

**Efecto de la fertilización con calcio en la fruta de banano (*Musa AAA* cv. Gal) para el control de la mancha de madurez**

Jacqueline Abarca Durán

Tesis para optar al grado de Profesional Ingeniero Agrónomo con el grado de Licenciado en Agronomía

**Escuela de Agronomía**

**Facultad de Ciencias Agroalimentarias**

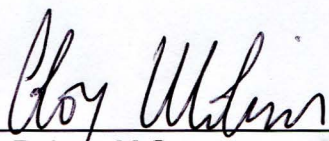
**Universidad de Costa Rica**

**2017**

**Efecto de la fertilización con calcio en la fruta de banano (*Musa AAA cv. Gal*) para el control de la mancha de madurez**

Jacqueline Abarca Durán

Tesis para optar al grado de Profesional Ingeniero Agrónomo con el grado de Licenciado en Agronomía



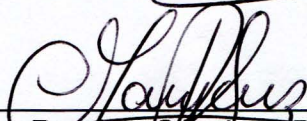
Eloy Molina Rojas, M.S.c.

Director de tesis



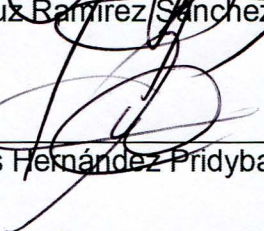
Marco Vinicio Sáenz Murillo, M.S.c.

Miembro del tribunal



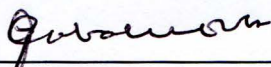
Maricruz Ramirez Sanchez, Ph.D.

Miembro del tribunal



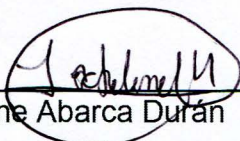
Andrés Hernández Pridybailo, Lic.

Miembro del tribunal



Gilberto Cabalceta Aguilar, M.S.c.

Presidente del tribunal



Jacqueline Abarca Durán

Sustentante

## DEDICATORIA

A Dios, por permitir convertirme en lo que soy, por darme fuerzas cada día para poder continuar, por su amor, abrigo y misericordia, por levantarme cuando caí y apoyarme cuando voy de pie.

A mis padres, Fernando y Eilen, por su ejemplo, sacrificio, confianza y apoyo.

A mis hermanos, Aaron, Enoc, Avril y Noe.

Los amo.

Jacqueline.

## **AGRADECIMIENTO**

Mi más sincero agradecimiento a las siguientes personas:

A el MSc. Eloy Molina Rojas, por su apoyo, consejos, atención y enseñanzas.

Al PhD. Maricruz Ramírez Sánchez, MSc. Marco Vinicio Sáenz, MSc. Juan Ramón Navarro, M.Sc. Gilberto Cabalceta Aguilar y Lic. Andrés Hernández Pridybailo por las valiosas recomendaciones y revisión del presente trabajo.

A la empresa Del Monte: Bandeco por permitir la realización de este ensayo, así como al personal, que de una u otra forma colaboró y apoyó en su desarrollo.

A Erick, por ser una bendición en mi vida, por su amor, apoyo y consejos.

A mis amigos, compañeros, que me han acompañado a lo largo de la carrera y que hoy forman parte de mi vida y lo serán por siempre.

## Índice de contenido

Resumen.....	viii
Introducción .....	1
Objetivo general .....	6
Objetivos específicos .....	6
Antecedentes .....	7
Materiales y métodos.....	11
1. Delimitación espacial y temporal .....	11
2. Material experimental.....	12
3. Análisis químico de suelos y foliares. ....	13
4. Análisis químico de cáscara de banano .....	14
5. Inicio de pico de Mancha de madurez .....	15
6. Fuentes de calcio .....	16
7. Variables a evaluadas .....	19
8. Unidad experimental .....	22
9. Diseño experimental .....	22
Resultados y discusión .....	23
Estado nutricional del área experimental y concentración de calcio en la cáscara .....	23
Efecto sobre las variables de rendimiento.....	34
Efecto del calcio sobre la Mancha de madurez .....	37
Conclusiones.....	43
Literatura consultada.....	45
Anexo.....	49

## Índice de cuadros

<b>Cuadro 1.</b> Actividades desarrolladas durante el ensayo, el Carmen de Siquirres, 2016. ..	12
<b>Cuadro 2.</b> Observación del nombre comercial, código, dosis y aporte de nutrientes para cada tratamiento.....	17
<b>Cuadro 3.</b> Observación de resultados del análisis químico de suelos: Datos de Laboratorio Del Monte, BANDECO, El Carmen de Siquirres, 2016.....	24
<b>Cuadro 4.</b> Observación de resultados del cálculo de las relaciones de bases, Laboratorio Del Monte, BANDECO, El Carmen de Siquirres, 2016.....	24
<b>Cuadro 5.</b> Resultados del análisis químico foliar, Laboratorio de Del Monte, BANDECO.	25
<b>Cuadro 6.</b> Resultado del análisis químico de cáscara, primer muestreo, El Carmen de Siquirres, semana 43, 2016.....	27
<b>Cuadro 7.</b> Resultado del análisis químico de cáscara, segundo muestreo, El Carmen de Siquirres, semana 50, 2016.....	30
<b>Cuadro 8.</b> Efecto de la concentración de calcio en la cáscara, en las fuentes aplicadas, en el índice de severidad, y sus respectivos diferenciales (resta entre los resultados obtenidos menos esperados).....	33
<b>Cuadro 9.</b> Efecto de la aplicación de calcio en el rendimiento del banano. ....	34
<b>Cuadro 10.</b> Efecto de los tratamientos en las variables de rendimiento (calibre de la segunda mano, longitud externa de la segunda, quinta mano, última mano y total de dedos.....	35
<b>Cuadro 11.</b> Efecto de la aplicación de calcio en el número de dedos con daño leve, moderado y severo.....	39
<b>Cuadro 12.</b> Contrastes realizados para la categoría Moderada, Kruskal-Wallis.....	40
<b>Cuadro 13.</b> Resultados obtenidos para las variables: índice de severidad, peso de fruta de rechazo (tratamiento)(kg) y peso de racimo kg). ....	41

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Síntoma característico de la Mancha de madurez.....	8
<b>Figura 2.</b> Observación de muestreo de foliares (a) y suelos (b), El Carmen de Siquirres, 2016. ....	13
<b>Figura 3.</b> Observación del procesamiento de las muestras de cáscara, recolección (a), corte (b), cáscara molida (c), en Laboratorio de Suelos y Foliares de BANDECO, 2016. ...	14
<b>Figura 4.</b> Racimo aplicado con el tratamiento SF1 , El Carmen de Siquirres, 5 de octubre, 2016. ....	18
<b>Figura 5.</b> Escala pictórica de evaluación daño leve (a), moderado (b) y severo (c), de mancha de madurez en banano. ....	20
<b>Figura 6.</b> Efecto de la aplicación de calcio en el número de dedos con daño leve, moderado y severo sobre la incidencia de la mancha de madurez, El Carmen de Siquirres, 2016. ....	38

## Resumen

Se evaluó el efecto de la aplicación de diferentes fuentes y dosis de calcio aplicado de forma directa a la fruta de banano (*Musa AAA* cv. Gal), realizada en fincas comerciales del Caribe de Costa Rica. Los tratamientos utilizados fueron las fuentes: SK1, SK2, SF1, SF2, NIC, CX y testigo comercial, los cuales fueron aplicados directamente con una bomba de aspersión tipo mochila, sobre el racimo de banano al cumplir dos semanas de haber emergido. Posteriormente, a la semana 5 y 12 de emisión del racimo, se realizó un muestreo de la cáscara de banano, con el fin de determinar el contenido nutricional de esta. En la semana 12, se realizó la cosecha del ensayo, donde se evaluó: peso del racimo, longitud externa de dedos, calibre, número de manos y dedos, y, por último, la incidencia y severidad de la mancha de madurez por medio de una escala pictórica. Al analizar los resultados sobre la incidencia y severidad de mancha de madurez para las evaluaciones de daño leve ( $p > 0,4571$ ), moderado ( $p > 0,0769$ ) y severo ( $p > 0,9316$ ), no se encontraron diferencias entre estos. Sin embargo, el testigo presentó los niveles de severidad más altos en comparación con los tratamientos especialmente el SK1. Al observar las variables de producción como peso ( $p > 0,1030$ ), calibre de la segunda y ( $p > 0,7262$ ) quinta ( $p > 0,729$ ) mano, longitud externa de la segunda ( $p > 0,8314$ ) y quinta mano ( $p > 0,532$ ), no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos. En el caso de los resultados químicos de calcio, no se encontraron diferencias significativas en ninguno de los dos muestreos realizados (primer  $p > 0,7206$  y segundo muestreo  $0,2561$ ). Por lo cual, se concluye que no existen diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, sin embargo, se observaron diferencias de hasta un 30 % con respecto al testigo de los tratamientos SK1, SF1 y NIC.



Palabras clave: banano, mancha de madurez, calcio, nutrición mineral, fruta.

## **Abstract**

The effect of the application of different sources and doses of calcium applied directly to the banana fruit (*Musa AAA cv. Gal*), carried out in commercial farms of the Caribbean of Costa Rica, was evaluated. The treatments used were the sources: SK1, SK2, SF1, SF2, NIC, CX and commercial control, which were applied directly with a backpack spray pump, on the banana cluster after two weeks of emergence. Subsequently, at week 5 and 12 of cluster emission, a sampling of the banana peel was carried out, in order to determine the nutritional content of this. In week 12, the trial was harvested, where it was evaluated: cluster weight, external length of fingers, caliber, number of hands and fingers, and, finally, the incidence and severity of the maturity spot by means of a pictorial scale. When analyzing the results on the incidence and severity of maturity spot for the evaluations of mild ( $p > 0.4571$ ), moderate ( $p > 0.0769$ ) and severe ( $p > 0.9316$ ), no differences were found between these. However, the control presented the highest levels of severity compared to the treatments, especially SK1. When observing the variables of production as weight ( $p > 0.1030$ ), caliber of the second and ( $p > 0.7262$ ) fifth ( $p > 0.749$ ) hand, external length of the second ( $p > 0.8314$ ) and fifth hand ( $p > 0.532$ ), there were no significant differences between treatments. In the case of chemical calcium results, no significant differences were found in any of the two samples taken (first  $p > 0.7206$  and second sampling  $0.2561$ ). Therefore, it is concluded that there are no significant differences between the treatments evaluated, however, differences of up to 30% were observed with respect to the control of the SK1, SF1 and NIC treatments.

