

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
CAMPUS TECNOLÓGICO LOCAL SAN CARLOS**

**KENNETH FRANCISCO CALDERÓN LÓPEZ**

Proyecto presentado a la Escuela de Agronomía  
como requisito parcial para optar al grado de  
Licenciatura en Ingeniería en Agronomía

**EFECTO DEL ÁCIDO ABCSÍCSICO EN BANANO DE EXPORTACIÓN  
(*Musa AAA* var. Gran Enano), EN VALLE DE LA ESTRELLA,  
LIMÓN, COSTA RICA**



Carrera de Ingeniería en Agronomía  
Tecnológico de Costa Rica  
Sede Regional San Carlos  
2005-2018

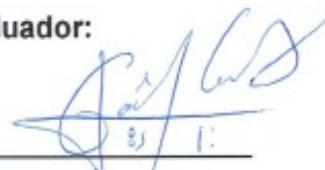
**2019**

**EFFECTO DEL ÁCIDO ABCÍSCICO EN BANANO DE EXPORTACIÓN  
(Musa AAA var. Gran Enano), EN VALLE DE LA ESTRELLA, LIMÓN,  
COSTA RICA**

**KENNETH FRANCISCO CALDERÓN LÓPEZ**

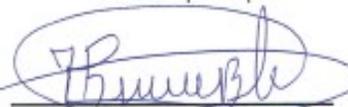
**Aprobado por los miembros del Tribunal Evaluador:**

Ing. Ing. Rolbin Castillo Matamoros, Lic.



Asesor principal

Ing. Agr. Parménides Furcal Beriquete, M. Sc.



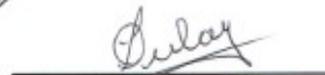
Jurado

Ing. Fabian Echeverría Beirute, Ph. D.



Jurado

Ing. Agr. Zulay Castro Jiménez, MGA.



Coordinadora

Trabajos Finales de Graduación

---

Ing. Agr. Luis Alberto Camero Rey, M. Sc.



Director Escuela de Agronomía

## LISTA DE CONTENIDOS

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1	Justificación .....	1
1.2	Objetivo general.....	2
1.3	Objetivos específicos .....	2
1.4	Hipótesis .....	3
<b>2</b>	<b>REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>4</b>
2.1	Descriptores vegetativos y productivos del banano.....	4
2.1.1	Pseudotallo y Hojas .....	4
2.1.2	Brotos, hijos o retoños.....	4
2.1.3	Inflorescencia .....	5
2.1.4	Fruta.....	6
2.1.5	Longitud de los de dedos .....	7
2.1.6	Diámetro de los dedos .....	8
2.1.7	Pulpa y cáscara.....	9
2.2	Daños fisiológicos en banano .....	10
2.2.1	Mancha de Madurez .....	10
2.2.2	Ruptura de cáscara en estado maduro .....	11
2.2.3	Vida verde o vida postcosecha .....	11
2.3.1	Localización geográfica.....	12
2.3.2	Lluvia y Humedad .....	12
2.3.3	Temperatura.....	13
2.5.1	Ácido absícico .....	15
2.5.2	Efectos fisiológicos.....	16
<b>3</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>17</b>
3.1	Descripción del lugar de estudio.....	17

3.2.	Periodo de estudio .....	17
3.3.	Material experimental.....	17
3.4	Identificación de las plantas.....	18
3.5	Descripción de los tratamientos .....	19
3.5.1	Tratamiento Testigo aplicado a dosel .....	20
3.5.2	Tratamientos de Ácido Abscísico aplicado al dosel .....	20
3.5.3	Tratamiento Testigo aplicado a racimo.....	20
3.5.4	Tratamientos de Ácido Abscísico aplicado a racimo.....	21
3.5.5	Cálculo de dosis.....	21
3.5.6	Preparación de los Tratamientos .....	22
3.6	Modo de aplicación de los tratamientos.....	23
3.7	Cosecha.....	23
3.8	Variables de respuesta .....	24
3.8.1	Variables vegetativas .....	24
<b>3.8.2</b>	<b>Variables Productivas</b> .....	26
3.8.2.2	Grosor o calibre del dedo.....	27
3.8.2.3	Longitud del dedo .....	28
<b>3.8.3</b>	<b>Variables de calidad</b> .....	28
3.8.3.1	Mancha de Madurez .....	28
3.8.3.2	Cáscara rajada .....	29
3.9	Diseño experimental .....	31
3.10	Modelos experimentales .....	31
3.10.1	Diseño Completamente al Azar .....	31
3.10.2	Diseño de Bloques Generalizado.....	31
3.10.2	Croquis del diseño experimental que utilizado en el ensayo en Finca Atalanta, Valle de la Estrella, Limón, Costa Rica, 2017. ....	32

3.11	Análisis estadístico .....	32
<b>4</b>	<b>RESULTADOS y discusión.....</b>	<b>33</b>
4.1.	Mediciones realizadas en campo al momento de la marcación, antes de inicio de aplicaciones.....	33
4.2	Efecto de aplicaciones de ABA a racimo y hojas .....	34
4.4	Mediciones en patio de la empacadora .....	40
4.4	Mediciones en Laboratorio de Postcosecha .....	54
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>67</b>
<b>6.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>68</b>
<b>7.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>69</b>
<b>8.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>75</b>

## LISTA DE CUADROS

Cuadro N°	Título	Página
1.	Cuadro 1. Relación entre grado y peso de la fruta en racimos de nueve manos (clon “Gran Enano”).	9
2.	Cuadro 2. Aumento del peso total del fruto central de la segunda mano del clon de banano “Gran Enano” desde la floración hasta la cosecha, en gramos. ....	10
3.	Cuadro 3. Sector de aplicación y dosis respectivas utilizadas por tratamiento durante el estudio del efecto del ácido abscísico en banano, Valle de Estrella, Limón, Costa Rica, 2017.	21
4.	Cuadro 4. Listado de etapas de medición, variables vegetales, productivas y de calidad, abreviaturas y unidades de medida estudiadas en el efecto del ácido abscísico en banano, Valle de Estrella, Limón, Costa Rica 2017.	24
5.	Cuadro 5. Valores de variables vegetativas obtenidos al momento de la selección de las plantas para la evaluación de ácido abscísico aplicado al racimo en Valle de la Estrella, Limón, Costa Rica, 2017.	33
6.	Cuadro 6. Valores de variables vegetativas obtenidos al momento de la selección de las plantas para la evaluación de ácido abscísico aplicado las hojas en Valle de la Estrella, Limón, Costa Rica, 2017.	34
7.	Cuadro 7. Crecimiento del hijo de Musa AAA var. Gran Enano tratado con diferentes concentraciones de ácido abscísico y aplicados a racimos de planta madre en Valle de la Estrella, Limón, Costa Rica 2017.	35
8.	Cuadro 8. Crecimiento del hijo de Musa AAA var. Gran Enano tratados con diferentes concentraciones de ácido abscísico aplicado a hojas de planta madre, en Valle de la Estrella, Limón, 2017.	36
9.	Cuadro 9. Perdidas en el periodo de inicio de aplicaciones de ácido abscísico a racimos de Musa AAA var. Gran Enano hasta la cosecha, en Valle de la Estrella, Limón, Costa Rica 2017.	38
10.	Cuadro 10. Cantidad de hojas perdidas a partir de la primera aplicación de ácido abscísico a las hojas de Musa AAA var. Gran Enano hasta la cosecha, en Valle de la Estrella, Limón, Costa Rica 2017.	39

11. Cuadro 11. Variables productivas de Musa AAA var. Gran Enano con aplicaciones de ácido abscísico a racimos, en Valle de la Estrella, Limón, 2017 .....	40
12. Cuadro 12. Valores de las variables productivas de aplicaciones de ácido abscísico a hojas de Musa AAA var. Gran Enano, en Valle de la Estrella, Limón, 2017.....	45
13. Cuadro 13. Porcentaje de dedos con mancha de madurez según clasificación de severidad y porcentaje total de dedos afectados en fruta de aplicación de ácido abscísico a racimos de Musa AAA var. Gran Enano, Valle de la Estrella, Limón, Costa Rica 2017. ....	49
14. Cuadro 14. Porcentaje de dedos por racimo con mancha de madurez según clasificación y total de dedos afectados en fruta aplicada con ácido abscísico a hojas de Musa AAA var. Gran Enano, Valle de la Estrella, Limón, Costa Rica, 2017.....	51
15. Cuadro 15. Días de vida verde de gajos de segunda mano proveniente de fruta aplicada con ácido abscísico a racimos de Musa AAA var. Gran Enano con simulación de tránsito en cámaras de frío a 14,4 °C. ....	54
16. Cuadro 16. Días de vida verde de gajos de segundas manos de fruta proveniente de aplicaciones de ácido abscísico a hojas de Musa AAA var. Gran Enano sometidas a simulación de tránsito en cámaras de frío a 14.4 °C. ....	55
17. Cuadro 17. Distribución de color de muestras extraídas de terceras manos proveniente de fruta aplicada con ácido Abscísico a racimos de Musa AAA var. Gran Enano y sometida a maduración artificial mediante el gaseo con etileno posterior a la cosecha.....	60
18. Cuadro 18. Distribución de color de muestras extraídas de terceras manos proveniente de fruta aplicada con ácido abscísico a hojas de Musa AAA var. Gran Enano y sometida a maduración artificial mediante el gaseo con etileno. ....	61
19. Cuadro 19. Porcentaje de dedos con rajadura de cáscara en gajos de tercera mano provenientes de fruta aplicada con ácido abscísico a racimos de Musa AAA var. Gran Enano y bajo inducción de maduración con etileno.....	64

20. Cuadro 20. Porcentaje de dedos con rajadura de cáscara en gajos de tercera mano provenientes de fruta aplicada con ácido abscísico a hojas de Musa AAA var. Gran Enano y bajo inducción de maduración con etileno.....	65
--	----

## TABLA DE ILUSTRACIONES

<b>Figura N°</b>	<b>Título</b>	<b>Página</b>
1.	Figura 1. Identificación en pseudotallos y racimos de plantas seleccionadas para estudio del efecto del ABA en musa AAA var. Gran enano, Valle de la estrella, Limón, Costa Rica 2017.....	19
2.	Figura 2 Atomizador de presión manual para aplicación a racimo y bomba de motor para aplicación foliar en Valle de la Estrella, Limón, Costa Rica, 2017.	22
3.	Figura 3. Medición de circunferencia de tallo en Musa AAA var. Gran Enano en Valle de la Estrella, Limón, Costa Rica, 2017.....	25
4.	Figura 4. Medición de Altura de planta madre e hijo sucesor con regla de madera graduada en centímetros, en Finca Atalanta, Valle de la Estrella, Limón, Costa Rica, 2017.....	26
5.	Figura 5. Romana electrónica marca UWE, modelo CSS con capacidad para 150 kg utilizada para el pesaje de racimos en Finca Atalanta, Valle de la Estrella, Limón, Costa Rica, 2017.....	27
6.	Figura 6. Calibrador utilizado para la medición del grosor del dedo en Musa AAA. Var. Gran Enano, Valle de la Estrella, Limón, Costa Rica, 2017. ....	28
7.	Figura 7. Clasificación de Mancha de Madurez en banano según severidad de daño utilizada en Finca Atalanta, Valle de la Estrella, Limón, Costa Rica 2017. ....	29
8.	Figura 8. Croquis de la zona experimental ubicada en Finca Atalanta, Valle de la Estrella, Limón, Costa Rica, 2017.....	32
9.	Figura 9. Comportamiento en porcentaje de la vida verde de gajos de banano provenientes de plantas de Musa AAA var. Gran Enano con aplicaciones de ácido absícico dirigidas a racimos, Valle de la Estrella, Limón, Costa Rica, 2017. ....	57
10.	Figura 10. Comportamiento en porcentaje de la vida verde de gajos de banano provenientes de plantas de Musa AAA var. Gran Enano con aplicaciones de ácido abscísico dirigidas a las hojas de la planta, Valle de la Estrella, Limón, Costa Rica, 2017. ....	59

## **AGRADECIMIENTOS**

Primero a Dios por permitirme llegar hasta esta instancia, a mi familia por el apoyo brindado desde el primer día de ingreso a mi vida académica, a todos los involucrados para que este trabajo pudiese ser llevado a cabo. También, a esa persona que me motiva día a día a ser mejor persona y brindarme su apoyo incondicional.

## **DEDICATORIA**

A mi familia, por siempre estar ahí para apoyarme en todo momento. Y en especial a Dios por darme salud y serenidad para llevar este proyecto a cabo.

## RESUMEN

Los daños fisiológicos en racimos de *Musa AAA* var. Gran Enano pueden generar pérdidas de hasta un 18 % de la producción por hectárea. Estudios han indicado que el uso del ácido abscísico mejora el movimiento del calcio tanto en hojas como el fruto. Al ser la mancha de madurez y rajaduras de cáscara ocasionadas principalmente por deficiencias de calcio se realizaron aplicaciones de ácido abscísico a hojas y racimos para determinar el comportamiento de la mancha de madurez y rajaduras de cáscara en maduro. Los resultados obtenidos mostraron que las aplicaciones de ABA a los racimos mostró diferencias entre tratamientos ( $p$ -valor=0,012), contrario a los resultados obtenidos para las aplicaciones de ABA al follaje donde no se obtuvo efecto de tratamiento ( $p$ -valor=0,9314). La presencia de rajaduras de cáscara en estado maduro cuando el ABA se aplicó al racimo no mostró efecto de tratamientos ( $p$ -valor=0,1701), pero si una disminución conforme se aumentaba la concentración de ABA. Lo mismo no se encontró cuando se aplicó ABA al follaje ( $p$ -valor= 0,2759), ya que conforme se aumentaron las concentraciones de ABA aumentaron las rajaduras en la cáscara. Los parámetros productivos no se vieron afectados por las aplicaciones de ABA. Uno de los objetivos fue observar el efecto del ABA sobre el crecimiento del hijo. Las aplicaciones al follaje ( $p$ -valor=0,3522) no mostraron efecto de tratamiento, no hubo una disminución del crecimiento del hijo. Las aplicaciones de ABA al racimo no ejercieron efecto en la disminución del crecimiento del hijo de la planta madre, ya que las aplicaciones fueron dirigidas al racimo. Se observó que en las aplicaciones de ABA a los racimos hubo un aumento en el peso del racimo conforme se aumentó la concentración de ABA ( $p$ -valor=0,0178) pero fue atribuido a la cantidad de manos promedio por racimo y no por efecto del ABA. Las aplicaciones de ABA al follaje mostraron que no hubo efecto de tratamiento (0,6256). Por lo tanto se concluye que las aplicaciones de ABA en la época de Septiembre no se logró observar efecto de tratamiento, pero si disminuye las rajaduras de cáscara en aplicaciones al racimo.

**Palabras claves:** Ácido abscísico, Gran Enano, Mancha de madurez, rajadura de cáscara

## ABSTRACT

Physiological damage in clusters of Musa AAA var. Great Dwarf can generate losses of up to 18% of production per hectare. Studies have indicated that the use of abscisic acid improves calcium movement in both leaves and fruit. Being the stain of maturity and cracks of the shell caused mainly by calcium deficiencies, applications of abscisic acid are applied to leaves and clusters to determine the behavior of the stain of maturity and cracks of peel in mature. The results obtained with the ABA applications to the selected clusters differences between treatments ( $p$ -value = 0.012), contrary to the results obtained for the ABA applications to the foliage where no treatment effect was obtained ( $p$ -value = 0.9314 ). The presence of peel cracks in the mature state when the ABA was applied to the cluster without treatment effect ( $p$ -value = 0,1701), but if a decrease as the ABA concentration increased. The same was not found when ABA was applied to the foliage ( $p$ -value = 0.2759), since it is adjusted the ABA concentrations were increased, the cracks in the shell increased. The productive parameters were not affected by ABA applications. One of the objectives was to observe the effect of ABA on the growth of the child. Applications to foliage ( $p$ -value = 0.3522) did not affect the treatment, there was no decrease in the growth of the child. The applications of ABA to the cluster had no effect on the decrease of the growth of the mother plant's son, since the applications were directed to the cluster. It was detected that in the applications of ABA to the clusters there was an increase in the weight of the cluster as ABA concentration is estimated ( $p$ -value-0.0178) but it is attributed to the average number of hands per cluster and not due to ABA. ABA applications to foliage had no treatment effect (0.6256). Therefore, it is concluded that ABA applications at the time of September do not detect the effect of the treatment, but if the cracks are determined in cluster applications.

**Keywords:** Abscisic acid, Great Dwarf, Stain of maturity, cracked shell

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Justificación

La producción de banano para la exportación es una actividad que es sometida a la constante innovación técnica y tecnológica, esto con el fin de mejorar la producción por área, la cual, en producción mundial se ubica en el puesto número cuatro, solo por detrás del arroz, el trigo y el maíz. Además, este cultivo es de suma importancia en la economía del mundo y expresa buenos rendimientos en las regiones tropicales (PRO ECUADOR 2016), de ahí que se cultive en zonas de Suramérica y Centroamérica, donde Costa Rica no es la excepción.

Como menciona CORBANA (2018), Costa Rica en el año 2017 tuvo una producción de 125 000 000 de cajas. Según datos de PROCOMER (2017), el banano es el principal producto de exportación en Costa Rica como producto fresco, con un 44,5% del total exportado generando un ingreso de \$ 1 039 500 000 anuales y el cual va en aumento año a año. En este contexto, es indispensable asegurar la producción mediante técnicas agrícolas y fitosanitarias para mantener la posición alcanzada en el mercado internacional, que cada vez es más competitivo debido a las exigencias de calidad, entre las que se destacan la prevención y el control de enfermedades y daños tanto en planta como en fruto, así como eliminar todo aquel factor que pueda perjudicar la producción.

Uno de los daños más significativos en etapas de cosecha y post cosecha es la mancha de madurez representa entre el 3% y el 5% de la merma en época de incidencia baja y hasta el 18% de la merma en incidencia alta Díaz *et al.* (2007). Este daño es causado por una deficiencia de calcio que, aunque esté presente en altas cantidades en el suelo, puede que no esté disponible el elemento para la planta, afectando la absorción por factores como el antagonismo con otros elementos, pH inadecuado o poca humedad. La ausencia de calcio en la planta hace que las células pierdan la capacidad de expandirse, que la pared celular tienda a desintegrarse con facilidad y que el líquido intercelular escape causando la

oxidación que se manifiesta en una mancha de color marrón que caracteriza a la enfermedad (Díaz *et al.* 2007). Otro daño que perjudica la calidad del fruto son las rajaduras de cáscara en instancias de fruto maduro, donde las células de la cáscara comienzan a separarse debido a que la pared de las células se desintegra llegando a comprometer tanto la calidad, la estética y su precio, lo que se traduce en una difícil comercialización (Fabre 2015).

Autores como Vargas (2008) y Lluna-Duval (2006) han realizado pruebas con hormonas que muestran respuestas positivas en cultivos, tal es el caso del ácido abscísico (ABA), el cual ayuda a mantener la plasticidad de la pared celular y disminuye la abscisión de hojas y fruta. Varios autores como Tonneto *et al.* (2011); Barickman *et al.* (2014) mencionan que el ácido abscísico promueve la absorción del calcio, esto porque resultados obtenidos en otros cultivos disminuyen los trastornos que se asocian con este nutriente.

La estrategia a implementar en este estudio consistió en poner a prueba el ABA mediante aplicaciones pulverizadas en hojas y racimos de banano de exportación para evaluar el efecto que ejerce sobre daños fisiológicos, la calidad del fruto y el crecimiento del hijo.

## 1.2 Objetivo general.

Evaluar el efecto de dos protocolos de aplicación de ácido abscísico sobre el crecimiento del hijo, daños fisiológicos y la calidad de la fruta banano para exportación (**Musa AAA var. Gran Enano**) en Valle de la Estrella, Limón

## 1.3 Objetivos específicos

- Determinar el efecto de diferentes dosis de aplicación de ácido Abscísico a las hojas de la planta madre sobre los daños fisiológicos y la calidad de la fruta en banano (Musa AAA cv. Gran Enano).

- Determinar el efecto de diferentes dosis de aplicación de ácido Abscísico a los racimos sobre daños fisiológicos y la calidad de la fruta en banano (Musa AAA CV Gran Enano).
- Evaluar el efecto de diferentes dosis de aplicación de ácido abscísico a hojas y racimos de la planta madre sobre el crecimiento del hijo en banano (Musa AAA CV Gran Enano).

#### 1.4 Hipótesis

El uso de ácido abscísico durante la etapa productiva de banano reduce daños fisiológicos y mejora la calidad de la fruta y sin comprometer el desarrollo del hijo.

El uso de ácido abscísico disminuye la incidencia de rajaduras de cáscara durante la maduración de la fruta de banano sin comprometer la vida verde del fruto.

## 2 REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Descriptores vegetativos y productivos del banano.

#### 2.1.1 Pseudotallo y Hojas

El pseudotallo es una sección que simula la estructura de un tallo, esta sección es un conjunto de vainas foliares que tienen origen a partir del cormo, finalizando en una inflorescencia. La función principal del pseudotallo es establecer una conexión vascular entre las hojas y las raíces, así como entre los frutos y las hojas (Vargas *et al.* 2007).

Soto (2014) hace mención sobre la morfología de la hoja, y describe que la hoja del banano consta de tres secciones que son; una vaina foliar, una de pseudopeciolo, y por último unas láminas foliares. Las hojas, además de encontrarse distribuidas en forma de espiral, destaca el autor que las largas bases foliares se traslapan, llegando a formar un pseudotallo robusto, en el cual crece la inflorescencia.

