

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

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DEL BIOESTIMULANTE  
NUTRISORB® G SOBRE LA RESPUESTA AGRONÓMICA DEL  
CULTIVO DE BANANO (*Musa* AAA subgrupo Cavendish cv. Gran  
Enano), EN PARRITA, PUNTARENAS**

Trabajo Final de Graduación presentado como requisito parcial para optar al grado  
Licenciatura en Ingeniería en Agronomía

**CARLOS URIEL RODRÍGUEZ GÓMEZ**



Carrera de Ingeniería en Agronomía  
Campus Tecnológico Local  
San Carlos  
2019-2023

**PARRITA, PUNTARENA, 2020**

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DEL BIOESTIMULANTE  
NUTRISORB® G SOBRE LA RESPUESTA AGRONÓMICA DEL  
CULTIVO DE BANANO (*Musa* AAA subgrupo Cavendish cv. Gran  
Enano) EN PARRITA, PUNTARENAS**

**CARLOS URIEL RODRÍGUEZ GÓMEZ**

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

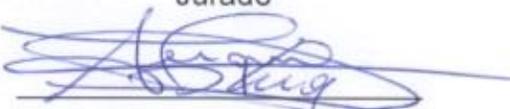
Ing. Agr. Arnoldo Gadea Rivas, M. Sc.

  
Asesor Principal

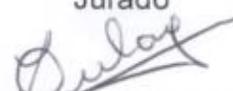
Ing. Agr. Edgardo Serrano Elizondo, M. Sc.

  
Jurado

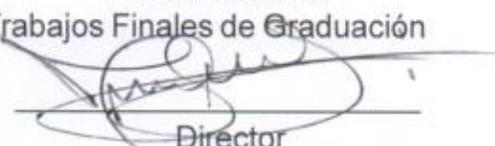
Ing. Agr. Sergio Torres Portuguez, M. Sc.

  
Jurado

Ing. Agr. Zulay Castro Jiménez, MGA.

  
Coordinadora  
Trabajos Finales de Graduación

Ing. Agr. Milton Villarreal Castro, Ph. D.

  
Director  
Escuela de Agronomía

## **DEDICATORIA**

Este proyecto lo dedico a Dios, por darme la oportunidad de vivir y la fortaleza para trabajar por conseguir mis objetivos de vida. Además, a mis padres Agustín Rodríguez Solís y Ester Gómez Bastos, quienes han sido el mayor ejemplo de fortaleza, lucha y dedicación, para mi vida personal y profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

Le agradezco a Dios, por darme la sabiduría y la oportunidad de aprender de todas las personas que han estado a mi alrededor durante esta etapa universitaria.

Agradezco a mis padres, por darme la oportunidad de estudiar en esta institución y por ser una gran motivación para que todo esfuerzo valga la pena. A mi hermano Erick, un gran ejemplo de esfuerzo y trabajo. A mi novia Heilyn, por su gran apoyo durante el desarrollo de mi carrera profesional.

Un especial agradecimiento a mis compañeros de universidad, quienes han sido un excelente equipo de apoyo y motivación durante este proceso de aprendizaje.

Gracias al personal de la Escuela de Agronomía del Tecnológico de Costa Rica, por la oportunidad de recibir educación de calidad, con gran profesionalismo y dedicación por parte de sus profesores, brindando las herramientas necesarias para afrontar los desafíos de la vida profesional.

Agradezco a mi profesor asesor Ing. Agr. Arnoldo Gadea Rivas, por su confianza y apoyo incansable en el desarrollo de este proyecto. Además de ser un ejemplo de dedicación y profesionalismo.

Gracias al señor Rommel Castillo Moody por todo el apoyo, la experiencia y el conocimiento brindado. Igualmente agradecer al Ing. Agr. Víctor Meneses Monestel y todos los demás colaboradores de Finca San Gerardo, por el apoyo y las observaciones realizadas.

Agradecer a Juan José Arata Rodríguez y a la empresa Innovak Global, por facilitar información e insumos requeridos para ejecución del presente ensayo.

Gracias al Ing. Agr. Edgardo Serrano Elizondo, por sus excelentes aportes en el conocimiento del cultivo, sugerencias y consejos ofrecidos.

## TABLA DE CONTENIDO

Dedicatoria .....	i
Agradecimiento .....	ii
Tabla de contenido .....	iii
Lista de cuadros .....	vi
Lista de figuras .....	vii
Resumen .....	x
Abstract.....	xi
1. Introducción .....	12
1.1. Objetivo general .....	13
1.2. Objetivos específicos .....	13
1.3. Hipótesis de investigación .....	13
2. Revisión de literatura .....	14
2.1. Fenología del cultivo .....	14
2.2. Crecimiento del cultivo de banano .....	15
2.3. Factores afectan el rendimiento del cultivo de banano .....	16
2.3.1. Condiciones ambientales.....	16
2.3.2. Condición de suelo.....	17
2.3.3. Desarrollo de raíces .....	18
2.3.4. Rendimiento del cultivo de banano .....	19
2.4. Condición nutricional.....	20
2.5. Disponibilidad de calcio en el suelo y condiciones para la absorción .....	23
2.6. Mancha de madurez: desorden fisiológico asociado con la deficiencia de calcio .....	24
2.7. Aplicación de ácidos carboxílicos en los cultivos .....	25
2.8. Ácidos polihidroxicarboxílicos (PHCA).....	26
3. MATERIALES Y MÉTODOS .....	28
3.1. Ubicación .....	28
3.2. Periodo de estudio .....	29
3.3. Área y unidad experimental .....	29
3.4. Material experimental.....	30
3.5. Descripción de los tratamientos .....	30
3.5.1. Método de aplicación .....	31
3.6. Variables de respuesta .....	33

3.6.1.	Crecimiento.....	33
3.6.1.1.	Crecimiento semanal absoluto en altura.....	33
3.6.1.2.	Crecimiento semanal absoluto en circunferencia del pseudotallo.....	34
3.6.1.3.	Número de hojas emitidas .....	34
3.6.1.4.	Tasa de crecimiento semanal en altura .....	35
3.6.1.5.	Tasa de crecimiento semanal en circunferencia del pseudotallo.....	35
3.6.1.6.	Tasa de emisión de hojas semanal.....	35
3.6.2.	Contenido de nutrientes .....	35
3.6.2.1.	Análisis foliar.....	35
3.6.2.2.	Análisis de nutrientes en la cáscara del fruto .....	36
3.6.3.	Mancha de madurez .....	37
3.6.3.1.	Porcentaje de incidencia de mancha de madurez .....	37
3.6.3.2.	Porcentaje de afectación por mancha de madurez.....	37
3.6.4.	Variables de rendimiento .....	38
3.6.4.1.	Peso bruto del racimo sin raquis .....	38
3.6.4.2.	Peso bruto del racimo en campo.....	39
3.6.4.3.	Índice de retorno.....	39
3.6.4.4.	Rendimiento (cajas/ha/año).....	40
3.6.5.	Análisis económico de los tratamientos utilizados .....	41
3.6.6.	Metodología de toma de datos .....	41
3.7.	Diseño experimental .....	42
3.7.7.	Croquis y especificación del diseño de tratamientos .....	42
3.7.8.	Modelo estadístico .....	43
3.8.	Análisis de resultados .....	43
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	44
4.1.	Efecto de la incorporación de Nutrisorb® G sobre el crecimiento absoluto de plantas de banano ( <i>Musa AAA</i> ). .....	44
4.1.1.	Crecimiento absoluto en altura.....	44
4.1.2.	Crecimiento absoluto en circunferencia del pseudotallo .....	44
4.1.3.	Número de hojas emitidas .....	45
4.2.	Efecto de la incorporación de Nutrisorb® G sobre la tasa de crecimiento semanal.....	46
4.2.1.	Tasa de crecimiento semanal en altura .....	46
4.2.2.	Tasa de crecimiento semanal en circunferencia del pseudotallo.....	48
4.2.3.	Tasa de emisión de hojas semanal.....	49

4.3.	Efecto de la incorporación de Nutrisorb® G sobre el estado nutricional del tejido foliar y el fruto de banano.....	50
4.3.1.	Análisis de nutrientes foliar .....	50
4.3.2.	Análisis de nutrientes en la cáscara del fruto .....	51
4.4.	Efecto de la incorporación de Nutrisorb® G sobre mancha de madurez ...	52
4.4.3.	Porcentaje de incidencia de mancha de madurez .....	52
4.4.4.	Porcentaje de afectación de mancha de madurez.....	53
4.5.	Efecto de la incorporación de Nutrisorb® G sobre el rendimiento del cultivo .....	54
4.5.5.	Peso bruto del racimo sin raquis .....	54
4.5.1.	Peso bruto del racimo en campo.....	55
4.5.2.	Índice de retorno.....	57
4.5.3.	Rendimiento (cajas/ha/año).....	59
4.6.	Análisis económico de la aplicación de Nutrisorb® G .....	61
5.	CONCLUSIONES .....	64
6.	RECOMENDACIONES.....	65
7.	BIBLIOGRAFÍA .....	66
8.	ANEXOS .....	72

## LISTA DE CUADROS

Cuadro	Título	Página
1	Niveles críticos de nutrientes esenciales en tejido foliar del cultivo de banano, analizados en la hoja tres al momento de la floración.....	21
2	Rangos óptimos de nutrientes esenciales en tejido foliar del cultivo de banano, analizados en la hoja tres al momento de la floración.....	21
3	Contenido de calcio y boro en tres secciones de la cáscara del fruto de banano, con presencia y sin presencia de síntomas por deficiencias de calcio.....	22
4	Contenido de macronutrientes en cáscara del fruto de banano al momento de cosecha durante el periodo de incidencia de mancha de madurez.....	23
5	Descripción de los tratamientos de acuerdo con la frecuencia de aplicación del bioestimulante Nutrisorb® G.....	31
6	Variables de evaluación, unidades de medida y momentos de evaluación. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. 2018-2019.....	41
7	Distribución de los tratamientos en cada parcela, según su ubicación en el área del ensayo. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. 2018-2019.....	42
8	Concentración de nutrientes en tejido foliar de plantas de banano ( <i>Musa</i> AAA subgrupo Cavendish cv. Gran Enano) por tratamiento. Muestreo realizado en la hoja tres de plantas en etapa de floración. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. Semana 28, 2019.....	51
9	Concentración de nutrientes en cáscara del fruto de banano ( <i>Musa</i> AAA subgrupo Cavendish cv. Gran Enano) en cada tratamiento, al momento de la cosecha. Muestreo realizado en racimos de ocho manos, con once semanas de desarrollo posterior al embolse. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. Semana 28, 2019.....	51
10	Análisis económico de la utilidad neta por tratamiento, en cada momento de evaluación del rendimiento estimado. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. Semanas 30, 35 y 40, 2019.....	62

## LISTA DE FIGURAS

Figura	Título	Página
1	Figura 1. Relación <b>entre el peso fresco</b> de raíz funcional y rendimiento (cajas/ha/año) en la zona de Pococí, entre los años 1987 y 2001. Fuente: Serrano (2003).....	19
2	Microscopía electrónica de barrido del fruto de banano. (A) barrido de fruto sano sin mostrar la sintomatología característica de mancha de madurez, con presencia de microfisuras. (B) barrido de sección con síntomas visibles de mancha de madurez. (C) vista panorámica del tejido dañado en síntoma de mancha de madurez. Fuente: Serrano <i>et al.</i> 2007...	25
3	Ubicación geográfica Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas..	28
4	Precipitación semanal, temperatura máxima y temperatura mínima durante el periodo de ejecución del ensayo. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas, 2018-2019. Fuente: Frutas Selectas del Trópico S.A.....	29
5	Distribución de las unidades experimentales dentro del área del ensayo. Cable 36, Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. 2018-2019. Fuente: Google Maps.....	30
6	Descripción visual del proceso de mezclado del bioestimulante Nutrisorb® G, con el fertilizante utilizado en el área del ensayo. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. 2018-2019.....	31
7	Distribución de los tratamientos en mezcla con el fertilizante granular, en el área de aplicación. (A) semicírculo a 30cm alrededor del hijo de sucesión. (B) distribución de Nutrisorb® G (partículas negras) en la superficie aplicada con el fertilizante. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas, 2018-2019.....	32
8	Distribución espacial de las unidades de observación (puntos de color rojo) dentro de cada unidad experimental. Cable 36, Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas, 2018-2019. Fuente: Google Maps.....	33
9	Medición de las variables de crecimiento en altura y circunferencia del pseudotallo del hijo de sucesión. (A) medición de altura desde la superficie del suelo y hasta el vértice formado entre las últimas dos hojas emitidas. (B) circunferencia del pseudotallo medida a un metro de altura con cinta métrica de nylon. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas, 2018-2019.....	34

10	Obtención y procesamiento de muestras para la evaluación de la concentración de nutrientes en cáscara. (A) Cosecha del racimo seleccionado por unidad experimental. (B) Extracción de la muestra (mano sub-basal) de cada racimo seleccionado. (C) Identificación individual de las muestras. (D) Empaque de muestras para evitar daños ocasionados por el transporte. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. Semana 28, 2019.....	37
11	Evaluación del porcentaje de incidencia y porcentaje de afectación por mancha de madurez. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. Semanas 35 y 40, 2019.....	38
12	Evaluación del peso bruto del racimo en campo con romana electrónica (CRANE SCALE-UWE CCS), al momento de cosecha de cada unidad experimental. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. Semanas 30, 35, 40. 2019.....	39
13	Distribución de las repeticiones dentro de cada bloque ubicado en el área del ensayo. Cable 36 de Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. 2018-2019. Fuente: Google Maps.....	42
14	Comportamiento del crecimiento absoluto en altura de hijos de sucesión ( $\bar{X} \pm EE$ ) durante el periodo de evaluación de crecimiento. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. 2018-2019.....	44
15	Comportamiento del crecimiento absoluto en circunferencia de hijos de sucesión ( $\bar{X} \pm EE$ ) durante el periodo de evaluación de crecimiento. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. 2018-2019.....	45
16	Comportamiento del número de hojas de los hijos de sucesión emitidas a partir de la hoja F10 ( $\bar{X} \pm EE$ ) durante el periodo de evaluación de crecimiento. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. 2018-2019.....	46
17	Comportamiento de la tasa de crecimiento semanal en altura de hijos de sucesión ( $\bar{X} \pm EE$ ) durante el periodo de evaluación de crecimiento. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. 2018-2019.....	47
18	Comportamiento de la tasa de crecimiento semanal en circunferencia del pseudotallo de hijos de sucesión ( $\bar{X} \pm EE$ ), durante el periodo de evaluación de crecimiento. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. 2018-2019.....	48

19	Comportamiento de la tasa de emisión de hojas semanal de hijos de sucesión ( $\bar{X} \pm EE$ ), durante el periodo de evaluación de crecimiento. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. 2018-2019.....	49
20	Agua disponible para el cultivo, precipitación y lámina de riego aplicada por semana en el área del ensayo. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. 2018-2019. Fuente: Frutas Selectas del Trópico S.A.....	50
21	Porcentaje de incidencia de mancha de madurez ( $\bar{X} \pm EE$ ) por tratamiento, en dos momentos de evaluación. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. Semanas 35 y 40, 2019.....	53
22	Porcentaje de afectación de mancha de madurez ( $\bar{X} \pm EE$ ) por tratamiento, en dos momentos de evaluación. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. Promedios representados con letras diferentes son significativamente diferentes con la prueba DGC ( $\alpha=0,05$ ). Semanas 35 y 40, 2019.....	54
23	Distribución del peso bruto de racimos de once semanas de edad, sin el raquis. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. Muestra realizado entre semana 8 y semana 18, 2019.....	55
24	Comportamiento del peso bruto del racimo en campo ( $\bar{X} \pm EE$ ), en cada momento de evaluación. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. Semanas 30, 35, 40, año 2019.....	56
25	Distribución porcentual de la edad (en semanas) de la fruta cosechada en los tres momentos de evaluación de las variables de rendimiento y calidad. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. Semanas 30, 35 y 40, 2019.....	57
26	Índice de retorno estimado ( $\bar{X} \pm EE$ ) a partir de intervalo en semanas entre embolse de planta madre y embolse del hijo de sucesión. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. 2018-2019.	58
27	Comportamiento del rendimiento estimado ( $\bar{X} \pm EE$ ), a partir del peso bruto del racimo en campo en cada momento de evaluación y el índice de retorno de cada unidad experimental. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. 2019.....	60

## RESUMEN

El presente ensayo se realizó con la finalidad de analizar la respuesta agronómica del cultivo de banano (*Musa* AAA subgrupo Cavendish cv. Gran Enano), ante la incorporación del bioestimulante Nutrisorb® G en el programa de fertilización del cultivo de banano. El estudio fue desarrollado en Finca San Gerardo, ubicada en Parrita de Puntarenas, a partir de noviembre del año 2018 (inicio de la estación de verano) y finalizando en octubre del año 2019 (finalizando la estación de invierno). Los tratamientos correspondieron a la variación en la frecuencia de aplicación del bioestimulante Nutrisorb® G, en una misma dosis de 8 Kg/ha. El testigo de finca (T1), representó el programa nutricional utilizado en la finca sin la adición de ningún otro componente. Los tratamientos T2, T3 y T4, correspondían a la aplicación de bioestimulante en frecuencias de aplicación definidas cada nueve, doce y quince semanas, respectivamente. Se evaluó el crecimiento absoluto y la tasa de crecimiento (altura, circunferencia del pseudotallo y emisión de hojas) de los hijos de sucesión, el contenido de nutrientes foliar y de la cáscara del fruto, el porcentaje de incidencia y porcentaje de afectación por mancha de madurez, el peso del racimo, el índice de retorno y el rendimiento estimado del cultivo. Los resultados indicaron un comportamiento semejante en el crecimiento del cultivo, tras la aplicación del bioestimulante. Además, se observó que la condición nutricional de la plantación al momento de la evaluación fue semejante en todos los tratamientos. El tratamiento de aplicación de Nutrisorb® G cada doce semanas, mostró una reducción no significativa ( $p=0,0601$ ) en el porcentaje de incidencia de mancha de madurez, correspondiente a un 18,96% en relación con el testigo de finca en semana 35. El porcentaje de afectación de mancha de madurez cuando se aplicó cada quince semanas fue estadísticamente superior al testigo de finca en semana 35 ( $p=0,0042$ ). El peso del racimo y el índice de retorno, mostraron un comportamiento semejante en todos los tratamientos. El rendimiento estimado al incorporar el bioestimulante cada doce semanas, indicó un incremento no significativo de 370 cajas/ha/año sobre el testigo ( $p=0,0513$ ) en semana 30.