## **Introducción**

### **Descripción del banano y requerimientos climáticos**

La planta de banano (*Musa paradisiaca*) es hidrófita originaria del trópico húmedo y su estructura vegetativa está adaptada a condiciones de alta humedad, por lo tanto, es muy susceptible a las deficiencias hídricas y a la disminución de oxígeno en la atmósfera del suelo (Soto, 2015). En general, los requerimientos hídricos mínimos del cultivo indican que la cantidad de lluvia anual debe rondar los 2000 mm, debido a que la resistencia a la sequía es pequeña (Soto, 2008). Por lo tanto, el estrés por falta de agua es un problema en el cultivo de banano, sin embargo, ante períodos de humedad excesiva, la planta se ve afectada y tarda alrededor de tres días antes de recuperar la actividad fisiológica normal (Robinson, 1996). Además, el cultivo requiere temperaturas relativamente altas, que varían entre los 21 y los 29,5 °C. Su temperatura mínima absoluta es de 15,6°C y su máxima de 37,6°C, por lo tanto, exposiciones a temperaturas mayores o menores causan deterioro y lentitud en el desarrollo, además de daños en la fruta (Soto, 2015).

En la actualidad, el cultivo se ha extendido considerablemente a nivel mundial, la mayoría de la producción de banano se encuentra comprendida entre el Ecuador y 20° latitud norte o sur, bajo condiciones de clima tropical y áreas subtropicales (Robinson, 1996; Soto 2008; Arteaga, 2015). Las regiones de América Latina y el Caribe representan unas de las principales áreas, al poseer condiciones que favorecen el desarrollo del cultivo y donde este constituye un elemento básico del régimen alimentario (Soto, 2008).

Costa Rica tiene uno de los más altos niveles de productividad bananera del mundo, por su alto grado de tecnificación e investigación en materia bananera, durante el año 2015 el área bananera de Costa Rica alcanzó 43,024 hectáreas en producción (CORBANA, 2015). Para el cierre del año 2015, la productividad bananera nacional alcanzó 2,339 cajas por hectárea (42,4 toneladas métricas), la producción fue cerca de 100 millones de cajas de banano por año, alcanzando aproximadamente 700 millones de dólares anuales, convirtiendo a Costa Rica en uno de los mayores productores del mundo (CORBANA, 2015). El cultivo de banano en Costa Rica se concentra en mayor extensión en la zona Atlántica, siendo esta una zona característica por presentar altas precipitaciones, alta humedad relativa y topografía plana (CORBANA, 2011).

El cultivo del banano como todos los cultivos es susceptible a enfermedades, ya sea por factores bióticos o abióticos, en este caso, existe un desorden fisiológico conocido como "*Mancha de madurez*", el cual ha sido reportado en varios países causando pérdidas considerables de producción (Díaz, 2004, 2005). En Urabá (Colombia) se reportan pérdidas de fruta por hectárea anuales atribuidas al fenómeno de la mancha de madurez de un 3 a 5 % en épocas de incidencia baja y del 18 % en épocas de incidencia alta, mientras que en Costa Rica se reportan pérdidas del 15 % (Campos, 2010).

## **Descripción del desorden fisiológico *Mancha de madurez (MM)***

En algunos países como Costa Rica, Australia y Colombia, se presenta un desorden fisiológico conocido como *Mancha de madurez (MM)*, el cual presenta un síntoma característico, donde se observa un bronceado de color marrón-rojizo sobre la epidermis de la fruta, en consecuencia, la fruta afectada no es aceptada para exportar, aunque internamente la pulpa no tiene ningún daño, es un problema de aspecto externo y su calidad alimenticia y sabor no son afectados (Williams *et al.* 1990).

En la mayor parte de frutas para consumo fresco, la calidad se mide de acuerdo con sus características organolépticas y aspecto externo, principalmente, que no presentan lesiones, ya que una lesión en la fruta, en este caso la MM, cambia el color del tejido (Williams *et al.* 1990). Esto debido a la destrucción de los compartimentos celulares del fruto, lo que permite que los sustratos de naturaleza fenólica sean accesibles a la enzima polifenol oxidasa, dando lugar a polímeros oscuros como la dopamina (Sellés *et al.* 2007; Martínez *et al.* 2013; Segura, 2003; Williams *et al.* 1990; Daniells, 1985).

El problema se atribuye a la baja absorción de calcio durante la fase de diferenciación floral y desarrollo de los frutos en períodos de baja humedad o déficit hídrico en el suelo y altas temperaturas, seguido de condiciones de alta temperatura y altas precipitaciones que promueven un crecimiento y división celular acelerados (Díaz *et al.* 2007).

## **El papel del calcio en la Mancha de madurez**

En el país, condiciones como abundantes precipitaciones y altas temperaturas pueden provocar el origen de deficiencias de diferentes elementos como lo es el calcio, sobre todo en periodos de rápido crecimiento, como la diferenciación foliar y desarrollo de los frutos, lo cual puede provocar la aparición del desorden fisiológico mancha de madurez (Daniells, 1982; Sánchez y Mira 2013). Debido a esto, en meses posteriores a periodos con baja precipitación, prolongados o intensos, se incrementa la fruta rechazada (Daniells, 1987; Williams, 1990).

Además, la cera epicuticular es la encargada de dar rigidez a las células y aparece en los primeros 14 a 28 días después de la emergencia del racimo, en consecuencia, durante este periodo, la deficiencia de calcio es más crítica, por ello, a los 42 días de emergido el racimo, las paredes presentan fracturas que varían en tamaño y profundidad; posteriormente, se presenta decoloración del contenido citoplasmático de las células que luego se esparcen en los espacios intercelulares (Williams *et al.* 1988).

El calcio es muy importante en la célula, ya que es parte de la pared celular y actúa como agente cementante que une las paredes celulares, además, forma parte de pectatos de calcio en la lámina media e incrementa la adhesión entre células logrando una mejor estabilidad de las mismas (Whitman, 1993). Lo anterior explica por qué las aplicaciones de este elemento permiten el mejoramiento de la firmeza y resistencia al ablandamiento (Poovaiah, 1986).

Aunado a esto, se ha determinado que contenidos altos de calcio en el suelo no necesariamente coinciden con la cantidad real de calcio absorbido por la planta, en especial en épocas de baja precipitación, en donde la disponibilidad y movimiento de este elemento disminuye, debido a la baja humedad del suelo (Finck 1988; Guerrero *et al.* 1999). A lo anterior se suma la poca o nula movilidad de este elemento en los tejidos y que su movimiento dentro de la planta depende de un buen nivel interno de agua y temperaturas adecuadas, para propiciar una transpiración normal. Por tal motivo, cualquier factor que altere dichos procesos puede causar desbalances de este elemento, principalmente en puntos de crecimiento y frutos (Yáñez, 2002).

En respuesta a lo anterior, se formuló la siguiente hipótesis de trabajo: La aplicación de fuentes de calcio directamente sobre la fruta, en las épocas de mayor susceptibilidad de la planta de banano, ayuda a promover una reducción de la incidencia y severidad provocada por la mancha de madurez. Debido a lo anterior, la importancia de este proyecto radica en buscar alternativas que puedan servir de herramienta para disminuir las pérdidas por mancha de madurez en la producción de banano en Costa Rica.

## **Objetivo general**

- Evaluar el efecto de la aplicación foliar de diferentes fuentes y dosis de calcio en la fruta sobre la incidencia de la “Mancha de madurez” en banano.

## **Objetivos específicos**

- Determinar el efecto de diferentes fuentes de calcio en la incidencia y severidad de la Mancha de madurez durante el periodo de alta susceptibilidad.
- Evaluar el efecto de diferentes fuentes y dosis de calcio aplicadas a los racimos sobre las variables de producción del banano.
- Explorar la posible relación de los niveles de calcio en racimos de banano, con las variables de incidencia y severidad de Mancha de madurez.

## Antecedentes

Uno de los primeros antecedentes que describen la MM fue realizado por Campbell y Williams (1976), los cuales iniciaron con la identificación de factores asociados a este problema, lo que llevó a descartar la influencia de factores bióticos, tales como patógenos, insectos o virus. La información anterior fue de gran importancia, ya que el fenómeno había sido descrito pobremente, en parte debido a que las lesiones producidas por el *thrip* de la flor del banano, *Chaetanaphothrips signipennis* y *Thrips hawaiiensis*, se asemejaban a las ocasionadas por la mancha de madurez (Swaine *et al.* 1985).

En años posteriores, se pudo conocer más sobre el comportamiento del fenómeno, en donde Daniells (1985) y Williams *et al.* (1990), describen la relación de la mancha de madurez con el clima, el diámetro de los dedos y el papel fundamental que tiene el calcio. Lo anterior se describió con mayor detalle cuando Williams *et al.* (1990) caracterizaron, mediante microscopía electrónica, las lesiones en la superficie de la cáscara de frutos afectados con mancha de madurez en época húmeda, y determinaron que su formación involucra: la separación de las células epidermales y el rompimiento intercelular, los cuales se presentan debido a que cuando se da un crecimiento y una división celular acelerados, la epidermis y la cutícula no son lo suficientemente elásticas para acomodar la expansión de tejidos internos.



Díaz (2004), Daniells (1985), Sánchez y Mira (2013), mencionan que la mancha de madurez ocurre bajo condiciones específicas como alta temperatura y déficit hídrico en época seca, seguido por un período de rápido crecimiento en el período lluvioso, durante el cual la temperatura y la humedad, son los factores que marcan una enorme influencia en el crecimiento y desarrollo del cultivo, tanto en niveles de exceso como de escasez.

Los síntomas de deficiencia son más severos en los sitios de división celular y extensión celular de los frutos (Parrra, 2006), lo que provoca la aparición del bronceado (figura 1) y este se encuentra en mayor proporción en las extremidades de las manos (Williams *et al.* 1990).



**Figura 1.** Síntoma característico de la Mancha de madurez.

En trabajos realizados por Campbell y Williams (1976) y Daniells (1987), demostraron que el diámetro de los dedos está directamente relacionado con la severidad de la mancha de madurez, de modo que, a mayor grosor del dedo, el síntoma es más severo. Sánchez y Mira (2011), mencionan que condiciones que limiten la absorción y movilidad del calcio, desde la diferenciación floral y hasta dos semanas después de la floración, repercuten en la manifestación de la MM, siendo este el período crítico que determina la severidad del daño.

El porcentaje de calcio que llega al fruto ocurre principalmente durante las primeras etapas de crecimiento, lo cual corresponde al período en el que el xilema es el principal proveedor de agua y solutos. Al momento de la floración, la planta contiene cerca del 55 % del calcio total que tendrá durante todo su desarrollo y durante la cosecha, alrededor del 88 % del  $\text{Ca}^{+2}$  se conservará en las hojas, pseudotallos y rizoma y el racimo contendrá únicamente el 12 % (Sánchez y Mira 2013). Cuando la disponibilidad de agua es deficiente, las partes jóvenes de algunas plantas son relativamente más ricas en potasio y más bajas en calcio, lo que acentúa los problemas de deficiencia del elemento, haciéndolas más susceptibles a la incidencia del desorden fisiológico (Daniells *et al.* 1987).

Díaz *et al.* (2006) realizaron aplicaciones de nitrato de calcio inyectado al pseudotallo de plantas recién cosechadas en épocas de baja humedad y alta precipitación, sin obtener diferencias significativas entre tratamientos. García (2009), reportó una disminución en la incidencia de la Mancha de madurez al aplicar calcio hidrosoluble en el suelo durante las épocas de mayor susceptibilidad.