Como menciona Pardo (1983) citado por Vargas *et al.* (2007), la producción de hojas por parte de la planta cesa al momento de que la etapa de crecimiento finaliza, esto porque inicia la formación de un ápice floral, sin embargo, las hojas que aún se encuentran dentro del pseudotallo siguen emergiendo, pero a ritmo reducido.

#### 2.1.2 Brotes, hijos o retoños

Los brotes o retoños, mejor conocidos como “hijos” se desarrollan a partir de yemas laterales del cormo. La posición de las yemas en el cormo es una función de filotaxia de la planta, que se define como la distribución de las hojas en el cormo o tallo. En ciertas ocasiones puede darse que, el primer hijo, que se conoce como hijo axial, no presenta las características óptimas para la producción, no obstante, en la mayoría de los casos el brote axial posee mejor condición de desarrollo que los demás y tiende a ser el más prometedor para obtener fruto de buen tamaño.

Consecutivo al hijo axial, se da el desarrollo de nuevos hijos, los cuales están influenciados por la dominancia apical de la planta madre y por los hijos que se hayan desarrollado. Son factores de importancia, la altura de la planta madre y su edad, debido a que el brote es dependiente de la planta hasta que logre desarrollar entre siete hojas y media y doce hojas y media, las cuales son bastante reducidas (Soto 2014).

El brote alcanza una altura aproximada de 50 cm a los tres meses de edad, donde las primeras hojas emitidas son pardas y escumiformes, posteriormente las nuevas hojas desarrollan lámina foliar pequeña y cuyo crecimiento es mayor en las hojas subsiguientes. A este momento, el sistema radical del hijo en formación puede tener un abundante número de raíces, donde el brote viene a ser indispensable para la planta madre debido al cese de desarrollo del sistema radical de la madre antes de que ocurra la floración, por lo que los nutrientes a partir de este son absorbidos por las raíces de los retoños (Soto 2014).

Lassoudierè (1979a) citado por Soto (2014) sintetiza el desarrollo del brote lateral en tres fases:

- Fase infantil: comprende el periodo desde la aparición de la yema lateral hasta que es independiente.
- Fase juvenil: abarca la independencia del hijo, la emisión de la primera hoja normal y la diferenciación floral.
- Fase reproductiva: es el lapso comprendido entre el inicio de la diferenciación floral y la cosecha del fruto.

### 2.1.3 Inflorescencia

La inflorescencia o bellota, como también es conocida, proviene de los brotes florales propiciando la aparición de la inflorescencia entre las hojas de la planta que mediante procesos y transformaciones llegan a desarrollar los dedos y manos (Torres 2012). A partir de este momento se da un cese en la producción de hojas, la planta debe de haber desarrollado 24 hojas hasta ese momento, siendo las hojas

funcionales y reservas de la planta las encargadas de que la inflorescencia llegue a convertirse en un racimo (Rivera 2016).

La inflorescencia contiene flores masculinas y femeninas que se encuentran expuestas a la intemperie. Como menciona Torres (2012) las flores femeninas están colocadas en dos grupos de filas sobrepuestas que se les conoce como “mano” y al conjunto de manos se les conoce como “racimo”. Por su parte a las flores masculinas, que se encuentran situadas en la sección final del racimo, se les conoce comúnmente como chira.

Vargas (2009) menciona en su trabajo que las flores femeninas son las que llegan a diferenciarse de primero, éstas se caracterizan por poseer ovarios de gran tamaño, un estilo con buen desarrollo y estambres sin polen viable. Además, señala que cada mano tiene edad de formación diferente al resto, por ello, es que se recalca que cada mano del mismo racimo tiene una maduración diferenciada.

#### 2.1.4 Fruta

Soto (2014) menciona que el tipo de fruto del banano es partenocárpico, esto quiere decir que la flor no requiere de polinización para que pueda convertirse en fruto, principalmente controlado por los reguladores de crecimiento vegetal. Durante su formación el ovario crece a lo largo y ancho, donde este crecimiento se ve reflejado con más fuerza a la tercera semana de haber emergido la bellota ya que hay mayor cantidad de pulpa en el fruto. Vargas (2009) señala en su investigación que ese cambio es debido a que el proceso de división mitótica se detiene e inicia el proceso de crecimiento celular del fruto y su posterior maduración.

Los frutos en su desarrollo mantienen una relación pulpa-cáscara en aumento, esto quiere decir que ambos crecen a la vez. El aumento del calibre del banano se mantiene constante desde la semana dos hasta la semana siete siendo las posteriores tres semanas donde se intensifica el crecimiento. El tiempo que transcurre para que el fruto posea buen calibre puede variar entre diez semanas y

trece semanas, este periodo puede aumentar si existen excesos de agua en las plantaciones, demorando la etapa de fructificación y cosecha (Torres 2012).

#### 2.1.5 Longitud de los de dedos

El crecimiento de los dedos tiene su origen antes de la floración, específicamente cuatro días antes de que ocurra el proceso. Ese crecimiento es producto del alargamiento de los ovarios y su ritmo de crecimiento se mantiene hasta los treinta días después de la aparición de la estructura floral. La mayor elongación de los dedos se da desde los cuatro días antes de la floración hasta los seis días posteriores a la misma donde el dedo pasa de cinco cm a 17 cm de longitud. A partir del séptimo día el crecimiento del dedo se mantiene constante hasta día 30 o 40 alcanzando su mayor longitud. Sin embargo, la elongación puede verse afectada por condiciones ecológicas adversas y los efectos negativos que ocasiona son irreversibles ya que no pueden ser compensadas desde ese momento hasta la cosecha (Soto 2014).

Ram y Steward (1962) citado por Soto (2014) recalca que el desarrollo del fruto está dominado por tres etapas:

- Hasta cuatro semanas después de la emergencia; que es donde finaliza la división celular.
- De la semana cuatro a la semana doce; que es cuando se da el crecimiento celular.
- De la semana doce a la semana quince; cuando ocurre el proceso de maduración

Además, Vargas (2009) hace mención sobre varios aspectos de interés tales como, el alargamiento promedio de los dedos, que alcanza 1,7 mm por día, también señala que la longitud de los dedos mantiene una relación lineal con el tamaño de la fruta, la ubicación en el racimo y con el número de dedos por mano.

### 2.1.6 Diámetro de los dedos

El engrosamiento de los dedos en diámetro se mide como grado y cada dedo posee dos diámetros: D1, que hace referencia al diámetro medido en dirección paralela a la hilera del dedo y D2, que es el diámetro obtenido de la medición realizada entre la cara interna y cara externa del fruto, siendo el D1 el que muestra siempre mayor crecimiento. Cuando la fruta está lista para cosechar su diámetro se denomina grado, que es el D1 medido en treintaidosavos de pulgada, lo que es equivalente a 0,79375 mm (Soto 2014).

Vargas (2009) señala que el diámetro de las dos primeras manos es mayor y que disminuye paulatinamente en 0,5 grados por mano hacia las manos inferiores del racimo. Las diferencias de grados entre las manos varían con el tamaño de la fruta, por ejemplo, en racimos con desmanado “mano falsa y una” pueden existir diferencias de 2,0 grados para racimos con seis manos y hasta diferencias de 4,9 grados para racimos que contengan diez manos. Según el contexto anterior, la longitud y diámetro de las manos sufren una disminución tipo lineal en sentido de la segunda mano basal hacia la última mano apical que representa solamente el 50% o 60% del tamaño de la segunda mano basal.

Como menciona Soto (2014), el grado es un parámetro que los mercados internacionales utilizan para escoger el tipo de fruto que llega a sus establecimientos donde la preferencia ha sido un fruto con grado superior o igual a 40. Vargas (1983) citado por Soto (2014) hace una relación entre el grado y el peso de la fruta, lo anterior mencionado se detalla en el cuadro 1.

Cuadro 1. Relación entre grado y peso de la fruta en racimos de nueve manos (clon “Gran Enano”).

Grado	Peso (Kg)	Variación	
		Absoluta	Relativa (%)
39	28,52	-	-
40	30,28	1,76	6,17
41	31,71	1,43	4,72
42	33,56	1,85	5,83
43	33,88	0,32	0,95
44	36,17	2,29	6,76
45	36,20	0,03	0,08
46	37,68	1,48	4,09
47	39,19	1,51	4,01
48	43,88	4,69	11,97
<b>Promedio</b>		<b>1,71</b>	<b>4,95</b>

Fuente: Soto (2012)

### 2.1.7 Pulpa y cáscara

Como menciona Turner (1972) citados por Soto (2014) durante el primer mes de desarrollo después de la etapa de floración la cáscara representa el 80% del peso del dedo, mientras que al momento de cosecha la cáscara solo llega a comprender el 40%, siendo el restante 60% pulpa. Esto se debe a que el crecimiento de pulpa es pausado, esa reacción lenta se prolonga hasta el día 42 de originado el fruto, después de ahí se da una acumulación rápida de almidones, extendiéndose hasta el momento de cosecha. A partir del día 70 la pulpa llega a ser más abundante que la cáscara, que inverso a la pulpa, aumenta en menor proporción su volumen después del día 30 y su espesor de cuatro mm se mantiene constante en el tiempo.

Soto y Hernández (1983) citados por Soto (2014) muestran en el cuadro 2 el detalle del comportamiento de la pulpa y la cáscara conforme el desarrollo del fruto:

Cuadro 2. Aumento del peso total del fruto central de la segunda mano del clon de banano “Gran Enano” desde la floración hasta la cosecha, en gramos.

Días después de la floración	Peso total	Peso pulpa	Peso cáscara
0-15	0,55	0,2	0,35
15-56	1,70	0,97	0,73
56-77	3,06	2,37	0,69
77-84	4,14	3,07	1,07

Fuente: Soto (2012)

## 2.2 Daños fisiológicos en banano

Existen condiciones que inducen a los frutos a desarrollarse con anomalías, por lo que la observación debe ser constante y correcta ya que si la acción de control no se realiza en el momento indicado tiende a dañar parte específica del fruto lo que la hace no apta para consumo en algunos casos y en otros limita o evita la importación. Entre estas anomalías se encuentran:

### 2.2.1 Mancha de Madurez

Como menciona Díaz *et al.* (2007) la Mancha de Madurez es provocada por deficiencias de Calcio en las etapas de diferenciación floral y desarrollo del fruto. Dicho daño es identificado mediante la presencia de una caracterizada mancha de color marrón rojizo en las células epidérmicas de la cáscara. Las células alargadas son las que con mayor frecuencia sufren ruptura en sus paredes, por ello es que los dedos más largos presentan mayor incidencia de este síntoma.

Las épocas donde hay mayor incidencia suceden en meses posteriores a veranos intensos y prolongados ya que a pesar de que suelos tengan niveles aceptables de calcio, la humedad en el suelo es baja por lo que la movilidad y absorción del este nutriente se ve disminuida (Díaz *et al.* 2007). Además, los bajos niveles de calcio en planta o fruto pueden ser consecuencia de un desequilibrio de potasio, magnesio y calcio. Lo ideal para el cultivo de banano es que los análisis

muestren un equilibrio de éstos para una correcta asimilación en la planta para evitar inconvenientes con la Mancha de Madurez (Espinosa y Mite 2002).

La deficiencia de calcio es más crítica cuando emerge el racimo. El periodo comprendido entre los catorce a 28 días después de la salida de la inflorescencia la cera epicuticular aparece y es la encargada de brindar rigidez a las células. Como resultado de la carencia de calcio se generan fracturas en las paredes que varían en tamaño y profundidad ocasionando que el contenido citoplasmático se disipe en los espacios intercelulares y por medio de la oxidación de las sustancias celulares se produzca la dopamina que da la tonalidad rojiza o marrón claro (Diaz *et al.* 2007).

### 2.2.2 Ruptura de cáscara en estado maduro

La ruptura de cáscara es atribuida a un desorden fisiológico que se presenta en la familia de las musáceas como resultado de dos consecuencias; una de ellas ocurre por la maduración que sufre el fruto en una atmosfera saturada con altas temperaturas; y la otra es provocada por el empaque, por causa de la bolsa de polietileno. El banano es mucho más susceptible a presentar rupturas cuando se encuentran en proceso de madurez total o se les realizan prácticas de maduración artificial, pero éstas pérdidas traen como consecuencia disminución de agua en cáscara por transpiración hacia el entorno y por osmosis hacia la pulpa, lo que aumenta el volumen de la pulpa y por ende la partición de la cáscara (Fabre 2015).

### 2.2.3 Vida verde o vida postcosecha

La vida verde o postcosecha se conoce como el periodo que el fruto, después de ser cosechado, permanece aún verde y firme, donde no existen cambios en el color de la cáscara, textura o composición. Lo anterior está en función de la temperatura y humedad que se maneje el almacenamiento y la edad de cosecha. Al momento en que la vida verde del fruto finalice, iniciará el proceso de maduración el cual es irreversible. En esta etapa el fruto madurará aceleradamente lo que compromete el proceso de comercialización y aumenta las pérdidas postcosecha. Por lo que el

potencial de vida verde que posea un híbrido será criterio significativo en la aceptabilidad total del mismo, es decir, aquellos cuya vida verde sea más prologada o los que maduren con mayor lentitud (INIBAP 1997).

## **2.3 Ecología del banano**

El banano es una planta que, para mostrar el mejor desarrollo posible, requiere de condiciones húmedas y cálidas, las cuales se encuentran en las regiones tropicales. Su crecimiento es continuo, al momento de detenerse la producción de hojas y raíces, la inflorescencia emerge. Su velocidad de crecimiento es tal, que solo puede expresarse cuando la temperatura, la luz, las reservas de agua y el contenido de nutrientes, y las condiciones ecológicas son apropiadas (Soto 2014).

### **2.3.1 Localización geográfica**

Las condiciones climáticas para el establecimiento y producción de banano se ubican entre una latitud de 30° Norte y 30° Sur del Ecuador, así también como en latitudes entre los 0° y 15°, siendo éstas últimas donde se encuentran las condiciones óptimas para su desarrollo (Ortiz *et al.* 2001), alejarse de los 15° tanto Norte como Sur el banano tiende a sufrir quemaduras ocasionalmente debido a las condiciones temperaturas bajas imperantes en la zona (Soto 2014).

### **2.3.2 Lluvia y Humedad**

El banano, por el tipo de estructura botánica que lo conforma, necesita suelos con disponibilidad de humedad permanente. Para lograr cosechas rentables es requerido suministrar de 100 a 180 milímetros de agua por mes, siendo la necesidad neta de la planta de 167 mm por mes (Soto 2014). Lo anterior es para cumplir con lo requerido por la planta ya que entre el 85% y 88% del peso del banano está constituido por agua (Torres 2012).

Cuando las condiciones de humedad no son las idóneas Torres (2012) menciona que deben ser aportadas mediante riegos regulares y constantes, esto para evitar

que los suelos con escasas de agua provoquen desecación de las hojas; siendo las hojas viejas las que expresan de primero los síntomas, marchitez de las vainas y por último la ruptura del pseudotallo.

Por la situación anterior, es que Torres (2012) recomienda establecer plantaciones en zonas donde la precipitación oscile entre los 2000 mm y 3000 mm distribuidos durante el año. Además, Soto (2014) señala que Costa Rica supera los límites recomendados por Torres (2012) por lo que no hay necesidad de riego, por el contrario, debe construirse eficientes sistemas de drenaje con el fin de evacuar los excedentes ya que la precipitación varía entre los 2500 mm y 4500 mm, donde es de extrañar que se presenten déficits hídricos que puedan provocar daños fisiológicos graves en las plantas.

Autores como Vargas (2009) y Soto (2014), concuerdan que en épocas de alta precipitación los espacios de los poros se saturan, provocando la falta de oxígeno por periodos suficientes para que cause podredumbre en tejidos externos de la raíz y pelos absorbentes, causando un desequilibrio hormonal y estrés severo llegando a detener el crecimiento. Esto ocurre en los meses entre noviembre y enero y julio.

### 2.3.3 Temperatura

La temperatura en el desarrollo y crecimiento del banano ejerce un efecto considerable en las plantas ya que éstas requieren de temperaturas relativas altas cuyo rango varía entre los 21 °C y 29,5 °C, con media de 27 °C. La temperatura mínima absoluta que soporta el banano rodea los 15,6 °C y como temperatura máxima absoluta puede resistir hasta los 37,6 °C (Soto 2014 y ANACAFE 2004). Autores como Gary (1973) y Vakili (1974) citado por Soto (2014) mencionan que, exposiciones a temperaturas inferiores o superiores a los óptimas tienen como consecuencia deterioro y lentitud en el desarrollo, además de que pueden llegar a causar daños físicos o productivos en el fruto.

Las consecuencias que puede generar el desarrollo de la planta fuera de los límites de temperatura óptimos pueden ser varias. En aquellos ambientes cuya temperatura rodea los 40 °C, las raíces secundarias se destruyen provocando el fenómeno fisiológico conocido como “arrepollamiento” (Soto 2014 y Ortiz *et al.* 2001), además se da el cierre de estomas lo que disminuye los niveles fotosintéticos de la planta afectando el crecimiento, y provoca pérdidas en la vida verde (Ortiz *et al.* 2001). Por el contrario, cuando los ambientes no sobrepasan los 16 °C, la planta pierde turgencia apareciendo una coloración amarilla lo que conlleva a una muerte prematura (Soto 2014), así como la obstrucción de haces vasculares (Ortiz *et al.* 2001).

#### **2.4 Descripción del Cultivar “Gran Enano”**

El cultivar “Gran Enano” es un cultivar caracterizado por poseer un porte bajo, un pseudotallo robusto y buen sistema radicular. Tener un sistema radicular bien desarrollado le permite resistir el volcamiento y mostrar un mejor comportamiento ante problemas de humedad excesiva en el suelo. Debido a su porte, este cultivar permite sembrar mayor densidad de plantas por hectárea, la densidad varía entre 1750 plantas y 2000 plantas (Vargas 2007).

Este cultivar posee un alto potencial de producción de hasta 100 toneladas por hectárea, que raras veces lo alcanza debido a condiciones ambientales adversas. Además, cabe mencionar que existe alta susceptibilidad del cultivar a ataques de nematodos, “sigatoka negra” y existe evidencia de ataques de raza 4 (*Fusarium oxysporium*) en Taiwan y Filipinas (Soto 2014).

#### **2.5 Reguladores de crecimiento**

Los reguladores de crecimiento tienen la capacidad de inducir o reprimir procesos de crecimiento e inclusive lograr actuar en lugares que no son propios de su síntesis (Vargas *et al.* 2007), además varios reguladores de crecimiento o fitohormonas pueden afectar una misma respuesta, lo que indica que existe la posibilidad que un mismo producto realice su función en diferentes procesos fisiológicos (Cruz *et al.* s.f).

Los reguladores de crecimiento son una herramienta útil para determinados manejos culturales (Sanchez 2004), se pueden mencionar; combate de malas hierbas, desarrollo de frutos, defoliación, propagación vegetativa y control de tamaño de las plantas (Vargas *et al.* 2007).

Sánchez (2004) menciona que en la actualidad se conocen varios tipos de reguladores de crecimiento entre los que se describen:

- Auxinas: Estimulan crecimiento mediante la elongación celular y división celular, éstas llegan a difundirse célula a célula
- Giberelinas: Compuesto que promueve la división y luego la elongación celular.
- Citoquininas: Estimulan la división celular, contrarrestan la dominancia apical y regulan la apertura estomática.
- Etileno: Sintetizado a partir del aminoácido metionina, es un gas que se mueve por difusión, cuya propiedad es madurez y abscisión de los frutos, y senescencia de las flores.
- Ácido absísico: Producido por hojas maduras y por las semillas, regula el nivel de agua en la planta y promueve la síntesis de proteína.

#### 2.5.1 Ácido absísico

La fitohormona, ácido absísico (ABA), fue identificada por un grupo liderado por F. Addicott en 1963, quienes aislaron los compuestos que provocaban la abscisión de frutos de *Gossypium hirsutum*. Ese compuesto aislado fue abscisina II, la cual se le otorgó el nombre de ABA. Poco después P. Wareing aisló sustancias de hojas de *Acer pseudoplatanus* que provocaba la latencia de yemas, la llamada dormancia también se identificó como ABA. Desde entonces, ha sido implicada en múltiples procesos fisiológicos de diferentes especies, el ácido absísico (Jordán y Casaretto 2006)

Según menciona Jordán y Casaretto (2006) ABA puede ser sintetizado por cualquier célula de origen vegetal, además puede movilizarse por toda la planta vía xilema y el floema. Sin embargo, el ABA sintetizado por los haces vasculares es el

de que demuestra mejores resultados ya que se produce en plantas que no son sometidas al estrés. Otros sectores de síntesis de ABA, mencionados por estos autores, son los embriones y las células guarda de los estomas, además de semillas ovarios y frutos, donde las concentraciones son entre 0,01 mg/l y 1,0 mg/l, pudiendo incrementarse en condiciones de estrés hasta 50 veces más.

### 2.5.2 Efectos fisiológicos

El ácido Abscísico (ABA) es un sesquiterpenoide de importancia, y según varios autores (Cruz *et al.* s.f y Jordan y Casaretto 2006) los efectos del ABA en las plantas son:

- Síntesis de proteínas LEA (Late Embriogenesis Abundant), que hace más tolerante el embrión a la deshidratación.
- Dormancia de semillas
- Regula el crecimiento y elongación, germinación y senescencia.
- Repercute en la división celular y apertura de estomas
- Síntesis de lípidos de almacén en semillas
- Respuestas a heridas y patógenos

Además, el ácido abscísico está asociado a múltiples procesos fisiológicos debido a su mecanismo de acción ya que se basa en regulación de la apertura de estomas y por lo tanto asociado a la transpiración y la toma de gases del exterior (Rodríguez y Rodríguez 2004). Un intermediario de muchas señales en las plantas es el Calcio, donde una de las primeras respuestas a ABA en las células guarda, es el aumento en los niveles del Calcio citosólico (Jordán y Casaretto 2006).