## ABSTRACT

The present trial was carried out with the purpose of analyzing the agronomic response of the banana crop (*Musa* AAA subgroup Cavendish cv. Gran Enano), before the incorporation of the biostimulant Nutrisorb® G in the fertilization program of the banana crop. The study was developed at Finca San Gerardo, located in Parrita, Puntarenas, from November 2018 (beginning of the summer season) to October 2019 (ending the winter season). The treatments correspond to the variation in the frequency of application of the Nutrisorb® G biostimulant, in the same dose of eight kilograms per hectare. The farm control (T1) represents the nutritional program used on the farm without the addition of any other component. The T2, T3 and T4 treatments correspond to the application of biostimulant at defined application frequencies every nine, twelve and fifteen weeks, respectively. The absolute growth and growth rate (height, pseudostem circumference and leaf emission) of banana suckers, the content of foliar nutrients and fruit peel nutrients, the percentage of incidence and affectation due to maturity bronzing, the weight of the bunch, the rate of return and the estimated yield of the crop were evaluated. The results indicated a similar behavior in the growth of the banana crop, after the application of the biostimulant. In addition, it was observed that the nutritional condition of the plantation was similar in all treatments. Nutrisorb® G application treatment every twelve weeks, showed a non-significant reduction ( $p = 0.0601$ ) in the percentage of incidence of maturity bronzing, corresponding to 18.96% in relation to the farm control in week 35. The percentage of stain affectation of maturity bronzing when applied every fifteen weeks was statistically higher than that of the farm control at week 35 ( $p = 0.0042$ ). The bunch weight and the return index showed a similar behavior in all the treatments. The estimated yield when incorporating the biostimulant every twelve weeks, indicated a non-significant increase of 370 boxes per hectare per year over the control ( $p = 0.0513$ ) in week 30.

## 1. INTRODUCCIÓN

El banano corresponde al segundo cultivo frutal de mayor importancia productiva del mundo, con una producción bruta de 139 millones de toneladas en el año 2010 (Padam *et al.* 2014). Los principales países productores de banano en el mundo son: India, China, Indonesia, Brasil, Ecuador, Filipinas y Guatemala en el año 2018 (30,80; 11,57; 7,26; 6,75; 6,50; 6,14 y 4,02 millones de toneladas). Costa Rica se ubica en la onceava posición (2,52 millones de toneladas) en producción a nivel mundial (FAO 2020).

Costa Rica representa un papel importante en el abastecimiento de banano a nivel mundial, ocupando el tercer lugar de los países con mayor volumen de exportación (2,2 millones de toneladas anuales) durante los últimos años, superado por Ecuador (6,5 millones de toneladas) y Guatemala (2,3 millones de toneladas) (Evans y Ballen 2018, FAO 2018, Altendorf 2019).

La producción de banano en Costa Rica constituye un pilar fundamental en la economía del país, debido a que representa la segunda actividad de mayor importancia económica del sector agropecuario, por debajo del cultivo de piña. En el año 2019, el ingreso bruto provenientes del cultivo de banano representó un 18% las exportaciones agrícolas, lo correspondiente a un 1,73% del Producto Interno Bruto (PIB) del país (Mora *et al.* 2020).

Partiendo del conocimiento de la gran cantidad de factores (clima, suelo, químicos, bióticos, políticos, etc.), que pueden influir sobre el rendimiento del cultivo de banano (Serrano 2003; Gauggel *et al.* 2005 y Delgado *et al.* 2010), el sector bananero de nuestro país, presenta el reto de mejorar su productividad mediante la implementación de estrategias relacionadas con el desarrollo de alternativas que permitan incrementar la eficiencia del uso de insumos y la reducción los costos de producción (CORBANA 2019).

El uso de bioestimulantes podría incrementar el potencial del cultivo y su productividad, puesto que son sustancias que actúan sobre las plantas, desencadenando diferentes procesos naturales que pueden favorecer la tolerancia a estrés abiótico, una mayor absorción y eficiencia del uso de los nutrientes, así

como, mejorar en el crecimiento, la calidad y el rendimiento de los cultivos (Paradiković et al. 2011; Brown y Saa 2015; Saa *et al.* 2015).

Mediante esta investigación, se pretendió evaluar el efecto del bioestimulante radicular Nutrisorb® G, sobre variables de crecimiento, nutrición, calidad y rendimiento del cultivo de banano. Así mismo, identificar un intervalo de aplicación ideal de este bioestimulante en este cultivo.

### **1.1. Objetivo general**

Analizar la respuesta agronómica del cultivo de banano (*Musa* AAA subgrupo Cavendish cv. Gran Enano) a la aplicación del bioestimulante Nutrisorb® G en la Región Pacífico Central de Costa Rica.

### **1.2. Objetivos específicos**

Evaluar el efecto de la incorporación de Nutrisorb® G en la mezcla de fertilizante aplicado al suelo, sobre el crecimiento de las plantas de banano

Evaluar el efecto de la incorporación de Nutrisorb® G en la mezcla de fertilizante aplicado al suelo, sobre el estado nutricional del tejido foliar y el fruto de banano

Evaluar el efecto de la incorporación de Nutrisorb® G en la mezcla de fertilizante aplicado al suelo, sobre variables de calidad y rendimiento del fruto de banano

Definir la frecuencia de aplicación de Nutrisorb® G en la mezcla de fertilizante aplicado al suelo, en un sistema productivo de banano

### **1.3. Hipótesis de investigación**

La aplicación de un bioestimulante Nutrisorb® G favorece el crecimiento, la condición nutricional, la calidad y el rendimiento del fruto de banano, mediante una mayor captura y eficiencia en el uso de los nutrientes.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Fenología del cultivo

La fenología del cultivo de banano se divide en tres principales etapas fenológicas. La primera es conocida como la etapa de desarrollo infantil, comprende desde la germinación del cormo hasta el momento en el que aparece la primera hoja con lamina foliar superior a 10 cm de ancho (F10). En ese momento, la altura de los hijos de sucesión es de 1,35 cm y han emitido alrededor de doce hojas. Esta etapa tiene una duración cercana a los tres meses.

La segunda es conocida como la etapa juvenil, inicia con la aparición de la hoja F10, posterior a esto, se emiten entre doce hojas y catorce hojas hasta el momento de la inducción floral (el meristemo apical sufre un conjunto de cambios metabólicos y morfológicos, transformando las yemas vegetativas en yemas florales). Durante este periodo, la planta aumenta su capacidad fotosintética debido a un incremento en el tamaño de sus hojas, manteniendo una relación estable entre el largo y ancho de las mismas. Esta etapa fenológica tiene una duración aproximada de trece semanas a catorce semanas.

La tercera etapa corresponde al periodo reproductivo, iniciando con la diferenciación floral, hasta el momento de la cosecha del racimo. En esta etapa, emergen doce hojas previamente diferenciadas, seguido por el momento de la emergencia de la inflorescencia, continuando con el crecimiento del racimo hasta la cosecha (Sánchez y Mira 2013; Vargas *et al.* 2017). Durante este periodo, el racimo inicia la fase de acumulación de almidones o llenado del fruto a partir de la sexta semana de desarrollo, expresando un incremento exponencial en el peso hasta el momento de la maduración, con una ganancia aproximada de 2,02 gramos/día/dedo. Además, existe una correlación positiva ( $r = 99,47\%$ ) entre los días de desarrollo y el diámetro (grado) del fruto, así mismo, entre el grado y el peso del racimo, equivalente a 1,71 Kg por cada grado de cosecha (Soto 2016). Lo anterior indica la necesidad de aprovechar el potencial de ganancia de peso del racimo durante las últimas semanas de desarrollo.

## **2.2. Crecimiento del cultivo de banano**

La planta de banano presenta un crecimiento exponencial en relación con la acumulación de materia seca durante la fase de desarrollo vegetativo, hasta el momento de diferenciación floral. Al inicio de la fase reproductiva, la curva de crecimiento de la planta es lineal durante un periodo de tiempo corto, y comienza a reducir el ritmo de acumulación de materia seca mientras la planta sigue emitiendo hojas y se desarrolla el tallo floral hasta el momento de la floración. Durante el periodo de desarrollo del fruto y senescencia la planta, se reduce el ritmo de acumulación de materia seca, mientras moviliza nutrientes y foto asimilados hacia el racimo (Martínez y Cayón 2011).

Sánchez y Mira (2013) indican que el ritmo de crecimiento en la altura de las plantas de banano bajo condiciones normales oscila entre 7,3 cm y 7,8 cm por semana. Vargas y colaboradores (2018) indican que las plantas de banano muestran un incremento semanal en altura de 7,58 cm por semana durante etapas tempranas de crecimiento, sin embargo, el promedio general durante el ciclo de desarrollo del cultivo de 5,6 cm por semana.

El ritmo de crecimiento del pseudotallo en la planta de banano bajo condiciones ambientales adecuadas, oscila entre 2,2 cm y 2,4 cm semanales (Sánchez y Mira 2013). De acuerdo con los resultados obtenidos por Vargas y colaboradores (2018), el promedio general en el incremento semanal en circunferencia del pseudotallo durante el ciclo de desarrollo del cultivo es de 1,96 cm por semana. Cerca de cinco semanas después de iniciada la fase de diferenciación floral, la planta muestra un mayor incremento en la circunferencia del pseudotallo, lo que a su vez coincide con el desarrollo del tallo floral dentro del pseudotallo (Martínez y Cayón 2011).

La tasa de emisión de hojas semanal es una variable sensible a cambios en las condiciones climáticas imperantes durante el desarrollo del cultivo de banano, viéndose principalmente afectado por las variaciones estacionales en la precipitación. Según Sánchez y Mira (2013), la tasa de emisión foliar promedio anual en los principales cultivares utilizados en la producción de banano es de 0,8 hojas por semana. Sin embargo, bajo condiciones de estrés hídrico, esta se reduce a un ritmo entre 0,6 hojas a 0,4 hojas semanales (Martínez y Cayón 2011), debido

a que los tejidos en expansión son los primeros en ser afectados bajo esta condición (Turner et al. 2007).

## **2.3. Factores afectan el rendimiento del cultivo de banano**

### **2.3.1. Condiciones ambientales**

El rendimiento del cultivo de banano puede verse afectado por factores ambientales tales como; la temperatura, humedad relativa, precipitación y ráfagas de viento. De acuerdo con Galán y Robinson (2013) la temperatura representa el principal factor moderador del ritmo de crecimiento y desarrollo del cultivo de banano, debido a que influye sobre todos los procesos fisiológicos de la planta, afectando la duración del ciclo, el proceso de diferenciación floral, la tasa de emisión de hojas y raíces, así como, el desarrollo y el peso del racimo. La temperatura óptima para iniciar la floración es de 22 °C, idealmente por encima de 16 °C para asegurar su desarrollo adecuado, debido a que al descender a los 14 °C se detiene el crecimiento y la acumulación de materia seca (Sánchez y Mira 2013; Elbehri *et al.* 2015; Vargas *et al.* 2017). En condiciones de clima frío, se incrementa la duración del ciclo, se observa la deformación de los racimos, decoloración de la epidermis interna del fruto (20 °C), se detiene el crecimiento (14 °C) e incluso puede ocasionar la destrucción de la clorofila (6 °C) (Galán y Robinson 2013).

Las musáceas son plantas herbáceas de origen tropical, altamente demandante de agua para su desarrollo normal (Padam *et al.* 2014). La precipitación y específicamente la disponibilidad de agua, representa el segundo factor de mayor importancia para asegurar el desarrollo adecuado del cultivo, debido a que en presencia de estrés hídrico la planta responde reduciendo o paralizando la emisión foliar y la emergencia del racimo (Galán y Robinson 2013).

Varma y Bebbber (2019) realizaron un modelo de estimación de rendimiento global obteniendo que la temperatura media anual óptima para el desarrollo del cultivo es de 26,7 °C, y una precipitación anual óptima de 1673 mm. Sin embargo, los valores óptimos para cada región varían tanto en temperatura (20,1 °C en Brasil y 30,4 °C en África) como en la precipitación anual (327 mm en La India y 2924 mm en China).

La planta de banano es susceptible al estrés hídrico en cualquier de etapa fenológica, debido a que presenta un sistema radicular superficial donde cerca del 85% del peso de las raíces se encuentran en los primeros 30 cm de profundidad (Gauggel *et al.* 2005; Vargas *et al.* 2017), además posee un sistema foliar amplio y tasa de transpiración alta (Martínez 2013). Estas características, incrementan el nivel de susceptibilidad de la planta ante condiciones de estrés hídrico, ocasionando la reducción en la tasa de emisión foliar, la aparición de hojas cloróticas y en casos severos, muerte del sistema radicular (Vargas *et al.* 2017). Se requiere de un suministro abundante y constante de agua, evidenciando la necesidad de riego en condiciones de baja precipitación (menos de 100mm mensuales bien distribuidos), manteniendo un rango tensión del suelo inferiores a de 20 KPa a 20 cm de profundidad. Por otra parte, en condiciones de abundante precipitación es necesario el drenaje para garantizar la presencia de oxígeno en la rizosfera bajo condiciones cercanas a saturación (tensión igual a 3 KPa), evitando la muerte del ápice radicular, la reducción del transporte de nutrientes y en consecuencia el amarillamiento de las hojas (Galán y Robinson 2013).

En presencia de déficit hídrico durante periodos prolongados, la planta de banano puede mostrar una reducción en la productividad entre 6,88% y 26,18% (Mahouachi 2007; Martínez 2013; Ferreira *et al.* 2019). La etapa de crecimiento más susceptible comprende entre tres meses después de la siembra y el 50% de la floración. Este periodo incluye la diferenciación floral, fase donde se define el número de manos y número de dedos del racimo (Martínez 2013).

### **2.3.2. Condición de suelo**

Algunos factores como la reducción en el pH del suelo, incrementos en la acidez intercambiable, altos contenidos de arena (porosidad), alta tasa de infiltración en el suelo, el déficit hídrico, y desequilibrios de bases (Ca, Mg y K), podrían ocasionar una reducción en el vigor y del potencial productivo del cultivo (Serrano *et al.* 2006).

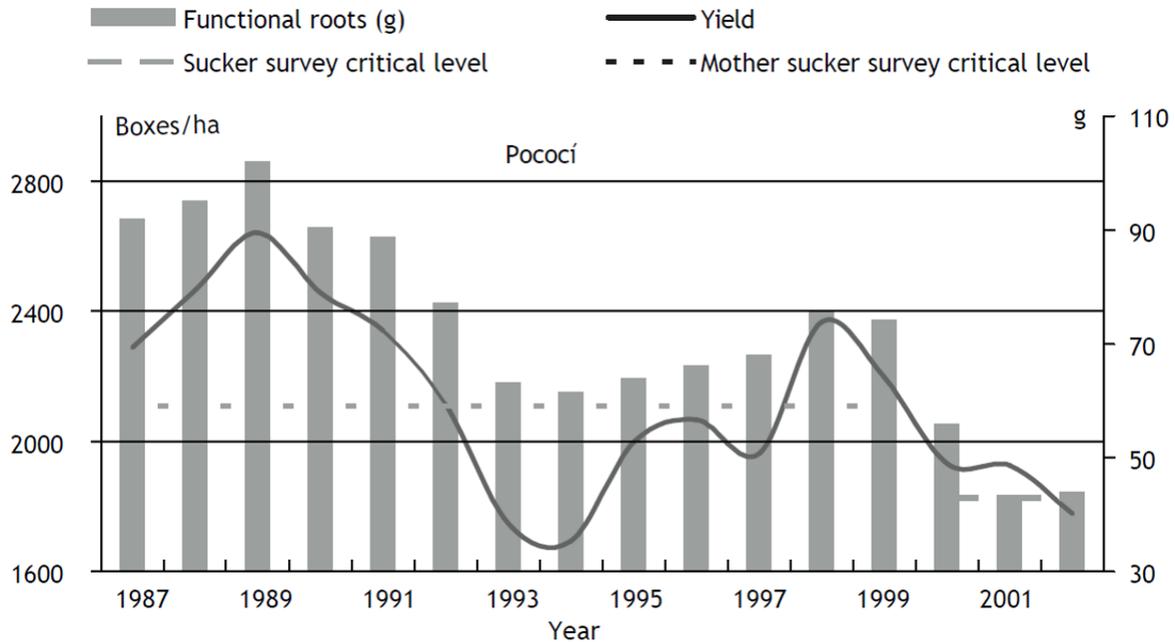
Bajo condiciones de alta precipitación y nubosidad, se originan modificaciones en las condiciones del suelo, debido a que se incrementa la lixiviación de nutrientes, reduciendo el pH, la capacidad de intercambio catiónico (CIC), incrementa la

velocidad de descomposición de la materia orgánica y la afectación por patógenos de tanto de suelo como a nivel foliar (Galán y Robinson 2013).

El vigor corresponde a la expresión del estado de crecimiento (altura, circunferencia del pseudotallo y número de hojas emitidas) de la planta, misma que puede variar de acuerdo con el tipo de suelo. Las plantas más vigorosas corresponden a aquellas con un mayor número de hojas y como consecuencia una mayor circunferencia del pseudotallo. Existe una alta correlación ( $r=0,90$ ) entre el vigor y producción del cultivo de banano, debido a que las plantas con mayor vigor poseen una mayor capacidad fotosintética y acumulación de reservas, expresado en mayor número de manos y peso del racimo (Serrano *et al.* 2006).

### **2.3.3. Desarrollo de raíces**

El sistema radicular del cultivo de banano presenta un crecimiento acelerado desde el inicio de la etapa vegetativa, hasta el momento de diferenciación floral. A partir de este momento, se reduce la tasa de producción de raíces y continúan creciendo las que se habían formado anteriormente (Martínez 2013; Sánchez y Mira 2013). De acuerdo con los resultados obtenidos por Serrano (2003) en diferentes zonas del Caribe de Costa Rica, existe una correlación positiva entre el peso fresco de la raíz funcional y el rendimiento en plantas de banano (Figura 1). La pérdida de 10 gramos de raíz funcional representa una reducción en el rendimiento que oscila entre 55 cajas/ha/año y 140 cajas/ha/año.



**Figura 1.** Relación entre el peso fresco de raíz funcional y rendimiento (cajas/ha/año) en la zona de Pococí, entre los años 1987 y 2001. Fuente: Serrano (2003).

### 2.3.4. Rendimiento del cultivo de banano

Estudios recientes en diferentes zonas del país, muestran promedios de peso del racimo cercanos a los valores obtenidos en el presente ensayo. Vargas y colaboradores (2018), indican pesos de 61,5 lb en una finca sembrada en 1991. Villalta y colaboradores (2018), muestran un peso promedio de 64,3 lb en los primeros cuatro ciclos del cultivo. Por otra parte, González y Sandoval (2018), en el primer y segundo ciclo del cultivo, mostrando un peso de 61,1 lb y 78,9 lb, respectivamente. Esta variable se encuentra estrechamente relacionada con la edad de desarrollo de la fruta y las condiciones ambientales predominantes durante su desarrollo (Soto 2018).