En Costa Rica, Chacón (2014), evaluó la inyección de diferentes fuentes de calcio al pseudotallo cuando estas plantas tenían una y seis semanas después de haber emergido el racimo, sin obtener diferencias significativas entre los tratamientos. Además, no existen trabajos publicados en los que se halla realizado la aplicación de calcio dirigido a la fruta. Lo anterior se presenta como una oportunidad de evaluar el efecto de este tipo de aplicación sobre la incidencia de la Mancha de madurez, debido a la limitante en el uso de fuentes de calcio en suelos con escasa humedad o de manera foliar.

## **Materiales y métodos**

### **1. Delimitación espacial y temporal**

El experimento se realizó en un área de aproximadamente 7 hectáreas ubicada en el Carmen de Siquirres, Limón, Costa Rica, perteneciente a la empresa BANDECO Del Monte, durante el período del 28 de septiembre al 14 de diciembre, es decir, desde la semana 40 hasta la semana 50 del año 2016, esta área contaba con antecedentes de incidencia de mancha de madurez en los racimos.

La plantación utilizada fue un clon GAL de la variedad Cavendish, producto de una renovación en 2014. Por lo que, al momento de la aplicación de los tratamientos, la plantación tenía la edad aproximada de 2 años, además, el área experimental se desarrolló en un suelo tipo III de textura franco arcillosa. Por otra parte, en los anexos 2 y 3 se encuentran los datos de precipitación y temperatura en la zona durante los años 2014, 2015.

## 2. Material experimental

Previo al ensayo (cuadro 1), se realizaron pruebas de sensibilidad donde cada uno de los tratamientos fue sometido a una evaluación, en la que se estudió un posible efecto desfavorable al realizar aplicaciones directamente sobre las brácteas del racimo de banano, además, en la semana 39 se realizó un muestreo de suelos y foliares.

En el experimento se realizó solo una aplicación (semana 40) de los tratamientos en plantas de banano con dos semanas de haber emitido el racimo floral (durante ese periodo las brácteas del racimo ya se encuentran abiertas, para realizar una aplicación homogénea). Al realizar la aplicación, se marcó tanto planta como racimo con una cinta color naranja que contenía el número de repetición y el tratamiento. Posteriormente, en la semana 50 se realizó la cosecha del ensayo y la recolección de datos de producción y mancha de madurez.

**Cuadro 1.** Actividades desarrolladas durante el ensayo, el Carmen de Siquirres, 2016.

Actividades desarrolladas	Semana/2016				
	36	39	40	43	50
Pruebas de sensibilidad.	X	X			
Muestreo de suelos.		X			
Marcación del área experimental y de plantas.			X		
Aplicación de los tratamientos.			X		
Muestreo de cáscara.				X	
Recolección de datos de cosecha.					X

### 3. Análisis químico de suelos y foliares.

Una semana antes de las aplicaciones (semana 39), se procedió a realizar un análisis de suelos en el área experimental, con el fin de representar de la mejor forma el área en estudio, la cual fue dividida en cuatro muestras, cada una conformada por 15 submuestras tomadas al azar. Estas se recolectaron frente al hijo de sucesión y, por consiguiente, donde se encuentra la banda de fertilización. Las muestras se procesaron en el Laboratorio de Suelos y Foliars de la empresa BANDECO.

Por otro lado, para el análisis foliar, se procedió a cortar 10 cm de la parte central de cada una de las láminas de la hoja 3 (figura 2) de la planta de banano, de este modo se recolectaron cuatro muestras compuestas, cada una conformada por 15 submuestras, para ello el análisis de las muestras se realizó en el Laboratorio de Suelos y Foliars de la empresa BANDECO.



**Figura 2.** Observación de muestreo de foliares (a) y suelos (b), El Carmen de Siquirres, 2016.

#### 4. Análisis químico de cáscara de banano

Se realizó un muestreo de cáscara de banano, en las semanas 5 y 12 después de la emisión del racimo. Se tomaron tres muestras (repeticiones) por tratamiento, cada una conformada por tres dedos (por cada segunda mano, se tomaron dos dedos de los extremos: uno del extremo izquierdo y otro del extremo derecho, y un dedo central). El análisis químico de cáscara (figura 3) se realizó en el Laboratorio de Suelos y Foliare de BANDECO, para lo cual la cáscara se cortó en tiras y se colocó a secar al horno (65°C), después de esto las muestras fueron procesadas con ayuda del espectrofotómetro.



**Figura 3.** Observación del procesamiento de las muestras de cáscara, recolección (a), corte (b), cáscara molida (c), en Laboratorio de Suelos y Foliare de BANDECO, 2016.

## 5. Inicio de pico de Mancha de madurez

- Luego de 3 semanas consecutivas de precipitaciones iguales o menores a 50 mm por semana, habrá un inicio de pico de mancha de madurez 13 semanas después.
- Ejemplo: Precipitación de semana 1 = 10mm, 2 = 44mm, 3 = 29mm
- Se cumple la condición del disparador de la mancha de madurez
- Se debe enviar la alerta que “En la semana 16 (3+13), inicia un pico de mancha de madurez”
- El pico de mancha de madurez continuará subiendo semanalmente, siempre y cuando las condiciones de precipitaciones menores a 50 mm / semana continúen.
- En el momento en que en una semana llueva más de 50 mm / semana, 13 semanas después será el “pico” de mancha de madurez
- Si la condición de lluvia mayor a 50 mm / semana continúa, el pico de mancha de madurez comenzará a disminuir



## 6. Fuentes de calcio

- **Sur kal (CaO 54% y N 6%)**

Es un fertilizante y enmienda líquida compuesta de calcio, componentes nitrogenados y aditivos, para el control de la acidez del suelo y el suministro de calcio y nitrógeno a los cultivos, casa comercial Sur Químicas de CA.

- **Sur flow Calcio (CaO 54%)**

Es una enmienda y fertilizante flovable, para aplicación líquida. Está compuesta de carbonato de calcio de muy alta fineza, lo que permite su fácil dispersión en agua, casa comercial Sur Químicas de CA.

- **Nitrato de Calcio (CaO 26% y N 15,5 %)**

Sal recomendada para fertirrigación y aplicaciones foliares.

- **Calcimax 14,33% y B 0,54%**

Es un fertilizante foliar líquido que contiene calcio acompañado con carbohidratos, es un quelato orgánico derivado de fuentes naturales, casa comercial Suplidora Verde.

**Cuadro 2.** Observación del nombre comercial, código, dosis y aporte de nutrientes para cada tratamiento.

Nombre comercial	Código	Dosis en 100 L de agua	Aporte de nutrientes
Surkal	SK1	125 ml	CaO 0,07%.
Surkal	SK2	250 ml	CaO 0,14%.
Surflow	SF1	1 kg	CaO 0,54%.
Surflow	SF2	2 kg	CaO 1,08%.
Nitrato de Calcio	NIC	100g	CaO 0,03%.
Calcimax	CX	250 ml	CaO 0,04%.
Testigo			

Los fertilizantes fueron disueltos en agua de acuerdo con su dosis (cuadro 2). La aplicación se realizó con tres bombas de espalda, asperjando 100 ml de producto diluido por racimo, dirigido principalmente sobre las primeras manos, las cuales generalmente son las más afectadas por mancha de madurez (Días, 2006) (figura 4).



**Figura 4.** Racimo aplicado con el tratamiento SF1 , El Carmen de Siquirres, 5 de octubre, 2016.

## 7. Variables a evaluadas

- **El peso del racimo:**

Se determinó el peso de cada racimo cosechado, de cada una de las repeticiones de los siete tratamientos.

- **Número de manos por racimo:**

Se evaluó el número de manos por racimo de cada una de las repeticiones de los siete tratamientos.

- **Número de dedos por mano:**

Se cuantificó el número de dedos por mano de todas las manos de los racimos cosechados de las repeticiones de los siete tratamientos.

- **Calibre (ancho):**

Para medir esta variable se utilizaron los calibres: 40,47,50, los cuales son los utilizados a nivel comercial para medir esta variable.

- **Longitud externa (cm) del dedo central de la segunda, quinta y última mano:**

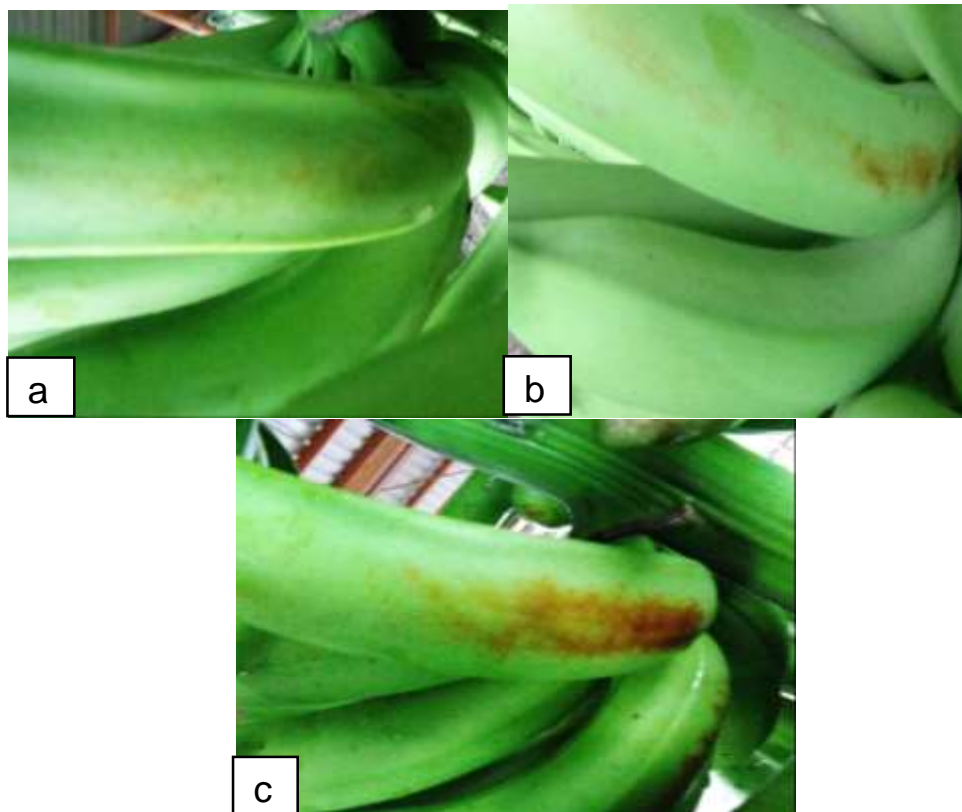
Con una cinta métrica, se midió la curvatura exterior del dedo individual, desde el extremo distal hasta el extremo proximal.