Barickman (2014) hace mención sobre el efecto que ejerce el ácido abscísico sobre la absorción del calcio en plantas de tomate, favoreciendo la absorción del del nutriente en condiciones de estrés y reflejándose en aumento de niveles de calcio en fruto, lo que conlleva a una mejor calidad y mejor integridad de la pared celular.

### **3 MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Descripción del lugar de estudio**

Este trabajo se realizó en la Finca Atalanta, la cual pertenece a la empresa Standard Fruit Company de Costa Rica S.A. Actualmente cuenta con áreas dedicadas al cultivo de banano e infraestructura. Dicha finca se ubicó en el distrito de Valle de la Estrella con coordenadas latitud 9° 42' 00" N y longitud 82° 59' 00" O, perteneciente al cantón de Limón. Esta se localiza a unos 20 msnm, con precipitaciones de 2700 mm por año, con una temperatura máxima promedio de 30,5 °C y mínima de 21 °C, y una humedad relativa entre 82% y 92%. Además, esta región cuenta con suelos clasificados como inceptisoles y ultisoles (Muñoz 2017).

#### **3.2. Periodo de estudio**

El experimento se llevó a cabo en el mes de septiembre del año 2017 y finalizó en Marzo del año 2018.

El inicio del proyecto en el mes de septiembre fue a raíz de los datos históricos de la Finca Atalanta, ya que para este periodo plantas que iniciaron proceso de parición mostraron un considerable porcentaje de pérdida por Mancha de Madurez en años anteriores.

#### **3.3. Material experimental**

Anterior a la selección del material experimental, se realizó un muestreo de circunferencia de planta madre con el objeto de obtener un promedio general de la población el cual fue de 96 cm, esta medición se realizó a una altura de un metro del suelo. A partir del promedio obtenido se seleccionaron las plantas que iban a ser sometidas a prueba y se eligieron aquellas plantas que tuvieran circunferencia de  $\pm 10\%$  de homogeneidad con respecto a la circunferencia del promedio general, es decir, aquellas que tuvieron una circunferencia mayor o igual a 86,4 o menor o igual a 105,6 cm de circunferencia.

Para llevar a cabo este experimento, se seleccionaron las áreas con mayor influencia de Mancha de Madurez, las cuales fueron los cables conocidos como cable 539 y cable 540. A las plantas seleccionadas del cable 539 se le realizaron aplicaciones dirigidas al racimo, y las plantas seleccionadas del cable 540 se les realizaron aplicaciones foliares.

La selección del material evaluado se realizó en tres semanas consecutivas, la primera en semana 38, la segunda en semana 39 y la tercera en semana 40, todas del año 2017. En cada semana se seleccionaron 80 plantas, 40 para aplicaciones dirigidas al racimo (10 por cada tratamiento) y 40 plantas para aplicaciones foliares (10 plantas por cada tratamiento). El total de plantas para aplicaciones al racimo fueron 120 e igual número de plantas para aplicaciones foliares.

#### 3.4 Identificación de las plantas

Se seleccionaron plantas recién paridas. Las plantas, tanto las de aplicaciones foliares como las de racimo, fueron identificadas con un marcador de cera, cuya descripción se localizó en el pseudotallo y en la parte superior del pinzote. Las identificaciones llevaron la información respectiva de cada planta, como lo fue; el número consecutivo, número de repetición, número de tratamiento y número de semana del año 2017 en la que fue seleccionada. El orden de la información se observa en la figura 1.



Figura 1. Identificación en pseudotallos y racimos de plantas seleccionadas para estudio del efecto del ABA en musa AAA var. Gran enano, Valle de la estrella, Limón, Costa Rica 2017.

Se identificaron por cada tratamiento 30 plantas (réplicas). Estas se seleccionaron en tres diferentes semanas, identificando 10 plantas por tratamiento en cada semana. Lo anterior se realizó tanto para las plantas seleccionadas para aplicaciones a las hojas como al racimo. Además se colocó una cinta en la parte inferior del racimo para que el personal del departamento de cosecha no cortara el racimo antes del tiempo establecido.

### 3.5 Descripción de los tratamientos

Los tratamientos consistieron en aplicaciones de ABA a diferentes concentraciones. Se seleccionaron plantas para aplicar dos diferentes estructuras, hojas de plantas madre o racimos de plantas madre. Los racimos seleccionados se sometieron a dos aplicaciones de ABA, la primera aplicación a los siete días después de la selección de los racimos y la segunda a los doce días después de la selección.

Las hojas de plantas madre tratadas con aplicaciones asperjadas con ABA se sometieron a cinco aplicaciones durante 5 semanas consecutivas con intervalo de aplicación cada siete días.

#### 3.5.1 Tratamiento Testigo aplicado a dosel

La primera aplicación inició en la misma que se realizó la selección de las plantas. Por planta se aplicaron 500 mL en total. Esos 500 mL se fraccionaron en cinco aspersiones y por cada aspersion se aplicaron 100 mL de agua. El volumen total utilizado por este tratamiento para todas las réplicas fue de quince litros de agua. A este tratamiento se le asignó como tratamiento uno y se identificó con la abreviatura T1 0 ppm ABA.

#### 3.5.2 Tratamientos de Ácido Abscísico aplicado al dosel

Los tratamientos con Ácido Abscísico aplicados al dosel se constituyeron de diferentes concentraciones. Las concentraciones fueron de 75 partes por millón (ppm), 150 partes por millón y 300 partes por millón.

La disolución que tuvo la concentración de 75 ppm se le asignó como tratamiento número dos (T2 75 ppm ABA), la disolución que tuvo la concentración de 150 ppm se le asignó como tratamiento número tres (T3 150 ppm ABA) y la disolución que tuvo la concentración de 300 ppm se le asignó como tratamiento número cuatro (T4 300 ppm ABA).

Las aplicaciones iniciaron en la misma semana de la selección, donde el volumen total utilizado por cada tratamiento fue de quince litros de agua, lo que implicó que por planta se aplicaran 500 mL de disolución con ABA, fraccionado en cinco aspersiones de 100 mL de disolución cada una.

#### 3.5.3 Tratamiento Testigo aplicado a racimo

Ambas aplicaciones fueron efectuadas en la misma semana, donde el volumen total utilizado para este tratamiento fue de 1500 mL de agua, por planta equivale a 150 mL de agua, fraccionado en dos aspersiones de 75 mL de agua cada una.

### 3.5.4 Tratamientos de Ácido Ábscísico aplicado a racimo

Los tratamientos con ácido abscísico aplicados al racimo se constituyeron de diferentes concentraciones. La disolución que tuvo una concentración de 250 ppm se le asignó como tratamiento número dos (T2 250 ppm ABA), la disolución que tuvo una concentración de 500 ppm se le asignó como tratamiento número tres (T3 500 ppm ABA) y la disolución que tuvo una concentración de 1000 ppm se le asignó como tratamiento número cuatro (T4 1000 ppm ABA).

Las aplicaciones iniciaron en la misma semana de la selección de las plantas. El volumen total utilizado por cada tratamiento fue de 1500 mL de agua, es decir, se aplicaron 150 mL de disolución con ABA por planta, fraccionado en dos aspersiones de 75 mL de disolución cada una.

En el Cuadro 3 se pueden observar los diferentes tratamientos aplicados tanto al dosel como al racimo con su respectiva abreviatura, concentración y dosis.

Cuadro 3. Sector de aplicación y dosis respectivas utilizadas por tratamiento durante el estudio del efecto del ácido abscísico en banano, Valle de Estrella, Limón, Costa Rica, 2017.

Sector	Tratamiento	Abreviatura	Concentración (ppm)	Dosis (mL)
Dosel	1	T1	0	100
	2	T2	75	100
	3	T3	150	100
	4	T4	300	100
Racimo	1	T1	0	75
	2	T2	250	75
	3	T3	500	75
	4	T4	1000	75

### 3.5.5 Cálculo de dosis

Para conocer la cantidad de volumen de disolución requerido para el racimo y el dosel de la planta, se realizó una prueba con un volumen conocido de agua en un envase (Atomizador de presión manual para aplicación a racimo y bomba de motor para aplicación foliar) y se implementó la técnica de volumen corregido, por

lo que, mediante la diferencia entre el volumen final obtenido menos el inicial, se logró conocer la cantidad de líquido que necesitó cada estructura para que quedara bien cubierta. El volumen requerido para el racimo fue de 75 mL y el volumen requerido para el dosel fue de 100 mL.



Figura 2 Atomizador de presión manual para aplicación a racimo y bomba de motor para aplicación foliar en Valle de la Estrella, Limón, Costa Rica, 2017.

### 3.5.6 Preparación de los Tratamientos

El producto que se utilizó fue ácido absícico al 20%, cuyo nombre experimental fue VBC 30051 (Elaborado por Valent BioScience Corporation), este producto es soluble en agua con presentación granular y contiene 200 gramos de ingrediente activo (ABA) por cada kilogramo de producto comercial. Este insumo es granulado y es de carácter soluble.

Para cada tratamiento de ácido ábscísico, se calculó la cantidad miligramos de ABA 20% por litro de agua para que la disolución tuviera la concentración requerida. Los cálculos se pueden observar en el Anexo 1.

Para favorecer el efecto del producto se incorporó Cosmo In® d, el cual es un coadyuvante no iónico, surfactante, dispersante y acelerador de penetración, en dosis de 2 mL por litro de disolución.

La preparación del producto se llevó a cabo de la siguiente manera; se agregaron 500 mL de agua, posteriormente se incorporó el ácido absícico 20%, se mezcló y posterior a ello se incorporó el volumen de agua faltante para ajustar el litro de disolución. Luego se incorporó Cosmo In® d y se volvió a agitar para homogenizar y distribuir bien los solventes con el agua.

### 3.6 Modo de aplicación de los tratamientos

Las aplicaciones al dosel de la planta se realizó por aspersion con una bomba de motor marca Guarany Kawasaki TK-65, con capacidad para 18 litros. Esta aplicación se realizó a las hojas de la planta madre según el tratamiento correspondiente.

En los tratamientos aplicados al dosel, las plantas seleccionadas en semana 38 iniciaron aplicaciones en semana 38 y finalizaron en semana 42, para las plantas seleccionadas en semana 39, iniciaron aplicaciones en semana 39 y finalizando en semana 43, y para las plantas seleccionadas en semana 40 las aplicaciones iniciaron en semana 40 y finalizaron en semana 44. Todas las semanas anteriores del año 2017.

Las aplicaciones al racimo se realizaron mediante pulverizaciones con una atomizadora de presión manual Imacasa con capacidad para dos litros, donde se asperjaron las manos del racimo cuyas brácteas se encontraban abiertas.

### 3.7 Cosecha

La cosecha se realizó a las doce semanas de haberse seleccionado las plantas, por lo que los racimos de las plantas seleccionadas en semana 38 se cosecharon en semana 50, los racimos de plantas seleccionados en semana 39 se cosecharon en semana 51, los racimos de plantas seleccionadas en semana 40 se cosecharon en 52, del año 2017.

### 3.8 Variables de respuesta

Todas las variables que fueron evaluadas se midieron en tres ambientes diferentes. A estos ambientes se les nombró como etapas de medición, y dichas etapas fueron; a) campo, b) patio de empacadora y c) ambiente controlado.

En el Cuadro 4, se tabulan las etapas de medición, las variables con sus abreviaturas, así como las unidades de medida respectivas.

Cuadro 4. Listado de etapas de medición, variables vegetales, productivas y de calidad, abreviaturas y unidades de medida estudiadas en el efecto del ácido abscísico en banano, Valle de Estrella, Limón, Costa Rica 2017.

Fase Medición	Variable	Abreviatura	Medida
Campo	Circunferencia Madre	CM	cm
	Altura Madre	AM	cm
	Altura Hijo	AH	cm
	Manos Originales	MO	Número
Patio	Grosor del Dedo	GD	Grado
	Peso Racimo	PR	Kg
	Longitud Dedo	LD	cm
	Mancha de Madurez	MM	Clase*
Ambiente Controlado	Cáscara Rajada	CR	% dedo afectado, # de manos con dedo rajado
	Color	CO	Escala
	Vida Verde	VV	Días

\*Las clasificaciones de severidad de mancha de madurez fueron leve, moderada y severa.

#### 3.8.1 Variables vegetativas

Las variables vegetativas evaluadas fueron la circunferencia y la altura de la planta madre, altura del hijo y las manos originales del racimo, donde los procedimientos de cómo se realizaron las mediciones se describe a continuación:

##### 3.8.1.1 Circunferencia de la planta madre

Se midió la circunferencia de la planta madre mediante una cinta de plástico, con unidad mínima en centímetros, la cual se colocó rodeando el pseudotallo de la

planta de interés. En la Figura 3 se puede observar la manera de cómo se realizó la medición de la circunferencia a un metro de altura del suelo.



Figura 3. Medición de circunferencia de tallo en Musa AAA var. Gran Enano en Valle de la Estrella, Limón, Costa Rica, 2017.

#### 3.8.1.2 Altura de la planta madre y altura del hijo

Mediante el uso de una vara de madera graduada en centímetros, se midieron las alturas de la planta madre y la altura del hijo correspondiente (Figura 4).

La altura de la planta madre se midió al momento de la selección, la medida se realizó desde la base de la planta hasta la curvatura del pinzote. Para la altura del hijo se realizaron dos mediciones, la primera al momento de la selección y la segunda se realizó cuatro días después de realizada la cosecha, luego se midió la diferencia entre ambas alturas donde se obtuvo el crecimiento exacto del hijo. Esta variable se midió desde el suelo hasta la “V” que forman las dos hojas antecesoras a la hoja candela.



Figura 4. Medición de Altura de planta madre e hijo sucesor con regla de madera graduada en centímetros, en Finca Atalanta, Valle de la Estrella, Limón, Costa Rica, 2017.

#### 3.8.1.3 Manos originales

Las manos originales se obtuvieron mediante el conteo de las manos totales que el racimo fue capaz de producir, este dato se obtuvo dos semanas después de la selección de las plantas.

#### 3.8.2 Variables Productivas

Las variables productivas a estudiar fueron: calibre (grosor) del dedo central de la segunda y última mano, longitud del dedo central de la segunda y última, peso de racimo.

##### 3.8.2.1 Peso del racimo

El peso del racimo se obtuvo mediante el uso de una romana digital UWE, modelo CCS, con capacidad de 150 Kg (Figura 5).



Figura 5. Romana electrónica marca UWE, modelo CSS con capacidad para 150 kg utilizada para el pesaje de racimos en Finca Atalanta, Valle de la Estrella, Limón, Costa Rica, 2017.

#### 3.8.2.2 Grosor o calibre del dedo.

Esta variable se midió en el patio de la planta empacadora, por medio de un calibrador tipo DIAL, el cual se colocó en el dedo central de la línea externa de la segunda y última mano del racimo, por medio de este calibrador se obtuvo el grosor del dedo en treinta doceavos de pulgada ( $1/32 = 1$  grado) (Figura 6)



Figura 6. Calibrador utilizado para la medición del grosor del dedo en Musa AAA. Var. Gran Enano, Valle de la Estrella, Limón, Costa Rica, 2017.

### 3.8.2.3 Longitud del dedo

Esta variable se evaluó en patio de la planta empacadora. Con la ayuda de una cinta métrica plástica se midió el largo del dedo central de la segunda y última mano, colocando la cinta métrica desde la base del pedúnculo hasta la punta del dedo.

### 3.8.3 Variables de calidad

#### 3.8.3.1 Mancha de Madurez

Esta variable se evaluó en el patio de la planta empacadora donde se realizó el conteo de dedos totales del racimo y de dedos que presentaron mancha de madurez. En la Figura 7 se puede observar el tipo de severidad de la mancha de madurez, la cual sirvió para clasificar este defecto. Es importante mencionar que para esta variable se examinaron todas las manos del racimo.



Fuente: Muñoz 2017

Figura 7. Clasificación de Mancha de Madurez en banano según severidad de daño utilizada en Finca Atalanta, Valle de la Estrella, Limón, Costa Rica 2017.

#### 3.8.3.2 Cáscara rajada

La toma de muestras para cáscara rajada provino de la segunda mano del racimo, donde se extrajeron dos gajos, cada uno de seis dedos. Las muestras se identificaron con una cinta la cual se identificó con el número de racimo, réplica, tratamiento y el número de proyecto (foliar o racimo).

Posterior a la identificación de los gajos se procedió aplicar Ryz-Up 40 a la corona del gajo para luego empacar la fruta en cajas. El Ryz Up 40 es un ácido giberélico que aumenta la vida verde del gajo.

El tipo de caja donde se empacó fue la SF-101, la bolsa utilizada para proteger los gajos fue de politubo, la cual posee 96 perforaciones y una densidad de 0,7 mm de grosor.

Luego de ser empacada, la fruta se envió al laboratorio de postcosecha donde se le dio una vida de tránsito de 21 días en la cámara de frío a 14.4 °C. Posterior a ello, se hizo un precalentado de la fruta, que consistió en subir la temperatura de la cámara a 16.7 °C durante 24 horas, transcurrido ese tiempo, vino

el gaseo de la fruta, esto se basó en la aplicación de Etileno mediante un generador de Etileno, el cual estuvo en el interior de la cámara por un periodo de 24 horas a una temperatura de 16,7 °C, luego de transcurridas este lapso se extrajo el generador de la cámara de frío y se dejó airear la cámara por un periodo de 20 a 30 minutos. Posterior, al tiempo de ventilación la fruta se mantuvo en refrigeración durante 48 horas a 16,7 °C y durante 24 horas a más a 15,5°C.

A partir de ahí la fruta se sacó de las cámaras de frío para ser almacenadas en la sala de muestras, que se encontraba a 22,2 °C, donde se realizaron los respectivos muestreos.

Los muestreos se realizaron a las cero horas, a las 24 horas y a las 48 horas. El muestreo a las cero horas fue de medición de color de fruta a las primeras dos filas de la caja. Para el muestreo a las 24 horas se extrajo toda la fruta de las cajas y se colocó en panas donde se midió el calibre, el color y cáscara rajada, posteriormente la fruta en pana se tapó con plástico hasta el día siguiente. Para el muestreo a las 48 horas la fruta se le hizo medición de color y muestreo de cáscara rajada.

### 3.8.3.3 Vida verde

Las muestras para vida verde se obtuvieron de la segunda mano, donde se extrajeron dos gajos de seis dedos, los cuales fueron identificados con su réplica, tratamiento y número de proyecto en una cinta de plástico.

Luego se le aplicó Ryz- Up en a la corona del gajo se dejó secar y luego se empacó en caja tipo SF-101 en cuyo interior llevó una bolsa tipo politubo con densidad de 0.7 mm de grosor, la cual contenía 96 perforaciones.

Posterior al empaque se envió la fruta al laboratorio de postcosecha para ser almacenado en el apartado de cámaras para vida verde, donde se mantuvieron en refrigeración a una temperatura de 14,4 °C. Posterior a quince días transcurridos se realizaron los muestreos de vida verde de día por medio, estos muestreos consisten en evaluar la fruta visualmente como su consistencia (textura). La parte visual consistió en observar si el dedo se encontraba en estados iniciales de

madurez y la parte de textura se basó en probar al tacto la suavidad de la punta del dedo del gajo. En cada muestreo realizado se dejó la puerta de la cámara abierta para que hubiera aireación.

### 3.9 Diseño experimental

Para el experimento se utilizaron dos diseños experimentales, uno establecido para las evaluaciones en campo y patio y otro para las evaluaciones en la parte de ambiente controlado.

Para evaluaciones en campo se utilizó un diseño Completamente al Azar, en donde se establecieron ocho tratamientos con seis repeticiones, esto por siete racimos por replica, lo que generó 336 racimos evaluados.

En lo que respecta a la parte de ambiente controlado se realizó un diseño de Bloques Generalizados para lograr evaluar la respuesta de cada tratamiento (Dosel y Racimo) al daño de rajaduras ocasionado por la maduración. Para este diseño el factor Bloque representa el tratamiento asignado en campo (ocho tratamientos) y el factor "B" corresponde a dos tiempos de almacenamiento (24 horas - 48 horas). Se establecieron tres repeticiones por tratamiento con dos observaciones por repetición (manos), para un total de 96 manos evaluadas.

### 3.10 Modelos experimentales

#### 3.10.1 Diseño Completamente al Azar

$$Y_i = \mu + \tau_i + \epsilon_i$$

$Y_{ijk}$  = es la variable de respuesta

$\mu$  = es una media poblacional

$\tau_i$  = donde  $\tau$  es el  $i$  ésimo efecto del tratamiento debido a aplicaciones a dosel, a aplicaciones a racimo, o a protocolo

$\epsilon_i$  = es el error experimental

#### 3.10.2 Diseño de Bloques Generalizado

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \tau_j + (\tau_i * \tau_j) + \epsilon_{ij}$$

$Y_{ij}$  = es la variable de respuesta

$\mu$  = es una media poblacional  
 $P_i$  = donde  $P$  es el  $i$ ésimo efecto del protocolo de aplicación de s-ABA.  
 $T_j$  = donde  $T$  es el  $j$ ésimo efecto del tratamiento  
 $P_i * T_j$  = donde ( $P * T$ ) es la interacción de  $i$ ésimo efecto del protocolo y el  $j$ ésimo efecto del tratamiento  
 $\epsilon_{ij}$  = es el error experimental

### 3.10.2 Croquis del diseño experimental que utilizado en el ensayo en Finca Atalanta, Valle de la Estrella, Limón, Costa Rica, 2017.