El índice de retorno corresponde al número de racimos por unidad de producción en un año, y refleja la sincronización entre las generaciones de una unidad productiva, así como, de la tasa de crecimiento durante la fase vegetativa independiente como consecuencia de las condiciones climáticas, el nivel de fertilidad del suelo, el manejo de la fertilización y de manejo del cultivo (deshija, altura de corte del pseudotallo, control de malezas, etc.). El índice de retorno

potencial en plantaciones establecidas bajo condiciones de manejo agronómico adecuadas, corresponde a 1,9 racimos/unidad productiva/año (Sánchez y Mira 2013). González y Sandoval (2018), indican un índice de retorno de 1,95 y 1,89 racimos por unidad de producción por año en la primera y segunda cosecha respectivamente, en el Pacífico seco de Costa Rica (Nandayure, Guanacaste). Los datos obtenidos por Villalta y colaboradores (2018) en una finca ubicada en la provincia de Limón, indican un índice de retorno de 2,09 y 1,91 racimos/unidad productiva/año, correspondiente a la tercera y cuarta cosecha del cultivo.

El rendimiento promedio del cultivo de banano en Costa Rica, durante el año 2018 fue de 2894 cajas/ha/año (CORBANA 2020). González y Sandoval (2018) analizaron el comportamiento productivo del cultivo de banano en el Pacífico seco de Costa Rica (Nandayure, Guanacaste), obteniendo rendimientos estimados de 3740 cajas/ha/año y 3237 cajas/ha/año, en la primera y segunda cosecha respectivamente. Además, estos autores mencionan que la zona del Pacífico Sur de Guatemala representa una de las regiones tropicales más productivas del mundo, con rendimientos entre 3500 cajas/ha/año a 4000 cajas/ha/año. Finca San Gerardo ubicada en Parrita de Puntarenas, presentó un rendimiento de 2701 cajas/ha/año (2017), 2983 cajas/ha/año (2018) y 3558 cajas/ha/año (2019) durante los últimos años<sup>1</sup>.

#### **2.4. Condición nutricional**

El cultivo de banano extrae gran cantidad de nutrientes, debido a sus altos volúmenes de producción. En regiones de altamente productivas, salen del área de cultivo alrededor de 70 toneladas/ha/año de fruta, equivalentes a 400 Kg/ha/año de Potasio (K), 125 Kg/ha/año de Nitrógeno (N) y 15 Kg/ha/año Fósforo (P) (López y Espinosa 1995).

La identificación del estado nutricional del cultivo se realiza por medio del monitoreo mediante el análisis de tejido foliar, en complemento a la observación de síntomas de posibles deficiencias en campo. Sin embargo, es necesaria la detectar las deficiencias antes de que manifieste síntomas en la plantación para evitar la

---

<sup>1</sup> Castillo, R. 20 jul. 2020. Datos de rendimiento en Finca San Gerardo, periodo 2017-2019 (comunicación personal). Parrita, Puntarenas, Costa Rica. Frutas Selectas del Trópico S.A.

reducción del potencial productivo. En este caso, los niveles críticos de nutrientes en tejido foliar permiten interpretar el estado nutricional y ajustar la estrategia de fertilización del cultivo (Cuadro 1) (López y Espinosa 1995).

**Cuadro 1.** Niveles críticos de nutrientes esenciales en tejido foliar del cultivo de banano, analizados en la hoja tres al momento de la floración.

(% base saca)						(ppm)				
N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
2,6	0,2	3,0	0,5	0,3	0,23	80,0	9,0	18,0	25,0	11,0

Fuente: López y Espinoza 1995.

Tomando en cuenta la evolución en el rendimiento de las fincas de Costa Rica, los niveles críticos de nutrientes y diferentes experiencias de manejo en finca, CORBANA ha desarrollado un conjunto de rangos óptimos de nutrientes, para asegurar un desarrollo adecuado del cultivo y el potencial productivo del cultivo de banano<sup>2</sup> (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Rangos óptimos de nutrientes esenciales en tejido foliar del cultivo de banano, analizados en la hoja tres al momento de la floración.

(% base saca)						(ppm)				
N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
2,6-2,7	0,16-0,20	3,0-4,0	0,6-0,7	0,25-0,30	0,15-0,20	60-100	3-6	14-20	10-1000	10-16

Fuente: Bolaños 2020.

Las deficiencias nutricionales, afectan las plantas de banano en cualquier momento fenológico del cultivo, provocando diferentes respuestas sobre el rendimiento y la calidad del fruto. La deficiencia de Boro puede ocasionar la deformación del racimo. La deficiencia de Potasio puede producir racimos cortos y manos con una curvatura excesiva (enconchado). La aparición de racimos con poca separación entre manos, dedos delgados, deformes y cortos, asociados con la deficiencia de Zinc. La deficiencia de Hierro puede ocasionar la floración anticipada

<sup>2</sup> Bolaños, D. 20 jul. 2020. Rangos óptimos de nutrientes en el cultivo de banano (comunicación personal). Guápiles, Costa Rica. Corporación Bananera Nacional.

y una reducción en el tamaño del racimo (López y Espinosa 1995). Así como, la reducción del crecimiento de la planta y deformación del racimo (“arrepollamiento”), la aparición de lesiones en la superficie de la cáscara, como la “mancha de madurez” en las zonas de mayor expansión del fruto y la rajadura del dedo asociados con la deficiencia de Calcio (Serrano *et al.* 2007).

El análisis químico del fruto podría explicar la manifestación de síntomas de deficiencia de nutrientes en este órgano. Sin embargo, no se conoce con certeza los niveles críticos o rangos de nutrientes ideales en el fruto de banano. Serrano y colaboradores (2007) analizaron evaluaciones de diferentes secciones de cáscara (epidermis superior, sub-epidermis y la combinación de ambos) en fincas con y sin presencia de síntomas visibles de deficiencias de calcio en fruto (cáscara rajada y mancha de madurez) (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Contenido de calcio y boro en tres secciones de la cáscara del fruto de banano, con presencia y sin presencia de síntomas por deficiencias de calcio.

Tejido	Sintomatología	Comparativo 1		Comparativo 2	
		Ca (%)	B (ppm)	Ca (%)	B (ppm)
<b>Epidermis superior</b>	Con síntomas	0,59	101	0,58	39
	Sin síntomas	0,66	90	0,59	35
<b>Sub-epidermis</b>	Con síntomas	0,10	81	0,16	24
	Sin síntomas	0,17	83	0,17	21
<b>Combinado</b>	Con síntomas	0,25	91	0,23	22
	Sin síntomas	0,24	87	0,22	22

Fuente: Serrano *et al.* 2007.

Por otra parte, Abarca (2017) realizó un análisis químico de nutrientes tomando una porción gruesa de la cáscara (incluye restos de pulpa), para conocer el estado nutricional al momento de la cosecha, durante el periodo de incidencia de mancha de madurez (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Contenido de macronutrientes en cáscara del fruto de banano al momento de cosecha durante el periodo de incidencia de mancha de madurez.

(% base saca)					
N	P	K	Ca	Mg	S
1,33	0,18	3,18	0,10	0,08	0,07

Fuente: Abarca 2017.

## 2.5. Disponibilidad de calcio en el suelo y condiciones para la absorción

El calcio presente en el suelo se deriva de la meteorización de rocas y minerales primarios (calcita, dolomita, anordita, etc.). Se encuentra menos disponible y en menor concentración en suelos de texturas gruesas de zonas húmedas propensas a lixiviación y con menor Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), y en mayor concentración en suelos arcillosos unidos al complejo coloidal, así como, en suelos áridos asociado con la baja precipitación (Kass 2007).

Las plantas absorben el calcio iónico ( $\text{Ca}^{+2}$ ) disuelto en la solución del suelo, a través de la corriente de transpiración de la planta (flujo de masas) y la intercepción radicular. La absorción de calcio por parte de la planta es limitada, debido a que este elemento se absorbe principalmente a través de los ápices de raíces en crecimiento, que presentan tejido endodérmico no severizado (Monge et al. 1994; White y Broadley 2003; Kass 2007). En el caso específico de las plantas de banano, el proceso de absorción de calcio podría reducir su eficiencia a partir de la fase de inducción floral, momento en el que disminuye la tasa de formación de raíces (Sánchez y Mira 2013).

Los principales factores que afectan la absorción de calcio desde el suelo se pueden mencionar: la humedad, el pH, la aireación, la temperatura, a concentración de  $\text{Ca}^{+2}$ , y la relación de cationes. Los factores internos que regulan la absorción de calcio en la planta son: la transpiración, las características de la pared celular, la respiración, la fotosíntesis y los antagonismos o sinergismos con otros elementos (Monge *et al.* 1994).

El calcio es un elemento de escasa movilidad dentro de la planta, y se moviliza principalmente a través de la corriente de transpiración, vía xilema (apoplasto). Además, presenta muy poca translocación vía floema, ocasionando muy

comúnmente problemas asociados a deficiencias de calcio en órganos de almacenamiento (Monge *et al.* 1994; White y Broadley 2003; Saure 2005; Díaz *et al.* 2007; Kass 2007).

Por otra parte, Saure (2005) y Abarca (2017) mencionan que la movilidad de iones calcio hacia el racimo durante su crecimiento a través de la corriente de transpiración (xilema), puede verse afectada debido a que el racimo presenta una tasa de transpiración inferior a la de los órganos foliares. Monge y colaboradores (1994) menciona que la demanda de calcio por parte de las células de la planta está estrechamente ligada a la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) de las paredes celulares y la cantidad de grupos carboxilo libres, como el ácido poligalacturónico.

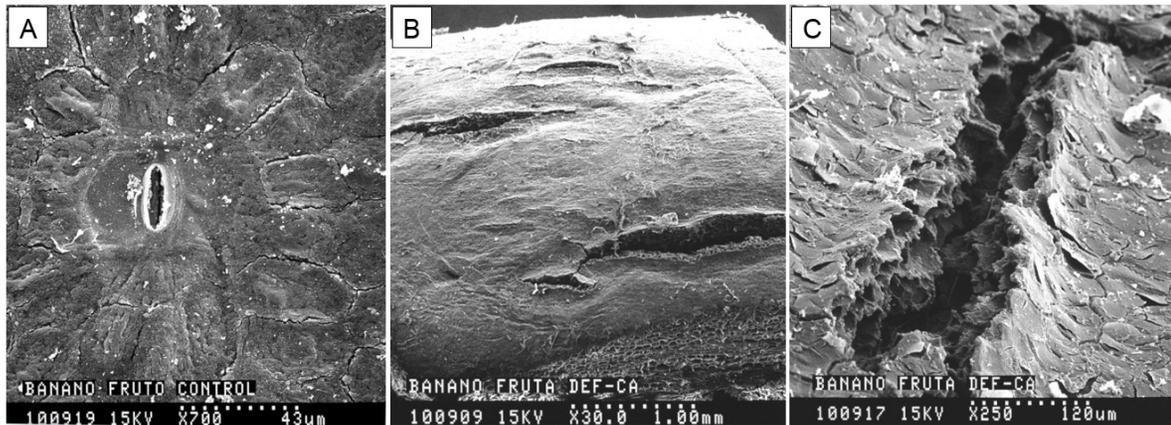
## **2.6. Mancha de madurez: desorden fisiológico asociado con la deficiencia de calcio**

El calcio es un elemento fundamental durante los procesos de división y elongación celular, cumple un papel fundamental en la formación de pectatos de calcio, es un componente esencial de la pared celular, lámina media y membrana plasmática, aportando resistencia y elasticidad a las células, y participa en la permeabilidad celular. La deficiencia de calcio podría impedir el desarrollo de los puntos de crecimiento de la planta (zonas meristemáticas), y con ello el desarrollo de brotes aéreos y ápices radiculares (Monge *et al.* 1994; Kass 2007).

La condición nutricional de la planta de banano durante la fase de diferenciación floral representa un punto crítico en relación con el adecuado desarrollo del fruto (Sánchez y Mira 2013). Posterior al proceso de diferenciación floral (en la región meristemática), inicia el proceso de expansión celular, el cual, requiere que las paredes celulares, láminas medias y membranas celulares, mantengan la elasticidad necesaria para mantener su estructura durante el crecimiento celular (Monge *et al.* 1994; Saure 2005; Díaz *et al.* 2007).

La mancha de madurez, corresponde a un desorden fisiológico ocasionado por el deficiente suministro de calcio desde la raíz, durante las fases de diferenciación floral y desarrollo del fruto (Díaz *et al.* 2007). Desorden que ocurre durante periodos de estrés hídrico, donde disminuye la capacidad de absorción de calcio de la solución del suelo, seguidos por un periodo de rápido crecimiento (White y Broadley

2003; Díaz *et al.* 2007, Kass 2007; Serrano *et al.* 2007) . La deficiencia de calcio está relacionada con un incremento en la concentración de celulosa, en relación con el contenido de pectina y hemicelulosa en la pared celular de los frutos. Lo anterior, resulta en una estructura más rígida y susceptible al agrietamiento (Monge *et al.* 1994) (Figura 2), permitiendo la salida y oxidación de sustancias fenólicas desde el citosol, originando polímeros de coloración oscura (Abarca 2017).



**Figura 2.** Microscopía electrónica de barrido del fruto de banano. (A) barrido de fruto sano sin mostrar la sintomatología característica de mancha de madurez, con presencia de microfisuras. (B) barrido de sección con síntomas visibles de mancha de madurez. (C) vista panorámica del tejido dañado en síntoma de mancha de madurez. Fuente: Serrano *et al.* 2007.

Díaz y colaboradores (2007), mencionan que las pérdidas por mancha de madurez en la zona de Urabá representan alrededor del 18% del total de pérdidas durante la época de alta incidencia. Sin embargo, Serrano y colaboradores (2007) indican que las pérdidas por mancha de madurez pueden significar hasta un 30% de desperdicio de total.

## 2.7. Aplicación de ácidos carboxílicos en los cultivos

Los ácidos carboxílicos actúan como retardantes de crecimiento y retardan procesos de senescencia, con la inhibición de la actividad clorofilasa y peroxidasa. Participan en la respuesta de defensa de la planta ante condiciones de estrés hídrico y pueden intervenir en la respuesta de las plantas contra organismos patógenos. Algunos ácidos carboxílicos aromáticos (fenólicos) inhiben el crecimiento de hongos fitopatógenos. Por otra parte, los ácidos carboxílicos alifáticos poseen un mayor efecto nematocida, y su eficiencia está relacionada con factores como el pH, la

estereoquímica de la molécula, la estereoespecificidad de la membrana del nemátodo, entre otros. También existen ácidos carboxílicos con propiedad antimicrobiana generalizada contra mohos, levaduras y bacterias (Flors 2000).

Los ácidos carboxílicos participan en la formación de casi todos los tejidos vegetales: es componente de vitaminas requeridas por encima en el proceso de respiración celular y en reacciones metabólicas, además se encuentra ácidos nucleicos, alcaloides y proteínas (Hernández Díaz *et al.* 2005, Guerrero *et al.* 2007). Además, estos compuestos influyen en la síntesis de carbohidratos, la asimilación de nutrientes (Guerrero *et al.* 2007).

## **2.8. Ácidos polihidroxicarboxílicos (PHCA)**

Entre los principales beneficios asociados a la aplicación de ácidos polihidroxicarboxílicos en los cultivos tratados, se menciona: inducen el crecimiento de pelos radicales y la síntesis de carbohidratos, la absorción de agua, la absorción de nutrientes (P, Ca, K, Mg), la acumulación de materia seca, mayor tolerancia a condiciones de estrés, actúa en la ruta del ácido siquímico, la síntesis de lignina y la producción de la fitoalexina gopisol, etc. (Flors 2000).

Algunos autores mencionan que los PHCA favorecen el transporte de nutrientes a los sitios de demanda, al incrementar la síntesis de metabolitos de transporte asociados con la movilización de auxinas y fotoasimilados hacia la raíz. Además, mencionan que estas sustancias pueden estar asociadas al incremento de la actividad respiratoria y la disponibilidad de energía en las células de la raíz, mejorando el mecanismo de absorción activa de nutrientes y el bombeo electrogénico. Además, pueden inducir la síntesis de ácidos carboxílicos endógenos, que funcionan como agentes quelatantes de micronutrientes (Hernández *et al.* 2005, Guerrero *et al.* 2007).

Existe evidencia de que algunos productos formulados a base de PHCA, ocasionan un incremento en el rendimiento, número de frutos y la vida en anaquel de tres variedades de melón (*Cucumis melo* L.) (Román y Gutiérrez 1998). Así mismo, un aumento en el peso y el tamaño del fruto, así como, una reducción en el número de frutos rajados en uchuva (*Physalis peruviana* L.) (Guerrero *et al.* 2007).

Hernández *et al.* (2005), en un ensayo realizado en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* híbrido HA 3019) obtuvo un incremento en el crecimiento del cultivo, la concentración de los elementos P y K foliar, e incrementos en algunos componentes de rendimiento analizados (peso por fruto, frutos por planta, rendimiento primera calidad y rendimiento total).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ubicación

El ensayo se llevó a cabo en Finca San Gerardo, propiedad de la empresa Frutas Selectas del Trópico S.A., ubicada en el cantón de Parrita, provincia de Puntarenas, Costa Rica. Esta finca está localizada entre los 09°32'27" latitud norte y 84°20'44" longitud oeste, correspondiente a sus coordenadas geográficas (Figura 3).

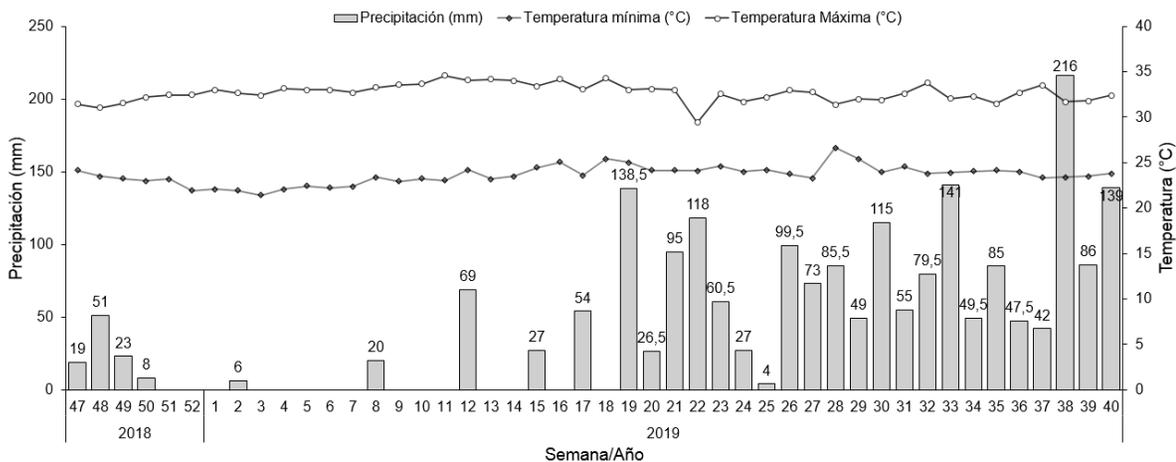


**Figura 3.** Ubicación geográfica Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas.  
Fuente. Google Earth

El cantón de Parrita está ubicado en la Zona Pacífico Central clasificada como un bosque muy húmedo premontano. La región presenta un periodo lluvioso de alta pluviosidad (entre mayo y noviembre) y un periodo seco de intensidad moderada (entre diciembre y abril). La precipitación promedio anual es de 3700 mm, distribuida principalmente durante el periodo lluvioso (85%). En la zona de Parrita predominan suelos inceptisoles, principalmente en las zonas planas. Además, es posible encontrar suelos ultisoles en algunas regiones planas y onduladas, así como, entisoles en la desembocadura de los ríos (INDER 2016).