- **Rechazo de la fruta por la Mancha de madurez**

Se cuantificó el peso de la fruta que se rechazó a causa de la Mancha de madurez (kg), para lo cual se pesaron los dedos de banano que presentaron daño moderado y severo, los cuales son rechazados para exportación.

- **Severidad del daño:**

En cada dedo afectado se utilizó una escala pictórica (figura 5) de medición de leve, moderado y severo (correspondientes a grado 1,2 y 3 respectivamente), con el fin de determinar la cantidad de dedos con daño en cada categoría.



**Figura 5.** Escala pictórica de evaluación daño leve (a), moderado (b) y severo (c), de mancha de madurez en banano.

- **Promedio dedos con daño leve, moderado, severo**

Se realizó un promedio de daño leve, moderado y severo por tratamiento.

- **% Promedio de dedos con daño**

Se calculó el porcentaje dedos con daño para cada categoría leve, moderado o severo, entre el total de dedos por racimo, después de esto se calculó un promedio de dedos por racimo para graficar.

- **Índice de mancha de madurez**

Índice de mancha de madurez: calculado mediante la fórmula de Townsend y Heuberguer (Orjeda *et al.* 1998):

$$\text{Índice de MM} = \frac{\sum \text{NDG1x1} + \text{NDG2x2} + \text{NDG3}}{(\text{valor de la categoría mayor}) \times T} \times 100$$

Donde:

NDGx1: Número de dedos con grado 1.

NDGx2: Número de dedos con grado 2.

NDGx3: Número de dedos con grado 3.

T: Número total de dedos evaluados

## **8. Unidad experimental**

Cada uno de los siete tratamientos contó con 15 plantas y cada una de ellas fue una repetición, para obtener un total de 105 plantas durante el ensayo, cabe resaltar que las plantas de banano no tienen una floración homogénea, ya que su reproducción asexual provoca que se encuentren en una misma área plantas en todos los estados fisiológicos, por eso se abarcan alrededor de 7 ha, para encontrar las 105 plantas necesarias para el experimento.

## **9. Diseño experimental**

Se utilizó un diseño irrestricto al azar, con siete tratamientos y 15 repeticiones (cada racimo es una repetición). En el ensayo, se realizaron las aplicaciones en el momento en que las precipitaciones no se presentaron o fueron muy escasas (alrededor de 3 semanas) (anexo 1), en el cual existió un periodo de estrés hídrico y, posteriormente, un periodo lluvioso de rápido crecimiento.

Las variables de peso, número de dedos, longitud externa y rechazo de dedos se analizaron por medio de ANDEVA, para determinar diferencias significativas y prueba DGC 0,05 % para la comparación y separación de medias y para las variables calibración, severidad del daño, fueron analizadas por método no paramétrico Kruskal-Wallis.

## **Resultados y discusión**

### **Estado nutricional del área experimental y concentración de calcio en la cáscara**

Los resultados del análisis químico de suelo, relación de bases y análisis foliar se pueden observar en los cuadros 3 y 4, respectivamente. En el área de estudio, se presentaron resultados de pH que se encuentran dentro del rango óptimo, siendo el promedio general 5,66 (cuadro 3). Por consiguiente, la solubilidad, disponibilidad y absorción de algunos nutrientes como calcio, magnesio, potasio y fósforo, y elementos menores no debería afectarse de manera negativa. Además, el hecho de que el pH se encuentre dentro del rango óptimo de acidez indica en este caso, que el porcentaje de saturación de acidez no debería superar los 0,5 cmol/l, obteniéndose un promedio general de 0,12 cmol/l, lo que indica que el Al intercambiable no está causando toxicidad a la plantación (Bertsch, 1995).

Las concentraciones de macronutrientes como potasio, fósforo, calcio y magnesio, se encuentran en el rango óptimo sugerido por Bertsch (2003). En el caso particular del calcio, este elemento se encuentra con rangos superiores al rango óptimo, en niveles considerados como altos, encontrándose un promedio general de 25,09 cmol/l. Con respecto a las relaciones de equilibrio de bases (cuadro 4), se observó que la relación Ca/ Mg se mantuvo dentro del rango óptimo de equilibrio, con valores promedio de 3,68. En el caso de la relación entre el Ca/K, esta se encuentra desbalanceada siendo el promedio 31,30, cuando el límite superior es 25, según lo especificado por Méndez y Bertsch ( 2012).



Continuando con las relaciones (Ca+Mg)/K, Mg/K, estas se encuentran dentro de los rangos óptimos (cuadro 3) encontrados en la *Guía para la interpretación de la fertilidad de los Suelos de Costa Rica* elaborada por los autores Méndez y Bertsch (2012), con valores promedio de 33,66 y 8,57 respectivamente.

**Cuadro 3.** Observación de resultados del análisis químico de suelos: Datos de Laboratorio Del Monte, BANDECO, El Carmen de Siquirres, 2016.

Muestra	pH	cmol/l				mg/l				
		Al	Ca	Mg	K	P	Zn	Fe	Mn	Cu
	5,5-6,5	0,5	4	1	0,2	<10	3	10	5	1
1	5,26	0,25	22,16	7,20	0,91	50,81	7,25	75,82	40,13	5,62
2	5,53	0,13	24,10	7,09	0,81	41,02	7,35	53,38	38,16	0,97
3	5,85	0,04	25,70	6,68	0,94	39,96	7,45	56,94	27,52	3,07
4	5,99	0,04	28,42	6,81	0,65	44,06	7,38	53,06	31,15	3,63
Promedio	5,66	0,12	25,09	6,95	0,83	43,96	7,36	59,80	34,24	3,32

**Cuadro 4.** Observación de resultados del cálculo de las relaciones de bases, Laboratorio Del Monte, BANDECO, El Carmen de Siquirres, 2016.

Muestra	Ca/Mg	Ca/K	(Ca +Mg/K)	Mg/K
	2-5	5-25	10-40	2,5-15
1	3,08	24,32	30,06	7,9
2	3,4	29,6	32,81	8,71
3	3,84	27,36	32,81	7,12
4	4,17	43,93	38,95	10,53
Promedio	3,62	31,30	33,66	8,57

Por otra parte, el análisis de plantas es una técnica que determina el contenido de los nutrientes en tejidos vegetales de plantas de un cultivo muestreado en un momento o etapa de desarrollo determinados (Correndo y García 2012). En este caso (cuadro 4), las concentraciones de fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, boro y zinc, se encontraron en niveles bajos. Los análisis de suelos (cuadro 2) y foliares (cuadro 4) se realizaron con el fin de observar preliminarmente cuál era la condición del área en la que se desarrolló el ensayo, observándose en los análisis de suelos comportamientos uniformes óptimos y en el caso de las muestras foliares, se pueden observar algunas deficiencias de importancia, pero, igualmente, generalizadas en todas las muestras.

**Cuadro 5.** Resultados del análisis químico foliar, Laboratorio de Del Monte, BANDECO.

*NC	%						mg/Kg				
	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Fe	Cu	Mn	B
	2,8-4	0,20-0,25	3-4	0,8-1,20	0,20-0,46	0,23-0,27	21-35	70-200	7-20	100-2200	20-80
1	3,17	0,19	2,15	0,53	0,23	0,15	17	80,38	8,05	198,1	11,7
2	2,67	0,19	3,24	0,55	0,23	0,15	16,9	68,66	7,69	134,2	23,79
3	2,8	0,19	2,92	0,54	0,22	0,15	16,3	118	7,42	78,4	14,28
4	3,07	0,19	4,55	0,57	0,25	0,15	15,5	79,58	7,82	30,41	16,73
Promedio	2,93	0,19	3,22	0,55	0,23	0,15	16,41	86,64	7,75	110,28	16,63

\*NC: nivel crítico.

**Fuente de niveles óptimos:** López *et al.* (2001).

Por otra parte, se realizaron análisis químicos cáscara, con el fin de observar los posibles efectos de los tratamientos con respecto a la concentración de calcio en la fruta, los órganos de las plantas de banano contienen concentraciones variables, asimismo los clones del subgrupo “*Cavendish*”, tales como el “*Gran enano*” y “*Valery*” tienen necesidades nutricionales similares (Soto 2015). Marchal y Mallessard (1979) brindan promedios de los niveles nutricionales contenidos en los diferentes órganos de la planta, los cuales serán comparados con los resultados obtenidos en los análisis químicos cáscara realizados.

Como resultado del primer muestreo de cáscara, tres semanas después de la aplicación de los productos, se puede observar (cuadro 5) que en el caso del nitrógeno, fósforo y potasio se encontraron por debajo de los niveles mostrados por Marchal y Mallessard (1979), ya que sus promedios generales son 0,01 %, 0, 11 % y 2,69 % respectivamente, además, no se encontraron diferencias significativas en el contenido de estos nutrimentos ( $p > 0,05$ ). El calcio presentó un promedio de concentración 0,24 % y tomando como nivel crítico el valor de 0,28 %, se observó que los tratamientos SK1, SF1, SF2 y NIC presentaron valores levemente más altos, incluso muy cercanos al 0,28 %, en comparación con SK2 y CX, sin embargo, no se encontraron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) en ninguno de los tratamientos.

**Cuadro 6.** Resultado del análisis químico de cáscara, primer muestreo, El Carmen de Siquirres, semana 43, 2016.

Tratamiento	%					
	*N	*P	*K	*Ca	*Mg	*S
	1,25	0,14	6,04	0,28	0,15	0,1
SK1	1,04 a	0,10 a	2,88 a	0,28 a	0,12 a	0,05 a
SK2	1,02 a	0,10 a	2,57 a	0,22 a	0,10 a	0,05 a
SF1	0,95 a	0,10 a	2,68 a	0,27 a	0,12 a	0,05 a
SF2	1,02 a	0,11 a	2,78 a	0,25 a	0,11 a	0,05 a
NIC	0,92 a	0,10 a	3,14 a	0,25 a	0,11 a	0,05 a
CX	1,05 a	0,10 a	2,29 a	0,20 a	0,11 a	0,05 a
Testigo	1,04 a	0,12 a	2,50 a	0,25 a	0,12 a	0,05 a
Promedio	1,01	0,11	2,69	0,24	0,11	0,05
CV	6,99	15,78	14,55	24,47	19,97	7,35
P Tratamiento	0,2507	0,5055	0,2593	0,7206	0,9789	0,678

\*Medias seguidas por la misma letra no se consideran distintas según prueba de DGC ( $p > 0,05$ ).

