizar un ajuste, ya que solo un 25% del volumen del suelo alrededor de una unidad productiva de banano los impactamos con el encalado cuando esta se incorpora (figura 11). Por esto, la cantidad aplicar de cal es aproximadamente un 25% de lo calculado con las formulas anteriores en suelos con densidad de 1 g/cm<sup>3</sup>, en suelos con densidad de 1,2 g/cm<sup>3</sup> que es los más típico en la zona bananera del Urabá es un 30% y en suelos con densidad aparente de 1,4 g/cm<sup>3</sup> es un 35%.



Figura 11. Volumen de suelo impactado por el encalado durante una generación en el cultivo del banano.

## BIBLIOGRAFIA

- Barcelo, J. y C. Poschenrieder. 2002. Fast root growth responses, root exudates, and internal detoxification as clues to the mechanisms of aluminium toxicity and resistance: a review. En: *Environmental and Experimental Botany*. Vol. 48, no. 1, p. 75–92.
- Corrales, I., Ch. Poschenrieder y J. Barcelo. 2008. Boron-induced amelioration of aluminium toxicity in a monocot and a dicot species. En: *Journal of Plant Physiology*. Vol. 165, no. 5, p. 504—513.
- Chien, S. H., M. M. Gearhart y D. J. Collamer. 2009. Acidez generada por los fertilizantes nitrogenados: nueva evaluación de los requerimientos de cal. En: *Informaciones Agronómicas*. No. 41, p. 16-17.
- Espinosa, J. y E. Molina. 1999. Acidez y encalado de los suelos. INPOFOS. 42 p.
- Gutiérrez H., J.C. y D. Castañeda S. 2009. Metodología para el manejo y uso del suelo por sitio específico en el cultivo de banano. Medellín: Asociación de Bananeros de Colombia, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y Universidad del Magdalena. 78 p.
- Haby, V. A y A. T. Leonard. 2002. Limestone quality and effectiveness for neutralizing soil acidity. En: *Communications in Soil Science and Plant Analysis* Vol. 33, no. 15-18, p. 2935-2948.
- Jaramillo J., D. F. 2002. Introducción a la ciencia del suelo. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. 613 p.
- Lazcano Ferrat, I. 2003. Cal agrícola: conceptos básicos. INPOFOS. 3 p. Disponible en internet. [www.ipni.net/ppiweb/iamex](http://www.ipni.net/ppiweb/iamex).
- Ma, J. F., P. Ryan. and E. Delhaize. 2001. Aluminium tolerance in plants and the complexing role of organic acids. En: *Trends in Plant Science*. Vol. 6, no. 6, p. 273-278.
- Poschenrieder Ch., et al. 2008. A glance into aluminum toxicity and resistance in plants. En: *Science of the Total Environment*. Vol. 400, nos. 1-3, p. 356–368.
- Rufyikiri, G., et al. 2002. Cation exchange capacity and aluminum–calcium–magnesium binding in roots of bananas cultivated in soils and in nutrient solutions. En: *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. Vol. 33, nos. 5-6, p. 991-1009.

- Rufyikiri, G., et al. 2004. Mobilization of aluminium and magnesium by roots of banana (*Musa spp.*) from kaolinite and smectite clay minerals. En: *Applied Geochemistry*. Vol. 19, no. 4, p. 633–643
- Soares, A H. V., C. A. Silva y A. L Zambalde. 2004. *Ceressefs: um sistema especialista para o cálculo da necessidade de calagem e recomendação de corretivo*. Brasil: Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciência da Computação. 7 p.
- Zapata, R. 2004. *La química de la acidez del suelo*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. 207 p.

## CONTENIDO

PRESENTACIÓN	1	
<b>1. ETAPAS DEL CRECIMIENTO DE LA PLANTA DE BANANO</b>		
1.1	INTRODUCCIÓN	3
1.2	ETAPAS Y FASES EN PLANTAS: CONCEPTOS	3
1.3	ETAPAS DE CRECIMIENTO Y DESARROLLO DEL BANANO	4
1.3.1	Etapa Vegetativa	5
1.3.2	Etapa Reproductiva (Etapa vegetativa aparente)	8
1.3.3	Etapa Productiva	11
	BIBLIOGRAFIA	13
<b>2. CRECIMIENTO Y DESARROLLO EN BANANO</b>		
2.1	INTRODUCCION	15
2.1	GENERALIDADES	15
2.3	DESARROLLO DE SISTEMA DE ÓRGANOS EN BANANO	16
2.3.1	Sistema Radical	16
2.3.2	Sistema Foliar	19
2.3.3	Sistema de Soporte y Conducción	21
2.3.4	Desarrollo de los Hijos	26
2.4	ACUMULACIÓN DE MATERIA SECA EN PLANTAS DE BANANO	27
	BIBLIOGRAFIA	30
<b>3. DURACIÓN DE FASES Y ETAPAS FENOLOGICA Y SU RELACIÓN CON EL CLIMA</b>		
3.1	INTRODUCCIÓN	33
3.2	DISTRIBUCIÓN DE LA FLORACIÓN	33
3.3	DURACIÓN DE LAS ETAPAS FENOLOGICAS Y SU RELACIÓN CON FACTORES AMBIENTALES	36
3.3.1	Temperatura	36