### 3.2. Periodo de estudio

El ensayo se desarrolló entre noviembre del año 2018 (semana 47) correspondiente a la transición invierno-verano, y finalizando durante el periodo de invierno en septiembre del año 2019 (semana 40), como se observa en la Figura 4.



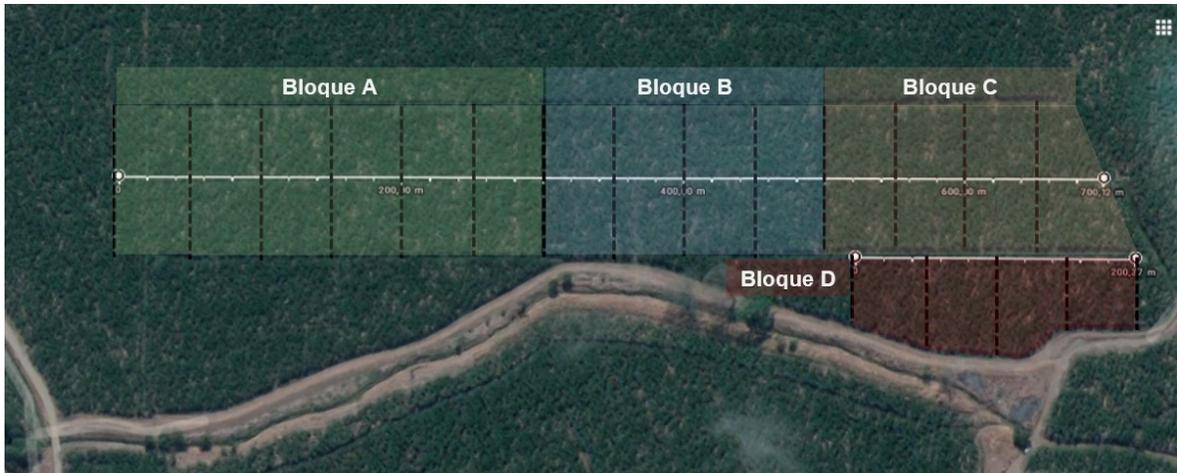
**Figura 4.** Precipitación semanal, temperatura máxima y temperatura mínima durante el periodo de ejecución del ensayo. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas, 2018-2019. Fuente: Frutas Selectas del Trópico S.A.

### 3.3. Área y unidad experimental

Se destinaron ocho hectáreas de cultivo de banano en producción para la ejecución del presente ensayo, ubicadas en el cable 36 de la Finca San Gerardo. El área de ensayo fue dividida en cuatro secciones o bloques, debido a que existe un diferencial en la condición de suelo.

El primer bloque (Bloque A), se localizó al inicio del cable y presentó un relieve ligeramente inclinado. El segundo bloque (Bloque B) tenía un relieve plano. El tercer bloque (Bloque C), presentó un relieve plano a una mayor altura en comparación al resto del área (semejante una terraza). El cuarto bloque (Bloque D) se ubicó en un área plana y pedregosa.

El bloque A, fue constituido por seis unidades experimentales de aproximadamente 5000m<sup>2</sup> (dos repeticiones de T1 y T2, y una repetición de T3 y T4). Los bloques B y C, estuvieron conformados de cuatro unidades experimentales cada uno de aproximadamente 5000m<sup>2</sup> (una repetición por tratamiento). El bloque D, contaba con cuatro unidades experimentales de 2500m<sup>2</sup> (una repetición por tratamiento) (Figura 5).



**Figura 5.** Distribución de las unidades experimentales dentro del área del ensayo. Cable 36, Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. 2018-2019. Fuente: Google Maps.

### 3.4. Material experimental

El ensayo se desarrolló en un área de cultivo de banano *Musa* AAA subgrupo Cavendish cv Gran Enano, y el bioestimulante Nutrisorb® G de la empresa Innovak Global. El área de cultivo destinada para el presente ensayo correspondió a una plantación establecida en el año 2008, por lo tanto, existía una variación en cuanto a las etapas fenológicas de las plantas dentro de cada unidad experimental. La población media del área de ensayo es de 1650 plantas/ha.

El área de cultivo contaba con sistema de riego por aspersión sub-arboreo. Durante el periodo de ausencia de lluvias, el cultivo recibió una lámina cercana a los 60 mm semanales, distribuidos en dos riegos por semana con una duración de ocho horas cada uno.

### 3.5. Descripción de los tratamientos

Se utilizaron tres variantes en la frecuencia de aplicación del bioestimulante radicular Nutrisorb® G, a una misma dosis de ocho kilogramos por hectárea (8 Kg/ha), y una representación del testigo de finca (Cuadro 5).

**Cuadro 5.** Descripción de los tratamientos de acuerdo con la frecuencia de aplicación del bioestimulante Nutrisorb® G. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. 2018-2019.

Tratamiento	Descripción
T1	Testigo de finca
T2	Nutrisorb® G, cada 9 semanas
T3	Nutrisorb® G, cada 12 semanas
T4	Nutrisorb® G, cada 15 semanas

### 3.5.1. Método de aplicación

El bioestimulante Nutrisorb® G, se aplicó en mezcla con fertilizante granular para mejorar la distribución de este en la franja de aplicación. La mezcla del bioestimulante con el fertilizante granular, se llevó a cabo de forma manual en una zona de concreto, seco y libre de contaminantes externos (Figura 6). Los materiales, fueron mezclados hasta obtener una distribución homogénea de los gránulos del bioestimulante dentro de la mezcla.



**Figura 6.** Descripción visual del proceso de mezclado del bioestimulante Nutrisorb® G, con el fertilizante utilizado en el área del ensayo. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. 2018-2019.

Durante el periodo de transición invierno-verano, la mezcla del bioestimulante se realizó con la fertilización granulada utilizada por la finca. En época de verano, se

utilizó Urea ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ) granular en una dosis de 45 Kg/ha (dos aplicaciones por tratamiento), puesto que durante esta época del año la fertilización convencional de la finca se realiza vía fertirriego. Durante este periodo (verano), también se realizaron dos aplicaciones de Urea granular sin presencia del bioestimulante en evaluación al testigo (T1), a la misma dosis utilizada en los demás tratamientos, coincidiendo con el momento de aplicación la frecuencia intermedia (T3).

La aplicación se realizó en frente del hijo de sucesión de cada unidad de producción, a una distancia aproximada a 30 cm, formando un semicírculo sobre la zona de crecimiento radicular (Figura 7).

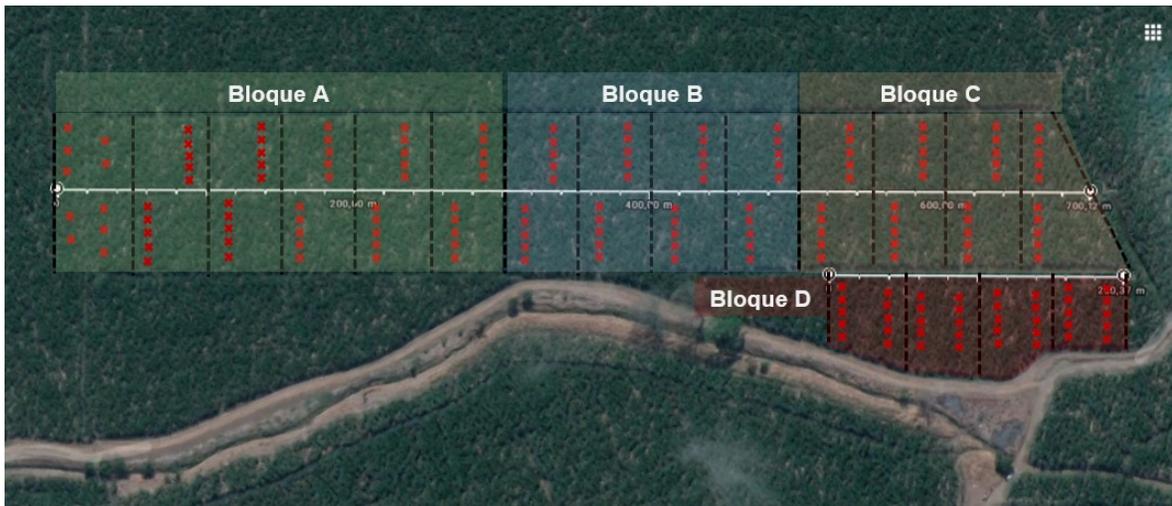


**Figura 7.** Distribución de los tratamientos en mezcla con el fertilizante granular, en el área de aplicación. (A) semicírculo a 30cm alrededor del hijo de sucesión. (B) distribución de Nutrisorb® G (partículas negras) en la superficie aplicada con el fertilizante. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas, 2018-2019.

### 3.6. Variables de respuesta

#### 3.6.1. Crecimiento

Se seleccionaron diez hijos de sucesión de unidades de producción en una condición fenológica semejante (planta madre recién parida o cercana a parición), que presentaran al menos una hoja con una lámina foliar de un ancho superior a diez centímetros (F10). Los hijos de sucesión (unidad de observación) fueron seleccionados de forma sistemática, cinco unidades del lado derecho y cinco del lado izquierdo, en línea recta desde el cable vía (Figura 8). Se excluyeron plantas que se encontraran a menos de tres metros de distancia del cable vía, canales secundarios y terciarios. Las mediciones asociadas al crecimiento de los hijos de sucesión (altura, circunferencia del pseudotallo y emisión de hojas) se realizaron desde el inicio del ensayo hasta el momento en que inició la parición (entre semana 48 del año 2018 y semana 18 del año 2019).



**Figura 8.** Distribución espacial de las unidades de observación (puntos de color rojo) dentro de cada unidad experimental. Cable 36, Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas, 2018-2019. Fuente: Google Maps.

##### 3.6.1.1. Crecimiento semanal absoluto en altura

Se midió la altura del hijo de sucesión desde la superficie del suelo, hasta el vértice formado entre las últimas dos hojas, con una cinta métrica metálica (Figura 9). Se realizaron un total de doce mediciones, en el periodo comprendido entre semana 48 del año 2018, y hasta semana 18 del año 2019.

### 3.6.1.2. Crecimiento semanal absoluto en circunferencia del pseudotallo

Se midió la circunferencia del pseudotallo a un metro de altura desde la superficie del suelo, con una cinta métrica de nylon (Figura 9). Se realizaron un total de doce mediciones, en el periodo comprendido entre semana 48 del año 2018, y hasta semana 18 del año 2019.



**Figura 9.** Medición de las variables de crecimiento en altura y circunferencia del pseudotallo del hijo de sucesión. (A) medición de altura desde la superficie del suelo y hasta el vértice formado entre las últimas dos hojas emitidas. (B) circunferencia del pseudotallo medida a un metro de altura con cinta métrica de nylon. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas, 2018-2019.

### 3.6.1.3. Número de hojas emitidas

Se contabilizó periódicamente el número de hojas emitidas en cada hijo de sucesión, tomando como base (hoja uno) la primera hoja con lámina foliar de un ancho superior a los diez centímetros (F 10). Se realizaron un total de doce conteos, en el periodo comprendido entre semana 48 del año 2018, y hasta semana 18 del año 2019.

#### **3.6.1.4. Tasa de crecimiento semanal en altura**

La tasa de crecimiento semanal en altura corresponde a una medida indirecta producto de la resta del valor de altura de dos mediciones consecutivas, dividido entre el número de días transcurridos entre ambas mediciones, multiplicado por siete días de la semana, como se observa en la siguiente fórmula:

$$\textit{Tasa crecimiento semanal en altura} = \frac{(\textit{Altura final} - \textit{Altura inicial})}{(\textit{Fecha final} - \textit{Fecha inicial})} * 7$$

#### **3.6.1.5. Tasa de crecimiento semanal en circunferencia del pseudotallo**

La tasa de crecimiento semanal en circunferencia del pseudotallo se obtuvo al dividir el cambio en la circunferencia de dos mediciones consecutivas, entre los días transcurridos entre ambas mediciones, y multiplicar por siete días de la semana, como se observa en la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} &\textit{Tasa crecimiento semanal en circunferencia del pseudotallo} \\ &= \frac{(\textit{Circunferencia final} - \textit{Circunferencia inicial})}{(\textit{Fecha final} - \textit{Fecha inicial})} * 7 \end{aligned}$$

#### **3.6.1.6. Tasa de emisión de hojas semanal**

La tasa de emisión de hojas semanal se obtuvo al dividir la diferencia en el número de hojas a partir de la F10 de dos mediciones consecutivas, entre los días transcurridos entre ambas mediciones, y multiplicarlo por siete días de la semana, como se observa en la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} &\textit{Tasa de emisión de hojas semanal} \\ &= \frac{(\textit{Número de hojas final} - \textit{Número de hojas inicial})}{(\textit{Fecha final} - \textit{Fecha inicial})} * 7 \end{aligned}$$

### **3.6.2. Contenido de nutrientes**

#### **3.6.2.1. Análisis foliar**

Se realizó una evaluación de la concentración de nutrientes en la materia seca foliar, se utilizó como posible indicador del efecto de los tratamientos sobre el estado nutricional de las plantas. El muestreo se realizó en semana 28 del año 2019, 33

semanas después de iniciado el ensayo. Se obtuvo una muestra compuesta de diez plantas por unidad experimental, tomando una porción de la sección central de la lámina de la hoja tres de una planta de banano en la fase de floración de acuerdo con la metodología utilizada por CORBANA. Las muestras fueron empacadas e identificadas en una bolsa plástica individuales, y transportadas al Laboratorio Químico del Centro de Investigaciones de CORBANA.

### **3.6.2.2. Análisis de nutrientes en la cáscara del fruto**

La evaluación de la concentración de nutrientes en la cáscara combinada (epidermis superior y sub-epidermis) del fruto de banano fue utilizada como posible indicador del efecto de los tratamientos sobre las características de la cáscara, el porcentaje de incidencia y porcentaje de afectación de mancha de madurez. El muestreo se realizó en semana 28 del año 2019 (33 semanas después de iniciado el ensayo), momento en el que inicia la aparición de los síntomas de mancha de madurez en la plantación.

Se seleccionó al azar un racimo con ocho manos por cada unidad experimental, de once semanas de desarrollo posterior al embolse. Los racimos se marcaron con una cinta plástica color naranja, identificada con el número de muestra. Las muestras fueron cosechadas y llevadas hasta la planta empacadora por la cuadrilla de cosecha.

En la planta empacadora, se extrajo e identificó la mano sub-basal de cada racimo. Las muestras fueron empacadas en cajas y transportadas hasta el Laboratorio Químico del Centro de Investigaciones de CORBANA S.A (Figura 10).



**Figura 10.** Obtención y procesamiento de muestras para la evaluación de la concentración de nutrientes en cáscara. (A) Cosecha del racimo seleccionado por unidad experimental. (B) Extracción de la muestra (mano sub-basal) de cada racimo seleccionado. (C) Identificación individual de las muestras. (D) Empaque de muestras para evitar daños ocasionados por el transporte. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. Semana 28, 2019.

### 3.6.3. Mancha de madurez

#### 3.6.3.1. Porcentaje de incidencia de mancha de madurez

Se evaluó la presencia ó ausencia de “Mancha de madurez” en el racimo, de racimos cosechados de cada unidad experimental en las semanas 35 y 40 (Figura 13), con el objetivo conocer el efecto de los tratamientos sobre esta variable, en la población analizada. El porcentaje de incidencia de “Mancha de madurez”, corresponde a la fracción de racimos que presentan “Mancha de madurez” del total de racimos evaluados, expresado en porcentaje, como se observa a continuación:

$$\text{Incidencia Mancha madurez (\%)} = \frac{\text{Total de racimos con presencia de MM}}{\text{Total de racimos evaluados}} * 100$$

#### 3.6.3.2. Porcentaje de afectación por mancha de madurez

Se realizó una evaluación el porcentaje de afectación de mancha de madurez en los racimos cosechados de cada unidad experimental en las semanas 35 y 40 (Figura 11), con el objetivo conocer el efecto de los tratamientos sobre el nivel de afectación de mancha de madurez en los racimos de la población analizada. Esta variable, se define como la fracción del número de manos con presencia de mancha de madurez del total de manos del racimo, como se puede observar en la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} & \text{Afectación Mancha madurez (\%)} \\ & = \frac{\text{Número de manos del racimo con presencia de MM}}{\text{Número total de manos del racimo}} * 100 \end{aligned}$$



**Figura 11.** Evaluación del porcentaje de incidencia y porcentaje de afectación por mancha de madurez. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. Semanas 35 y 40, 2019.

### **3.6.4. Variables de rendimiento**

#### **3.6.4.1. Peso bruto del racimo sin raquis**

Se seleccionó un racimo por parcela por semana durante once semanas consecutivas, iniciando trece semanas después de la primera aplicación de los tratamientos (entre semana 8 y semana 18 del año 2019). Las muestras fueron seleccionadas al azar, eligiendo el sexto racimo de observado dentro de la parcela una semana antes de la cosecha. La fruta se identificó con una cinta del color correspondiente a la semana del embolse del racimo y un código asociado a la unidad experimental.

Los racimos fueron cosechados con doce semanas de edad. Los racimos fueron cosechados de acuerdo con el procedimiento de cosecha de la empresa. El peso bruto del racimo desmanado (sin el raquis), se registró en la planta empacadora con una romana marca Polini (Modelo A1BS).

Esta evaluación se realizó con la finalidad de caracterizar el comportamiento del peso bruto en la población y ajustar el método de estimación el rendimiento.

### 3.6.4.2. Peso bruto del racimo en campo

Se realizaron tres evaluaciones de peso del racimo en campo (semana 30, 35 y 40), registrando el peso del racimo al momento de la cosecha como se observa en la Figura 12. Se pesaron todos los racimos cosechados en cada unidad experimental, según la orden de corta del día (fruta de 11 y 12 semanas de edad), con una romana digital Crane Scale (modelo: UWE CCS).