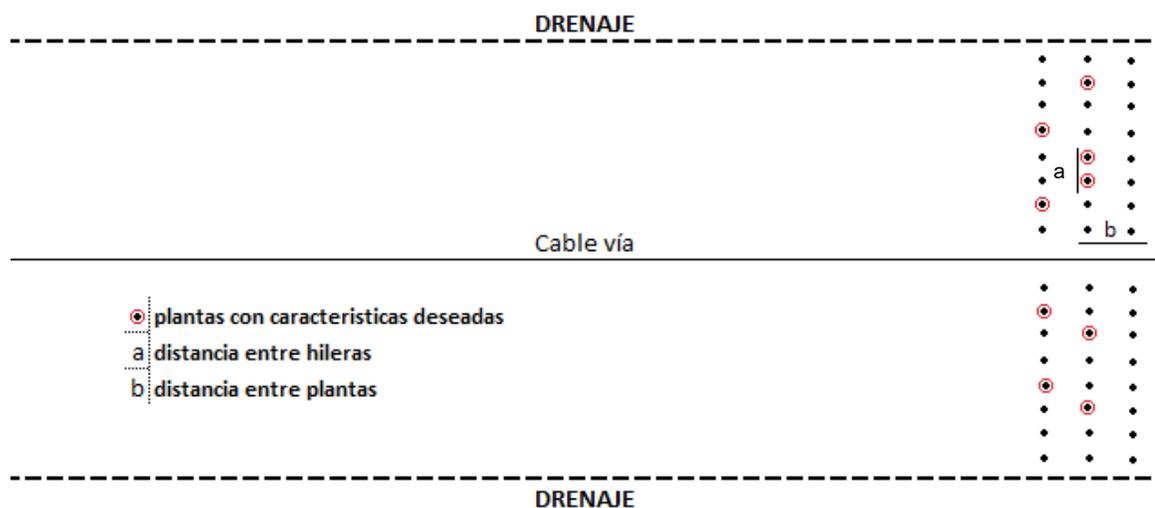


Figura 8. Croquis de la zona experimental ubicada en Finca Atalanta, Valle de la Estrella, Limón, Costa Rica, 2017.

### 3.11 Análisis estadístico

El efecto de cada ensayo se evaluó mediante la técnica de Modelos Lineales y Mixto (MLMix) con corrección de heterocedasticidad. Se aplicó la Prueba de Comparación Múltiple de Bonferroni con un nivel de significancia de 0,05 en todas las variables mencionadas en el Cuadro 4.

Todos los análisis se realizaron con el paquete estadístico InfoStat/P (Di Rienzo *et al.*, 2017).

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la evaluación del efecto de la aplicación exógena de ácido abscísico sobre el crecimiento del hijo, daños fisiológicos y calidad de la fruta en banano (Musa AAA var, Gran Enano) para exportación, en Valle de la Estrella, Limón, 2017, se presentan a continuación:

### 4.1. Mediciones realizadas en campo al momento de la marcación, antes de inicio de aplicaciones

El análisis estadístico realizado a los datos registrados antes del inicio de las aplicaciones con ABA para plantas seleccionadas para aplicaciones dirigidas al racimo se observó que no hubo efecto de tratamiento para las valores de circunferencia (p-valor = 0.7664) (Anexo 1), altura de la madre (p-valor = 0,1255) (Anexo 2), altura del hijo (p-valor = 0.4158) (Anexo 3), hojas iniciales (p-valor = 0.8703) (Anexo 4) y manos originales (p-valor = 0.2086) (Anexo 5). Por lo que el comportamiento de los resultados finales fueron por efecto tratamiento u otras variables.

Cuadro 5. Valores de variables vegetivas obtenidos al momento de la selección de las plantas para la evaluación de ácido abscísico aplicado al racimo en Valle de la Estrella, Limón, Costa Rica, 2017.

Tratamiento	Circunferencia (cm)	Altura madre (cm)	Altura hijo (cm)	Hojas iniciales	Manos Originales
Testigo	94,3 ± 1,0 ns	385,8 ± 3,9 ns	209,2 ± 5,6 ns	14,0 ± 0,3 ns	13,9 ± 0,2 ns
T2 250 ppm ABA	94,2 ± 0,9 ns	378,8 ± 4,7 ns	217,7 ± 5,7 ns	14,3 ± 0,3 ns	13,5 ± 0,2 ns
T3 500 ppm ABA	95,5 ± 1,1 ns	389,7 ± 6,0 ns	221,0 ± 5,1 ns	14,1 ± 0,3 ns	13,5 ± 0,3 ns
T4 1.000 ppm ABA	94,5 ± 0,9 ns	394,2 ± 3,8 ns	209,1 ± 8,0 ns	14,4 ± 0,3 ns	14,1 ± 0,2 ns

El análisis estadístico realizado a los datos registrados antes del inicio de las aplicaciones con ABA para plantas seleccionadas para aplicaciones dirigidas al dosel se observó que no hubo efecto de tratamiento para las valores de altura de la madre (p-valor = 0.5566) (Anexo 6), altura del hijo (p-valor = 0.2705) (Anexo 7), hojas iniciales (p-valor = 0.1797) (Anexo 8) y manos originales (p-valor = 0.7573)

(Anexo 9), pero si hubo diferencias significativas para la circunferencia (0,0174) (Anexo 10) de plantas seleccionadas para aplicaciones al dosel.

Cuadro 6. Valores de variables vegetivas obtenidos al momento de la selección de las plantas para la evaluación de ácido abscísico aplicado las hojas en Valle de la Estrella, Limón, Costa Rica, 2017.

Tratamiento	Circunferencia (cm)	Altura madre(cm)	Altura hijo (cm)	Hojas iniciales	Manos Originales
Testigo	92,9 ± 0,9 b	382,2 ± 4,6 ns	200,7 ± 6,8 ns	13,3 ± 0,3 ns	12,7 ± 0,2 ns
T2 75 ppm ABA	95,7 ± 1,0 a	382,8 ± 2,8 ns	204,3 ± 7,1 ns	13,9 ± 0,3 ns	12,7 ± 0,2 ns
T3 150 ppm ABA	92,9 ± 0,7 b	384,0 ± 4,4 ns	208,6 ± 5,9 ns	13,9 ± 0,3 ns	13,0 ± 0,2 ns
T4 300 ppm ABA	95,8 ± 0,9 a	389,5 ± 3,9 ns	218,5 ± 6,9 ns	14,2 ± 0,3 ns	12,8 ± 0,2 ns

Las diferencias significativas en la circunferencia de los tratamientos fue un aspecto a tomar en cuenta en las variaciones que se encontraron en los resultados finales provenientes de aplicaciones de ABA al dosel.

## 4.2 Efecto de aplicaciones de ABA a racimo y hojas

### 4.2.1 Efecto del ABA aplicado a racimo sobre el crecimiento del hijo

El crecimiento del hijo de la planta madre tratadas con ABA mostró diferencias significativas para el crecimiento del hijo de plantas provenientes de aplicaciones a racimo (p-valor = 0,0453) (Anexo 11)

Cuadro 7. Crecimiento del hijo de Musa AAA var. Gran Enano tratado con diferentes concentraciones de ácido abscísico y aplicados a racimos de planta madre en Valle de la Estrella, Limón, Costa Rica 2017.

Tratamiento	Crecimiento hijo (cm)
Testigo	104,0 ± 4,5 a
T2 250 ppm ABA	83,5 ± 6,1 b
T3 500 ppm ABA	84,9 ± 6,6 b
T4 1.000 ppm ABA	100,3 ± 7,2 a

Letras diferentes representan diferencias significativas entre tratamientos según prueba DGC (p-valor  $\leq 0,05$ ).

Dos aplicaciones de ABA a racimos, con diferencia de 7 días una aplicación de la otra.

Medias con E.E

El crecimiento del hijo del Testigo fue el mayor crecimiento, superando por 20,5 cm al tratamiento T2 250 ppm ABA, que registró el menor crecimiento. La circunferencia de la planta madre y la altura de la misma no fueron factores de peso para que el crecimiento del hijo de plantas de racimos tratados con ABA presentará un crecimiento mayor.

Efecto claro en el crecimiento del hijo conforme aumentaron las concentraciones de ABA no se observó. La diferencia de crecimiento pudo ser ocasionado por la competencia que tuvo el hijo al crecer con el resto de plantas en su entorno, la competencia por luz y nutrientes, no solo con el resto de plantas si no con la misma. Lo anterior, pudo ocasionar que los tratamientos como el T2 250 ppm ABA y T3 500 ppm ABA presentaran menor crecimiento de hijo ya que cuando la planta madre entra en parición el desarrollo radicular se detiene, el hijo se independiza y colabora al aporte nutricional de la planta madre gracias a su sistema radicular. El ABA aplicado en racimos no pudo ejercer efecto alguno en el crecimiento ya que no hay translocación de racimos hacia el sistema vascular de la planta madre y luego al sistema vascular del hijo.

#### 4.2.2 Efecto del ABA aplicado a hojas sobre el crecimiento del hijo

En el cuadro 8 se observa que no hubo efecto de tratamiento (p-valor = 0,3522) (Anexo 12) en los racimos provenientes de aplicaciones realizadas a las hojas.. Se

puede notar que a pesar de que el tratamiento T2 75 ppm ABA presentó mayor crecimiento a nivel estadístico no hubo diferencias.

Cuadro 8. Crecimiento del hijo de Musa AAA var. Gran Enano tratados con diferentes concentraciones de ácido abscísico aplicado a hojas de planta madre, en Valle de la Estrella, Limón, 2017.

Tratamiento	Crecimiento hijo (cm)
Testigo	108,0 ± 7,4 ns
T2 75 ppm ABA	111,8 ± 5,5 ns
T3 150 ppm ABA	99,0 ± 8,9 ns
T4 300 ppm ABA	96,7 ± 6,6 ns

Letras diferentes representan diferencias significativas entre tratamientos según prueba DGC (p-valor≤0,05).  
Cinco aplicaciones de ABA a racimos, con diferencia de siete días una aplicación de la otra.  
Medias con E.E

El crecimiento del hijo de plantas de aplicaciones a hojas, presentó mayor crecimiento en el tratamiento T2 75 ppm ABA, mientras que el T4 300 ppm ABA registró el crecimiento más bajo, existiendo una variación de 15,1 cm entre ambos.

No hubo un efecto claro de los beneficios de implementar el ABA en el cultivo de banano para crecimiento del hijo, por lo que se requiere de mayor investigación y este trabajo puede servir como parámetro para futuras investigaciones.

No se reporta literatura que indique que ABA limite el desarrollo de hijos o retoños, ya que en los cultivos en donde se han estudiado los efectos del ABA exógeno son cultivos como el tomate, pepino, fresas y uvas, los cuales para obtener producción de otra generación se requiere de material vegetativo nuevo proveniente de semillas o meristemas (vitro plantas). Contrario a lo que se presenta en las musáceas, donde los hijos o retoños se desarrollan de las yemas laterales del cormo de la planta madre (Soto 2014).

La variación existente entre los tratamiento se debe a variaciones ocasionadas por competencia existente entre el hijo y plantas anexas y no por efectos causados por el ABA. Los resultados coinciden con investigaciones hechas

por Smith *et al.* (2009) y Muñoz (2004) en banano dátil y plátano cv. Curraré respectivamente, quienes recalcan que a mayor densidad de siembra las plantas presentaron mayor crecimiento sin afectar la circunferencia de la planta, ocasionado principalmente por la competencia en espacio y luminosidad, tal competencia produce que existan variaciones entre los hijo de cada planta anexa debido a la lucha por luminosidad, agua y minerales. Plantas con mejores condiciones son las que presentan crecimientos más marcados.

En el inicio del desarrollo de la yema lateral hasta la aparición de la hoja F10, el hijo depende de la madre. Luego de formar la hoja F10 obtiene su independencia y cierta parte de los nutrimentos absorbidos son trasladados al racimo debido a que el proceso de floración detiene la formación de raíces en la planta madre, creando competencia entre ella y el hijo. Además, si el hijo obtiene la independencia de manera abrupta, al momento en que la planta madre es cosechada, y el desarrollo morfológico y fisiológico no se ha completado, será una planta adulta donde el crecimiento foliar y radical no será el adecuado (Soto 2014).

Para alcanzar un buen desarrollo de la madre y del hijo es indispensable que existan condiciones nutritivas y ambientales ideales junto con un eficaz control de sigatoka negra. Al momento de la salida de la inflorescencia de la planta madre es indispensable realizar un control eficiente de sigatoka para asegurar una dinámica eficaz de crecimiento del hijo permitiendo que el hijo se desarrolle de manera completa y eficientemente, alcanzando una independencia y autosuficiencia ideal para conseguir una actividad fisiológica que permita una producción de calidad (Rivera 2016)

### **4.3 Efecto de aplicaciones de ABA a racimos y hojas**

#### **4.3.1 Efecto de aplicaciones de ABA a racimos sobre la pérdida de hojas**

La pérdida de hojas en áreas tratadas con ABA aplicados sobre racimos no mostró efecto de tratamiento ( $p$ -valor = 0,7940) (Anexo 13). Hubo similitud en

la cantidad de hojas perdidas desde la marcación de las plantas hasta la cosecha en todos los tratamientos. Los resultados obtenidos se observan en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Perdidas en el periodo de inicio de aplicaciones de ácido abscísico a racimos de Musa AAA var. Gran Enano hasta la cosecha, en Valle de la Estrella, Limón, Costa Rica 2017.

Tratamiento	Pérdida
Testigo	5,4 ± 0,4 ns
T2 250 ppm ABA	5,1 ± 0,4 ns
T3 500 ppm ABA	5,8 ± 0,5 ns
T4 1.000 ppm ABA	5,4 ± 0,4 ns

Letras diferentes representan diferencias significativas entre tratamientos según prueba DGC ( $p\text{-valor} \leq 0,05$ ).

Dos aplicaciones de ABA a racimos, con diferencia de siete días una aplicación de la otra.

Medias con E.E.

La pérdida de hojas no fue producto del efecto del ABA, esto debido a que las aplicaciones se realizaron directamente sobre el racimo. La causa principal de la pérdida de hojas fue por el deshoje, que es el control cultural más utilizado para el tratar los daños efectuados por sigatoka negra.

#### 4.3.2 Efecto de aplicaciones de ABA a hojas sobre la pérdida de hojas

En lo reportado por los datos obtenidos de hojas perdidas en aplicaciones de ABA realizadas a hojas de la planta madre, no hubo efecto de tratamientos ( $p\text{-valor} = 0.2541$ ) (Anexo 14). En el Cuadro 10 se observa que el tratamiento testigo hubo menor pérdida de hojas, por el contrario, en el T4 300 ppm ABA fue donde más perdida hubo.

Cuadro 10. Cantidad de hojas perdidas a partir de la primera aplicación de ácido abscísico a las hojas de Musa AAA var. Gran Enano hasta la cosecha, en Valle de la Estrella, Limón, Costa Rica 2017.

Tratamiento	Pérdida
Testigo	4,5 ± 0,4 ns
T2 75 ppm ABA	5,1 ± 0,4 ns
T3 150 ppm ABA	5,5 ± 0,4 ns
T4 300 ppm ABA	5,6 ± 0,4 ns

\*Letras diferentes representan diferencias significativas entre tratamientos según prueba DGC ( $p\text{-valor} \leq 0,05$ ).

\*Cinco aplicaciones de ABA a racimos, con diferencia de siete días una aplicación de la otra.

\*Medias con E.E.

Estudios realizados con anterioridad en otros cultivos donde se implementaron aplicaciones de ABA, no se reportan pérdidas de hojas por efecto de la hormona, por el contrario, se reportan resultados positivos, por ejemplo en tomate, se realizaron pruebas para ver el comportamiento de aplicaciones exógenas de ABA en la mejora del flujo de calcio dentro del fruto, donde se observó una disminución de la concentración de calcio en hojas y aumentó las concentraciones en fruto, sin comprometer la funcionalidad de las estructuras foliares (Barickman *et al.* 2014)

La pérdida de hojas en el cultivo de banano se ve afectada significativamente por la enfermedad sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) que es una complicación que sufre la producción, ya que este hongo llega a limitar las estructuras foliares disponibles, lo que se traduce en una disminución de la tasa fotosintética (Guzmán *et al.* 2014), generando un desaprovechamiento de energía solar que es fundamental para todo proceso vegetal (Rivera 2016). El deterioro de las hojas inicia cuando *M. fijiensis* coloniza los espacios intercelulares para luego crecer dentro de las células, volviendo el tejido necrótico, éste patógeno presenta tubos germinativos que llegan a brotar en las células guarda, ingresando al tejido vegetal vía estomática y luego colonizando los espacios intercelulares (Rodríguez y Cayón 2008).

La reducción de la estructura foliar afecta sustancialmente el llenado del fruto, generando problemas con el calibre (Soto 2014), disminución del peso y largo de

los dedos, retardando la cosecha, además puede ocasionar maduración prematura de la fruta (Guzmán *et al.* 2014; Rodriguez y Cayón 2008).

A pesar de que haya existido presión por parte de *M. fijiensis*, la cantidad de hojas final reportadas para cada tratamiento están dentro del rango de hojas para obtener racimos de calidad de exportación. Investigaciones previas informan que se requiere al momento de la floración que la planta tenga de nueve a diez hojas como mínimo y al momento de cosecha como mínimo seis hojas funcionales y como máximo 9 hojas funcionales (Rivera 2016; Cabrera 2010).

#### 4.4 Mediciones en patio de la empacadora

##### 4.4.1 Muestreo de cosecha aplicaciones a racimo

Los datos obtenidos de fruta proveniente de aplicaciones realizadas al racimo se encontró que para manos por racimo (p-valor = 0,0750) (Anexo 15), calibre de dedo de la segunda mano (p-valor = 0,0816) (Anexo 16), calibre de dedo de la última mano (p-valor = 0,0787) (Anexo 17), longitud de dedo de segunda mano (p-valor = 0,1307) (Anexo 18) y longitud de dedo de la última mano (p-valor = 0,3059) (Anexo 19) no mostraron efecto de tratamiento, mientras que el peso de racimo si mostró efecto de tratamiento (p-valor = 0,0178) (Anexo 20).

Cuadro 11. Variables productivas de Musa AAA var. Gran Enano con aplicaciones de ácido abscísico a racimos, en Valle de la Estrella, Limón, 2017

Tratamiento	Racimo (kg)	Manos	Calibre dedo (1/32")		Longitud dedo(cm)	
			Segunda mano	Última mano	Segunda mano	Última mano
Testigo	35,0 ± 1,2 a	8,2 ± 0,2 a	43,5 ± 0,5 a	40,3 ± 0,5 a	26,2 ± 0,3 a	21,6 ± 0,3 a
T2 250 ppm ABA	33,1 ± 0,9 a	7,8 ± 0,1 a	42,9 ± 0,4 a	40,1 ± 0,3 a	25,9 ± 0,3 a	20,9 ± 0,3 a
T3 500 ppm ABA	36,6 ± 1,0 b	8,0 ± 0,1 a	44,1 ± 0,6 a	41,2 ± 0,5 a	26,7 ± 0,3 a	21,6 ± 0,4 a
T4 1.000 ppm ABA	37,1 ± 1,0 b	7,9 ± 0,1 a	44,1 ± 0,3 a	41,3 ± 0,3 a	26,6 ± 0,2 a	21,7 ± 0,4 a

\*Letras diferentes representan diferencias significativas entre tratamientos según prueba DGC (p-valor ≤ 0,05).

\*Dos aplicaciones de ABA a racimos, con diferencia de 5 días una aplicación de la otra.

Medias con E.E



#### 4.3.1.1 Peso de racimo y número de manos

Para los tratamientos en los que se aplicó ABA a racimos, el tratamiento que presentó el mejor peso fue el T4 1.000 ppm ABA que además presentó un promedio de manos de 7,9. El peso más bajo lo registró el tratamiento T2 250 ppm ABA quien además tuvo el número de manos menor con 7,8 manos. Existió variación en los pesos de racimo, los tratamientos T1 0 ppm ABA y T3 500 ppm ABA se observaron pesos superiores, tal superioridad se atribuye a la cantidad de manos que tuvieron, 8,2 y 8,0 respectivamente. La cantidad de manos por racimo es un factor que influye en el peso de racimo, esto es apoyado por Soto (2014) quien menciona que para el clon "Gran Enano" cada mano puede llegar a aumentar el peso en 5,2 kg en promedio, haciendo énfasis en que las primeras manos pesan más que las últimas. El peso de la mano está directamente relacionada con la cantidad de dedos que posea, manos con número elevado de dedos tendrán mayor peso, manos con número reducido de dedos presentaran peso menor.

Al encontrar un peso menor en el tratamiento testigo pero con 8.2 manos por racimo, mayor a todos los tratamientos, pudo ser efecto de una menor cantidad de dedos contenidos por racimo que los demás tratamientos. Menores cantidades de dedos por mano reducen el peso por mano atribuyendo a una reducción del peso total del racimo.

Las aplicaciones de ABA realizadas a los racimos de los tratamientos T2 250 ppm ABA, T3 500 ppm ABA, T4 1.000 ppm ABA pudieron incrementar los pesos de los racimos. Estudios en tomate han demostrado que aplicaciones exógenas de ABA mejoraron la producción conforme se aumentó la concentración (Barickman *et al* 2014), esto concuerda con los resultados obtenidos para aplicaciones de ABA a racimos, donde el T4 1.000 ppm ABA reportó el mayor peso de racimo.