\*\*Valores de referencia: Marchal y Mallessard (1979)

El segundo muestreo de cáscara se realizó al momento de la cosecha (cuadro 6) de la concentración en la cáscara, fueron comparados contra los resultados obtenidos por Marchal y Mallessard (1979), encontrándose que el calcio varió entre 0,03 y 0,10 %, siendo los tratamientos SF2 y el testigo respectivamente. Son valores que se encuentran por debajo del 0,28 %, por lo que son contenidos muy bajos de este elemento en la cáscara. No hubo diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre tratamientos. Ninguno de los tratamientos alcanzó la concentración requerida o esperada de 0,28 % de calcio en la cáscara. En cuanto al diferencial teórico, solamente el SF1 y 2 alcanzan este valor, por consiguiente, en los resultados obtenidos en los análisis químicos no se ven reflejados, por lo que existe algún factor que puede estar interfiriendo con la absorción de los productos utilizados. Tal como menciona Marschner, (1995), las plantas han desarrollado mecanismos que restringen el transporte de calcio a órganos, como, las frutas, manteniendo las concentraciones de este elemento bajas en la savia del floema. Este, además, menciona que la dilución del contenido de calcio en los tejidos debido al crecimiento es necesario para una rápida expansión celular y una alta permeabilidad de las membranas.

Saure (2005) y Ernani *et al.* (2008) mencionan que los factores ambientales, la presencia de estomas y superficies irregulares, tales como grietas y diferencias genéticas en los cultivares, pueden afectar la absorción de calcio en frutas. Por su parte, White y Broadley (2003) indican que diferentes condiciones pueden afectar la absorción de calcio, entre ellas, una inadecuada distribución del Ca hacia los órganos de baja tasa transpiratoria o alta tasa de desarrollo, pobre conexión xilemática, alta tasa transpiratoria de la planta y una baja presión radical. Lo cual podría explicar que las frutas de banano, por su alta tasa de desarrollo y al ser órganos con baja tasa transpiratoria, no mostraran un efecto en la concentración del calcio en ninguno de los tratamientos utilizados, ya que se comportaron de forma similar al testigo.

**Cuadro 7.** Resultado del análisis químico de cáscara, segundo muestreo, El Carmen de Siquirres, semana 50, 2016

Tratamiento	%					
	*N	*P	*K	*Ca	*Mg	*S
	1,25	0,14	6,04	0,28	0,15	0,1
SK1	1,03 a	0,13 a	2,77 a	0,04 a	0,09 a	0,08 a
SK2	1,07 a	0,16 a	3,02 a	0,08 a	0,07 a	0,08 a
SF1	1,17 a	0,15 a	3,37 a	0,04 a	0,07 a	0,07 a
SF2	1,06 a	0,12 a	2,08 a	0,03 a	0,07 a	0,06 a
NIC	1,14 a	0,16 a	2,62 a	0,06 a	0,09 a	0,09 a
CX	1,25 a	0,16 a	3,54 a	0,07 a	0,06 a	0,07 a
Testigo	1,33 a	0,18 a	3,18 a	0,10 a	0,08 a	0,07 a
Promedio	1,15	0,15	2,94	0,06	0,07	0,08
CV	16,70	15,24	25,77	63,15	18,23	19,36
P Tratamiento	0,5010	0,1146	0,3279	0,2561	0,2131	0,2733

\*Medias seguidas por la misma letra no se consideran distintas según prueba de DGC ( $p > 0,05$ ).

\*\*Valores de referencia: Marchal y Mallessard (1979)

Con respecto a los productos aplicados al racimo (cuadro 7) utilizados, los que presentaron un menor porcentaje de calcio en cáscara son el NIC y CX con un 0,03 y 0,04 %, respectivamente. Seguido se encuentran el SK1 y SK2 con 0,07 y 0,14 % respectivamente y, por último, el SF1 y SF2 con 0,54 y 1,08 % respectivamente. De los descritos, solamente los tratamientos con SF1 y 2 presentan una concentración superior al 0,28 % que se obtuvo en la literatura.

Por lo tanto, los tratamientos SK1, SK2, CX y NIC no obtuvieron la concentración requerida de 0,28 %, por ello tendrían que realizarse más aplicaciones para al menos llegar a esta concentración de referencia. Estas concentraciones fueron seleccionadas como las adecuadas para aplicar a la fruta de banano, ya que no existen ciertamente dosis recomendadas para este órgano. Al realizarse pruebas preliminares sobre posibles quemaduras o daños en la fruta, estos tratamientos mostraron signos de quema, principalmente el NIC, por lo que solamente se utilizó la dosis de 100g. Debido a lo anteriormente descrito, se debe tomar en cuenta que, si se utilizan dosis mayores principalmente del NIC, la fruta puede mostrar signos de toxicidad, por lo que realizar varias aplicaciones en un corto periodo de tiempo puede ser contraproducente en la calidad de la fruta, por lo que se recomienda la utilización de dosis bajas pero con mayor número de aplicaciones durante el tratamiento.



Por otra parte, en varios cultivos como cítricos se ha probado la acción de diferentes productos que contengan calcio, con el fin de disminuir problemas de pérdida de calidad en las frutas, donde, realizaron ensayos en los que se aplicaron varias fuentes de calcio, con el fin de mejorar su contenido en las frutas, sin embargo, no se encontraron resultados satisfactorios, por lo que en ese tipo de cultivos se mantiene como la principal vía de absorción de calcio por medio de la raíz, ya que no es fácilmente absorbido directamente sobre la fruta (Ockert *et al.* 2014).

Por el contrario, en cultivos como papaya (*Carica papaya L. cv. 'Eksotika II*), cereza dulce (*Prunus avium*) y granada (*Punica granatum L*), se han realizado ensayos exitosos en los que se utilizó  $\text{CaCl}_2$  y obtuvieron diferencias en los contenidos de calcio dentro de la fruta. En el caso de la papaya, se realizaron varias aplicaciones precosecha y en el cultivo de granada y cereza se realizaron aplicaciones poscosecha, obteniendo resultados positivos en las variables que se evaluaron como contenido de calcio en la fruta (Bakeer, 2016; Michailidis *et al.* 2017; Madania, 2014).

Lo que indica que es posible que la utilización de productos con calcio dirigidos a la fruta sea capaz de tener efecto en la concentración de calcio, aunque en este ensayo no se logre observar una respuesta a estas aplicaciones, se pueden realizar más ensayos en los que se evalué una vez más la aplicación de este elemento directamente sobre el racimo, pero con varias aplicaciones durante el ensayo.

**Cuadro 8.** Efecto de la concentración de calcio en la cáscara, en las fuentes aplicadas, en el índice de severidad, y sus respectivos diferenciales (resta entre los resultados obtenidos menos esperados).

Tratamiento	% CaO Tratamiento	CT	NC Ca	A	%Ca primer Muestreo	B	%Ca segundo Muestreo	C
SK1	54	0,07	0,28	-0,21	0,28	0,00	0,04	-0,24
SK2	54	0,14	0,28	-0,15	0,22	-0,06	0,08	-0,20
SF1	54	0,54	0,28	0,26	0,27	-0,01	0,04	-0,24
SF2	54	1,08	0,28	0,80	0,25	-0,03	0,03	-0,25
NIC	26	0,03	0,28	-0,25	0,25	-0,03	0,06	-0,22
CX	14	0,04	0,28	-0,25	0,20	-0,08	0,07	-0,21
Testigo	0	0,00	0,28	0,00	0,25	-0,03	0,10	-0,18

NC: Nivel crítico

CT: % CaO teórico aplicado por racimo.

A: Diferencial del % calcio CT y el nivel crítico.

B: Diferencial del % calcio obtenido en el primer muestreo y el nivel crítico de calcio.

C: Diferencial del % calcio obtenido en el segundo y el nivel crítico de calcio.

## Efecto sobre las variables de rendimiento

Al evaluar la variable rendimiento, se determinó (cuadro 9) que el tratamiento SF2 obtuvo un mayor número de cajas por hectárea con 3885 cajas/ha, seguido de este se encuentra el tratamiento SK2 con 3660 cajas/ha, el menor valor obtenido fue NIC con 3041 cajas/ha.

**Cuadro 9.** Efecto de la aplicación de calcio en el rendimiento del banano.

Tratamiento	Cajas/Tratamiento	Cajas/Ha
SK1	26,40 a	3488
SK2	27,70 a	3660
SF1	28,96 a	3571
SF2	29,40 a	3885
NIC	23,02 a	3041
CX	27,70 a	3660
TESTIGO	27,06 a	3337
CV	14,62	-
P valor	0,1052	-

Por su parte, las variables de producción evaluadas al momento de la cosecha (cuadro 10), en el caso del calibre de la segunda, quinta y última mano, longitud externa de segunda y última mano y total de dedos no se encuentran diferencias significativas entre tratamientos ( $p > 0,05$ ); por otra parte, en el caso de la longitud externa de la quinta mano, el tratamiento SK2 obtuvo la menor longitud externa de la quinta mano significativamente diferente.

**Cuadro 10.** Efecto de los tratamientos en las variables de rendimiento (calibre de la segunda mano, longitud externa de la segunda, quinta mano, última mano y total de dedos).

Tratamiento	Peso Racimo (Kg)	Cal 2da mano (1/32")	Cal 5ta mano (1/32")	Long. 2da mano (cm)	Long. 5ta mano (cm)	Total de dedos (cm)
SK1	34,29 a	43,79	42,93	25,26 a	24,08 a	160,43 a
SK2	35,96 a	44,00	42,14	25,35 a	23,11 a	163,89 a
SF1	36,86 a	44,07	42,47	25,34 a	24,06 a	176,00 a
SF2	38,18 a	45,50	43,43	25,64 a	24,46 a	172,57 a
NIC	32,19 a	44,69	42,77	25,62 a	24,53 a	160,46 a
CX	35,96 a	44,86	43,29	24,96 a	23,67 a	167,57 a
TESTIGO	35,4 a	44,67	43,13	25,11 a	24,57 a	166,20 a
Promedio	35,54	44,51	42,88	25,33	24,07	166,73
CV	14,60	5,14	5,17	5,34	4,92	11,35
P valor	0,1030	0,7262	0,729	0,8314	0,532	0,233

\*Medias seguidas por la misma letra no se consideran distintas según prueba de DGC ( $p > 0,05$ ).

\*\* Análisis de varianza ANOVA.

De igual forma, al observar los datos de peso en donde se muestra que el menor peso fue obtenido con el tratamiento NIC con 32,19 kg, seguido de este se encuentra el SK1 con un peso de 34,29 kg, los pesos promedios más altos fueron obtenidos en los tratamientos SF1 y 2 con un peso promedio de 36,86 y 38,18 kg respectivamente; sin embargo, estos no presentaron diferencias significativas.