**Figura 12.** Evaluación del peso bruto del racimo en campo con romana electrónica (CRANE SCALE-UWE CCS), al momento de cosecha de cada unidad experimental. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. Semanas 30, 35, 40. 2019.

### 3.6.4.3. Índice de retorno

Se estimó el número de racimos producidos por unidad de producción por año, basado en el intervalo entre floración de la planta madre y el hijo de sucesión. Se registró la semana de embolse de la fruta emitida por la planta madre de cada una de las unidades de producción seleccionadas para la evaluación de las variables de crecimiento. Posteriormente, se registró la semana de embolse de la fruta emitida

por el hijo de sucesión de la misma unidad de producción. Considerando un total de doce semanas de desarrollo del racimo desde el embolse hasta la cosecha. El índice de retorno se estimó de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{Retorno} \left( \frac{\text{racimos}}{\text{año}} \right) = \frac{\text{Semana embolse hijo de sucesión} - \text{Semana embolse planta madre}}{52 \text{ semanas}}$$

#### 3.6.4.4. Rendimiento (cajas/ha/año)

La variable rendimiento corresponde a una estimación del número de cajas por hectárea por año (cajas/ha/año) en cada una de las unidades experimentales. Este dato se obtuvo a partir de la evaluación del **peso bruto del racimo en campo** evaluado en tres momentos (semana 30, 35 y 40) y el **retorno** de cada repetición. Así mismo, fue necesario tomar en cuenta algunos estándares propios de las condiciones de la finca en la que se desarrolló el ensayo, como lo son:

- La población de plantas promedio del área del ensayo corresponde a 1650 plantas/ha.
- El peso del raquis del racimo corresponde a un 8% del peso bruto del racimo.
- El peso promedio de la caja de banano es de 41,5 libras.
- Las pérdidas asociadas a variables de calidad en el área del ensayo durante el periodo de evaluación (semanas 30, 35 y 40), corresponden a un 14,2% de peso de la fruta sin el raquis.
- La estimación de rendimiento (cajas/ha/año) de la finca se realiza tomando en cuenta el área bruta de la finca. Por lo tanto, para comparar el rendimiento estimado de cada tratamiento con los valores reales de la finca, es necesario reducir el valor de rendimiento estimado en un 15% (canales y cable vía).

El rendimiento (cajas/ha/año) estimado, se obtuvo a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento} \left( \frac{\text{cajas}}{\text{ha}} \right) = \frac{\left( \text{Peso bruto racimo} \left( \frac{\text{lb}}{\text{racimo}} \right) * 0,92 \right) * 0,858}{41,5 \frac{\text{lb}}{\text{caja}}} * \text{Ratooning} \left( \frac{\text{racimos}}{\text{año}} \right) * 1650 \frac{\text{plantas}}{\text{ha}}$$

### 3.6.5. Análisis económico de los tratamientos utilizados

El análisis económico incluyó la estimación un costo de producción por caja de acuerdo con un escenario de costos hipotético, semejante al de Finca San Gerardo. Se ajustaron los costos fijos y variables para cada rendimiento estimado por tratamiento en los tres momentos de evaluación (semana 30, 35 y 40).

Se incluyó el costo del producto comercial, de acuerdo con número de ciclos de aplicación anuales para cada tratamiento:

- T2: seis ciclos por año.
- T3: cinco ciclos por año.
- T4: cuatro ciclos por año.

Se incluyó el costo de aplicación (mano de obra) extra durante el periodo de fertirriego y el costo del fertilizante nitrogenado (Urea) utilizado como vehículo para asegurar la dispersión del bioestimulante radicular frente al hijo de sucesión, durante el periodo donde no se realizó fertilización manual.

Se presentó el costo estimado por caja producida, el costo por hectárea, la utilidad neta, la diferencia en utilidad y el porcentaje de incremento o reducción de la utilidad para cada tratamiento en relación con el testigo de finca.

### 3.6.6. Metodología de toma de datos

**Cuadro 6.** Variables de evaluación, unidades de medida y momentos de evaluación. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. 2018-2019.

Variable analizada	Unidad	Semana de evaluación
<b>Variables de crecimiento</b>		
*Crecimiento absoluto en altura	cm	48 (2018) a 18 (2019)
*Crecimiento absoluto en circunferencia del pseudotallo	cm	48 (2018) a 18 (2019)
*Número de hojas emitidas	hojas	48 (2018) a 18 (2019)
*Tasa de crecimiento semanal en altura	cm/semana	48 (2018) a 18 (2019)
*Tasa de crecimiento semanal en circunferencia del pseudotallo	cm/semana	48 (2018) a 18 (2019)
*Tasa de emisión de hojas semanal	hojas/semana	48 (2018) a 18 (2019)
<b>Contenido de nutrientes</b>		
Análisis de nutrientes foliar	%PS y ppm	28 (2019)
Análisis de nutrientes en epidermis del fruto	%PS y ppm	28 (2019)
<b>Evaluación de mancha de madurez</b>		
Porcentaje de incidencia de mancha de madurez	%	35, 40 (2019)
Porcentaje de afectación de mancha de madurez	%	35, 40 (2019)
<b>Variables de Rendimiento</b>		
Peso bruto del racimo sin raquis	lbs	8 a 18 (2019)
Peso bruto del racimo en campo	lbs	30, 35, 40 (2019)
*Índice de retorno	racimos/año	48 (2018) a 30 (2019)
Estimación de rendimiento	cajas/Ha/año	30, 35, 40 (2019)

\* Variables medidas en el hijo de sucesión de las unidades productivas seleccionadas al inicio del ensayo.

### 3.7. Diseño experimental

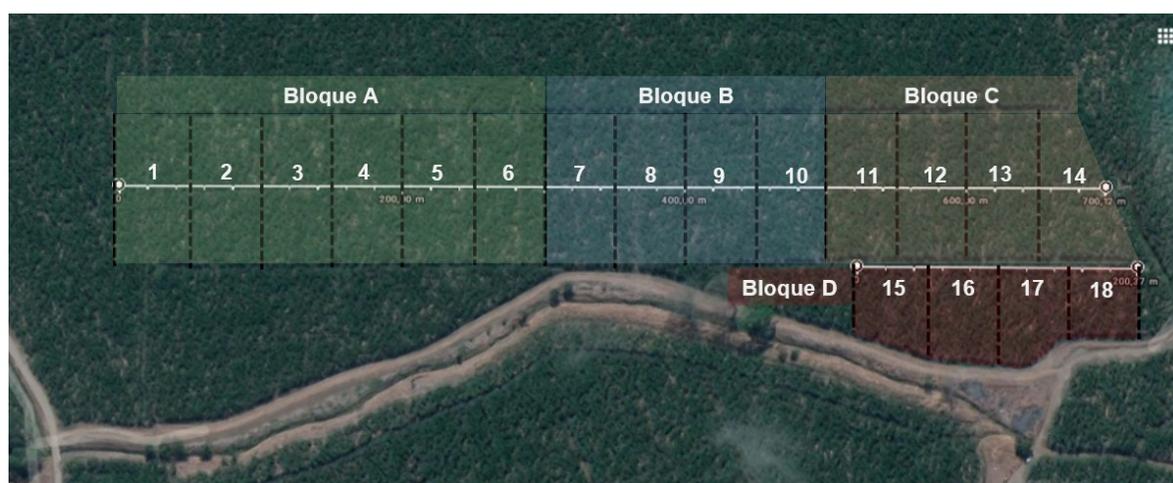
En el presente estudio se empleó un diseño en Bloques Incompletos al Azar (DBIA), asignando aleatoriamente los tratamientos a cada unidad experimental.

#### 3.7.7. Croquis y especificación del diseño de tratamientos

El Cuadro 7, muestra la distribución de las repeticiones de cada tratamiento en cada uno de los bloques. Todos los tratamientos poseen al menos una repetición dentro de cada bloque, a excepción de los tratamientos T1 y T2 (dos repeticiones en el bloque A) (Figura 13).

**Cuadro 7.** Distribución de los tratamientos en cada parcela, según su ubicación en el área del ensayo. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. 2018-2019.

Bloque	Tratamiento			
	T1	T2	T3	T4
A	2	3	1	6
	4	5		
B	9	7	10	8
C	12	14	13	11
D	17	18	16	15



**Figura 13.** Distribución de las repeticiones dentro de cada bloque ubicado en el área del ensayo. Cable 36 de Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. 2018-2019. Fuente: Google Maps.

### 3.7.8. Modelo estadístico

$$\gamma_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

$\mu$ : corresponde a la media general.

$\tau_i$ : el efecto del i-ésimo tratamiento.

$\beta_j$ : el efecto del j-ésimo bloque.

$\varepsilon_{ij}$ : es el error aleatorio asociado a la observación  $\gamma_{ij}$ .

### 3.8. Análisis de resultados

Para cada variable, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) mediante la técnica de Modelos Lineales Mixtos y Generales (MLMix), con corrección de heterocedasticidad (función *varIdent*), en los siguientes casos específicos:

- Contenido de nutrientes foliar (Fe)
- Contenido de nutrientes en cáscara (N y Zn)
- Rendimiento estimado (semana 30)

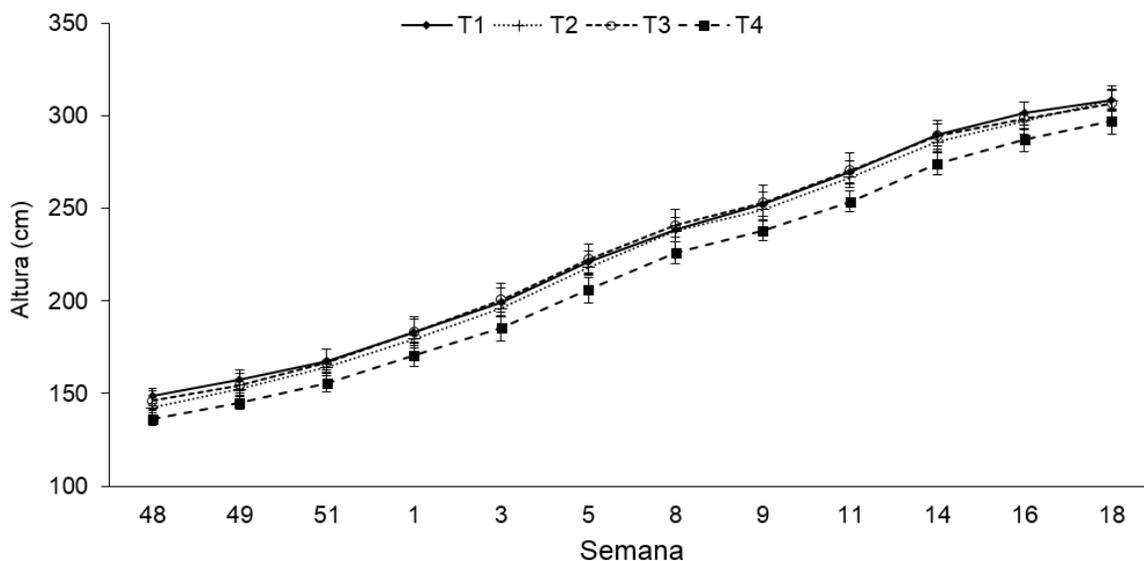
En caso de que el análisis de varianza fuera significativo ( $p < 0,05$ ), se utilizó la prueba de comparación de medias DGC con un nivel de significancia de 0,05, para determinar las diferencias entre tratamientos. Todos los análisis se ejecutaron con el Programa estadístico InfoStat/P (Di Rienzo *et al.* 2017).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Efecto de la incorporación de Nutrisorb® G sobre el crecimiento absoluto de plantas de banano (*Musa AAA*).

#### 4.1.1. Crecimiento absoluto en altura

El comportamiento de la altura de los hijos de sucesión durante su desarrollo fue muy semejante entre los tratamientos con frecuencia de aplicación cada nueve semanas, cada doce semanas y el testigo de finca. Por otra parte, el tratamiento con menor frecuencia de aplicación (cada quince semanas) presentó una altura inferior a los demás tratamientos (Figura 14). Sin embargo, el análisis de varianza, indicó un comportamiento semejante en la altura de los hijos de sucesión entre los tratamientos, en los diferentes momentos de evaluación ( $p > 0,05$ ).

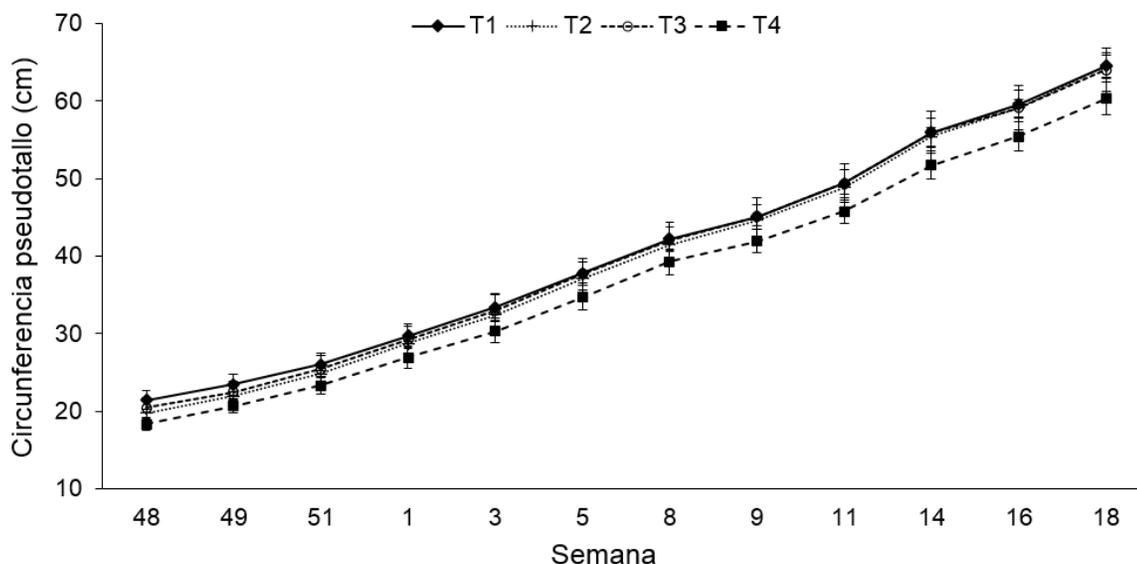


**Figura 14.** Comportamiento del crecimiento absoluto en altura de hijos de sucesión ( $\bar{X} \pm EE$ ) durante el periodo de evaluación de crecimiento. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. 2018-2019.

#### 4.1.2. Crecimiento absoluto en circunferencia del pseudotallo

La circunferencia de los hijos de sucesión mostró un comportamiento muy semejante entre las plantas tratadas cada nueve semanas, cada doce semanas, y el testigo de finca. Las plantas tratadas cada quince semanas, mostraron una menor circunferencia del pseudotallo en comparación a los demás tratamientos (Figura 15). Sin embargo, esta variable indicó la ausencia de diferencias

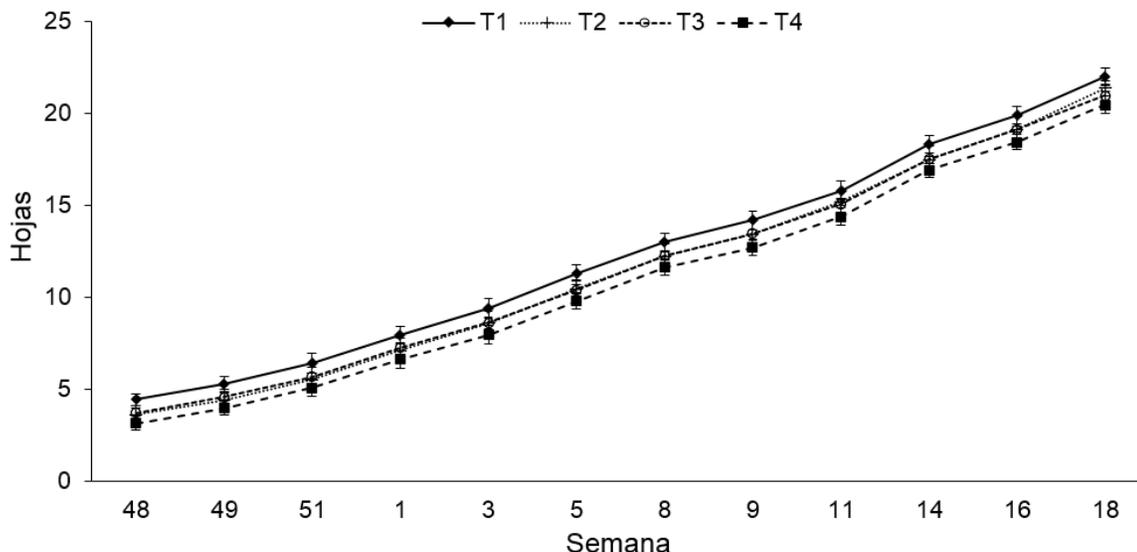
estadísticamente significativas entre tratamientos ( $p>0,05$ ), en todos los momentos de evaluación.



**Figura 15.** Comportamiento del crecimiento absoluto en circunferencia de hijos de sucesión ( $\bar{X} \pm EE$ ) durante el periodo de evaluación de crecimiento. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. 2018-2019.

#### 4.1.3. Número de hojas emitidas

El testigo de finca mostró el mayor número de hojas emitidas (a partir de la hoja F10) durante el periodo de evaluación, seguido por los tratamientos aplicados cada nueve y cada doce semanas. El tratamiento con aplicaciones cada quince semanas, presentó menor número de hojas emitidas que los demás tratamientos (Figura 16). Sin embargo, los tratamientos mostraron ausencia de diferencias estadísticamente significativas ( $p>0,05$ ), en todos los momentos de evaluación.