3.3.2	Insolación: Cantidad, calidad y duración	38
3.3.3	Régimen de lluvias y estrés hídrico	44
3.3.4	Vientos	46
	BIBLIOGRAFIA	47

## 4. TRANSLOCACIÓN, DISTRIBUCIÓN, ASIMILACIÓN Y FUNCIONES DE LOS NUTRIENTES

4.1	INTRODUCCIÓN	49
4.2	ACCESO DE LAS PLANTAS A LOS NUTRIENTES DEL SUELO	49
4.2.1	Interceptación radical	49
4.2.2	Movimiento de nutrientes del suelo hasta la superficie de la raíz	50
4.2.3	Disponibilidad de nutrientes en la rizosfera	51
4.3	MECANISMOS DEL TRANSPORTE NUTRIENTES EN LAS PLANTAS	51
4.3.1	Transporte de iones en la raíz	52
4.3.2	Transporte a corta distancia de moléculas e iones	53
4.3.3	Movimiento de nutrientes a larga distancia	53
4.4	CONSIDERACIONES DEL TRANSPORTE DE NUTRIENTES EN LAS PLANTAS	55
4.4.1	Generalidades	55
4.4.2	Toma de nutrientes en plantas de banano	58
4.5	DISTRIBUCIÓN DE NUTRIENTES EN PLANTAS DE BANANO	59
4.5.1	Distribución del nitrógeno	59
4.5.2	Distribución del fósforo	60
4.5.3	Distribución del potasio	61
4.5.3	Distribución del calcio	61
4.5.5	Distribución del magnesio	62
4.6	FUNCIONES DE LOS NUTRIENTES	63
4.6.1	Nitrógeno	63
4.6.2	Fósforo	63
4.6.3	Potasio	65
4.6.4	Calcio	65
4.6.5	Magnesio	66

4.6.6	Azufre	67
	BIBLIOGRAFIA	69

## **5. ASPECTOS A CONSIDERAR EN LA NUTRICION BALANCEADA DEL CULTIVO DEL BANANO**

5.1	INTRODUCCIÓN	73
5.2	VARIABILIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO EN SISTEMAS PRODUCTIVOS BANANEROS	74
5.2.1	Caracterización de la variabilidad	74
5.2.2	Manejo de la variabilidad o manejo por sitio específico	78
5.3	INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS	80
5.3.1	Consideraciones generales en la interpretación del análisis	80
5.3.2	Aproximación al contenido de nutrientes en la región de Urabá	81
5.4	INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS DE TEJIDO FOLIAR	82
5.5	EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES	85
5.6	OPORTUNIDAD Y FRECUENCIA DE LA APLICACIÓN	88
5.7	BALANCE DE NUTRIENTES	91
5.7.1	Ensayos de dosis Respuesta	91
5.7.2	Consideraciones sobre la interacción entre nutrientes a tener en cuenta para mejorar la eficiencia de la fertilización	94
	BIBLIOGRAFIA	97

## **6. RENDIMIENTO EN BANANO Y DETERMINACIÓN DE SUS COMPONENTES**

6.1	INTRODUCCIÓN	101
6.2	DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES EN BANANO	103
6.2.1	Determinación del número de racimos	103
2.	Peso aprovechable de la fruta	110
6.3	MANEJOS POBLACIONALES PARA MEJORAR ÍNDICES DE COSECHA O PARA PROGRAMAR COSECHAS	112
6.3.1	Renovación generalizada de un área de cultivo	112

6.3.2	La poda generalizada de un área de cultivo	114
6.3.3	Poda selectivas de plantas dentro de la población	114
6.3.4	Desbacote	116
6.5	EL RENDIMIENTO: ANÁLISIS INTEGRAL DE SUS COMPONENTES	116
	BIBLIOGRAFIA	118

## 7. DINÁMICA DE LOS ELEMENTOS EN EL SUELO

7.1	INTRODUCCIÓN	119
7.2	INTERCAMBIO IÓNICO	119
7.2.1	Tipos de carga negativa que aportan los coloides del suelo	120
7.2.2	Propiedades iónicas relacionadas con la adsorción	122
7.2.3	Mecanismos del intercambio iónico	126
7.3	DINÁMICA DE NUTRIENTES EN EL SUELO	128
7.3.1	Nitrógeno	130
7.3.2	Fósforo	134
7.3.3	Potasio	135
7.3.4	Calcio	136
7.3.5	Magnesio	137
7.3.6	Azufre	137
7.4	ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS DE LA REGIÓN DE URABÁ RELACIONADAS CON LA DINÁMICA DE NUTRIENTES EN EL SUELO	138
	BIBLIOGRAFIA	142