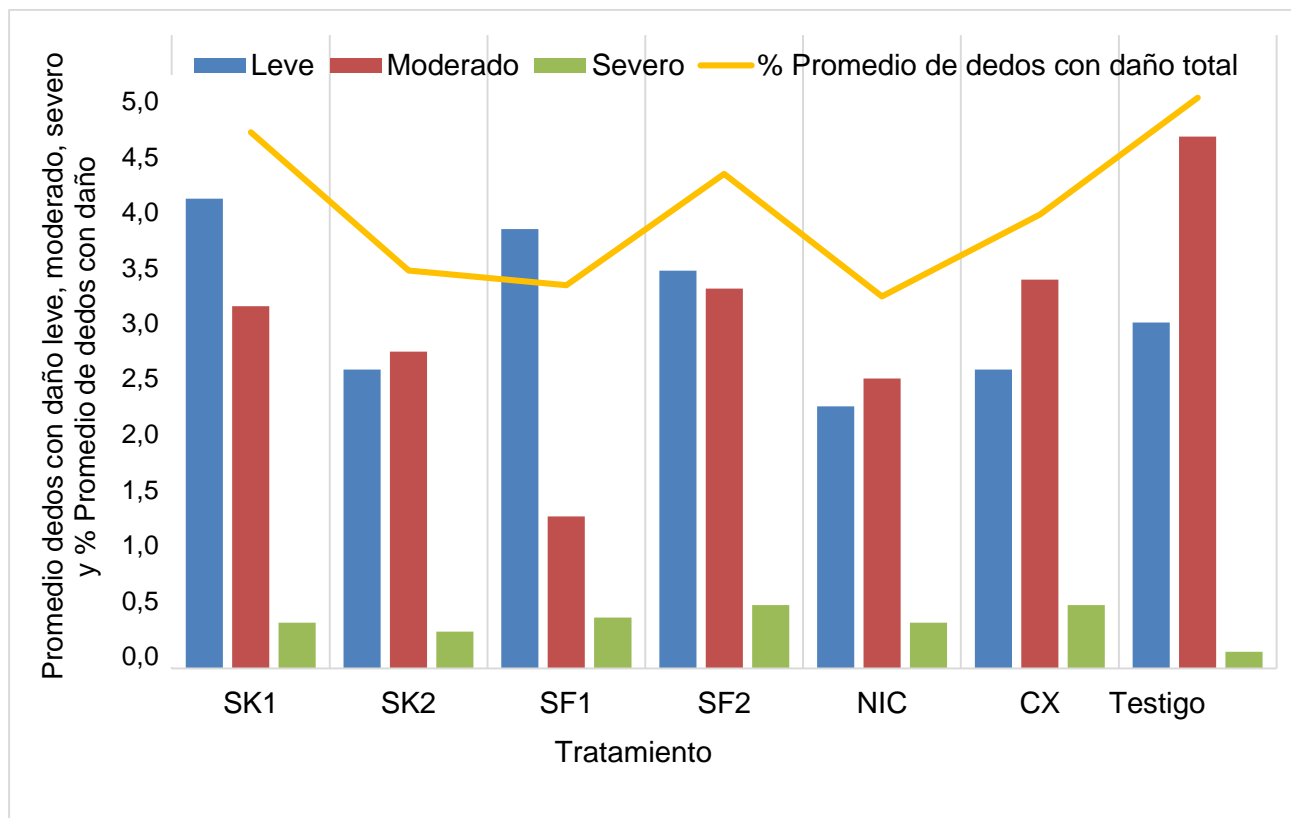
Preliminar al ensayo se desarrolló una pequeña prueba con las dosis por utilizar, en este caso el NIC en una dosis de 200g/ 100 L provocó un daño en la fruta conocido como *speckling*, el cual puede ser producto del impacto directo de agroquímicos utilizados como, por ejemplo, aceites, fungicidas, adherentes, fertilizantes foliares y en mezclas, entre otros (Passberg-Gauhl 2000).

Como consecuencia, se utilizó solamente la dosis baja de 100g / 100 L, aunque este no provocó daños visibles, es probable que afectara en cierto grado el desarrollo de la fruta y, por consiguiente, su peso. Por otra parte, se muestra una pequeña tendencia donde los tratamientos en los que se utilizó SF1 y 2 presentan mayores pesos, estas diferencias no son suficientes para poder aclarar su influencia positiva en la variable de peso.

En general, se puede concluir que las variables de producción: peso de racimo, número de dedos por racimo y longitud externa del dedo central no muestran una clara respuesta a la aplicación de calcio, de igual forma Campbell y Williams (1978), sugieren que el mayor beneficio potencial del calcio es sobre la Mancha de madurez y no sobre la producción.

## **Efecto del calcio sobre la Mancha de madurez**

Para evaluar el efecto de los tratamientos en la severidad de la mancha de madurez, se clasificaron las lesiones utilizando las categorías: leve, moderado y severo (semana 12), dentro de cada tratamiento, dentro de las cuales no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ( $p > 0,05$ ). Según los resultados obtenidos, (figura 4) dentro de la categoría leve, el tratamiento con menos dedos con daño es el NIC, con 2,1 dedos en promedio, siendo el más elevado el SK1 con 3,71 en promedio de dedos con daño, sin embargo, en esta categoría los valores entre todos los tratamientos son similares ( $p > 0,05$ ). Por otra parte, aunque el NIC obtuvo el menor número de dedos con daño, también obtuvo el peso promedio más bajo, lo que podría conllevar a un menor alargamiento de las células y, por ende, expresarse en un menor daño.



**Figura 6.** Efecto de la aplicación de calcio en el número de dedos con daño leve, moderado y severo sobre la incidencia de la mancha de madurez, El Carmen de Siquirres, 2016.

En el caso del daño moderado, se puede observar (figura 4) que el tratamiento que presenta el menor número de dedos con daño es el SF1, con un promedio de 1,20 dedos con daño y el tratamiento que mayor daño obtuvo en esta categoría fue el testigo, con un promedio de 4,20 dedos con daño. Por otra parte, en cuanto la categoría severa, fue la menos frecuente y sus valores van desde 0,13 a 0,50 dedos con daño de testigo y SF2, respectivamente.

Si bien entre los tratamientos no se observan diferencias significativas, el testigo obtuvo mayor número de dedos con daño en la categoría moderada, severa y en el porcentaje de dedos con daño, lo que podría significar un efecto positivo de los tratamientos sobre la Mancha de madurez con respecto al testigo. Con el fin de observar una posible diferencia entre los tratamientos contra el testigo, se procedió a realizar prueba de contrastes para las categorías que tuvieran una significancia del 90 % ( $p < 0,10$ ), por lo que bajo esta premisa solamente la categoría moderada cumple con esta característica (cuadro 11).

**Cuadro 11.** Efecto de la aplicación de calcio en el número de dedos con daño leve, moderado y severo

Tratamiento	Leve	Moderado	Severo	Total de Dedos con daño	% Dedos con Daño
SK1	3,71	2,86	0,36	6,92	4,23
SK2	2,36	2,5	0,29	5,14	3,14
SF1	3,47	1,2	0,4	5,06	3,02
SF2	3,14	3	0,5	6,64	3,90
NIC	2,07	2,29	0,36	4,71	2,94
CX	2,36	3,07	0,5	5,92	3,58
Testigo	2,73	4,2	0,13	7,06	4,51
CV	84,11	91,46	243,76	67,26	5,48
P tratamiento	0,4571	0,0769	0,9316	0,5358	0,5101



Al observar los contrastes (cuadro 12), se encuentra que el tratamiento SF1 obtuvo un contraste significativo ( $p < 0,05$ ) en relación con el testigo, donde el SF1 obtuvo un menor número de dedos con daño moderado, siendo 1,2 el promedio de dedos con daño y un 4,2 en el caso del testigo, lo cual indica que el SF1 tuvo un efecto positivo importante con respecto al testigo. En el caso de los demás contrastes planteados, estos no presentan diferencias significativas con respecto al testigo.

**Cuadro 12.** Contrastes realizados para la categoría Moderada, Kruskal–Wallis.

Contraste	* H	p
Todos versus Testigo	3,82	0,0507
SK1 versus Testigo	0,65	0,4219
SK2 versus Testigo	2,89	0,0891
SF1 versus Testigo	9,35	0,0022
SF2 versus Testigo	0,78	0,3786
NIC versus Testigo	0,95	0,3298
CX versus Testigo	2,17	0,1411

\*H es el estadístico de prueba para la prueba de Kruskal-Wallis.

Por otra parte, en el caso del rechazo a causa de la mancha de madurez, los tratamientos que presentaron mayores rechazos fueron SK1 y SF2 con 9,99 y 9,64 kg respectivamente, sin embargo, al no encontrarse datos significativamente diferentes, no se puede concluir que un tratamiento fue mejor que otro, aunque se pueden observar algunas diferencias con respecto al NIC y sus bajos niveles de Mancha de madurez.

**Cuadro 13.** Resultados obtenidos para las variables: índice de severidad, peso de fruta de rechazo (tratamiento)(kg) y peso de racimo kg).

Tratamiento	*Índice de severidad	Rechazo (Kg)	Peso (Kg)
SK1	2,13	9,99 a	34,29 a
SK2	1,68	3,78 a	35,96 a
SF1	1,42	4,90 a	36,83 a
SF2	1,90	9,64 a	38,18 a
NIC	1,61	5,23 a	32,19 a
CX	2,01	5,81 a	35,96 a
Testigo	2,45	7,77 a	35,40 a
Promedio	1,89	6,73	35,54
P Tratamiento	0,5793	0,2920	0,1030

\*Índice de severidad: Analizado mediante Kruskal-Wallis

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Con respecto a lo anterior, según Parra (2006), los síntomas de deficiencia son más severos en los sitios de división celular y extensión celular de los frutos; en este caso el NIC obtuvo el menor peso, por lo que la separación de las células epidermales en teoría sería menor, lo que explicaría una menor incidencia de Mancha de madurez.

Si bien, en las concentraciones de calcio no se observaron diferencias significativas, ( $p > 0,05$ ) al observar los índices de Mancha de madurez, se puede apreciar una disminución de esta con respecto al testigo, donde el tratamiento SF1 obtuvo un índice de MM de 1,42, siendo el menor valor, seguido del tratamiento NIC con un 1,61. En el caso de los mayores índices de MM, lo obtuvieron el tratamiento testigo y el SK1 con un 2,45 y 2,13, por lo cual, aunque no se observaran diferencias significativas ( $p > 0,5793$ ) entre los tratamientos, existen comportamientos que podrían propiciar una respuesta positiva a la Mancha de madurez, sin embargo, se deben realizar más ensayos en los que se evalúe la Mancha de madurez.

## **Conclusiones**

De acuerdo con los resultados obtenidos, no se observaron diferencias significativas entre las aplicaciones de las diferentes fuentes de calcio y sus dosis sobre la incidencia y severidad de la Mancha de madurez. Igualmente, al evaluar las variables de producción como peso de racimo, longitud externa de los dedos, total de dedos y las respectivas calibraciones, no se encontraron diferencias significativas que se vean expresadas en mayor peso de racimo.

En cuanto a los análisis químicos de cáscara, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos con respecto al calcio, el cual fue el elemento de interés. Si bien no hubo diferencias significativas entre tratamientos, sí se observó una disminución en la severidad de la mancha de madurez de más de 30 % con respecto al testigo, en algunos tratamientos como el SF1, SK2 Y NIC.

## **Recomendaciones**

En el caso de desarrollar posteriormente este tipo de ensayo, se recomienda que se cuente con un mayor tiempo de evaluación y que las aplicaciones de los productos se realicen al menos dos veces durante cada ciclo.