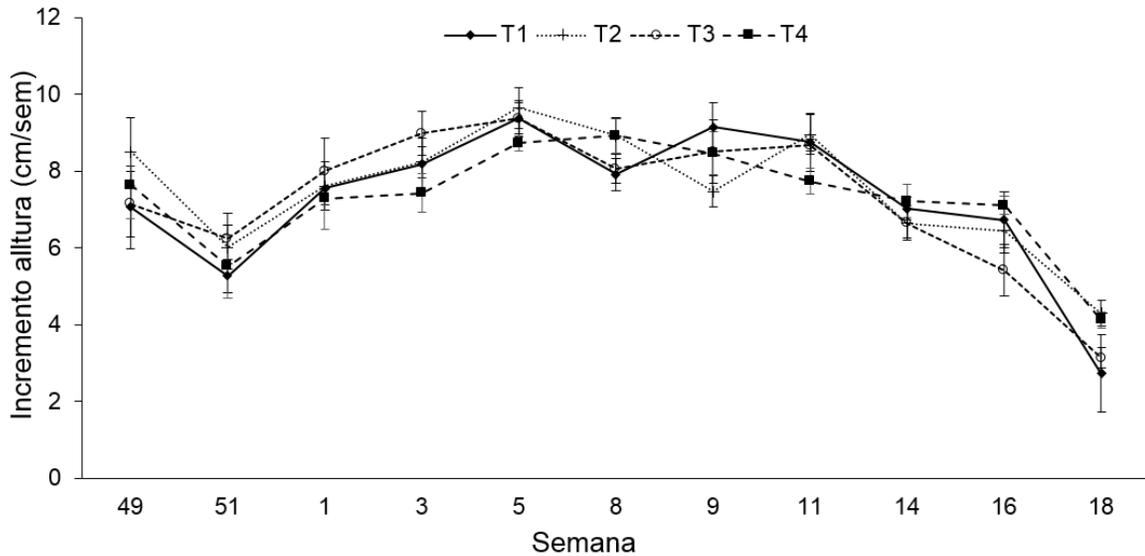
**Figura 16.** Comportamiento del número de hojas de los hijos de sucesión emitidas a partir de la hoja F10 ( $\bar{X} \pm EE$ ) durante el periodo de evaluación de crecimiento. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. 2018-2019.

#### 4.2. Efecto de la incorporación de Nutrisorb® G sobre la tasa de crecimiento semanal

##### 4.2.1. Tasa de crecimiento semanal en altura

En la Figura 17, se observa el comportamiento de la tasa de crecimiento semanal en altura. El tratamiento con la mayor frecuencia de aplicación (cada nueve semanas), presentó un mayor incremento semanal en la altura en las evaluaciones realizadas en las semanas 49 (2018), 5, 8, 11 y 18 (2019). El incremento en altura de las plantas tratadas cada doce semanas, fue superior en las semanas 51 (2018), 1 y 3 (2019). Las plantas tratadas cada quince semanas, mostraron un el mejor crecimiento semanal en altura en las semanas 14 y 16 (2019). El testigo mostró el mayor crecimiento en la semana 9 (2019). Sin embargo, el incremento semanal en altura de los hijos de sucesión indicó la ausencia de diferencias significativas entre tratamientos ( $p > 0,05$ ).

Por otra parte, se observa una reducción en el crecimiento semanal en altura de todos los tratamientos en la semana 51 (T1: 5,28; T2: 6,02; T3: 6,24; T4: 5,53 cm/semana), en comparación con el crecimiento promedio de semana 49 (T1: 7,07; T2:8,51; T3: 7,14; T4: 7,64 cm/semana).



**Figura 17.** Comportamiento de la tasa de crecimiento semanal en altura de hijos de sucesión ( $\bar{X} \pm EE$ ) durante el periodo de evaluación de crecimiento. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. 2018-2019.

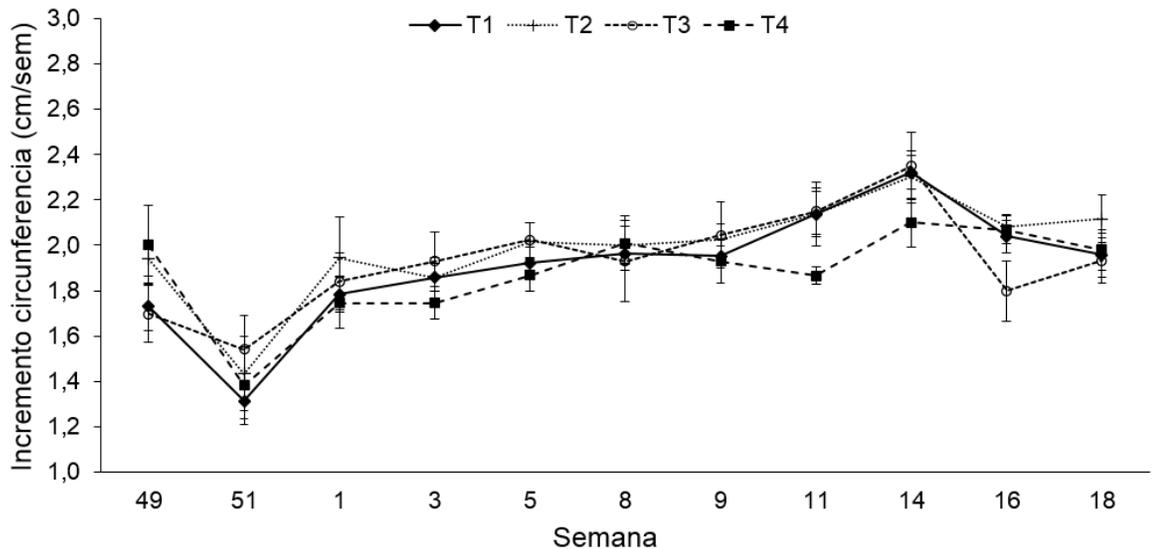
La tasa de crecimiento semanal en altura mostró un ritmo de crecimiento acelerado desde el inicio del ensayo hasta el momento de diferenciación floral correspondiente a la semana 9 (2019), momento que coincide con la emisión de doce a catorce hojas a partir de la hoja F10 (Sánchez y Mira 2013). A partir de ese momento, presentó una reducción en el crecimiento hasta el inicio de la emisión floral (semana 18). Lo anterior, concuerda con lo mencionado por Martínez y Cayón (2011), quienes afirman que la planta de banano presenta un crecimiento exponencial durante la etapa de desarrollo vegetativo hasta el momento de diferenciación floral. Posteriormente, al inicio de la etapa reproductiva la planta de banano presenta una curva de crecimiento lineal, seguido de una disminución en la velocidad de acumulación de materia seca hasta el momento de la floración, semejante al comportamiento que visto en la tasa de crecimiento semanal en altura a partir de semana nueve (Figura 17).

De acuerdo con Sánchez y Mira (2013), la tasa de crecimiento semanal en altura de las plantas de banano ronda entre 7,3 y 7,8 centímetros por semana. Así mismo, Vargas y colaboradores (2018) indican un incremento semanal en altura de 7,58 (cm/semana) en las etapas tempranas de crecimiento, sin embargo, el promedio semanal durante todo el ciclo del cultivo correspondió a 5,6 (cm/semana). Los

resultados obtenidos (Figura 17), mostraron un crecimiento semanal superior a 7,3 cm/semana entre semana 1 y semana 11 (2019).

#### 4.2.2. Tasa de crecimiento semanal en circunferencia del pseudotallo

El tratamiento aplicado cada nueve semanas obtuvo el mayor incremento semanal en circunferencia del pseudotallo en las semanas 1, 16 y 18 (2019). El tratamiento con la frecuencia de aplicación intermedia (cada doce semanas), mostró los valores más elevados en las semanas 51 (2018), 3, 5, 9, 11 y 14 (2019). Las plantas tratadas cada quince semanas, fue superior en semana 49 (2018) y semana 8 (2019) (Figura 18). La tasa de incremento semanal en circunferencia del pseudotallo, indicó ausencia de diferencias significativas entre tratamientos, en los diferentes momentos de evaluación ( $p > 0,05$ ).



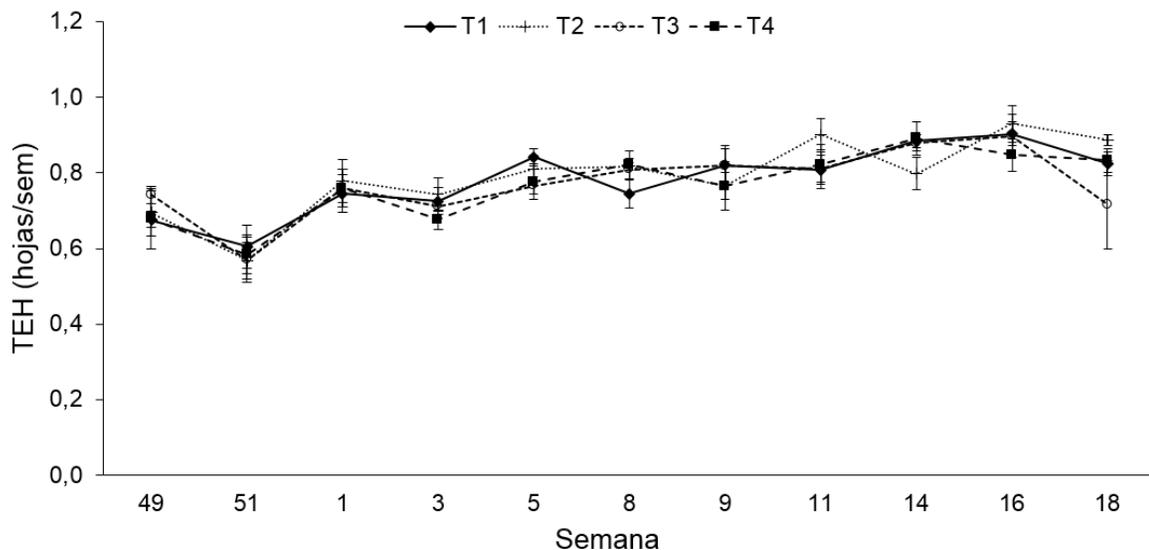
**Figura 18.** Comportamiento de la tasa de crecimiento semanal en circunferencia del pseudotallo de hijos de sucesión ( $\bar{X} \pm EE$ ), durante el periodo de evaluación de crecimiento. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. 2018-2019.

Sánchez y Mira (2013), indican que el crecimiento en circunferencia del pseudotallo en plantas de banano oscila entre 2,2 cm/semana y 2,4 cm/semana. Vargas y colaboradores (2018), registran un incremento semanal en circunferencia del pseudotallo de 1,96 (cm/semana) en promedio del ciclo del cultivo. Lo anterior, coincide con los valores observados en el presente ensayo, entre semana 5 y semana 18 (2019) (Figura 18). Esta variable, presentó el mayor incremento durante

la semana 14 (2019), debido a que durante este periodo se está desarrollando el tallo floral dentro del pseudotallo de la planta (Martínez y Cayón 2011).

#### 4.2.3. Tasa de emisión de hojas semanal

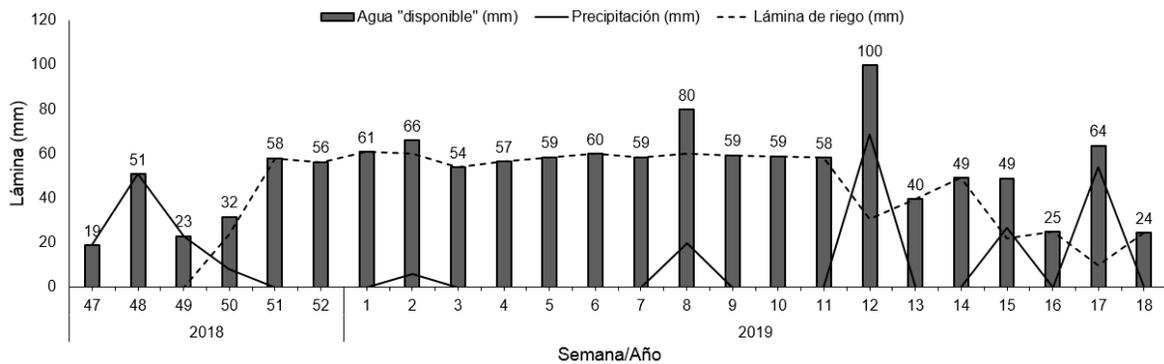
El testigo, mostró un tasa de emisión de hojas semanal superior en las semanas 51 (2018), 5 y 9 (2019). Los hijos de sucesión tratadas cada nueve semanas, mostraron una mayor tasa de emisión de hojas en las semanas 1, 3, 11, 16 y 18 (2019). Las plantas tratadas cada doce semanas, sobresalieron únicamente en la primera semana de evaluación (semana 49). En las semanas 8 y 14 (2019), sobresalieron las plantas aplicadas cada quince semanas (Figura 19). La tasa de emisión de hojas semanal, indica que los tratamientos presentaron un comportamiento semejante ( $p>0,05$ ).



**Figura 19.** Comportamiento de la tasa de emisión de hojas semanal de hijos de sucesión ( $\bar{X} \pm EE$ ), durante el periodo de evaluación de crecimiento. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. 2018-2019.

La disminución en la tasa de crecimiento semanal en altura (Figura 17), tasa de crecimiento semanal en circunferencia del pseudotallo (Figura 18) y tasa de emisión de hojas semanal (Figura 19) durante la semana 51 (2018), mostró un ritmo de crecimiento inferior, en respuesta a la disminución en la cantidad de agua disponible para el cultivo durante el periodo de transición invierno-verano y el inicio periodo de

riego en pleno funcionamiento, como se observa en la Figura 20. El estrés hídrico afecta primeramente los tejidos en expansión, las hojas en emergencia y el crecimiento de los frutos (Turner *et al.* 2007), y puede ocasionar una reducción en el rendimiento en caso de que el periodo de estrés sea prolongado (Mahouachi 2007; Ferreira *et al.* 2019). Martínez y Cayón (2011) mencionan que las plantas expuestas a condiciones de estrés hídrico muestran una tasa de emisión foliar de 0,6 hojas/semana a 0,4 hojas/semana, semejante a los resultados de tasa de emisión de hojas semanal en la semana 51.



**Figura 20.** Agua disponible para el cultivo, precipitación y lámina de riego aplicada por semana en el área del ensayo. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. 2018-2019. Fuente: Frutas Selectas del Trópico S.A.

### 4.3. Efecto de la incorporación de Nutrisorb® G sobre el estado nutricional del tejido foliar y el fruto de banano

#### 4.3.1. Análisis de nutrientes foliar

La concentración de N y Fe en el tejido foliar fue deficiente en todos los tratamientos, al compararlo con los niveles recomendados (2,6 a 2,7% de N, y de 60 a 100 ppm de Fe). En el caso de los elementos P, K, Ca, S, Zn, Mn y B, se observó que en todos los tratamientos estaban dentro del rango óptimo establecido (0,16 a 0,20%, 3 a 4%, 0,60 a 0,70%, 0,15 a 0,20%, 14 a 20ppm, 10 a 1000ppm y 10 a 16ppm, respectivamente)<sup>3</sup>. El contenido de Cu foliar se mantuvo por encima de nivel óptimo (entre 3 y 6 ppm) en todos los tratamientos (Cuadro 8). El análisis

<sup>3</sup> Bolaños, D. 20 jul. 2020. Obtención de rangos óptimos de nutrientes en el cultivo de banano (comunicación personal). Guápiles, Costa Rica. Corporación Bananera Nacional.

de varianza para la concentración de los elementos analizados en la lámina foliar, indicó la ausencia de diferencias estadísticas entre tratamientos ( $p>0,05$ ).

**Cuadro 8.** Concentración de nutrientes en tejido foliar de plantas de banano (*Musa* AAA subgrupo Cavendish cv. Gran Enano) por tratamiento. Muestreo realizado en la hoja tres de plantas en etapa de floración. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. Semana 28, 2019.

Tratamientos	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
	(% base saca)						(ppm)				
T1	2,57	0,19	3,62	0,68	0,30	0,18	52,60	8,20	19,80	147,40	10,40
T2	2,53	0,19	3,51	0,66	0,30	0,17	51,40	8,20	19,20	143,40	10,40
T3	2,57	0,20	3,58	0,69	0,30	0,18	56,00	8,50	19,75	155,25	10,25
T4	2,56	0,19	3,35	0,69	0,31	0,17	51,00	7,75	19,50	141,50	10,00
p-valor	0,8772	0,8145	0,1181	0,6451	0,5395	0,6133	0,4424	0,0511	0,5742	0,2724	0,7438

#### 4.3.2. Análisis de nutrientes en la cáscara del fruto

El análisis de varianza realizado en la variable contenido de nutrientes en la cáscara de los frutos, indicó la ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (Cuadro 9).

**Cuadro 9.** Concentración de nutrientes en cáscara del fruto de banano (*Musa* AAA subgrupo Cavendish cv. Gran Enano) en cada tratamiento, al momento de la cosecha. Muestreo realizado en racimos de ocho manos, con once semanas de desarrollo posterior al embolse. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. Semana 28, 2019.

Tratamientos	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
	(% base saca)						(ppm)				
T1	1,03	0,15	4,80	0,17	0,15	0,05	22,40	3,00	15,40	21,80	19,40
T2	0,99	0,16	4,59	0,17	0,13	0,05	20,20	3,00	14,20	20,40	19,00
T3	1,04	0,17	5,11	0,16	0,15	0,05	24,75	3,00	16,00	22,75	21,00
T4	0,92	0,15	4,49	0,18	0,15	0,05	20,00	3,00	18,00	24,00	20,50
p-valor	0,1015	0,1873	0,1873	0,6870	0,4475	0,5898	0,1546	sd	0,5714	0,2995	0,1416

Los resultados obtenidos en la concentración de calcio en tejido sub-epidérmico combinado con tejido superficial, mostraron niveles de Calcio inferiores a los obtenidos por Serrano y colaboradores (2007), en frutas con presencia de síntomas por mancha de madurez (0,25% de calcio y 0,23% de calcio) en la cáscara

combinada. Lo anterior, podría estar relacionado con el desarrollo de síntomas de mancha de madurez posterior al momento de evaluación (semana 28, 2019).

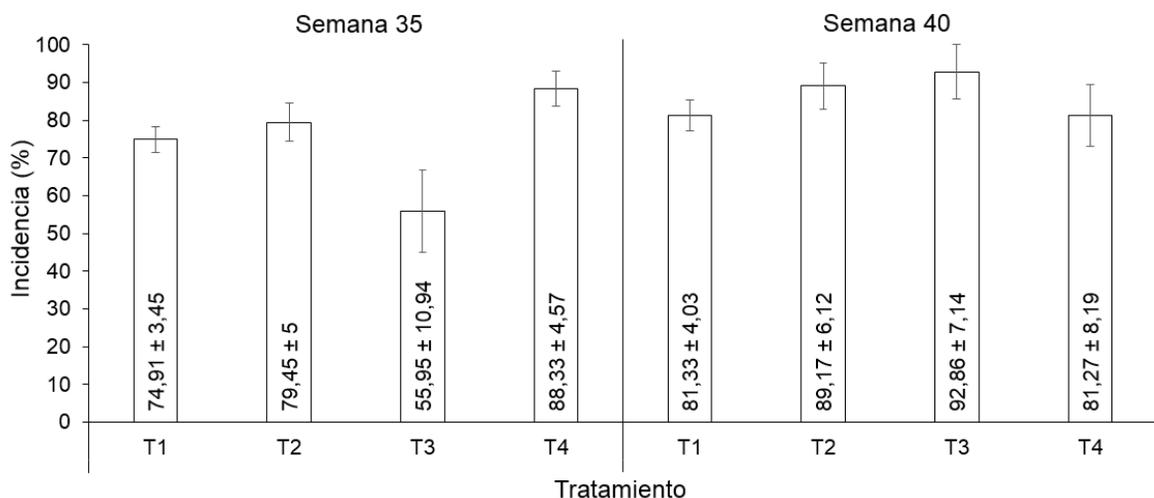
Por otra parte, Serrano y colaboradores (2007) indican que la expresión de desórdenes fisiológicos asociados a la deficiencia de calcio, están asociados con un incremento en la concentración de Boro debido a que presentan una relación antagónica, mostrando una concentración elevada de este elemento en la lámina foliar (35 ppm) y en tejido sub-epidérmico combinado con tejido superficial del fruto (22 ppm). Los resultados obtenidos en la concentración de Boro en tejido sub-epidérmico combinado con tejido superficial mostraron niveles altos de este elemento, cercanos a lo indicado por estos autores.