Aplicaciones de ABA en estructuras que permitan rociar la mayor superficie de aplicación posible deberían mostrar resultados mucho más efectivos en producción (Barickman *et al* 2014). Lo encontrado en los resultados de aplicaciones a racimos coincide con lo mencionado por Barickman, donde se logró rociar la fruta de una manera que todas las estructuras quedaran aplicadas con

ABA. Existen dos posibles razones por las cuales el peso de los racimos aplicados con ABA presentan aumento de peso conforme se aumentó la concentración. La primera fue debido a efecto que el ABA produjo en la membrana plasmática ya que se sabe que en las células guarda el ABA genera una despolarización de las membrana plasmática ocasionando la apertura de los canales de calcio que además de entrada de calcio al citosol ingresan otros solutos aumentando la turgencia de la célula, lo mismo puede estar ocurriendo con las células de la cáscara y de la pulpa y por ende el aumento del peso del fruto ya que todo el fruto estuvo bajo el efecto del ABA (Barickman *et al* 2014).

Tal aumento el citosol no se debe solo a los canales de calcio en la membrana plasmática sino que también en las endomembranas como membrana vacuolar y las membranas del retículo endoplasmático (Reyes *et al.* 2013). Dicho ingreso de soluto pudo ocasionar un aumento tanto el tamaño de la pulpa y del fruto (Barickman *et al* 2014). La razón secundaria del aumento del peso de racimo fue la distancia de aplicación y la mayor cobertura de área aplicada, ya que fue más cercana en comparación con las aplicaciones foliares, a pesar de que la cantidad de estomas en racimo sea menor con respecto a las hojas. Esa mayor eficiencia de cobertura hizo que el efecto del ABA fuera más evidente.

#### **4.3.1.2 Calibre del dedo de la segunda y última mano**

Para los calibres de segunda mano de racimos aplicados con ABA, se observó que las manos de racimos de tratamientos T3 500 ppm ABA y T4 1000 ppm ABA presentaron el mayor calibre, el tratamiento T2 250 ppm ABA presentó el calibre más bajo, registrando una inferioridad de 1,2 grados menos que los tratamientos más altos. Para el calibre de última mano, las manos de racimos tratados con el tratamiento T4 1.000 ppm ABA presentó la mayor ganancia de grados, el tratamiento el T2 250 ppm ABA registró la ganancia en grados más baja para la última mano. Era de esperar que los tratamientos con menor peso presentaran menor calibre tanto en la segunda mano y la última mano, ya que racimos con pesos elevados presentan calibres superiores a los de un racimo con peso bajo.

#### **4.3.1.3 Longitud del dedo de la segunda y última mano**

Las longitudes de dedo de fruta proveniente de racimos aplicados con ABA, demostraron que, la mayor longitud de segunda mano se encontró en el tratamiento T3 500 ppm ABA, presentando la longitud más grande con 26,7 cm. El tratamiento T2 250 ppm ABA obtuvo la longitud más baja, siendo menor por 0,8 cm con respecto al T3 500 ppm ABA. Para la longitud de la última mano, el tratamiento que presentó la mayor longitud de dedo fue para el tratamiento T4 1.000 ppm ABA. El T2 250 ppm ABA mostró la longitud más corta con una diferencia de 0,8 cm menos que el T4 1.000 ppm ABA. Soto (2014) menciona que las longitudes promedio para el clon "Gran Enano" son de 24,8 cm para la segunda mano, 21,1 cm para la séptima mano y 20,5 cm para la octava mano, y de acuerdo a los resultados obtenidos, algunos datos superan lo indicado por autor. Aunque los tratamientos T3 500 ppm ABA y T1 0 ppm ABA presentaron un mayor promedio de manos por racimo, lo que implica un mayor número de sumideros, no se observó una disminución marcada en las longitudes de cada tratamiento. Esto es similar a lo encontrado en investigaciones en tomate, mejorando los rendimientos de producción (Barickman 2014).

#### **4.3.2 Muestreo de cosecha aplicaciones a hojas**

Aplicaciones de ABA a estructuras foliares de la planta madre mostraron para el peso de racimo (p-valor = 0.6256) (Anexo 21), manos por racimo (p-valor = 0,9008) (Anexo 22), calibre del dedo central de la segunda mano (p-valor = 0.6232) (Anexo 23), calibre del dedo central de la última mano (p-valor = 0.7998) (Anexo 24), longitud del dedo central de la segunda mano (p-valor = 0.6251) (Anexo 25) y longitud del dedo central de la última mano (p-valor = 0.6928) (Anexo 26) no hubo efecto de tratamiento.

Cuadro 12. Valores de las variables productivas de aplicaciones de ácido abscísico a hojas de Musa AAA var. Gran Enano, en Valle de la Estrella, Limón, 2017.

Tratamiento	Racimo (kg)	Manos	Calibre dedo(1/32")		Longitud dedo(cm)	
			Segunda mano	Última mano	Segunda mano	Última mano
Testigo	34,6 ± 1,3 ns	7,5 ± 0,1 ns	43,4 ± 0,5 ns	40,8 ± 0,6 ns	26,7 ± 0,3 ns	22,2 ± 0,4 ns
T2 75 ppm ABA	35,2 ± 1,2 ns	7,5 ± 0,1 ns	44,0 ± 0,3 ns	41,3 ± 0,5 ns	26,3 ± 0,3 ns	22,1 ± 0,4 ns
T3 150 ppm ABA	33,6 ± 1,2 ns	7,6 ± 0,2 ns	43,2 ± 0,5 ns	40,6 ± 0,6 ns	26,3 ± 0,3 ns	22,1 ± 0,4 ns
T4 300 ppm ABA	33,2 ± 1,3 ns	7,5 ± 0,1 ns	43,4 ± 0,4 ns	40,7 ± 0,4 ns	26,2 ± 0,3 ns	21,6 ± 0,3 ns

Letras diferentes representan diferencias significativas entre tratamientos según prueba DGC (p-valor ≤ 0,05).

Cinco aplicaciones de ABA a las hojas, con diferencia de siete días una aplicación de la otra.

Medias con E.E

#### 4.3.2.1 Peso de racimo y número de manos

Los racimos muestreados de plantas aplicadas con ABA a las hojas mostró que el tratamiento T2 75 ppm ABA fue el que presentó el mayor peso de racimo (35,2 kg). Racimos del tratamiento T4 300 ppm ABA registró el menor peso. El T2 75 ppm ABA fue superior por 2 kg respecto al peso más bajo. El número de manos fue muy similar para todos los tratamientos por lo que la variación del peso no se debe al número de manos finales por racimo. Conforme aumentó la concentración de ABA el peso del racimo disminuyó, encontrando preliminarmente que, para banano, y sin perjudicar la producción, la concentración ideal podría ser la de 75 ppm ABA.

El ABA en los procesos fisiológicos tiende a disminuir la conductividad estomática de las hojas de tomate y la pérdida de agua, lo que resulta en un aumento de las concentraciones de Ca en la fruta y niveles más bajos de Ca en las hojas, ya que ABA disminuye la transpiración (De Freitas 2014). Lo anterior mencionado está relacionado con el peso de racimo ya que la disminución de la transpiración en las hojas provoca aumentos de Ca en el tejido de la fruta. El ABA estaría cerrando los estomas, cortando el flujo de transpiración de las hojas que llevan el calcio a estas estructuras (Barickman *et al.* 2014), provocando el desvío de ese calcio hacia el racimo.

Las células guarda de los estomas son estructuras de síntesis de ABA. Al haber alguna condición de estrés como el déficit hídrico aumentan los niveles de ABA generando el cierre de estomas evitando la pérdida de agua por la transpiración (De Freitas, 2014). Al someter a las hojas a diferentes concentraciones de ABA se produjo el cierre de estomas, éste cierre desvió el flujo del Ca que la planta envía a las estructuras foliares y lo transportó al racimo ocasionado por la aparente detección del ABA por las células oclusivas estomáticas generando una cascada de reacciones como la apertura de los canales calcio, despolarización temporal de la membrana plasmática que su vez abre los canales de Cl<sup>-</sup>, inhibición de los canales de K<sup>+</sup> de entrada y apertura de canales de K<sup>+</sup> de salida. La pérdida de estos iones ocasionó una disminución en la turgencia de las células guarda y por consiguiente el cierre de estomas en las hojas (Jordan y Casaretto, 2014), teniendo como resultado el cambio en el flujo del calcio de las hojas hacia el racimo, pero sin ejercer efecto directo sobre el peso del racimo ya que las aplicaciones realizadas a las hojas no surtieron efecto por causa del ABA en el fruto.

La productividad cuando se realizan aplicaciones con ABA tienden a mantenerse o a mejorar, sin generar riesgos en la cosecha, factor importante en la productividad por área, por ejemplo, el cultivo de uva se ha observado que mejoró la producción y calidad (Barickman *et al.* 2016), en tomate no hubo disminución en la producción ni el tamaño comercial de la fruta (Barickman *et al.* 2014), a pesar de ello Barickman *et al.* 2016 encontró en su estudio que ABA en concentraciones de 500 ppm puede afectar los contenidos de clorofila y reprimir la expresión de los genes de cloroplastos y su actividad, afectando la actividad fotosintética. Lo anterior no se vió reflejado en las pruebas realizadas, factor importante en el comportamiento de Musa AAA var Gran Enano.

Lo anterior da pie a realizar mayor investigación sobre aplicaciones foliares de ABA exógeno en banano, para comprobar cual concentración es la ideal para el cultivo y la que trabaje sin afectar de manera drástica la concentración de clorofila, indispensable para procesos fotosintéticos.

Además, la disminución de la producción, como lo menciona Soto (2014), el intervalo de aparición de la hoja F10 y la hoja Fm en la planta madre influye en el peso de racimo. Si este periodo es largo, nueve hojas emitidas, el racimo será más grande, por el contrario, si el intervalo es corto, emisión de cuatro o cinco hojas, el racimo será pequeño y no brindará las suficientes reservas nutricionales para el proceso de diferenciación floral y desarrollo del fruto.

#### 4.3.2.2 Calibre del dedo de la segunda y última mano

Los calibres de dedo de racimos provenientes de plantas con aplicaciones foliares de ABA, demostraron que, para la segunda mano el tratamiento T2 75 ppm ABA presentó el mayor calibre de dedo (44,0), siendo superior por 0,8 grados con respecto al tratamiento T3 150 ppm ABA, cuyo calibre fue el menor (43,2). Para el calibre de la última mano el que mayor grado fue el T2 75 ppm ABA, siendo superior en 0,8 grados con respecto al T3 150 ppm ABA, que fue el tratamiento con menor calibre. Aunque no hubo diferencias estadísticas en la cantidad de manos, hubo un ligero aumento en el promedio de manos del T3 150 ppm ABA. Tal superioridad se vio reflejado en el menor calibre de la segunda y última mano registrado.

Además, hubo evidencia que la mejor concentración para frutas de aplicaciones foliares fue la de 75 ppm de ABA. Tal concentración mostró los mejores resultados para los calibres. Se ha evidenciado que ABA mejora las concentraciones de calcio en la fruta. Lo anterior se debe a que ABA puede tener efectos negativos en la conductividad estomática, disminuyendo la captación de calcio en las hojas, por lo que las concentraciones de calcio pueden aumentar en la fruta gracias al incremento del flujo de savia xilemática y movimiento del calcio (Barickman *et al.* 2014).

El calcio, que se encuentra en el apoplasto, está unido a las pectinas y por acción de las auxinas éste se desprende, quedando como ión libre y a su vez activando los canales de la membrana que permiten la entrada de solutos y consigo la extensión celular (Díaz 2005).

### **4.3.2.3 Longitud del dedo de la segunda y última mano**

La longitud de dedo de fruta procedente de racimos de aplicaciones de ABA a hojas, mostraron que la mayor longitud de dedo de la segunda mano se observó en el tratamiento T1 0 ppm ABA (22,2 cm), muy similar a los tratamientos T2 75 ppm ABA y T3 150 ppm ABA (22,1 cm). El T4 300 ppm ABA presentó lo contrario, presentando éste la menor longitud con 0,5 cm menos que el testigo. La longitud de dedo de la última mano se expresó mejor en el tratamiento testigo, en contraste con el T4 300 ppm ABA que presentó la longitud más baja, siendo ésta 0,6 cm inferior en comparación con el Testigo. Barickman *et al.* (2016), encontró evidencia que demuestra que aplicaciones de ABA en concentraciones de 500 ppm tienden a disminuir las concentraciones de clorofila a y clorofila b en hojas, esto se debe a que ABA vincula la detección de estrés ambiental y consecuente cierre de estomas con la reducción del crecimiento y la actividad fotosintética.

Así como en tomate la concentración de ABA disminuyó la clorofila, se puede manejar la teoría que pudo haberse generado el mismo efecto en concentraciones superiores a 75 ppm en el cultivo de banano debido a que los tratamientos T3 150 ppm ABA y T4 300 ppm ABA disminuyeron los rendimientos. Situaciones de estrés pudieron crear una disminución en la

### **4.3.3 Muestreo de mancha de madurez**

#### **4.3.3.1 Aplicaciones a racimo**

El análisis realizado para el muestreo de mancha de madurez en fruta de aplicación de ABA a racimos registró que la clasificación moderado (p-valor = 0.0714) (Anexo 27) y severo (p-valor = 0.3718) (Anexo 28) no mostraron efecto de tratamiento. Se encontraron efecto de tratamiento en clasificación leve (p-valor = 0.0075) (Anexo 29) y el total de dedos afectados de mancha de madurez (p-valor = 0.0212) (Anexo 30). Lo anterior mencionado se puede observar en el cuadro 13.

Cuadro 13. Porcentaje de dedos con mancha de madurez según clasificación de severidad y porcentaje total de dedos afectados en fruta de aplicación de ácido abscísico a racimos de Musa AAA var. Gran Enano, Valle de la Estrella, Limón, Costa Rica 2017.

Tratamiento	Mancha de madurez (%)			Total afectados
	Leve	Moderado	Severo	
Testigo	0,1 ± 0,1 b	0,1 ± 0,1 ns	0,1 ± 0,1 ns	0,3 ± 0,2 b
T2 250 ppm ABA	0,3 ± 0,1 b	0,1 ± 0,1 ns	0,02 ± 0,02 ns	0,4 ± 0,1 b
T3 500 ppm ABA	0,7 ± 0,2 a	0,4 ± 0,1 ns	0,1 ± 0,1 ns	1,2 ± 0,3 a
T4 1.000 ppm ABA	1,0 ± 0,4 a	0,2 ± 0,1 ns	0,2 ± 0,1 ns	1,4 ± 0,5 a

\*Letras diferentes representan diferencias significativas entre tratamientos según prueba DGC ( $p\text{-valor} \leq 0,05$ ).

\*Dos aplicaciones de ABA a racimos, con diferencia de siete días una aplicación de la otra.

\*Medias E.E

La evaluación de daño leve realizada a fruta correspondiente a aplicaciones de ABA a racimo se observó que los racimos asignados para el tratamiento T1 0 ppm ABA presentó el menor porcentaje de mancha de madurez. El tratamiento T4 1.000 ppm ABA, registró el porcentaje más elevado de dedos con daño leve, siendo superior en un 0,9% con respecto al testigo. Por su parte el daño moderado de mancha de madurez observado en dedos del racimo registró que el menor porcentaje de afectación moderada fue para los tratamientos testigo y T2 250 ppm ABA. El mayor porcentaje de dedos con afectación moderado fue para el tratamiento T3 500 ppm ABA, con 0,3% más de afectación por racimo. El daño moderado en fruta correspondiente a aplicaciones a racimos presentó que el tratamiento T4 1000 ppm ABA fue el más bajos en porcentaje, contrario al T3 500 ppm ABA que registró el mayor porcentaje de dedos con daño moderado, éste siendo 0,2% superior al tratamiento más bajo.

Los daños severos de mancha de madurez en fruta proveniente de aplicaciones a racimo mostraron que el tratamiento T2 250 ppm ABA presentó el menor porcentaje de daño severo. El cambio el T4 1.000 ppm ABA registró el mayor porcentaje, con 0,18% más que el T2 250 ppm ABA. La afectación severa de fruta procedente de aplicaciones foliares presentó que todos los tratamientos registraron el mismo porcentaje de afectación severa.

La presencia de mancha de madurez en los racimos evaluados se presentó por la formación de la dopamina que al oxidarse el material citosólico por el rompimiento de la pared celular generó la mancha marrón característica de este desorden fisiológico. Lo anterior fue en parte ocasionado por el rápido crecimiento que muestra el fruto, el flujo del calcio es alto en tejidos que se encuentran en constante división celular y expansión (Barickman 2014) pero debe ser un flujo suficiente para poder contrarrestar el rompimiento celular de las células de la epidermis.

El banano presenta la característica que al llegar a los 30 días después de la floración, disminuye el proceso división celular, deteniéndose por completo a los 60 días (Soto 2014), dando como resultado que posterior a los 60 días el movimiento del calcio no sea el suficiente para brindar la fortaleza de la pared celular de las células de la cáscara, que es indispensable para brindar resistencia a la pared y membrana durante el proceso de elongación.

Las aplicaciones de ABA pudieron ejercer un efecto de ingreso de más solutos a las células lo que pudo ocasionar un aumento en la turgencia de las células, tal incremento pudo no ser proporcional al ingreso de calcio a las células para soportar el incremento de la mismo, ocasionando que la célula no fuese lo suficientemente resistente para soportar su extensión.

#### 4.3.3.2 Aplicaciones al dosel

El análisis realizado para mancha de madurez en racimos cuya aplicación de ABA fue dirigida a las hojas mostró que el porcentaje de dedos afectados con mancha de madurez con clasificación leve ( $p$ -valor = 0,7314) (Anexo 31), moderado ( $p$ -valor = 0,9554) (Anexo 32) y severo ( $p$ -valor = 0,8418) (Anexo 33), así como el porcentaje del total de dedos afectados de mancha de madurez ( $p$ -valor = 0,9314) (Anexo 34), no mostraron efecto de tratamiento. En el Cuadro 14 se presentan los

resultados obtenidos para porcentaje de dedos afectados de mancha de madurez para racimos aplicados con ABA.

Cuadro 14. Porcentaje de dedos por racimo con mancha de madurez según clasificación y total de dedos afectados en fruta aplicada con ácido abscísico a hojas de Musa AAA var. Gran Enano, Valle de la Estrella, Limón, Costa Rica, 2017.

Tratamiento	Mancha de madurez (%)			
	Leve	Moderado	Severo	Total afectados
Testigo	0,4 ± 0,1 ns	0,3 ± 0,2 ns	0,1 ± 0,1 ns	0,8 ± 0,3 ns
T2 75 ppm ABA	0,6 ± 0,1 ns	0,4 ± 0,1 ns	0,1 ± 0,1 ns	1,0 ± 0,3 ns
T3 150 ppm ABA	0,5 ± 0,2 ns	0,3 ± 0,2 ns	0,1 ± 0,1 ns	0,8 ± 0,4 ns
T4 300 ppm ABA	0,5 ± 0,1 ns	0,2 ± 0,1 ns	0,1 ± 0,1 ns	0,8 ± 0,2 ns

Letras diferentes representan diferencias significativas entre tratamientos según prueba DGC ( $p$ -valor $\leq$ 0,05).

Cinco aplicaciones de ABA a hojas, con diferencia de siete días una aplicación de la otra. Medias E.E

La evaluación de daño leve de mancha de madurez de fruta proveniente de racimos cuyas hojas fueron tratadas con ABA mostró que los dedos afectados del tratamiento testigo presentaron el menor porcentaje de afectación leve, contrario a lo mostrado por el tratamiento T2 75 ppm ABA cuyo porcentaje de dedos afectados de manera leve fue el mayor, con un 0,2 % de superioridad respecto a dedos afectados del T1 0 ppm ABA.

La diferenciación del fruto de banano se genera dentro del corno y asciende por el sistema foliar, en ese momento, la división celular de las células que llegaran a formar la cáscara finaliza e inicia la expansión de las mismas. Cuando llega el momento del aumento del tamaño de la pulpa, las células deficitarias de calcio se desintegran, presentando el desorden fisiológico (Díaz *et al.* 2007). Lo anterior da pie a que los tratamientos más afectados con mancha de madurez fueran los que se vieron más perjudicados donde el ABA no pudo contrarrestar este comportamiento. Además al ser aplicaciones exógenas de ABA factores como altas temperaturas, lluvia, vientos fuertes y humedad relativa alta pudieron afectar el funcionamiento del ABA, principalmente por el secado rápido de la solución ya que un secado rápido no permite una adecuada absorción del ABA. También la

desnaturalización de la molécula por altas temperaturas pudo alterar el efecto del ABA sobre las hojas.

Los registros presentados en ambos métodos de aplicación mostraron un patrón de aparición de mancha de madurez, siendo los más afectados, en la mayoría de los casos, los dedos laterales de las manos superiores. Lo anterior concuerda con lo mencionado por Soto (2017), donde hace referencia a que este desorden fisiológico se expresa en las primeras manos del racimo que registran los de mayores pesos. Las manos superiores del racimo presentan mejor desarrollo, tanto el grado como la longitud son superiores respecto a las manos restantes. Las manos cuyos dedos presentaron mayor elongación y mayor diámetro son más sensibles al rompimiento de células, y consecuente presencia de mancha de madurez. (Díaz *et al.* 2007).

Lo anterior se pudo observar en el T4 1000 ppm ABA y T3 500 ppm ABA de aplicaciones a racimo y T2 75 ppm ABA de aplicaciones a hojas, los cuales presentaron el mayor calibre de dedo de segunda mano, tal superioridad en calibre reflejó en los porcentajes de aparición de mancha de madurez para la clasificación leve, moderado, severo y total afectados.