Además, se recomienda la utilización de un número mayor de repeticiones de los tratamientos y en el mejor de los casos, poder realizarlos con diferentes fechas de aplicación, para obtener un mayor número de variables que puedan expresar resultados que se puedan comparar en el tiempo.

Sería recomendable realizar ensayos preliminares en los que se pruebe el nivel de permeabilidad del calcio en la cáscara de banano, con el fin de que los productos que se prueben puedan ingresar y con ello observar un claro efecto. Se podrían realizar análisis químicos para cada categoría de daño y poder observar directamente si hay diferencias o no en las concentraciones de calcio en la pulpa y cáscara.

## Literatura consultada

- Arteaga, F. 2015. Origen y evolución del banano. Palmira, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Disponible en: [http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/44494637/ARTICULO\\_BANANO\\_PDF\\_EVOLUCION\\_DE\\_PLANTAS\\_CULTIVADAS.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1495997268&Signature=xGH7JNT8SixODSsIVXtQpuGpTq8%3D&responsecontentdisposition=inline%3B%20filename%3D2015I\\_UNIVERSIDAD\\_NACIONAL\\_DE\\_COLOMBIA.pdf](http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/44494637/ARTICULO_BANANO_PDF_EVOLUCION_DE_PLANTAS_CULTIVADAS.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1495997268&Signature=xGH7JNT8SixODSsIVXtQpuGpTq8%3D&responsecontentdisposition=inline%3B%20filename%3D2015I_UNIVERSIDAD_NACIONAL_DE_COLOMBIA.pdf).
- Bakeer S.M. 2016. Effect of ammonium nitrate fertilizer and calcium chloride foliar spray on fruit cracking and sunburn of Manfalouty pomegranate trees. *Scientia Horticulturae* 209: 300–308
- Bertsch, F. 1995. La fertilización de los suelos y su manejo. 1ed. San José, Costa Rica. ACCS, 58 p.
- Bertsch, F. 2003. Absorción de nutrimentos por los cultivos. San José, Costa Rica, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 307 p.
- Campbell, J; Williams, W. 1978. Mineral relationships in “maturity bronzing” of banana fruit. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* (18): 603-608.
- Campbell, S.J; Williams, M.T. 1976. Factors associated with “maturity bronzing” of banana fruit. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 18: 603-608.
- Campos, R. 2010. Causas del desorden fisiológico de la mancha de madurez, datos históricos en Standard Fruit Company de Costa Rica S.A., y recomendaciones (Documento no publicado). Río Frío, Horquetas de Sarapiquí, Heredia, Costa Rica, Departamento de Nutrición Vegetal y Fisiología, Standard Fruit Company de Costa Rica, S.A.
- Chacón, G. 2014. Efecto de la fertilización con Calcio sobre la incidencia de “La mancha de madurez” en el cultivo de banano (Musa AAA cv. Gran enano). Tesis Lic. San José, Universidad de Costa Rica. 44p.
- CORBANA. 2011. Implementación de buenas prácticas agrícolas para reducir el escurrimiento de plaguicidas en el cultivo del banano de la Región Caribe Costarricense. San José, Costa Rica. 4p Disponible en: <http://cep.unep.org/repcar/proyectos-demostrativos/costa-rica-1/publicaciones-corbana/Estudio%20de%20caso%20Corbana.pdf>

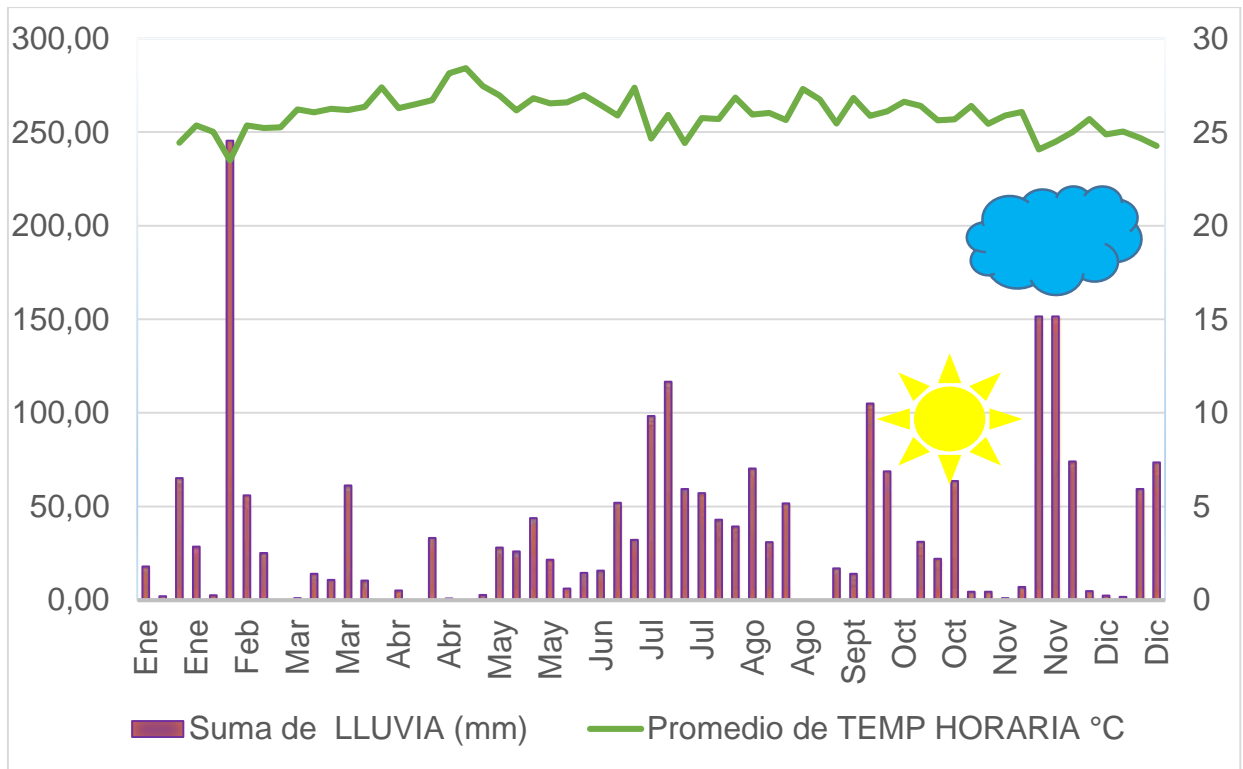
- CORBANA. 2015. Sección de estadísticas bananeras. San José, Costa Rica, CORBANA S.A. Consultado: 2017. Disponible en: <http://www.corbana.co.cr>.
- Correndo, A; García, F. 2012. Concentración de nutrientes en planta como herramienta de diagnóstico: Cultivos extensivos. International Plant Nutrition Institute.
- Daniells, J; Watson, B; O-farrell, P; Mulder, J. 1987. Soil water stress at bunch emergence increases maturity bronzing of banana fruit. Queensland Journal of Agricultural and Animal Sciences, 44(2): 97-100.
- Daniells, W. 1982. Maturity bronzing of banana fruit: A Review, Queensland horticulture technical memorandum no.3, Horticulture Branch, Queensland Department of Primary Industries. Queensland, Australia. 8 p.
- Daniells, W. 1985. The maturity bronzing disorder of banana fruit. Queensland Agronomic Journal. 111: 239-140.
- Díaz, A. 2005. Respuestas Fisiológicas, productivas y de la mancha de madurez del banano (Musa AAA cv. Gran Enano) a la aplicación de calcio en la zona de Urabá. Bogotá, Colombia Trabajo de grado para optar por el título de Ing. Agrónomo, Facultad de Agronomía, Universidad de Colombia, 62 p.
- Díaz, A. 2004. Influencia del Ca sobre la “mancha de madurez” en frutos de banano en la zona de Urabá. Boletín Técnico Cenibanano 6: 1-3.
- Díaz, A.; Mira, J; Cayón, G. 2006. Aplicaciones de Calcio para el control de la mancha de madurez en banano. En: XVII Reunión Internacional de la Asociación para la Cooperación en Investigaciones de Banano en el Caribe y en América Tropical (ACORBAT). Memorias Joinville. Santa Catarina, Brasil.
- Díaz, A; Cayón, G; Mira, J. 2007. Metabolismo del Calcio y su relación con la “mancha de madurez” del fruto de banano. Una revisión. Agronomía Colombiana 25(2): 280-287.
- Ernani, P; J. Dias; C. Talamini; D. Cardoso; D. Rogeri. 2008. Preharvest calcium sprays were not always needed to improve quality of 'gala' apples in Brazil. Rev. Bras. Frutic. 30:892-896.
- Finck, A. 1988. Fertilizantes y fertilización. Fundamentos y métodos para la fertilización de cultivos. Barcelona, Reverté S.A. 242p.
- García, F. 2009. Uso eficiente de nutrientes. En: XVIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 57p.

- Guerrero, R; Gadbán, J; Ospina, J. 1999. Significado de algunas variables edáficas de fertilidad sobre los componentes de productividad del banano para la exportación (Clon Gran enano) en un inceptisol de Ciénaga (Magdalena) Colombia. *Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo* 29(2): 120-124.
- Madania, B; Tengku, M; Mohameda, M; Watkinsb, C.B; Kadirc, J; Awanga, Y; Shojaeida, T.R. 2014. Department Preharvest calcium chloride sprays affect ripening of Eksotikall'papaya fruits during cold storage. *Scientia Horticulturae* 171: 6–13.
- Marchal, J.; Mallessard, R. 1979. Comparison des immobilisations minerales de quatre cultivars de bananiers a fruits pour cuisson et de deux 'Cavendish'. *Fruits, Paris*, 34, 373-392p.
- Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press, Inc., New York. 889 pp.
- Martínez-Márquez, A; Morante-Carriel, J; SellésMarchart, S; Martínez-Esteso, M.J; Pineda Lucas, J.L; Luque I. and Bru-Martínez, R. 2013. Development and Validation of MRM Methods to Quantify Protein Isoforms of Polyphenol Oxidase in Loquat Fruits. *J. Proteome Res.* 12: 5709–5722
- Méndez, J; Bertsch, F. 2012. *Guía para la interpretación de la fertilidad suelos de Costa Rica*. 1ed. San José, Costa Rica. ACCS, 108 p.
- Michailidis, M; Karagiannis, E; Tanou, G; Karamanoli, K; Lazaridou, A; Matsi, T; Molassiotis, A. 2017. Metabolomic and physico-chemical approach unravel dynamic regulation of calcium in sweet cherry fruit physiology. *Plant Physiology and Biochemistry* 116: 68-79.
- Ockert P.J; Stander, K; Cronje, P.2014. Foliar 2,4-D Application after Physiological Fruit Drop Reduces Fruit Splitting of Mandarin. *HortTechnology*, 24(6): 717-723.
- Parra, A; Díaz, A; Mira, J; Cayón, G. 2006. Respuesta en desarrollo y rendimiento de banano (Musa AAA Simmonds) a la aplicación de Calcio. En: XVII Reunión Internacional de la Asociación para la Cooperación en Investigaciones de Banano en el Caribe y en América Tropical (ACORBAT). Santa Catarina, Brasil.
- Passberg-Gauhl, C. 2000. El “speckling del fruto” de banano en la zona Atlántica de Costa Rica. San José, Costa Rica, BASF. 27 p.
- Poovaiah, B. 1986. Role of calcium in prolonging storage life of fruits and vegetables. *Food Technology* 40: 86-89.
- Robinson, J. 1996. *Series: Crop Production Science in Horticulture, # 5 Bananas and Plantains*. 2ed. Inglaterra, Editorial Centre for Agriculture and Biosciences International (CABI), 238 p.