#### **4.4. Efecto de la incorporación de Nutrisorb® G sobre mancha de madurez**

##### **4.4.3. Porcentaje de incidencia de mancha de madurez**

La Figura 21, muestra el porcentaje de incidencia de mancha de madurez, en dos momentos de evaluación (semana 35 y semana 40). En la semana 35, el tratamiento aplicado cada doce semanas presentó un menor porcentaje de incidencia (55,95%) que los demás tratamientos (testigo: 74,91%; cada nueve semanas: 79,45%; cada quince semanas: 88,33%). En relación con el testigo de finca, los racimos de las plantas tratadas cada doce semanas presentaron una reducción del 18,96% en la incidencia de mancha de madurez, sin embargo, el análisis de varianza indicó ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ( $p = 0,0601$ ).

Por otra parte, en la semana 40 el porcentaje de incidencia de mancha de madurez fue muy semejante en todos los tratamientos. Los racimos del testigo presentaron un 81,33%, las plantas tratadas cada nueve semanas un 89,17%, cada doce semanas un 92,86% y cada quince semanas 81,27% de incidencia de mancha de madurez. Así mismo, el análisis de varianza indicó ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos en este muestreo ( $p = 0,4647$ ).

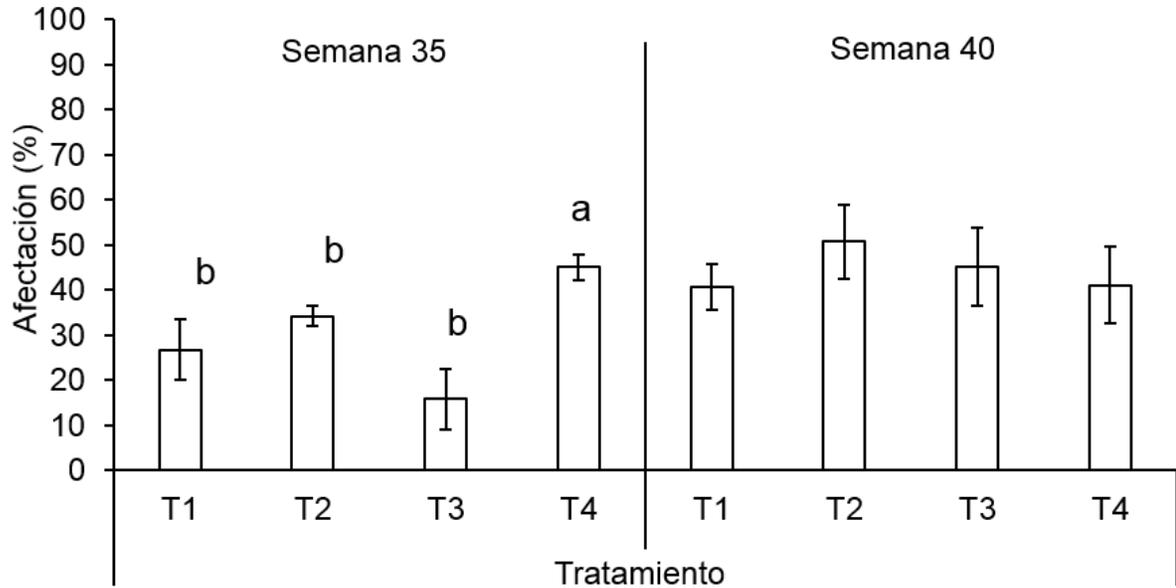


**Figura 21.** Porcentaje de incidencia de mancha de madurez ( $\bar{X} \pm EE$ ) por tratamiento, en dos momentos de evaluación. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. Semanas 35 y 40, 2019.

#### 4.4.4. Porcentaje de afectación de mancha de madurez

La Figura 22, muestra el porcentaje de manos afectadas con mancha de madurez en las dos evaluaciones realizadas. En semana 35, las plantas tratadas cada quince semanas presentaron un porcentaje de afectación (45,16%) significativamente superior ( $p=0,0042$ ), en comparación a los demás tratamientos (testigo: 26,77%; cada nueve semanas: 34,29%; cada doce semanas: 15,82%).

En semana 40, el porcentaje de manos afectadas por mancha de madurez mostró un comportamiento semejante entre los tratamientos ( $p = 0,7596$ ). En testigo obtuvo un 40,77%, las plantas tratadas cada nueve semanas un 50,80%, cada doce semanas un 45,24%, y cada quince semanas un 41,14% de las manos estaban afectadas con mancha de madurez.

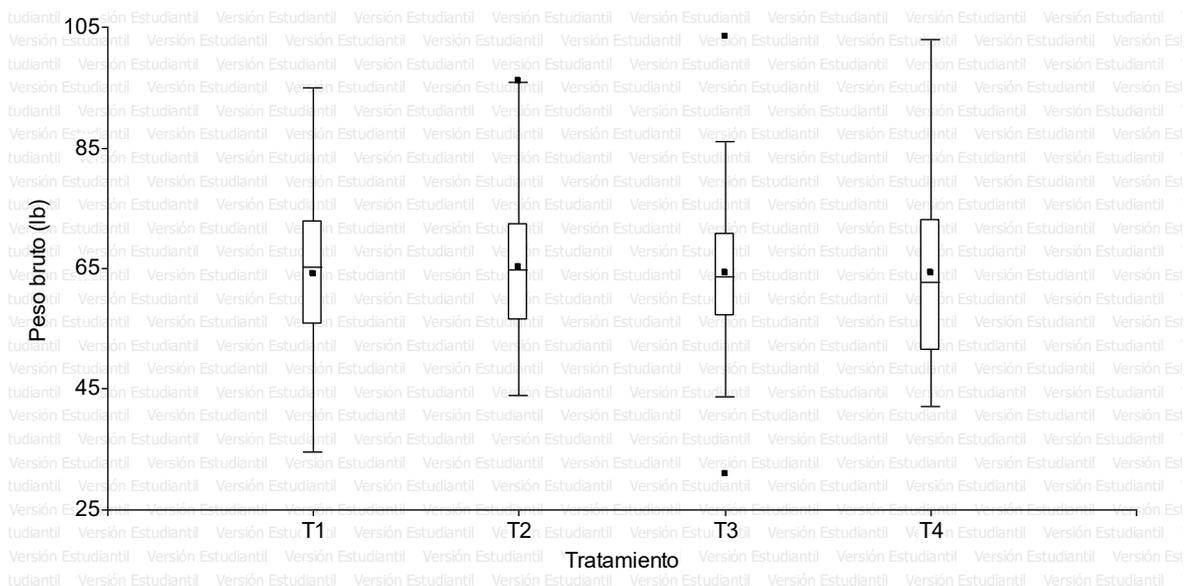


**Figura 22.** Porcentaje de afectación de mancha de madurez ( $\bar{X} \pm EE$ ) por tratamiento, en dos momentos de evaluación. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. Promedios representados con letras diferentes son significativamente diferentes con la prueba DGC ( $\alpha=0,05$ ). Semanas 35 y 40, 2019.

#### 4.5. Efecto de la incorporación de Nutrisorb® G sobre el rendimiento del cultivo

##### 4.5.5. Peso bruto del racimo sin raquis

La Figura 23 muestra la distribución de las medidas de tendencia central de la variable peso de racimos de once semanas de edad, recopilado en un periodo de once semanas (desde semana 8 hasta semana 18, del año 2019), para conocer su variabilidad. Se observa una distribución amplia de los datos en todos los tratamientos, así como, valores promedios muy semejantes entre los tratamientos (T1 = 63,66lb; T2 = 64,97lb; T3=64,23lb; T4 = 64,07lb). La condición mencionada anteriormente, justifica la ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ( $p=0,9492$ ) para esta variable, y la necesidad de analizar el peso del racimo a partir de una muestra más numerosa.

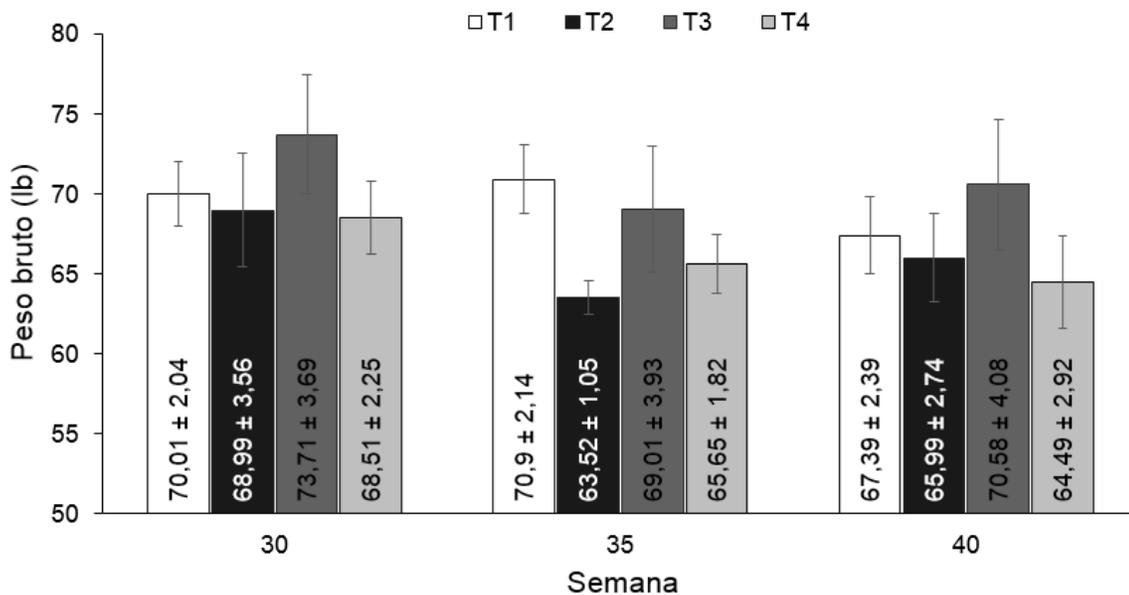


**Figura 23.** Distribución del peso bruto de racimos de once semanas de edad, sin el raquis. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. Muestra realizado entre semana 8 y semana 18, 2019.

#### 4.5.1. Peso bruto del racimo en campo

La Figura 24, muestra el comportamiento del peso bruto del racimo en campo (incluyendo el raquis), en los tres momentos de evaluación. En semana 30, el peso del racimo de las plantas tratadas cada doce semanas mostraron el promedio más alto (73,71 lb), seguido por el testigo (70,01 lb), las plantas tratadas cada nueve (68,99 lb) y cada quince semanas (68,51 lb), respectivamente. En semana 35, el testigo presentó el promedio más alto (70,9 lb), seguido por las plantas tratadas cada doce (69,01 lb), cada quince (65,65 lb) y cada nueve semanas (63,52 lb), respectivamente. En semana 40, el peso del racimo de plantas tratadas cada doce semanas mostró un peso superior (70,58 lb), en comparación al testigo (67,39 lb), las plantas tratadas cada nueve (65,99 lb) y cada quince semanas (64,49 lb), en orden descendiente.

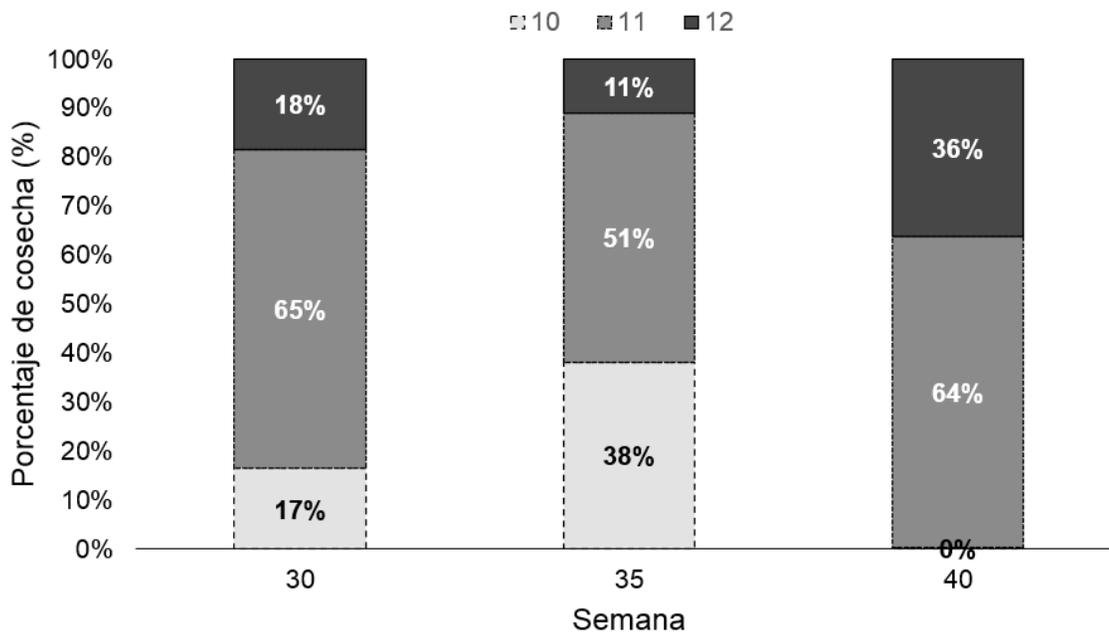
El peso del racimo presentó ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para esta variable, en todos de los momentos de evaluación ( $p=0,3881$ ;  $p=0,1371$ ;  $p=0,2046$ , respectivamente).



**Figura 24.** Comportamiento del peso bruto del racimo en campo ( $\bar{X} \pm EE$ ), en cada momento de evaluación. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. Semanas 30, 35, 40, año 2019.

Estudios recientes en diferentes zonas del país, muestran promedios de peso del racimo cercanos a los valores obtenidos en el presente ensayo. Vargas y colaboradores (2018), indican pesos de 61,5 lb en una finca sembrada en 1991. Villalta y colaboradores (2018), muestran un peso promedio de 64,3 lb en los primeros cuatro ciclos del cultivo. Por otra parte, González y Sandoval (2018), en el primer y segundo ciclo del cultivo, mostrando un peso de 61,1 lb y 78,9 lb, respectivamente.

La reducción en el peso bruto del racimo de las plantas tratadas con las tres frecuencias de aplicación del bioestimulante radicular en semana 35, en comparación con la semana 30, pudo estar relacionado con una reducción en la edad de la fruta al momento de cosecha, como resultado de variaciones en el mercado de fruta (Figura 25). De acuerdo con Soto (2016), los cambios en la demanda de fruta que obligan a realizar cosechas tempranas, impiden aprovechar el grado óptimo de madurez del fruto, ocasionando pérdidas en el peso y el rendimiento del cultivo.

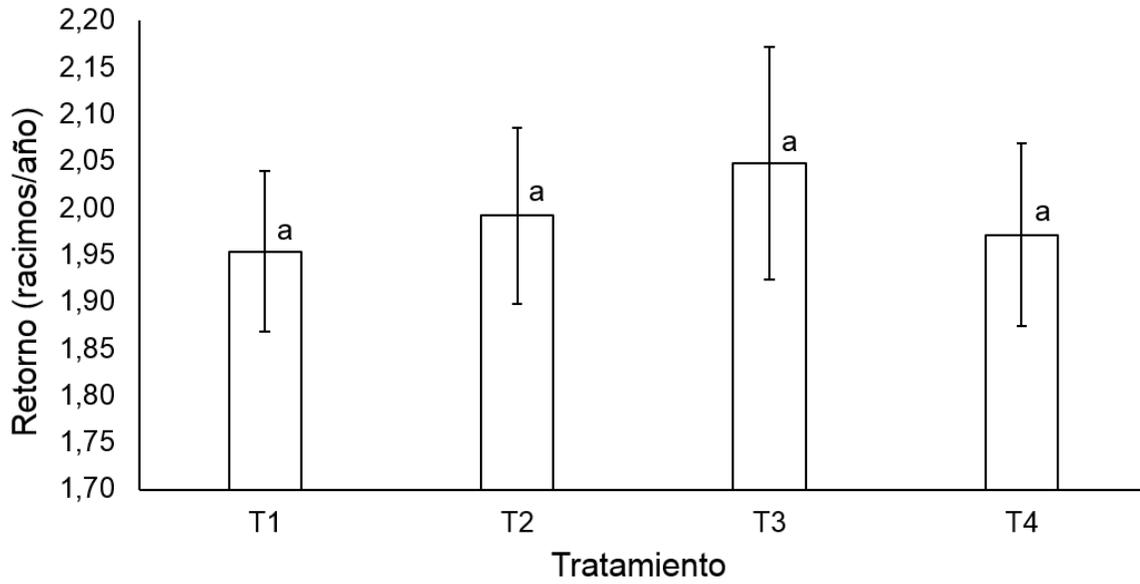


**Figura 25.** Distribución porcentual de la edad (en semanas) de la fruta cosechada en los tres momentos de evaluación de las variables de rendimiento y calidad. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. Semanas 30, 35 y 40, 2019.

El racimo inicia la fase de acumulación de almidones o llenado del fruto a partir de la sexta semana de desarrollo, expresando un incremento exponencial en el peso hasta el momento de la maduración, con una ganancia aproximada de 2,02 gramos/día/dedo. Además, existe una correlación positiva ( $r = 99,47\%$ ) entre los días de desarrollo y el diámetro (grado) del fruto, así mismo, entre el grado y el peso del racimo, equivalente a 1,71 Kg por cada grado de cosecha (Soto 2016). Lo anterior indica la necesidad de aprovechar el potencial de ganancia de peso del racimo durante las últimas semanas de desarrollo.