Existe relación en la aparición de mancha de madurez con el clima imperante, y la influencia del calcio (Díaz *et al.* 2007). El clima en la zona, durante estancias finales de desarrollo y llenado del fruto, estuvo marcada por precipitaciones constantes, esto pudo incidir en una insuficiencia de calcio en las células. Periodos de alta humedad pueden provocar deficiencias de calcio (Serrano *et al.*) evento que genera un alza en la aparición de mancha de madurez debido al exceso de expansión celular que sufre la fruta antes del periodo de cosecha por absorción del agua (Sanchez *et al.* 2013) y unido a la etapa de estrés que sufrieron dichas plantas por sequía y alta temperatura al momento de la floración, característicos del mes de septiembre, las células de dicha fruta presentaron baja resistencia de las paredes y membranas celulares. Además, el movimiento del calcio es reducido en los órganos de almacenamiento ya que la transpiración no es tan fuerte como en las estructuras foliares (Serrano *et al.*).

Trabajos en banano han demostrado que altas temperaturas, intensidad lumínica alta, baja corriente de aire y humedad relativa alta en la zona perimetral de la hoja aumentan considerablemente la incidencia de la mancha de madurez, ya que afectan la transpiración (Díaz *et al.* 2007). ABA tiene como finalidad afectar la conductividad estomática lo que disminuye el flujo de calcio al tejido vegetativo, permitiendo mayor distribución de calcio al fruto gracias a que disminuye la potencial hídrico entre ambas estructuras (Barickman *et al.* 2014). Este autor encontró que cuando mayor la concentración de ABA, menor concentración de calcio en hoja y mayor la concentración de calcio en fruto, pero no se presentaron los mismos resultados para esta investigación ya que conforme aumentó la concentración de ABA se presentó mayor incidencia de mancha de madurez, esto pudo ser causado no por efecto del ABA en su rol de cierre de estomas y cambio de flujo del calcio, si no que pudo deberse a un aumento de las precipitaciones cuatro semanas antes de su cosecha.

Barickman *et al.* 2016, señala que la fortaleza del tejido celular y la pared celular se debe a que al calcio que permanece unido a la pectina en la lámina media, donde el aumento en las concentraciones de calcio genera mayores enlaces cruzados entre la lámina media y la pared celular.

Se observó que los resultados de aplicaciones de ABA a racimos presentaron los mejores pesos, calibres y longitudes. Lo anterior pudo deberse a que este método de aplicación permitió una mejor cobertura en la aplicación. Se manejan teorías como las descritas por Jordán y Casaretto (2006), donde menciona que ABA puede ser percibido tanto dentro de la célula como fuera de ella, por lo que el receptor de ABA se encuentra tanto a lo interno como en lo externo de la célula. Otra evidencia mencionada por estos autores, hace énfasis en que supuesto receptor está ligado a las a las proteínas G y fosfolipasas D. La percepción de ABA en las células oclusivas se encuentra bien descrito, ya que ABA cuando se percibe genera la apertura de los canales de calcio, aumentando su concentración. Lo mismo pudo suceder en las células de la cáscara donde al percibirse el ABA pudo inducir a una apertura de los canales de calcio, que a su vez permite el ingreso otros

solutos a las células, en este caso el de la cáscara, lo que permite también la entrada de solutos a las células generan un mayor crecimiento de las células (Díaz 2005).

#### 4.4 Mediciones en Laboratorio de Postcosecha

##### 4.4.1 Muestreo Vida verde

###### 4.4.1.1 Aplicaciones al racimo

En el Cuadro 15 se detalla el resultado de vida verde para los gajos de tercera mano y cuyas aplicaciones de ABA fueron dirigidas a los racimos no presentó efecto de tratamiento ( $p$ -valor = 0.7068).

Cuadro 15. Días de vida verde de gajos de segunda mano proveniente de fruta aplicada con ácido abscísico a racimos de Musa AAA var. Gran Enano con simulación de tránsito en cámaras de frío a 14,4 °C.

Tratamiento	Vida verde (Días)			
Testigo	48,36	±	8,10	ns
T2 250 ppm ABA	48,09	±	8,13	ns
T3 500 ppm ABA	51,07	±	6,78	ns
T4 1000 ppm ABA	51,41	±	6,79	ns

Los resultados de aplicaciones de ABA a racimo demostraron que el mejor promedio de días de vida verde lo presentó el tratamiento T4 1.000 ppm ABA. Los gajos procedentes del tratamiento testigo fueron lo que duraron menos días de vida verde con 3,32 días menos. Lo anterior concuerda con estudios realizados en tomate donde se menciona que el ABA juega un papel importante en la maduración de la fruta, ya que controla la formación de etileno (Barickman *et al.* 2016), tal inhibición de etileno fue la que permitió que los gajos de los tratamientos T3 500 ppm ABA y T4 1000 ppm ABA duraran más en madurar. Además, se observó que conforme mayor fue la concentración de ABA mayor número de días de vida verde tendrá la fruta cuando sea aplicado a racimo.

###### 4.4.1.2 Aplicaciones de ABA al follaje de racimos evaluados

Los días de vida verde para los gajos de fruta proveniente de aplicaciones de ABA a las hojas de la planta madre (Cuadro 16) no mostraron efecto de tratamiento (p-valor = 0.4536) entre las concentraciones estudiadas.

Cuadro 16. Días de vida verde de gajos de segundas manos de fruta proveniente de aplicaciones de ácido abscísico a hojas de Musa AAA var. Gran Enano sometidas a simulación de tránsito en cámaras de frío a 14.4 °C.

Tratamiento	Vida verde (días)
Testigo	50,35 ± 6,19 ns
T2 75 ppm ABA	49,04 ± 6,68 ns
T3 150 ppm ABA	46,34 ± 7,29 ns
T4 300 ppm ABA	45,18 ± 7,64 ns

Los días de vida verde en muestras de fruta proveniente de aplicaciones foliares, se observó que el tratamiento sin aplicación de ABA, presentó la mayor cantidad de días de vida verde, el T4 300 ppm ABA presentó el menor número de días de vida verde, siendo inferior en 5,17 días con respecto a los racimos no aplicados con ABA. Además, se encontró que conforme hubo un aumento en la concentración la cantidad de días de vida verde disminuyó.

La cantidad de días reportado por los tratamientos en ambos protocolos de aplicación no comprometió la vida verde requerida, ya que necesario son 21 días de tránsito marítimo, ya que se requiere que llegue a destino en estado verde y posterior maduración en cámaras especializadas para esta labor.

Cuando la vida verde finaliza y comienza la maduración, ésta es irreversible (Dadzie y Orchard, s.f) afectando las frutas que ocupan espacio en la misma caja y posteriormente a las cajas vecinas.

Se ha comprobado que la edad de cosecha es fundamental para obtener el máximo potencial de vida verde de la fruta. Existe una alta correlación entre la edad de corta de la fruta y su vida verde, siendo esta mayor cuando se cosecha el racimo a edades tempranas (Kerbel, s.f). Para ambos protocolos de aplicación, este factor no ejerció efecto alguno en el comportamiento de la vida verde de cada grupo de muestras estudiado, ya que todos los racimos se cosecharon a una misma edad de desarrollo.

Como se mencionó con anterioridad, en muestras de ambos protocolos de aplicación no se observaron disminuciones considerables en la vida verde promedio del gajo, pero existen factores que pueden llegar a afectar esta condición, como la temperatura y Sigatoka negra. Las temperaturas pueden comprometer la vida verde, por esta razón se realiza el enfriamiento lo antes posible luego de llegar a embarque para que pueda soportar el transporte marítimo. Existe una relación negativa entre la edad fisiológica de cosecha y las temperaturas medias diarias. Se ha observado que plantas que han sido sometidas a estrés durante el llenado del fruto tienen no solo menor crecimiento, sino que también una menor vida verde (Chillet *et al.* 2009).

La Sigatoka negra, por efecto propio, genera además estrés que también repercute en la vida verde. Estudios realizados en áreas cultivadas donde el impacto de la Sigatoka negra fue considerable demostraron que frutos provenientes de estas zonas maduraron mucho más rápido después de ser cosechados y en algunos casos llegaban con algún grado de madurez a la planta (Chillet *et al.* 2009).

Además es importante recalcar que en ambos protocolos, algunas muestras presentaron afectaciones en la corona del gajo, mostrando el desarrollo de micelio. Este acontecimiento es un acelerador de la maduración, generando pérdidas importantes y depreciación de la misma por pudriciones de fruta. La elevada precipitación en etapas finales de desarrollo de la fruta, fue un factor que influyó en la aparición del moho, ya que los patógenos utilizan esta como medio de diseminación. Estudios realizados en coronas afectadas han comprobado que esta afectación es provocada por un complejo fúngico, donde se incluyen *Fusarium oxysporum* y *Colletotricum musae*, quienes producen necrosis y maduración temprana desencadenando estrés a la fruta y la consecuente producción de etileno (Lassois *et al.* 2010).

Otros medios por los que la fruta pudo haberse infectado con patógenos pueden ser; la diseminación ocasionada por el personal de cosecha al entrar en contacto con superficies infectadas en el campo pueden contagiar los racimos, ya que obligadamente mantienen contacto con la fruta mientras la cosechan y cargan

para colgarla en los rieles, además mientras el personal de cosecha corta los racimos, los racimos ya cosechados quedan guindando en riel, permaneciendo a la intemperie y aumentando la probabilidad de afectación por hongos diseminados por el aire. La planta empacadora puede ser otro diseminador, con la entrada y salida de personal puede que se infecte el piso y mientras los racimos quedan colgando en los rieles de la planta empacadora se pueden infectar.

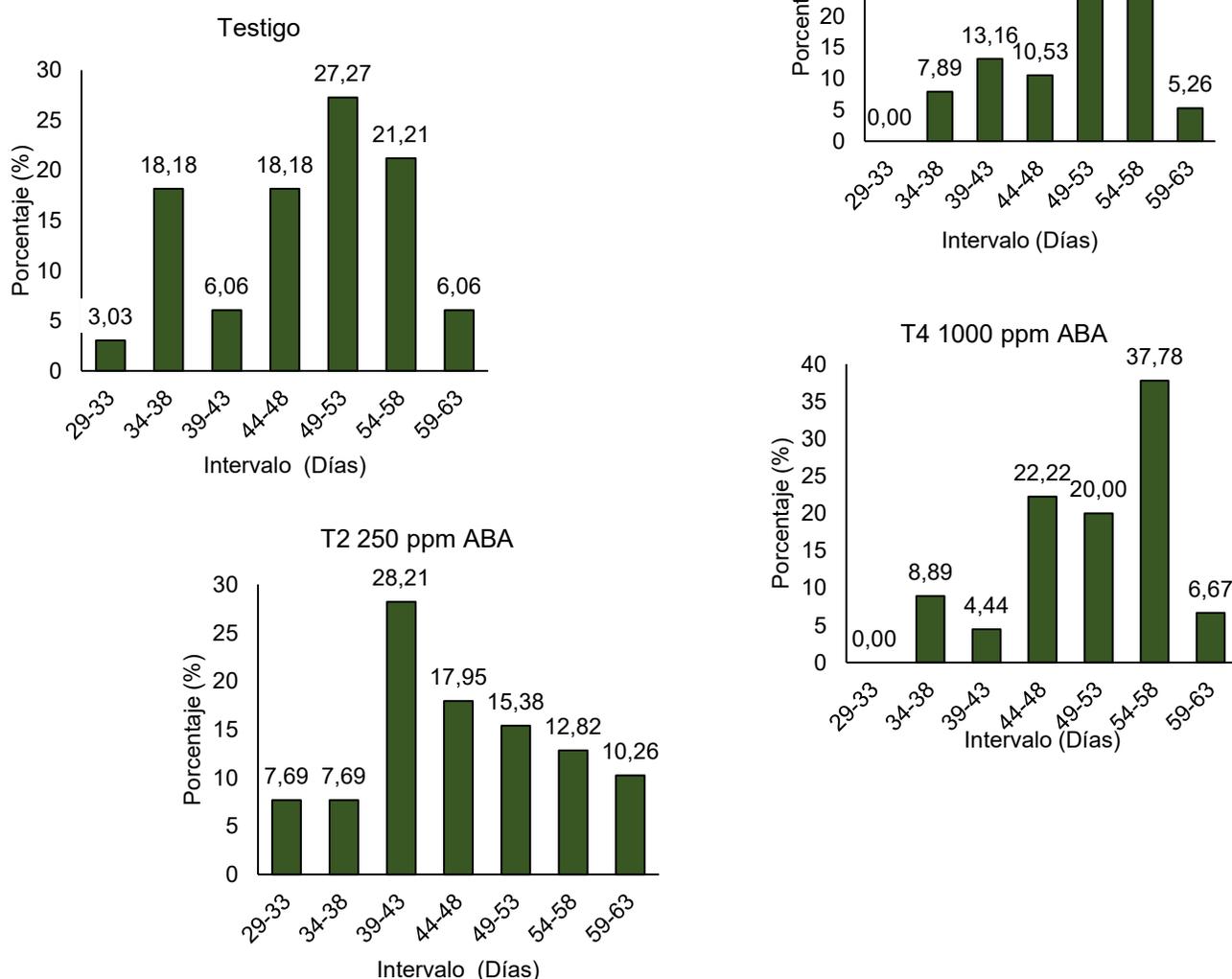


Figura 9. Comportamiento en porcentaje de la vida verde de gajos de banano provenientes de plantas de Musa AAA var. Gran Enano con

aplicaciones de ácido absícico dirigidas a racimos, Valle de la Estrella, Limón, Costa Rica, 2017.

Fue evidente que cuanto mayor fue concentración de ABA aplicado a los gajos de racimo tardaron más en madurar. Lo anterior fue evidente en los tratamientos T3 500 ppm ABA y T4 1000 ppm ABA y concuerda con lo recalado por Barickman que recalca el efecto adverso que genera el ABA en comparación con el Etileno. En cambio, para los gajos de los tratamientos testigo y T2 250 ppm ABA los primeros gajos en madurar se detectaron en número menor de días de vida verde.

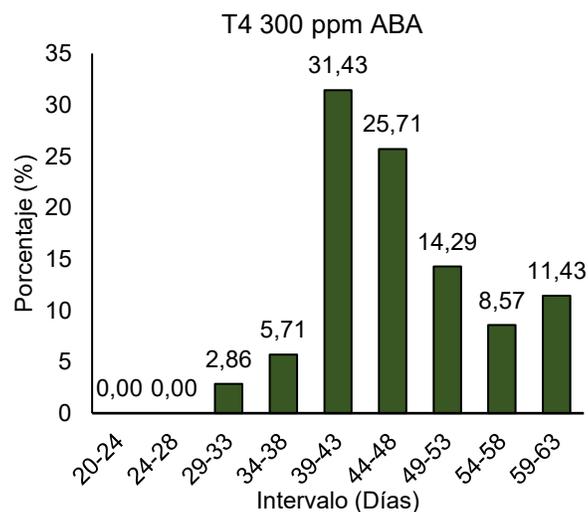
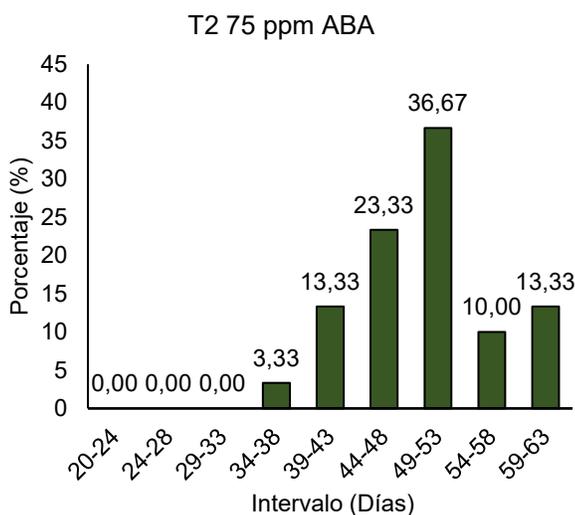
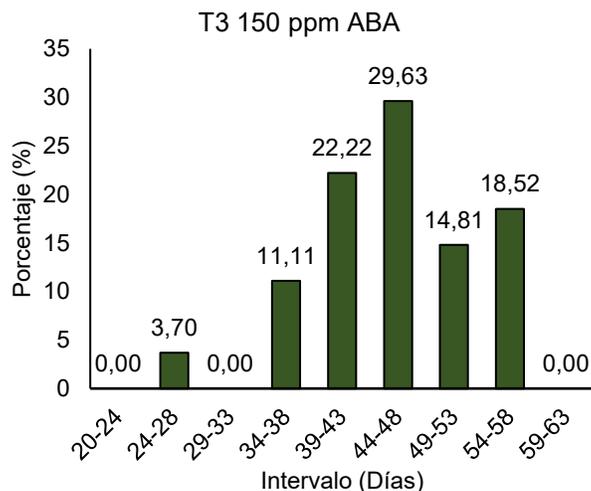
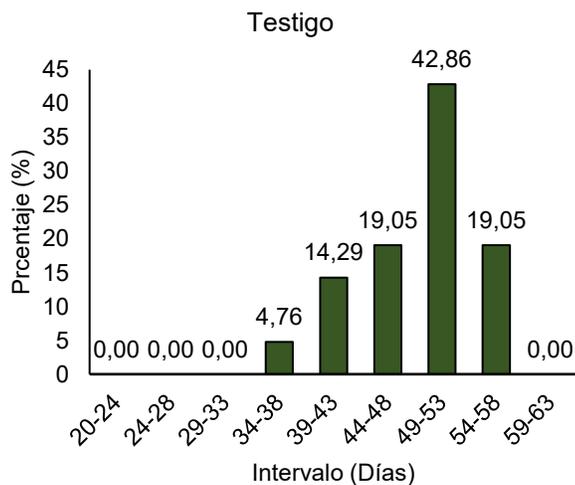


Figura 10. Comportamiento en porcentaje de la vida verde de gajos de banano provenientes de plantas de Musa AAA var. Gran Enano con aplicaciones de ácido abscísico dirigidas a las hojas de la planta, Valle de la Estrella, Limón, Costa Rica, 2017.

Los gajos de los tratamientos testigo y T2 75 ppm ABA tuvieron la mayor cantidad de días en vida verde, por el contrario, los tratamientos T3 150 ppm ABA y T4 300 ppm ABA los días en vida verde de los primeros gajos en madurar se vio disminuida, lo que indicó que a mayor concentración de ABA se acorta la vida verde de los primeros gajos en salir, ya que el ABA al ser hormona de estrés pudo ocasionar que el cierre estomático generara una disminución en la transpiración, lo

que genera una alteración del metalismo de la planta que pudo ocasionar que los frutos posterior a la cosecha maduraran de manera más rápida.

#### 4.4.2 Muestreo de color (Maduración)

En las muestras sometidas a pruebas de maduración tanto de racimos aplicados con ABA como de racimos provenientes de aplicaciones foliares no presentaron problemas en la maduración. No hubo resistencia o exceso de maduración cuando fueron sometidas a los muestreos correspondientes.

Cuadro 17. Distribución de color de muestras extraídas de terceras manos proveniente de fruta aplicada con ácido Abscísico a racimos de Musa AAA var. Gran Enano y sometida a maduración artificial mediante el gaseo con etileno posterior a la cosecha.

Tratamiento	Muestreo (h)	Color (%)							
		3	3,5	4	4,5	5	5s	6	7
Testigo	0	14	14	43	29	-	-	-	-
	24	-	-	17	50	33	-	-	-
	48	-	-	-	13	25	38	12	12
T2 250 ppm ABA	0	11	22	44	23	-	-	-	-
	24	-	-	25	50	25	-	-	-
	48	-	-	-	25	38	25	-	12
T3 500 ppm ABA	0	20	10	40	30	-	-	-	-
	24	-	-	25	50	25	-	-	-
	48	-	-	-	18	36	36	10	-
T4 1000 ppm ABA	0	20	20	40	20	-	-	-	-
	24	-	-	25	50	25	-	-	-
	48	-	-	9	18	36	27	10	-

Cuadro 18. Distribución de color de muestras extraídas de terceras manos proveniente de fruta aplicada con ácido abscísico a hojas de Musa AAA var. Gran Enano y sometida a maduración artificial mediante el gaseo con etileno.

Tratamiento	Muestreo (h)	Color (%)							
		3	3,5	4	4,5	5	5s	6	7
Testigo	0	-	17	50	33	-	-	-	-
	24	-	-	-	50	50	-	-	-
	48	-	-	-	17	33	50	-	-
T2 75 ppm ABA	0	16	17	50	17	-	-	-	-
	24	-	-	15	42	43	-	-	-
	48	-	-	-	14	43	43	-	-
T3 150 ppm ABA	0	-	-	50	50	-	-	-	-
	24	-	-	-	50	50	-	-	-
	48	-	-	-	-	50	50	-	-
T4 300 ppm ABA	0	16	17	50	17	-	-	-	-
	24	-	-	17	50	33	-	-	-
	48	-	-	-	12	25	38	25	-

En los muestreos de ambos protocolos de aplicación de ABA no se observó comportamientos atípicos en la maduración. Los resultados mostraron que en la evaluación a las cero horas la mayor agrupación de gajos se observó en color cuatro tanto para aplicaciones a racimo y aplicaciones a hojas. Durante el segundo muestreo a las 24 horas el mayor porcentaje de color se presentó en 4,5 en los gajos de ambos protocolos de aplicación y a las 48 horas entre 5 y 5s.

El ABA, como se observó en los resultados, no afectó la maduración en ninguno de los tratamientos, debido a que su periodo de actividad abarca siete días después de su aplicación, cabe hacer mención que las aplicaciones finalizaron a las 2 semanas después de parición para las aplicaciones a racimos y a las 5 semanas después de parición para aplicaciones foliares.

El comportamiento observado se basa principalmente a factores asociados al proceso de maduración, como lo fue el etileno, temperatura, y humedad relativa.