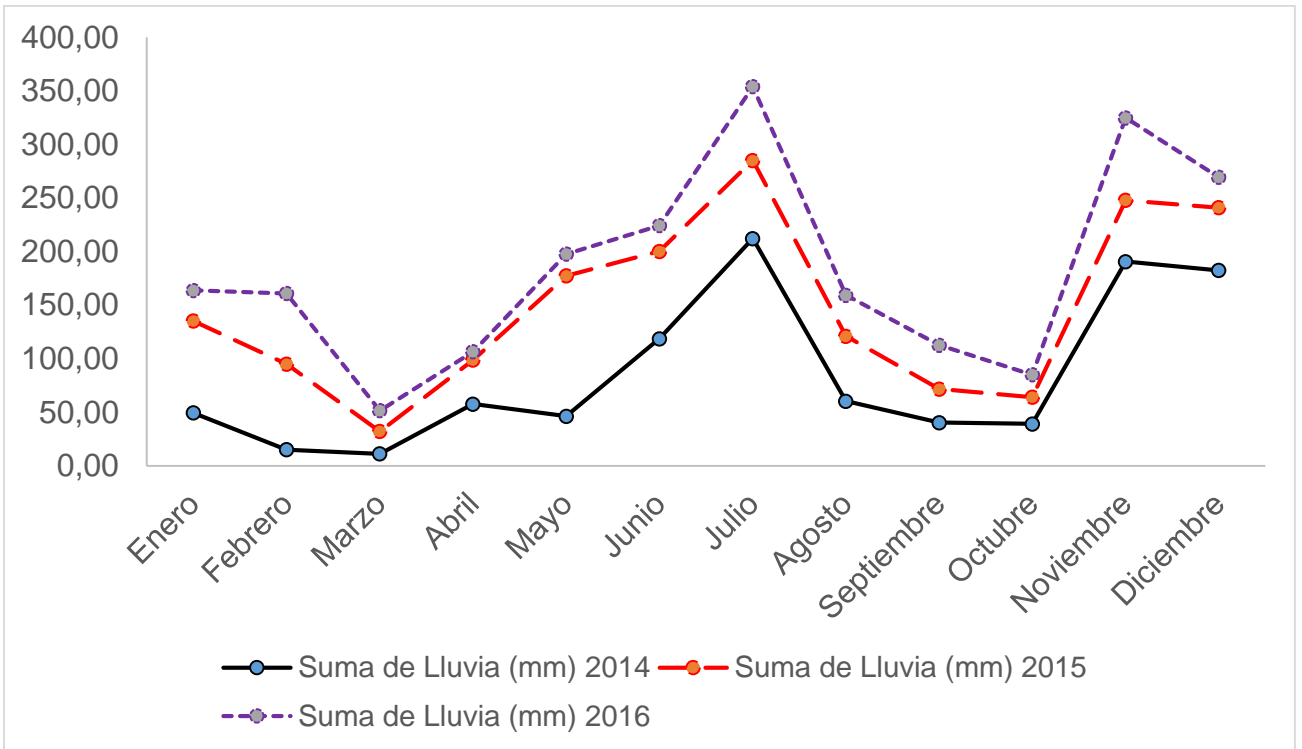


- Sánchez, J; Mira, J. 2013. Principios para la nutrición del cultivo de banano. 1era edición, Medellín, Colombia. Cenibanano y Augura. 236 p.
- Saure, M. 2005. Calcium translocation to fleshy fruit: its mechanism and endogenous control. *Scientia Hort.* 105:65-89.
- Sellés-Marchart, S; Casado-Vela, J., and BruMartínez, R. 2007. Effect of detergents, trypsin and unsaturated fatty acids on latent loquat fruit polyphenol oxidase: basis for the enzyme's activity regulation. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 464(2): 295-305.
- Soto M. 2015. Bananos II: tecnologías de producción. 2ed. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica 706 pág.
- Soto, M. 2008. Bananos: técnicas de producción, manejo pos cosecha y comercialización. San José, Costa Rica. Versión digital. 674 p
- Stover, R; Simmonds, W. 1987. Bananas. Longman Scientific and Technical, Essex, U.K Disponible en <http://www.ba.ars.usda.gov/hb66/banana.pdf>
- Swaine, G; Ironside, D; Yarrow, D. 1985. Insect pests of fruit and vegetables. Brisbane, Australia, Queensland Department of Primary Industries, Information Series. 4183021.
- White P.J y Broadley; M. 2003. Calcium in Plants. *Horticulture Research International.* 92(4): 487–511.
- Whitman, C. 1993. Benefits of calcium fertilization. Disponible en: <http://www.yara.us/library/attachments/research/tobacco/1.pdf>.
- Williams, M; Vesk, M, Mullins, M. 1990. Development of the banana fruit and occurrence of the maturity bronzing disorder. *Annals of Botany* 65: 9 -19.
- Yáñez, J. 2002. Nutrición y regulación del crecimiento en hortalizas y frutales. Efecto de los nutrientes sobre la calidad de los productos y la resistencia físico química de las plantas a plagas, enfermedades y al estrés ambiental. Buenavista- Saltillo-Coahuila, México.

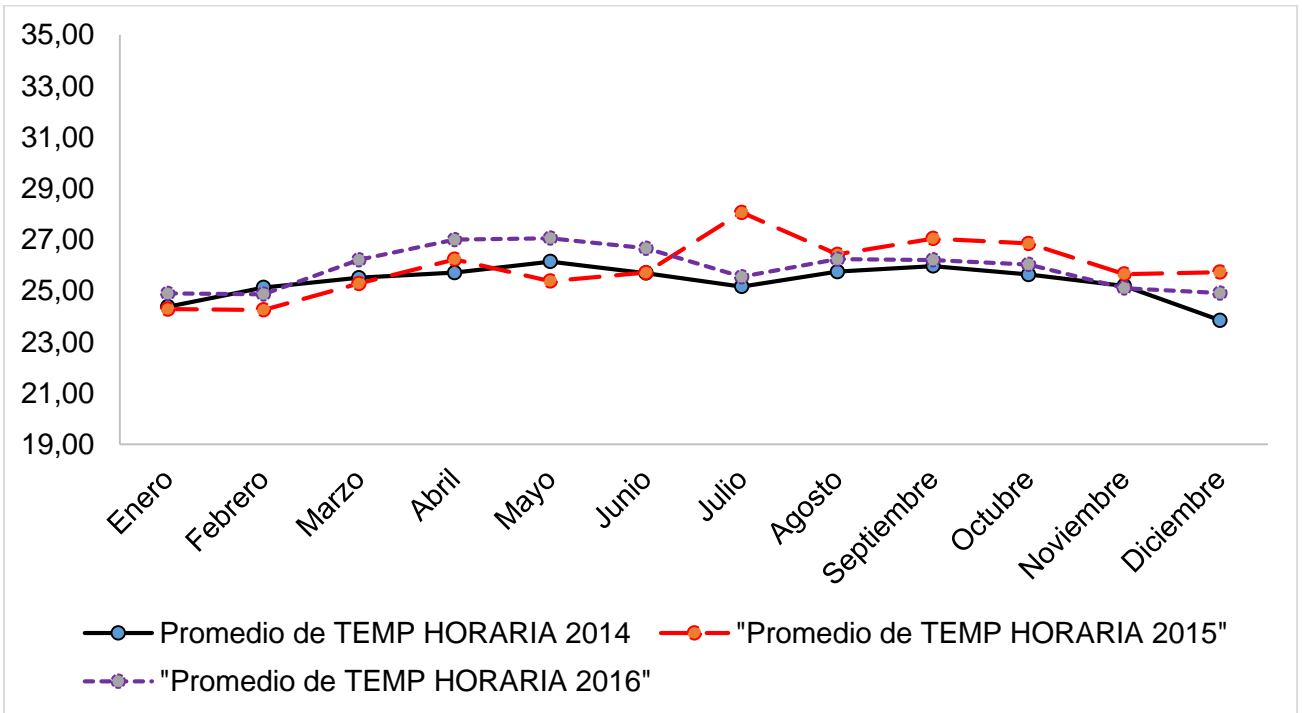
**Anexo**



**Anexo 1.** Precipitación y temperatura diaria de 2016, Estación del Carmen de Siquirres.



**Anexo 2.** Promedio de precipitación promedio por mes para los años 2014, 2015, 2016.



**Anexo 3.** Promedio de TEMP HORARIA para los años 2014, 2015, 2016.

**Anexo 4.** Resultado del análisis químico de cáscara, primer muestreo.

Tratamiento	mg/l				
	Zn	Fe	Cu	Mn	B
SK1	14,64 a	34,03 b	5,98 b	16,79 a	28,84 b
SK2	12,05 a	21,75 b	3,99 a	31,66 a	33,93 b
SF1	14,26 a	23,55 b	3,04 a	21,72 a	29,70 b
SF2	12,13 a	8,80 a	3,24 a	16,97 a	22,70 a
NIC	11,35 a	9,92 a	2,90 a	16,73 a	17,67 a
CX	10,67 a	9,53 a	1,62 a	21,63 a	12,17 a
Testigo	13,16 a	15,52 a	2,49 a	21,36 a	19,20 a
Promedio	12,61	17,59	3,32	20,98	23,46
CV	17,10	52,54	30,27	71,28	24,84
P Tratamiento	0,2611	0,0394	0,0043	0,8111	0,0044

**Anexo 5.** Resultado del análisis químico de cáscara, segundo muestreo.

Tratamiento	mg/l				
	Zn	Fe	Cu	Mn	B
SK1	13,58 a	68,38 a	4,28 b	60,11 a	31,78 a
SK2	15,22 a	40,84 a	4,46 b	64,71 a	32,18 a
SF1	13,72 a	29,77 a	3,69 b	56,89 a	26,79 a
SF2	11,43 a	32,51 a	2,03 a	68,09 a	26,55 a
NIC	11,70 a	28,27 a	2,31 a	57,97 a	37,37 a
CX	12,05 a	22,60 a	1,46 a	55,61 a	33,29 a
Testigo	11,60 a	19,96 a	1,70 a	58,37 a	33,00 a
Promedio	12,76	34,62	2,85	60,25	31,57
CV	13,89	66,20	24,99	18,29	14,01
P Tratamiento	0,2246	0,2353	0,0001	0,7973	0,1022