## 8. BORO Y ZINC

8.1	INTRODUCCIÓN	147
8.2	BORO	147
8.2.1	Boro en el Suelo	147
8.2.2	Boro en la planta	149
8.3	ZINC	152
8.3.1	Zinc en suelo:	152
8.3.2	Zinc en la planta	153

8.4	FUENTES DE FERTILIZANTES PARA LA NUTRICIÓN CON MENORES	157
8.4.1	Fuentes de Boro	157
8.4.2	Fuentes de Zinc	158
8.4.3	Estrategias para la aplicación de micronutrientes	160
8.5	NUTRICIÓN Y FERTILIZACIÓN CON ZINC Y BORO EN BANANO	163
8.5.1	Fertilización edáfica con boro y zinc	163
8.5.2	Fertilización foliar	166
	BIBLIOGRAFIA	167

## **9. DESORDENES FISIOLÓGICOS EN LA PLANTA DE BANANO DURANTE LAS ETAPAS CRÍTICAS DE DESARROLLO DE LA INFLORESCENCIA, FLORES Y FRUTOS**

9.1	INTRODUCCIÓN	171
9.2	DESORDENES FISIOLÓGICOS	172
9.2.1	Durante el Desarrollo de la Inflorescencia	172
9.2.2	Durante el Desarrollo de la Flor	173
9.2.3	Durante el Desarrollo del Fruto	174
9.3	DESORDEN FISIOLÓGICO: MANCHA DE MADUREZ	174
9.3.1	Generalidades	174
9.3.2	Factores asociados con mancha de madurez en banano	176
9.3.3	Periodos y fases críticas relacionados con el desorden	177
9.3.4	Disponibilidad de nutrientes en la solución del suelo	179
9.3.5	Movilidad de nutrientes en la planta	182
9.3.6	Manejo agronómico para reducir el impacto de mancha de madurez	182
	BIBLIOGRAFIA	186

## **10. EFECTO DEL EXCESO DE AGUA EN LA FISIOLÓGÍA DEL BANANO Y EN EL SUELO**

10.1	INTRODUCCIÓN	187
10.2	GENERALIDADES	188

10.3	EFFECTOS EN LA PLANTA	189
10.3.1	Afecta la fotosíntesis	189
10.2.2	Afecta el crecimiento radical	190
10.2.3	Incremento de la producción de especies reactivas de oxígeno.	191
10.2.4	Disminución de la toma y absorción de nutrientes	191
10.2.5	Deficiencia de Boro y zinc y aumento de radicales libres	192
10.2.6	Aumento de la absorción de nutrientes que pueden causar toxicidad	193
10.2.7	Desbalance entre fitoreguladores	194
10.3	EFFECTO DE LA SATURACIÓN DEL AGUA EN EL SUELO	196
10.3.1	Desnitrificación	198
10.3.2	Aumento de la biodisponibilidad de manganeso	198
10.3.3	Aumento de la biodisponibilidad de hierro	198
10.3.4	Deterioro en la red de drenaje	199
10.3.5	Arrastre de materiales a los lotes	199
10.4	MANEJO AGRONÓMICO PARA REDUCIR EL IMPACTO DEL EXCESO DE AGUA	200
10.4.1	Prácticas preventivas	200
10.4.2	Prácticas de respuesta en épocas de saturación de agua	205
10.4.3	Prácticas de recuperación una vez cese la presión de las lluvias	206
	BIBLIOGRAFIA	209

## 11. ACIDEZ DE LOS SUELOS Y SU MANEJO

11.1	INTRODUCCIÓN	211
11.2	NATURALEZA DE LA ACIDEZ DE LOS SUELOS	211
11.2.1	Remoción de nutrientes	211
11.2.2	Utilización de fertilizantes nitrogenados	213
11.2.3	Aluminio intercambiable	214
11.3	CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS SEGÚN SU pH	215
11.3.1	Suelos minerales con pH < 4.5	215
11.3.2	Suelos minerales con pH entre 4.5 y 5.5	216

11.3.3	Suelos minerales con pH entre 5.5 y 6.5	216
11.4	ACIDIFICACIÓN DE LOS SUELOS BANANEROS	216
11.4.1	Efectos del aluminio en la plantas	217
11.4.2	Biodisponibilidad de aluminio en el suelo	218
11.5	CONTROL DE LA ACIDEZ	219
11.5.1	Aspectos a tener en cuenta sobre la enmienda a aplicar	220
11.5.2	Reacciones de la cal en el suelo	223
11.6	DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE CAL A APLICAR EN EL CULTIVO	224
11.6.1	Método de Cochrane, Salinas Y Sánchez (1980)	224
11.6.2	Método de Van Raij	224
11.6.3	Método combinado	225
11.6.4	Método de neutralización del aluminio y suplemento de calcio y magnesio	225
11.6.5	Ajuste final de la recomendación de cal a aplicar en el cultivo del banano	226
	BIBLIOGRAFIA	227