La temperatura juega un rol importante en la maduración ya que de ella depende la actividad metabólica del fruto. Temperaturas altas aceleran la fase climatérica, aumentando la respiración con la hidrólisis de los almidones y su transformación en azúcares (Soto 2017 tomo 3). La humedad relativa (HR) influye en la conservación de la firmeza del fruto antes de la maduración artificial, estudios realizados han demostrado que frutos sometidos a humedades relativas bajas, 60%-65%, tienden a presentar no solo frutos con maduración más rápida, sino que también una mayor pérdida de firmeza lo que indica una mayor actividad de la poligacturonasa. Por esta razón, estudios recomiendan trabajar con humedad relativa alta, 85%-95%, debido a que HR inferiores provoca deshidratación del frutos y por ende pérdida de peso (Castellanos *et al.* 2011)

La resistencia que los frutos verdes poseen para madurar se debe a la protopectina que es un ácido poligacturónico, este ácido es insoluble en agua. Cuando el fruto llega a la maduración el ácido poligacturónico tiende a ser mucho más soluble gracias a la enzima poligacturonasa y a la pectina metilestera (Marapana 2017). Estudios realizados en banano han demostrado que la actividad de la poligacturonasa muestra una mayor actividad a los 3 días después de ser tratado con etileno con tendencia al alza a los 7 días de ser tratada, la pectina metilestera, en cambio, muestra actividades máximas a los 2 días y luego disminuye (Mehar y Pravendra 2005).

Estudios de maduración con ABA en banano mostraron que ABA puede llegar a ablandar del fruto pero no en igual magnitud que el etileno. Variables evaluadas como poligacturonasa y pectina metil esterasa no mostraron mayor actividad cuando los frutos se sometieron a aplicaciones con ABA, pero si hubo semejanza de actividad cuando los frutos se sometieron con aplicaciones de ABA conjuntamente con etileno comparándolo con la actividad de las enzimas de los frutos tratados solo con etileno.

Además, frutos tratados con ABA no mostraron mayor actividad de las enzimas cuando se trató con un inhibidor de etileno antes de ser tratadas con

etileno, por lo que el ablandamiento de los frutos se puede atribuir a una respuesta mediada por la actividad del etileno (Lohani *et al.* 2004).

Esta aplicación de etileno permitió la maduración de las muestras aumentando su nivel de respiración (Campuzano 2010), el etileno liberado entró en contacto con los grupos de receptores protéicos ubicados en la membrana en el retículo plasmático, provocando así la maduración de las muestras para evaluación.

El banano al ser un fruto climatérico, sufre cambios físicoquímicos por la transformación de fruto no comestible como postre a uno con características organolépticas ideales para ese fin. La calidad que busca el consumidor se expresa en los parámetros organolépticos del fruto, esto se logra cuando el fruto obtiene por completo el color amarillo sin dejarse llegar hasta el ablandamiento excesivo. Este cambio de color se debe a una degradación de la clorofila y aumento en las síntesis de cromoplastos (Torres *et al.* 2013), además de un aumento de contenido de humedad por efecto del desglose de carbohidratos y de la transferencia osmótica de la cáscara a la pulpa por parte del etileno quien activa las amilasas (Trape y Jain 2012).

Conforme aumentaron las horas en vida anaquel, se observó el aumento de grado de color de las muestras y pérdida de firmeza. El cambio en el color de la cáscara como se mencionó con anterioridad, se debe principalmente a la disminución del contenido de clorofila, la pérdida de firmeza es consecuencia de la disminución de los contenidos de pectina, hemicelulosa y almidones. Tales disminuciones generan cambios en la composición del fruto, donde los niveles de almidón disminuyen rápidamente y los azúcares solubles como sacarosa, fructosa y glucosa aumentan, además la actividad de la amilasa disminuye conforme aumenta el grado de maduración (Marapana, 2017)

### 4.4.3 Muestreo de Rajadura de cáscara

#### 4.4.3.1 Aplicaciones de ABA al Racimo

Los resultados obtenidos para rajadura de cáscara en gajos de racimos aplicados con ABA no mostraron efecto entre tratamientos ( $p$ -valor = 0.1791).

Cuadro 19. Porcentaje de dedos con rajadura de cáscara en gajos de tercera mano provenientes de fruta aplicada con ácido abscísico a racimos de Musa AAA var. Gran Enano y bajo inducción de maduración con etileno.

Tratamiento	Rajadura de cáscara (%)
Testigo	0,3467 $\pm$ 0,30 a
T2 250 ppm ABA	0,2000 $\pm$ 0,40 a
T3 500 ppm ABA	0,1100 $\pm$ 0,22 a
T4 1000 ppm ABA	0,0025 $\pm$ 0,01 b

El comportamiento de rajadura de cáscara en gajos de fruta proveniente de aplicaciones a racimos mostró que el tratamiento testigo presentó un mayor porcentaje de dedos rajados que los demás tratamientos. El tratamiento T4 1.000 ppm ABA se presentó como el menos afectado por cáscara rajada. Conforme aumentó la concentración de ABA en este tipo de aplicación se vio una disminución en el porcentaje de dedos afectados.

Las aplicaciones de ABA a racimos presentan mejores comportamientos ante rajaduras de cáscara, esto puede deberse a las concentraciones utilizadas y a que la aplicación fue más eficiente en comparación con las aplicaciones foliares ya que la pulverización a las hojas puede verse afectada por el viento y la distribución de las hojas entre sí.

Barickman *et al.* (2014) mencionan que ABA promueve en toma del calcio en frutos de tomate, mejorando la calidad y la firmeza del mismo gracias al papel del calcio en las conexiones con las pectinas, así como producir cambios en la concentración de calcio citosólico, iniciando una cascada de reacciones que controlan procesos fisiológicos como la adaptación a estrés ambiental. Lo anterior mencionado junto con una mayor eficacia de aplicación por concepto de mayor

superficie aplicada pudo mejorar la resistencia a las rajaduras de cáscara en los gajos provenientes de fruta aplicada a racimos.

#### 4.4.3.2 Aplicaciones de ABA al Follaje

A su vez los gajos de racimos cuya aplicación fue a las hojas no mostraron diferencias significativas entre tratamientos (p-valor = 0.2759).

Las rajaduras de cáscara presentes en gajos de fruta proveniente de aplicaciones foliares demostraron que el tratamiento T4 300 ppm ABA fue el más afectado, el tratamiento testigo, por el contrario, fue el que menos incidencia de rajaduras presentó. Se observa en el cuadro 20 que conforme se aumentó la concentración de ABA, aumentó la aparición de rajaduras en la cáscara.

Cuadro 20. Porcentaje de dedos con rajadura de cáscara en gajos de tercera mano provenientes de fruta aplicada con ácido abscísico a hojas de Musa AAA var. Gran Enano y bajo inducción de maduración con etileno.

Tratamiento	Rajadura de cáscara (%)
Testigo	0,63 ± 0,31 b
T2 75 ppm ABA	1,23 ± 0,31 a
T3 150 ppm ABA	1,52 ± 0,76 a
T4 300 ppm ABA	2,88 ± 1,62 a

Las rajaduras de cáscara en gajos de fruta proveniente de aplicaciones foliares demostraron que el tratamiento T4 300 ppm ABA fue el más afectado, el tratamiento testigo, por el contrario, fue el que menos incidencia de rajaduras presentó.

El calcio tiende a moverse a tejidos de bajo potencial hídrico, este es el caso de las hojas ya que, además de crecer de manera acelerada, poseen un bajo potencial hídrico, por el contrario la fruta posee mayor potencial hídrico y menor cantidad de estomas que las hojas, traduciéndose en un menor nivel de

transpiración por lo que en la distribución del calcio a la fruta se ve menos favorecida (Barickman *et al.* 2014). Esta puede ser una de las causas por la que hay mayor incidencia de rajadura de cáscara ya que la mayoría del calcio es suministrado hacia las estructuras foliares y no hacia el fruto.

En condiciones de estrés, el ABA se acumula en células guarda ocasionando que los estomas se cierren. Autores indican que el ABA aumenta la concentración de calcio citosólico induciendo al cierre de estomas e inhibiendo a su vez la apertura de los mismos. Las oscilaciones de  $\text{Ca}^{2+}$  son las que regulan la apertura de los estomas, también se ha comprobado que el cierre estomático no solo depende de las oscilaciones de  $\text{Ca}^{2+}$  sino en gran medida de la duración y número de picos de  $\text{Ca}^{2+}$  (Reyes *et al.* 2013). Lo anterior pudo ejercer efecto en la cantidad de calcio absorbido por la planta y por ende en la cantidad que pudo haber llegado al fruto, esto porque al existir un cierre de estomas por la hiperpolarización de las células guarda, se genera menos transpiración por lo que la captación o movimiento de  $\text{Ca}^{2+}$  a las estructuras de la planta es menor. Además el ABA aplicado a estructuras foliares pudo haber aumentado las concentraciones de  $\text{Ca}^{2+}$  pero en las estructuras foliares y no en el fruto. De ahí pudo deberse la marcada tendencia a que conforme se aumentara el ABA aumentara el porcentaje de dedos con rajadura ya que el efecto del ABA fue en hojas y no en el fruto.

## 5. CONCLUSIONES

En ambos protocolos de aplicación, el crecimiento del hijo no se vio afectado por las incorporaciones exógenas de ABA, a su vez tampoco comprometió el desarrollo y funcionamiento foliar en las plantas tratadas.

Los días de vida verde de los gajos de banano de los tratamientos T3 500 ppm ABA y T4 1.000 ppm ABA de aplicaciones a racimo y el tratamiento Testigo y T2 75 ppm ABA de aplicaciones foliares fueron los que mayor cantidad de días registraron.

Las aplicaciones de ABA en los meses de septiembre y octubre no disminuyen la aparición de mancha de madurez en los racimos evaluados debido a la sensibilidad que presentan los reguladores de crecimiento ante los factores abióticos.

El protocolo de aplicación de ABA a racimos de banano ser un buen método para disminuir las rajaduras de cáscara en estados maduro.

Los gajos provenientes de racimos tratados con una concentración de 1000 ppm de ABA mostraron mayor resistencia a las rajaduras de cáscara en estado maduro.

## **6. RECOMENDACIONES**

Realizar un análisis para cáscara y hojas con el fin de conocer los niveles de calcio en dichas estructuras y observar el comportamiento del nutriente según la concentración aplica de ABA.

Realizar estudios sobre el efecto del ABA en los niveles de azúcares solubles en la fruta, esto debido a reportes existentes en tomate donde la ABA aumentó los niveles de fructosa y glucosa, mejorando sus cualidades organolepticas, principalmente el sabor.

Efectuar aplicaciones de ABA en diferentes épocas del año y en diferentes estados de desarrollo del racimo para descubrir la mejor época de aplicación de ABA para disminuir mancha de madurez en periodos donde se presente la mayor incidencia de este desorden fisiológico.

Efectuar aplicaciones de ABA en diferentes momentos de desarrollo del racimo así como aplicaciones posteriores a cosecha y en diferentes momentos para identificar el mejor método de aplicación de ABA para disminuir los daños ocasionados por rajadura de cáscara en estado maduro.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- ANACAFE. 2004. Programa de diversificación de ingresos en la empresa cafetalera (En línea, PDF). Consultado el 31 mar. 2017. Disponible en <http://portal.anacafe.org/Portal/Documents/Documents/2004-12/33/9/Cultivo%20de%20Izote.pdf>
- Barickman, C; Kopsell, D; Sams, C. 2014. Exogenous foliar and root applications of abscisic acid increase the influx of calcium into tomato fruit tissue and decrease the incidence of blossom-end rot. *HortScience*. 49(11):1397-1402.
- Barickman, C; Kopsell, D; Sams, C. 2014. Foliar applications of abscisic acid decrease the incidence of blossom-end rot in tomato fruit. *Scientia Horticulturae* 179: 356-362.
- Barickman, C; Kopsell, D; Sams, C. 2016. Abscisic acid impacts tomato carotenoids, soluble sugars, and organic acids. *HortScience* 51(4): 370-376.
- CORBANA (Corporación bananera nacional). 2016. Productividad promedio por hectárea (en línea, sitio web). Consultado 31 mar. 2017. Disponible en [https://www.corbana.co.cr/categories/categoria\\_1348243853](https://www.corbana.co.cr/categories/categoria_1348243853)
- Cabrera, J; Rodríguez,I;Galán, V. 2010. Influencia de la pérdida foliar sobre la cosecha en el cv. Gruesa, *Musa acuminata* colla (AAA), cultivado bajo invernadero en las islas canarias (En línea, PDF). Consultado el 7 jun. de 2018. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/rbf/v32n4/aop15110.pdf>
- Campuzano, A. 2010. Efecto del tipo de banano Cavendish en su comportamiento poscosecha. Tesis Lic. Guayaquil, Ecuador. Escuela Politecnica del litoral. 59 p
- Castellanos, D; Algecira,N; Villota;P. 2011. Aspectos relevantes en el almacenamiento de banano en empaques con atmósferas modificadas.

- Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, vol. 12, núm. 2, 2011, pp. 114-134.
- Chillet, Z; Abadie, C; Hubert, O; Chilin-Charles, Y; de Lapeyre de Bellaire, L. 2009. Sigatoka disease reduces the green life of bananas. *Crop Protection*. 28:41-45
- Cruz, M; Melgarejo, L; Romero, M. s.f. Fitohormonas (En línea). Consultado 31 mar. de 2017. Disponible en [http://www.bdigital.unal.edu.co/8545/9/05\\_Cap03.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/8545/9/05_Cap03.pdf)
- Dadzie, B; Orchard, J: s.f. Evaluación rutinaria postcosecha de híbridos de bananos y platanos: criterio y métodos (En línea, PDF). Consultado el 2 ago. de 2018. Disponible en [https://www.biodiversityinternational.org/fileadmin/\\_migrated/uploads/tx\\_news/Routine\\_post-harvest\\_screening\\_of\\_banana\\_plantain\\_hybrids\\_\\_Criteria\\_and\\_methods\\_23\\_5\\_ES.pdf](https://www.biodiversityinternational.org/fileadmin/_migrated/uploads/tx_news/Routine_post-harvest_screening_of_banana_plantain_hybrids__Criteria_and_methods_23_5_ES.pdf)
- 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. Tesis Lic.Urabá, Colombia. Universidad de Colombia. 62 p.
- Díaz, A; Cayón, G; Mira, J. 2007. Metabolismo del calcio y su relación con la “mancha de la madurez del fruto de banano. Una revisión. *Agronomía Colombiana* 25(2). 280-287.
- Di Rienzo, J; Balzarini, M; Gonzalez, L, Casanoves, F; Tablada, M; Robledo, W. 2016. InfoStat. Córdoba, Argentina. Software estadístico.
- Espinosa, J; Mite, F. 2002. Estado actual y futuro de la nutrición y fertilización del banano. *Informaciones agronómicas*. 48(1). 4-10.

- Fabre, N. 2015. Causas de pérdidas que se producen en la post cosecha de banano en la zona de Quevedo. Tesis Lic. Quevedo, Ecuador. Universidad Estatal de Quevedo. 50 p.
- Guzmán, M; Orozco, M; Perez, L. 2013. Las enfermedades sigatoka de las hojas de banano; dispersión, impacto y evolución de las estrategias de manejo en América Latina y el Caribe. Reunión internacional de la asociación para la cooperación en la búsqueda y desenvolvimiento integral de musáceas (En línea, PDF. Consultado 15 de Jul. de 2018 Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/263199254\\_Las\\_enfermedades\\_de\\_las\\_manchas\\_de\\_las\\_hojas\\_del\\_banano\\_dispersion\\_impacto\\_y\\_evolucion\\_de\\_las\\_estrategias\\_de\\_manejo\\_en\\_America\\_Latina\\_y\\_el\\_Caribe](https://www.researchgate.net/publication/263199254_Las_enfermedades_de_las_manchas_de_las_hojas_del_banano_dispersion_impacto_y_evolucion_de_las_estrategias_de_manejo_en_America_Latina_y_el_Caribe)
- Inibap (Red Internacional para el mejoramiento del banano y plátano). 1997. Evaluación rutinaria postcosecha de híbridos de bananos y plátanos: criterios y métodos. Dadzi, B; Orchard, J. (Ed.). s.l. 63 p.
- Jordán, M; Casaretto, J. 2006. Hormonas y reguladores de crecimiento: Etileno, Ácido Abscísico, Brasinoesteroides, Poliaminas, Ácido salicílico y Ácido Jasmónico. *Fisiología Vegetal* 16. 1-28.
- Kerbel, E. s.f. Mejores prácticas de manejo en la cadena de frío del banano. Informativo marítimo portuario. Ecuador.
- Lohani, S; Trivedi, P, Nath, P. 2004. Changes in activities of cell wall hydrolases during ethylene-induced ripening in banana: effect of 1-MCP, ABA and IAA. *Postharvest Biology and Technology*. 31: 119-126.
- Lluna Duval, R. 2006. Hormonas vegetales: crecimiento y desarrollo de la planta. Tecnología de producción (en línea, PDF). Consultado 28 mar. 2017. Disponible en [http://www.horticom.com/revistasonline/horticultura/rh196\\_2/22\\_27.pdf](http://www.horticom.com/revistasonline/horticultura/rh196_2/22_27.pdf)

- Lassois, L; Jijakli, H; Chillet, M; de Bellaire, L. 2010. Crown rot of bananas; preharvest factors involved and postharvest disease development and integrated control methods. *Plant Disease*. 94(6):648-658
- Marapana, R. 2017. Biochemical changes during ripening of banana: A review. *International Journal of food science and nutrition*. 2(5):166-170.
- Mehar,H; Pravendra,N. 2005. Expression of multiple forms of polygalacturonase gene during ripening in banana Fruit. *Plant Physiology and Biochemistry*. 43: 177-184.
- Muñoz, M. 5 may 2017. Descripción de la ubicación del proyecto (Correo electrónico). Heredia, Costa Rica. Dole, Standard Fruit Company.
- Muñoz, C. 2004. Prueba de cuatro densidades y tres arreglos especiales de siembra de plátano. *Tecnología en Marcha*. 16(1): 40-54.
- Ortiz Vega, RA; López Morales, A; Ponchner Geller, S; Segura Monge, A. 2001. El cultivo del Banano. San José, CR, EUNED. 187 p.
- PRO ECUADOR (Instituto de promoción de exportaciones e inversiones). 2016. Análisis sectorial de banano. Ecuador.
- PROCOMER (Promotora de Comercio Exterior). 2017. Los 50 principales productos de exportación. Heredia, Costa Rica.
- PROCOMER (Promotora de Comercio Exterior). 2017. Exportaciones según sector productivo. Heredia, Costa Rica.
- Reyes, A; Álvarez, J; Fernández, J. 2013. Papel del calcio en la apertura y el cierre estomático y sus interacciones con solutos compatibles. Una revisión. *Revista colombiana de ciencias hortícolas*. 1(7): 111-122.

- Rivera, O. 2016. Determinación de la cantidad de hoja efectiva para el llenado eficiente del racimo de banano. Tesis Lic. Machala, Ecuador. UTMACH. 17 p.
- Rodríguez, P; Cayón G. 2008. Efecto de *Micosphaerella fijiensis* sobre la fisiología de la hoja de banano. Protección de cultivos. 26(2):256-265.
- Rodríguez, D; Rodríguez, C. Metabolismo y modo de acción de fitohormonas. Salamanca, España. Ediciones Universidad Salamanca. 265 p.
- Sánchez, E. 2004. Reguladores de crecimiento empleados en la fruticultura (En línea). Consultado 14 abr. de 2017. Disponible en <http://www.biblioteca.org.ar/libros/210849.pdf>
- Smith, E; Velásquez, M; Zúñiga, L; Valerín J. 2009. Efecto de la población sobre el crecimiento y producción de las plantas en primera generación de banano datíl. Agronomía Costarricense. 34(1): 77-83.
- Soto, M. 2014. Bananos; conceptos básicos. San José, Costa Rica. ET. 336 p.
- Sanchez, J; Henao, S; Betancur, G, Leiva, A. 2013. Efecto de la variabilidad climática sobre el desarrollo fisiológico mancha de madurez del banano. Reunión internacional de la asociación para la cooperación en la búsqueda y desenvolvimiento integral de musáceas (En línea, PDF). Consultado el 2 ago. de 2018. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/319140969\\_EFECTO\\_DE\\_LA\\_VARIABILIDAD\\_CLIMATICA\\_SOBRE\\_EL\\_DESORDEN\\_FISIOLOGICO\\_MANCHA\\_DE\\_MADUREZ\\_DEL\\_BANANO\\_EFFECT\\_OF\\_CLIMATE\\_VARIABILITY\\_ON\\_PHYSIOLOGICAL\\_DISORDER\\_MATURITY\\_BRONZING\\_OF\\_BANANA\\_FRUIT](https://www.researchgate.net/publication/319140969_EFECTO_DE_LA_VARIABILIDAD_CLIMATICA_SOBRE_EL_DESORDEN_FISIOLOGICO_MANCHA_DE_MADUREZ_DEL_BANANO_EFFECT_OF_CLIMATE_VARIABILITY_ON_PHYSIOLOGICAL_DISORDER_MATURITY_BRONZING_OF_BANANA_FRUIT)
- Tonetto de Freitas, S; Shackel, K; Mitcham, E. 2011. Abscisic acid triggers whole-plant and fruit-specific mechanisms to increase calcium uptake and prevent

blossom end rot development in tomato Fruit. *Journal of Experimental Botany*. 62(8). 2645 – 2656.

Torres, S. 2012. Guía práctica para el manejo de banano orgánico en el valle del Chira (En línea). Consultado 31 mar. 2017. Disponible en [http://www.swisscontact.org/fileadmin/user\\_upload/COUNTRIES/Peru/Documents/Publications/manual\\_banano.pdf](http://www.swisscontact.org/fileadmin/user_upload/COUNTRIES/Peru/Documents/Publications/manual_banano.pdf)

Torres, R; Montes,E; Pérez, O; Andrade, R. 2013. Relación del color y del estado de madurez con las propiedades fisicoquímicas de frutas tropicales. *Información Tecnológica de Universidad de Córdoba*. 24(3): 51-56.

Trape,A; Jain, R. 2012. Study of advanced maturity stages of banana. *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies*. 1(3): 272-274.

Vargas, O. 2009. Aplicación exógena de ácido giberélico en las primeras semanas posterior a la floración, en banano (*Musa AAA* cv Gran Enano), para mejorar la calidad del fruto para exportación. Tesis Lic. San Carlos, Costa Rica, ITCR. 73 p.

Vargas, A; Arias, F; Serrano, E; Arias, O. 2007. Toxicidad de boro en plantaciones de banano (*Musa AAA*) en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 31(2). 21-29

Yañez; J. 2002. Nutrición y regulación del crecimiento en hortalizas y frutales. In Segundo simposio nacional de horticultura (3, 2002). Elyn Bacópulos. Conferencias y Cursos Sobre Nutrición de Cultivos Hortícolas. UAAAN. p 21.

## 8. ANEXOS

Anexo 1. Análisis de varianza preliminar para circunferencia en plantas seleccionadas para aplicaciones a racimos.

### Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	38382,63	<0,0001
TRAT	3	0,38	0,7664

### CIRC - Medias ajustadas y errores estándares para TRAT

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

TRAT	Medias	E.E.	
3	95,47	0,97	A
4	94,47	0,97	A
1	94,27	0,97	A
2	94,17	0,97	A

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

Anexo 2. Análisis de varianza preliminar para altura de planta madre en plantas seleccionadas para aplicaciones a racimos.

### Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	27406,91	<0,0001
TRAT	3	1,95	0,1255

### ALT.MADRE - Medias ajustadas y errores estándares para TRAT

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

TRAT	Medias	E.E.	
4	394,20	4,68	A
3	389,73	4,68	A
1	385,80	4,68	A
2	378,80	4,68	A

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

Anexo 3. Análisis de varianza preliminar para altura de hijo en plantas seleccionadas para aplicaciones a racimos.

### Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	4808,46	<0,0001
TRAT	3	0,96	0,4158

### ALT.HIJO - Medias ajustadas y errores estándares para TRAT

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

TRAT	Medias	E.E.	
3	221,03	6,18	A
2	217,70	6,18	A
1	209,23	6,18	A
4	209,10	6,18	A

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

**Anexo 4. Análisis de varianza preliminar para hojas iniciales en plantas seleccionadas para aplicaciones a racimos.**

**Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)**

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	8903,03	<0,0001
TRAT	3	0,24	0,8703

**HOJAS - Medias ajustadas y errores estándares para TRAT**

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

TRAT	Medias	E.E.	
4	14,37	0,30	A
2	14,27	0,30	A
3	14,13	0,30	A
1	14,03	0,30	A

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

**Anexo 5. Análisis de varianza preliminar para manos originales en plantas seleccionadas para aplicaciones a racimos.**

**Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)**

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	13157,57	<0,0001
TRAT	3	1,54	0,2086

**MANOS.ORIG - Medias ajustadas y errores estándares para TRAT**

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

TRAT	Medias	E.E.	
4	14,07	0,24	A
1	13,90	0,24	A
2	13,50	0,24	A
3	13,47	0,24	A

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

**Anexo 6. Análisis de varianza preliminar para altura planta madre en plantas seleccionadas para aplicaciones foliares.**

**Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)**

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	36738,44	<0,0001
TRAT	3	0,70	0,5566

**ALT.MADRE - Medias ajustadas y errores estándares para TRAT**

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

TRAT	Medias	E.E.	
4	389,53	4,01	A
3	384,03	4,01	A
2	382,77	4,01	A
1	382,23	4,01	A

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

**Anexo 7. Análisis de varianza preliminar para altura de hijo en plantas seleccionadas para aplicaciones foliares.**

**Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)**

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	3862,55	<0,0001
TRAT	3	1,32	0,2705

**ALT.HIJO - Medias ajustadas y errores estándares para TRAT**

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

TRAT	Medias	E.E.	
4	218,53	6,69	A
3	208,60	6,69	A
2	204,30	6,69	A
1	200,73	6,69	A

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

**Anexo 8. Análisis de varianza preliminar para hojas en plantas seleccionadas para aplicaciones foliares.**

**Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)**

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	8855,67	<0,0001
TRAT	3	1,66	0,1797

**HOJAS - Medias ajustadas y errores estándares para TRAT**

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

TRAT	Medias	E.E.	
4	14,20	0,29	A
3	13,93	0,29	A
2	13,87	0,29	A
1	13,30	0,29	A

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

Anexo 9. Análisis de varianza preliminar para manos originales en plantas seleccionadas para aplicaciones foliares.

**Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)**

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	13246,33	<0,0001
TRAT	3	0,39	0,7573

**MANOS.ORIG - Medias ajustadas y errores estándares para TRAT**

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

TRAT	Medias	E.E.	
3	13,00	0,22	A
4	12,77	0,22	A
2	12,72	0,22	A
1	12,69	0,22	A

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

Anexo 10. Análisis de varianza preliminar para circunferencia en plantas seleccionadas para aplicaciones foliares.

**Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)**

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	47874,70	<0,0001
TRAT	3	3,52	0,0174

**CIRC - Medias ajustadas y errores estándares para TRAT**

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

TRAT	Medias	E.E.	
4	95,77	0,86	A
2	95,70	0,86	A
1	92,93	0,86	B
3	92,93	0,86	B

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

Anexo 11. Análisis de varianza para altura de hijo en plantas seleccionadas para aplicaciones al racimo.

**Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)**

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	2,19	0,1422
TRAT	3	2,77	0,0453

**Altura hijo - Medias ajustadas y errores estándares para TRAT**

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

*Estimaciones para la siguiente combinación de valores de las covariables*

Covariable Valor  
ALT.MADRE Media

TRAT Medias E.E.  
1 104,04 6,34 A  
4 100,31 6,28 A  
3 84,98 6,47 A  
2 83,59 6,10 A

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

## Anexo 12. Análisis de varianza para altura de hijo en plantas seleccionadas para aplicaciones al follaje

### Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	4,85	0,0299
TRAT	3	0,98	0,3522

### Altura hija - Medias ajustadas y errores estándares para TRAT

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

*Estimaciones para la siguiente combinación de valores de las covariables*

Covariable Valor  
ALT.MADRE Media

TRAT Medias E.E.  
2 111,66 7,06 A  
1 108,04 7,10 A  
3 98,96 7,33 A  
4 96,72 7,27 A

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

## Anexo 13. Análisis de varianza para cantidad de hojas a cosecha en plantas seleccionadas para aplicaciones al racimo

### Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	644,85	<0,0001
TRATAMIENTO	3	0,34	0,7940

**DIF.DE.HOJA - Medias ajustadas y errores estándares para TRATAMIENTO**

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

<u>TRATAMIENTO</u>	<u>Medias</u>	<u>E.E.</u>	
3	5,70	0,43	A
4	5,43	0,43	A
1	5,36	0,43	A
2	5,10	0,41	A

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

**Anexo 14. Análisis de varianza para cantidad de hojas a cosecha en plantas seleccionadas para aplicaciones al follaje**

**Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)**

	<u>numDF</u>	<u>F-value</u>	<u>p-value</u>
(Intercept)	1	590,76	<0,0001
TRAT	3	1,38	0,2541

**DIF.DE.HOJAS - Medias ajustadas y errores estándares para TRAT**

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

<u>TRAT</u>	<u>Medias</u>	<u>E.E.</u>	
4	5,56	0,43	A
3	5,46	0,43	A
2	5,11	0,42	A
1	4,46	0,42	A

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

Anexo 15. Análisis de varianza para cantidad de manos por racimo a cosecha en plantas seleccionadas para aplicaciones al racimo.

**Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)**

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	148,66	<0,0001
TRAT	3	2,37	0,0750

**Manos - Medias ajustadas y errores estándares para TRAT**

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Estimaciones para la siguiente combinación de valores de las covariables

Covariable	Valor
CIRC	Media

TRAT	Medias	E.E.	
1	8,23	0,23	A
3	8,00	0,06	A
4	7,86	0,07	A
2	7,80	0,07	A

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

Anexo 16. Análisis de varianza para calibre de calibre de dedo central de la segunda mano a la cosecha en plantas seleccionadas para aplicaciones al racimo.

**Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)**

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	167,27	<0,0001
TRAT	3	2,30	0,0816

**Cal.2 - Medias ajustadas y errores estándares para TRAT**

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Estimaciones para la siguiente combinación de valores de las covariables

Covariable	Valor
CIRC	Media

TRAT	Medias	E.E.	
3	44,13	0,56	A
4	44,13	0,33	A
1	43,53	0,48	A
2	42,87	0,39	A

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

Anexo 17. Análisis de varianza para calibre de dedo central de la última mano del racimo a la cosecha en plantas seleccionadas para aplicaciones al racimo

**Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)**

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	155,73	<0,0001
TRAT	3	2,33	0,0787

**Cal.Ult - Medias ajustadas y errores estándares para TRAT**

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Estimaciones para la siguiente combinación de valores de las covariables

Covariable	Valor
CIRC	Media

TRAT	Medias	E.E.	
4	41,27	0,34	A
3	41,21	0,52	A
1	40,33	0,49	A
2	40,14	0,34	A

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

Anexo 18. Análisis de varianza para longitud de dedo central de la segunda mano del racimo a la cosecha en plantas seleccionadas para aplicaciones al racimo.

**Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)**

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	150,24	<0,0001
TRAT	3	1,92	0,1307

**Long.2 - Medias ajustadas y errores estándares para TRAT**

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Estimaciones para la siguiente combinación de valores de las covariables

Covariable	Valor
CIRC	Media

TRAT	Medias	E.E.	
3	26,72	0,30	A
4	26,59	0,24	A
1	26,24	0,30	A
2	25,89	0,26	A

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

Anexo 19. Análisis de varianza para longitud de dedo central de la última mano del racimo a la cosecha en plantas seleccionadas para aplicaciones al racimo.

**Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)**

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	56,14	<0,0001
TRAT	3	1,22	0,3059

**Long.Ult - Medias ajustadas y errores estándares para TRAT**

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Estimaciones para la siguiente combinación de valores de las covariables

Covariable	Valor
CIRC	Media

TRAT	Medias	E.E.	
4	21,66	0,38	A
1	21,59	0,34	A
3	21,58	0,43	A
2	20,88	0,31	A

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

## Anexo 20. Análisis de varianza para el peso del racimo a la cosecha en plantas seleccionadas para aplicaciones al racimo.

### Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	7,53	0,0071
TRAT	3	3,51	0,0178

### Peso Racimo - Medias ajustadas y errores estándares para TRAT

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Estimaciones para la siguiente combinación de valores de las covariables

Covariable	Valor
CIRC	Media

TRAT	Medias	E.E.
4	37,15	0,98 A
3	36,60	0,99 A
1	34,97	1,21 A
2	33,15	0,94 A

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

## Anexo 21. Análisis de varianza para el peso del racimo a la cosecha en plantas seleccionadas para aplicaciones al follaje

### Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	3,46	0,0661
TRAT	3	0,59	0,6256

### Peso - Medias ajustadas y errores estándares para TRAT

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Estimaciones para la siguiente combinación de valores de las covariables

Covariable	Valor
CIRC	Media

TRAT	Medias	E.E.
2	35,16	1,14 A
1	34,56	1,16 A
3	33,63	1,18 A
4	33,20	1,21 A

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

Anexo 22. Análisis de varianza para cantidad de manos por racimo en plantas seleccionadas para aplicaciones al follaje.

**Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)**

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	7,88	0,0061
TRAT	3	0,19	0,9008

**Manos - Medias ajustadas y errores estándares para TRAT**

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Estimaciones para la siguiente combinación de valores de las covariables

Covariable	Valor
CIRC	Media

TRAT	Medias	E.E.	
3	7,62	0,16	A
1	7,52	0,15	A
4	7,47	0,16	A
2	7,47	0,15	A

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

Anexo 23. Análisis de varianza para calibre de dedo central de la segunda mano de racimo en plantas seleccionadas para aplicaciones al follaje.

**Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)**

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	44,19	<0,0001
TRAT	3	0,59	0,6232

**Cal.2 - Medias ajustadas y errores estándares para TRAT**

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Estimaciones para la siguiente combinación de valores de las covariables

Covariable	Valor
CIRC	Media

TRAT	Medias	E.E.	
2	44,01	0,46	A
1	43,45	0,47	A
4	43,38	0,49	A
3	43,17	0,48	A

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

Anexo 24. Análisis de varianza para calibre de dedo central de la última mano de racimo en plantas seleccionadas para aplicaciones al follaje.

**Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)**

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	29,24	<0,0001
TRAT	3	0,34	0,7998

**Cal.Ult - Medias ajustadas y errores estándares para TRAT**

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Estimaciones para la siguiente combinación de valores de las covariables

Covariable	Valor
CIRC	Media

TRAT	Medias	E.E.	
2	41,27	0,50	A
1	40,78	0,51	A
4	40,73	0,53	A
3	40,60	0,52	A

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

Anexo 25. Análisis de varianza para la longitud de dedo central de las segunda mano del racimo en plantas seleccionadas para aplicaciones al follaje.

**Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)**

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	25,34	<0,0001
TRAT	3	0,59	0,6251

**Long.2 - Medias ajustadas y errores estándares para TRAT**

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Estimaciones para la siguiente combinación de valores de las covariables

Covariable	Valor
CIRC	Media

TRAT	Medias	E.E.	
1	26,73	0,32	A
3	26,32	0,32	A
2	26,29	0,31	A
4	26,17	0,33	A

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

Anexo 26. Análisis de varianza para la longitud de dedo central de la última mano de racimo en plantas seleccionadas para aplicaciones al follaje.

**Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)**

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	6,78	0,0107
TRAT	3	0,49	0,6928

**Long.Ult - Medias ajustadas y errores estándares para TRAT**

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Estimaciones para la siguiente combinación de valores de las covariables

Covariable	Valor
CIRC	Media

TRAT	Medias	E.E.	
1	22,20	0,36	A
2	22,05	0,36	A
3	22,05	0,37	A
4	21,59	0,38	A

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

Anexo 27. Análisis de varianza para incidencia de mancha de madurez moderado en racimo de plantas seleccionadas para aplicaciones al racimo.

**Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)**

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	1,56	0,2142
TRAT	3	2,41	0,0714

**Porc.Moderado - Medias ajustadas y errores estándares para TRAT**

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Estimaciones para la siguiente combinación de valores de las covariables

Covariable	Valor
Alt.madre	Media

TRAT	Medias	E.E.	
3	0,39	0,10	A
4	0,25	0,09	A
1	0,13	0,11	A
2	0,12	0,05	A

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

Anexo 28. Análisis de varianza para incidencia de mancha de madurez severo en racimo de plantas seleccionadas para aplicaciones al racimo.

**Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)**

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	0,28	0,5993
TRAT	3	1,05	0,3718

**Porc. Severo - Medias ajustadas y errores estándares para TRAT**

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Estimaciones para la siguiente combinación de valores de las covariables

Covariable	Valor
Alt.madre	Media

TRAT	Medias	E.E.	
4	0,17	0,13	A
3	0,09	0,06	A
1	0,06	0,06	A
2	0,02	0,02	A

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

Anexo 29. Análisis de varianza para incidencia de mancha de madurez leve en racimos de plantas seleccionadas para aplicaciones al racimo

**Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)**

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	1,32	0,2524
TRAT	3	4,20	0,0075

**Porc. Leve - Medias ajustadas y errores estándares para TRAT**

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Estimaciones para la siguiente combinación de valores de las covariables

Covariable	Valor
Alt.madre	Media

TRAT	Medias	E.E.	
4	1,00	0,41	A
3	0,69	0,17	A
2	0,28	0,08	B
1	0,14	0,07	B

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

Anexo 30. Análisis de varianza para incidencia de mancha de madurez presente en racimos de plantas seleccionadas para aplicaciones al racimo.

**Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)**

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	3,01	0,0856
TRAT	3	3,37	0,0212

**Total Mancha Madurez - Medias ajustadas y errores estándares para TRAT**  
DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Estimaciones para la siguiente combinación de valores de las covariables

Covariable	Valor
Alt.madre	Media

TRAT	Medias	E.E.	
4	1,42	0,52	A
3	1,19	0,29	A
2	0,39	0,10	B
1	0,33	0,23	B

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

Anexo 31. Análisis de varianza para incidencia de mancha de madurez leve en racimos de plantas seleccionadas para aplicaciones al Follaje.

**Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)**

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	1,62	0,2056
TRAT	3	0,43	0,7314

**Porc.Leve - Medias ajustadas y errores estándares para TRAT**  
DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Estimaciones para la siguiente combinación de valores de las covariables

Covariable	Valor
ALT.MADRE	Media

TRAT	Medias	E.E.	
2	0,63	0,15	A
4	0,54	0,15	A
3	0,48	0,15	A
1	0,40	0,15	A

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

Anexo 32. Análisis de varianza para incidencia de mancha de madurez moderado en racimos de plantas seleccionadas para aplicaciones al Follaje.

**Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)**

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	0,15	0,6966
TRAT	3	0,11	0,9554

**Porc.Moderado - Medias ajustadas y errores estándares para TRAT**

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Estimaciones para la siguiente combinación de valores de las covariables

Covariable	Valor
ALT.MADRE	Media

TRAT	Medias	E.E.
2	0,36	0,15 A
3	0,35	0,16 A
1	0,32	0,16 A
4	0,24	0,16 A

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

Anexo 32. Análisis de varianza para incidencia de mancha de madurez severo en racimos de plantas seleccionadas para aplicaciones al Follaje.

**Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)**

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	7,85	0,0061
TRAT	3	0,28	0,8418

**Porc.Severo - Medias ajustadas y errores estándares para TRAT**

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Estimaciones para la siguiente combinación de valores de las covariables

Covariable	Valor
ALT.MADRE	Media

TRAT	Medias	E.E.
1	0,11	0,05 A
2	0,08	0,04 A
3	0,08	0,05 A
4	0,06	0,05 A

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

Anexo 34. Análisis de varianza para incidencia de mancha de madurez presente en racimos de plantas seleccionadas para aplicaciones al racimo.

**Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)**

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	1,69	0,1962
TRAT	3	0,15	0,9314

**TotalMancha Madurez - Medias ajustadas y errores estándares para TRAT**

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Estimaciones para la siguiente combinación de valores de las covariables

Covariable	Valor
ALT.MADRE	Media

TRAT	Medias	E.E.	
2	1,07	0,28	A
3	0,91	0,29	A
1	0,84	0,29	A
4	0,84	0,30	A

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

Anexo 35. Análisis de varianza para vida verde de gajos de terceras manos de racimos de plantas seleccionadas para aplicaciones al racimo.

**Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)**

	numDF	F-value	p-value
TRAT	3	0,002	0,7068

**Vida Verde - Medias ajustadas y errores estándares para TRAT**

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Estimaciones para la siguiente combinación de valores de las covariables

Covariable	Valor
ALT.MADRE	Media

TRAT	Medias	E.E.	
2	48,09	8,13	A
3	61,07	6,78	A
1	48,36	8,10	A
4	51,41	6,79	A

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

**Anexo 36. Análisis de varianza para vida verde de gajos de terceras manos de racimos de plantas seleccionadas para aplicaciones al racimo.**

**Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)**

	numDF	F-value	p-value
TRAT	3	0,001E	0,4536

**Vida Verde - Medias ajustadas y errores estándares para TRAT**

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Estimaciones para la siguiente combinación de valores de las covariables

Covariable Valor  
ALT.MADRE Media

TRAT	Medias	E.E.	
2	49,04	6,68	A
3	46,34	7,29	A
1	50,36	6,19	A
4	45,18	7,64	A

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

**Anexo 37. Análisis de varianza para rajaduras de cáscara de gajos de terceras manos de racimos de plantas seleccionadas para aplicaciones al racimo.**

**Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)**

	numDF	F-value	p-value
TRAT	3	0,01	0,0,1791

**Rajadura de cáscara - Medias ajustadas y errores estándares para TRAT**

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Estimaciones para la siguiente combinación de valores de las covariables

Covariable Valor  
ALT.MADRE Media

TRAT	Medias	E.E.	
2	0,20	0,40	A
3	0,11	0,22	A
1	0,34	0,30	A
4	0,0025	0,01	B

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

Anexo 38. Análisis de varianza para rajaduras de cáscara de gajos de terceras manos de racimos de plantas seleccionadas para aplicaciones al racimo.

**Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)**

	numDF	F-value	p-value
TRAT	3	0,09	0,2759

**Rajadura de cáscara- Medias ajustadas y errores estándares para TRAT**

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Estimaciones para la siguiente combinación de valores de las covariables

Covariable Valor  
ALT.MADRE Media

TRAT	Medias	E.E.	
2	1,23	0,31	A
3	1,52	0,76	A
1	0,63	0,31	B
4	2,88	1,62	A

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

Anexo 39. Cantidad de producto total requerido para aplicaciones foliares y a racimos

	Tratamiento	g VBC/L	Litros	Aplicaciones	PC Total Requerido (L)
<b>Dosel</b>	2	0,375	3	5	5,625
	3	0,75	3	5	11,25
	4	1,5	3	5	22,5
<b>Racimo</b>	2	1,25	3	2	7,5
	3	2,5	3	2	15
	4	5	3	2	30
<b>Total</b>					<b>91,875</b>