#### 4.5.2. Índice de retorno

La Figura 26, muestra que las plantas tratadas con el bioestimulante radicular cada doce semanas, presentaron el mayor índice de retorno ( $2,05 \pm 0,25$  racimos/año), seguido las plantas aplicadas cada nueve semanas ( $1,99 \pm 0,21$  racimos/año), cada quince semanas ( $1,97 \pm 0,19$  racimos/año) y el testigo ( $1,95 \pm 0,19$  racimos/año). Sin embargo, esta variable indicó ausencia de diferencias significativas entre tratamientos ( $p = 0,3728$ ).



**Figura 26.** Índice de retorno estimado ( $\bar{X} \pm EE$ ) a partir de intervalo en semanas entre embolsado de planta madre y embolsado del hijo de sucesión. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. 2018-2019.

El índice de retorno refleja la sincronización entre las generaciones de una unidad productiva, así como, de la tasa de crecimiento durante la fase vegetativa independiente como consecuencia de las condiciones climáticas, el nivel de fertilidad del suelo, el manejo de la fertilización y de manejo del cultivo (deshija, altura de corte del pseudotallo, control de malezas, etc.). El índice de retorno potencial en plantaciones establecidas bajo adecuadas condiciones de manejo agronómico, corresponde a 1,9 racimos/unidad productiva/año (Sánchez y Mira 2013). González y Sandoval (2018), indican un índice de retorno de 1,95 y 1,89 racimos por unidad de producción por año en la primera y segunda cosecha respectivamente, en el Pacífico seco de Costa Rica (Nandayure, Guanacaste). Los datos obtenidos por Villalta y colaboradores (2018) en una finca ubicada en la provincia de Limón, indican un índice de retorno de 2,09 y 1,91 racimos/unidad productiva/año, correspondiente a la tercera y cuarta cosecha del cultivo.

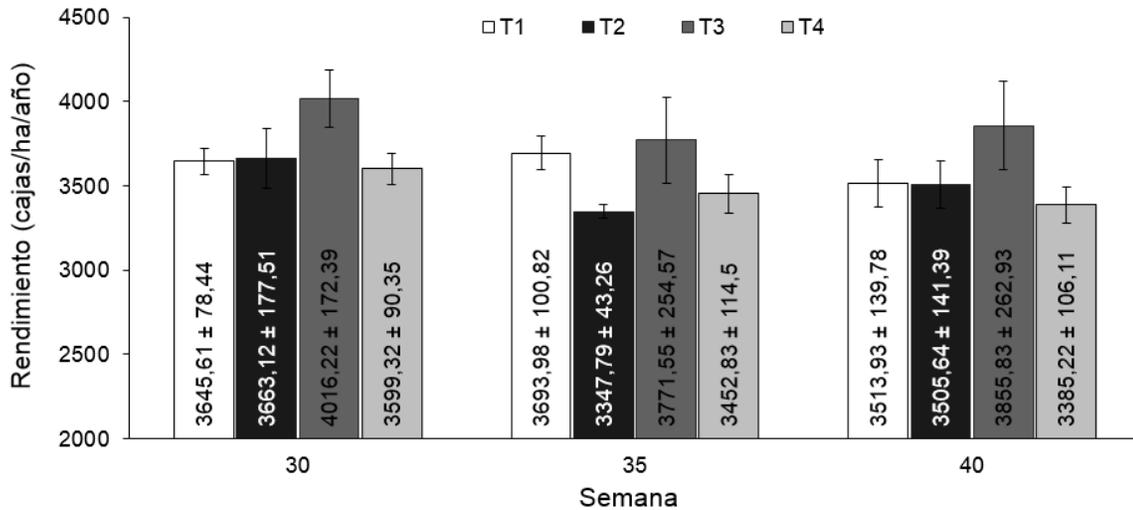
### 4.5.3. Rendimiento (cajas/ha/año)

La Figura 27, muestra el comportamiento del rendimiento estimado en cada una de las evaluaciones realizadas. Las plantas tratadas cada doce semanas, presentaron el mayor rendimiento estimado durante los tres momentos de evaluación.

En la semana 30, el tratamiento con la frecuencia de aplicación cada doce semanas indicaron un rendimiento estimado de 4016 cajas/ha/año, seguido por el testigo (3646 cajas/ha/año), la aplicación cada nueve (3663 cajas/ha/año) y cada quince semanas (3599 cajas/ha/año), de forma descendente. Las parcelas tratadas cada doce semanas mostraron un incremento de 370 cajas/ha/año, en comparación con el testigo de finca. Los tratamientos con frecuencia de aplicación cada nueve y cada quince semanas, indicó un rendimiento semejante al testigo de finca. El análisis de varianza indicó la ausencia de diferencias significativas entre tratamientos ( $p = 0,0513$ ).

En la semana 35, el rendimiento estimado para el tratamiento con aplicaciones cada doce semanas fue de 3772 cajas/ha/año, seguido por el testigo (3694 cajas/ha/año), el tratamiento con aplicaciones cada quince (3453 cajas/ha/año) y cada nueve semanas (3348 cajas/ha/año). La aplicación del bioestimulante radicular cada doce semanas obtuvo un rendimiento ligeramente superior al testigo de finca. Los tratamientos con frecuencias de aplicación cada nueve y cada quince semanas, indicaron la reducción en el rendimiento comparados con el testigo. Sin embargo, el análisis de varianza indicó la ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ( $p=0,2061$ ).

En la evaluación realizada durante semana 40, las plantas tratadas cada doce semanas mostraron un rendimiento (3856 cajas/ha/año) superior al testigo (3514 cajas/ha/año), las plantas tratadas cada nueve (3506 cajas/ha/año) y cada quince semanas (3385 cajas/ha/año). El tratamiento con la frecuencia de aplicación cada doce semanas, presentó un incremento de 342 cajas/ha/año con respecto al testigo. Sin embargo, existe ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ( $p=0,1582$ ).



**Figura 27.** Comportamiento del rendimiento estimado ( $\bar{X} \pm EE$ ), a partir del peso bruto del racimo en campo en cada momento de evaluación y el índice de retorno de cada unidad experimental. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. 2019.

El rendimiento estimado para el testigo de finca se asemeja al rendimiento real de la finca en el año 2019 (3558 cajas/ha/año)<sup>4</sup>, en los tres momentos de evaluación. Así mismo, el rendimiento obtenido es semejante a los resultados obtenidos por González y Sandoval (2018) en la región Pacífico seco de Costa Rica (Nandayure, Guanacaste), obteniendo rendimientos estimados de 3740 cajas/ha/año y 3237 cajas/ha/año, en la primera y segunda cosecha respectivamente. Además, estos resultados coinciden con el rango de rendimiento mencionado por los mismos autores, para la región del Pacífico Sur de Guatemala, indicando rendimientos entre 3500 cajas/ha/año a 4000 cajas/ha/año.

La aplicación de bioestimulantes radiculares que incrementen el peso de raíces activas en el cultivo de banano, podría traer beneficios sobre el rendimiento productivo. Serrano (2003) menciona que existe una correlación positiva entre el peso de raíz funcional y el rendimiento de las plantaciones bananeras de Costa Rica.

<sup>4</sup> Castillo, R. 20 jul. 2020. Datos de rendimiento en Finca San Gerardo, periodo 2017-2019 (comunicación personal). Parrita, Puntarenas, Costa Rica. Frutas Selectas del Trópico S.A.

La expresión del potencial de rendimiento de las plantas tratadas con el bioestimulante Nutrisorb® G, pudo estar afectada por las condiciones ambientales predominante durante el periodo de verano, como: baja precipitación (cinco eventos de lluvia), temperaturas altas (temperatura máxima media semanal entre 32,4 °C y 34,6 °C) (Figura 4), y baja nubosidad, ocasionando estrés durante las horas más calientes del día. De acuerdo con Fischer y Pérez (2012), en presencia de alta radiación, alta temperatura, estrés hídrico y salinidad, se provoca la saturación lumínica del aparato fotosintético, así mismo, aumenta la fotorrespiración de la planta ocasionando el consumo de carbohidratos derivados de la fotosíntesis, reduciendo la productividad de la planta.

#### **4.6. Análisis económico de la aplicación de Nutrisorb® G**

El Cuadro 10, muestra el análisis económico de la implementación de los tratamientos utilizados en el presente estudio. Indica el costo de aplicación, el rendimiento estimado, la proyección en el costo total por caja producida, el costo de producción por hectárea en un año, el ingreso bruto, la utilidad neta y la diferencia en utilidad con respecto al testigo, para cada uno de los tratamientos.

**Cuadro 10.** Análisis económico de la utilidad neta por tratamiento, en cada momento de evaluación del rendimiento estimado. Finca San Gerardo, Parrita, Puntarenas. Semanas 30, 35 y 40, 2019.

Tratamiento	Costo de aplicación (\$/ha/año)	Rendimiento estimado (cajas/ha/año)	Proyección de costo (\$/caja)	Costo de producción (\$/ha/año)	Ingreso bruto (\$/ha/año)	Utilidad neta (\$/ha/año)	Diferencia en utilidad vs testigo (\$/ha/año)	Variación en utilidad vs testigo (%)
<b>Semana 30</b>								
T1: Testigo finca	0,0	3646	7,43	27.069,4	31.352,2	4.282,9	0,0	0,0
T2: Nutrisorb® G cada 9 semanas	384,0	3663	7,52	27.530,4	31.502,8	3.972,4	-310,5	-7,2
T3: Nutrisorb® G cada 12 semanas	320,0	4016	7,23	29.020,3	34.539,5	5.519,2	1.236,3	<b>28,9</b>
T4: Nutrisorb® G cada 15 semanas	256,0	3599	7,54	27.121,6	30.954,2	3.832,5	-450,4	-10,5
<b>Semana 35</b>								
T1: Testigo finca	0,0	3694	7,39	27.282,2	31.768,2	4.486,0	0,0	0,0
T2: Nutrisorb® G cada 9 semanas	384,0	3348	7,81	26.142,7	28.791,0	2.648,3	-1.837,8	-41,0
T3: Nutrisorb® G cada 12 semanas	320,0	3772	7,41	27.943,6	32.435,3	4.491,8	5,7	<b>0,1</b>
T4: Nutrisorb® G cada 15 semanas	256,0	3453	7,67	26.477,0	29.694,3	3.217,3	-1.268,7	-28,3
<b>Semana 40</b>								
T1: Testigo finca	0,0	3514	7,54	26.489,9	30.219,8	3.729,9	0,0	0,0
T2: Nutrisorb® G cada 9 semanas	384,0	3506	7,66	26.837,4	30.148,5	3.311,1	-418,8	-11,2
T3: Nutrisorb® G cada 12 semanas	320,0	3856	7,34	28.314,5	33.160,1	4.845,7	1.115,7	<b>29,9</b>
T4: Nutrisorb® G cada 15 semanas	256,0	3385	7,73	26.179,5	29.112,9	2.933,4	-796,5	-21,4

Los tratamientos con frecuencia de aplicación cada nueve y quince semanas presentaron una reducción en la utilidad neta en relación con el testigo de finca, debido a que el rendimiento estimado de estos tratamientos fue inferior al obtenido en el testigo de finca.

Por otra parte, la aplicación del bioestimulante radicular cada doce semanas obtuvo un incremento de un 28,9% y 29,9% en la utilidad neta en comparación con el testigo de finca, en las evaluaciones de rendimiento realizadas en semana 30 y 40 respectivamente. Según el especialista en expansión Marini (1999), se debe considerar la recomendación un método innovador que indique un incremento económico del 15%, aun cuando exista una posibilidad de error del 20% ( $p= 0,20$ ).

Tomando en cuenta la información del Cuadro 6, la implementación del bioestimulante Nutrisorb® G en una dosis de ocho kilogramos por hectárea cada doce semanas, presentó un potencial para mejorar la utilidad neta de la empresa.

## 5. CONCLUSIONES

- La aplicación del bioestimulante radicular Nutrisorb® G en el cultivo de banano, mostró el mismo comportamiento en las variables de crecimiento analizadas en el presente ensayo.
- Las plantas de banano aplicadas con el bioestimulante radicular Nutrisorb® G, mostraron un contenido de nutrientes en la lámina foliar en fase de floración y contenido de nutrientes en la epidermis del fruto semejante al testigo.
- La aplicación de Nutrisorb® G en el cultivo de banano cada doce semanas mostró una reducción estadísticamente no significativa ( $p=0,0601$ ) en el porcentaje de incidencia de mancha de madurez de un 18,96% en comparación al testigo de finca, sin embargo, la aplicación de Nutrisorb® G cada quince semanas mostró un mayor porcentaje de manos afectadas con mancha de madurez, en semana 35 ( $p=0,0042$ ).
- Las plantas de banano tratadas con el bioestimulante Nutrisorb® G indicaron la ausencia de diferencias estadísticamente significativas en el peso bruto del racimo y el índice de retorno. Sin embargo, en semana 30, las plantas tratadas cada doce semanas presentaron un incremento estadísticamente no significativo ( $p=0,0513$ ) de 370 cajas/ha/año sobre el testigo de finca.
- Las aplicaciones del bioestimulante radicular Nutrisorb® G en el cultivo de banano en dosis de ocho kilogramos por hectárea cada doce semanas, podría mejorar la utilidad neta de la empresa.

## 6. RECOMENDACIONES

Utilizar criterios de selección de hijos de sucesión que delimiten mejor la fenología de las plantas seleccionadas ó realizar evaluaciones de variables biométricas en etapas fenológicas específicas (floración y cosecha).

Ajustar la evaluación del porcentaje de severidad de mancha de madurez a las especificaciones de calidad de la empresa que comercializa la fruta. Además, utilizar un índice que permita cuantificar la pérdida de fruta asociada a este desorden fisiológico (número de dedos afectados, categorías según rango de severidad).

La evaluación de peso bruto del racimo se debe realizar con un número representativo de muestras en una misma semana de evaluación, para reducir la variabilidad asociada a la distribución espacial de las plantas, las condiciones ambientales y las posibles variaciones en el mercado de fruta.

En posteriores ensayos, se recomienda valorar la instalación de sensores para registrar variables ambientales (humedad relativa, radiación solar, temperatura), directamente en el área de cultivo, debido a las variaciones ocasionadas por el sistema de riego (riego por aspersión).

Repetir en ensayo realizando las aplicaciones del bioestimulante durante el periodo de invierno, realizando la estimación de rendimiento durante el periodo de verano.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Abarca, J. 2017. Efecto de la fertilización con calcio en la fruta de banano (Musa AAA cv. Gal) para el control de la mancha de madurez. (en línea). s.l., UCR. Disponible en [http://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/75421/Efecto de la fertilización con calcio en la fruta de banano %28Musa AAA cv. Gal%29 para el control de la mancha de madurez..pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/75421/Efecto%20de%20la%20fertilizaci%C3%B3n%20con%20calcio%20en%20la%20fruta%20de%20banano%20%28Musa%20AAA%20cv.%20Gal%29%20para%20el%20control%20de%20la%20mancha%20de%20madurez..pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Altendorf, S. 2019. Bananas and Major Tropical Fruits in Latin America and the Caribbean (en línea). OECD-FAO Agricultural Outlook 2019-2028 (May): 73-76. Disponible en [http://www.fao.org/fileadmin/templates/est/COMM\\_MARKETS\\_MONITORING/Tropical\\_Fruits/Documents/Food\\_Outlook\\_May\\_2019\\_\\_Tropical\\_Fruits\\_Article\\_.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/est/COMM_MARKETS_MONITORING/Tropical_Fruits/Documents/Food_Outlook_May_2019__Tropical_Fruits_Article_.pdf).
- Brown, P; Saa, S. 2015. Biostimulants in agriculture (en línea). *Frontiers in Plant Science* 6(August). DOI: 10.3389/fpls.2015.00671. Disponible en <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2015.00671/full>.
- CORBANA. 2019. PLAN ESTRATÉGICO 2019-2023 CORPORACIÓN BANANERA NACIONAL , S . A . (en línea). s.l., s.e. Disponible en <https://www.corbana.co.cr/wp-content/uploads/PLAN-ESTRATÉGICO-DE-CORBANA-2019-2023-1.pdf>.
- CORBANA. 2020. Banano de Costa Rica – Corbana (en línea, sitio web). Consultado 4 jun. 2020. Disponible en <https://www.corbana.co.cr/banano-de-costa-rica/#estadistica>.
- Delgado, E; Rosales, F; Trejos, J; Villalobos, M; Pocasangre, L. 2010. Índice De Calidad Y Salud De Suelos Para Plantaciones Bananeras En Cuatro Paises De America Latina Y El Caribe (en línea). *Bioagro* 22(1):53-60. Disponible en: [https://pdfs.semanticscholar.org/8756/3d53d47d11a907bdc8938b194b25a6cecd8e.pdf?\\_ga=2.190098539.1968732176.1592115704-264150026.1587936706](https://pdfs.semanticscholar.org/8756/3d53d47d11a907bdc8938b194b25a6cecd8e.pdf?_ga=2.190098539.1968732176.1592115704-264150026.1587936706)
- Díaz, A; Cayón, G; Mira, J. 2007. Metabolismo del calcio y su relación con la

“mancha de madurez” del fruto de banano. Una revisión (en línea). *Agronomía Colombiana* 25(2):280-287. ISSN: 0120-9965. Disponible en [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-99652007000200010](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99652007000200010).

Di Rienzo, J; Casanoves, F; Balzarini, M; Gonzalez, L; Tablada, M; Robledo, CW. (2017). *InfoStat versión 2017*. Argentina, s.e.

Elbehri, A; Calberto, G; Staver, C; Hospido, A; Roibas, L; Skully, D; Siles, P; Arguello, J; Sotomayor, I; Bustamante, A. 2015. *Cambio Climático y Sostenibilidad del Banano en el Ecuador: Evaluación de impacto y directrices de política* (en línea). Roma, Italia, s.e. 198 p. ISBN: 9789253089529 . Disponible en <http://www.fao.org/3/A-I5116s.Pdf>.

Evans, E; Ballen, F. 2018. *Banana Market* (en línea). UF/IFAS Extension :1-9. Disponible en <https://edis.ifas.ufl.edu/pdf/FE/FE90100.pdf>.

FAO. 2018. *Banana Market Review: Preliminary results for 2018* (en línea). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponible en [http://www.fao.org/fileadmin/templates/est/COMM\\_MARKETS\\_MONITORING/Bananas/Documents/Banana\\_Market\\_Review\\_Prelim\\_Results\\_2018.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/est/COMM_MARKETS_MONITORING/Bananas/Documents/Banana_Market_Review_Prelim_Results_2018.pdf).

FAO. 2020. *FAOSTAT Crops data* (en línea, sitio web). Consultado 31 may. 2020. Disponible en <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.

Ferreira Coelho, E; Rocha dos Santos, M; Rodrigues Donato, SL; Lopes Cruz, J; Mara de Oliveira, P; Castricini, A. 2019. *Soil-water-plant relationship and fruit yield under partial root-zone drying irrigation on banana crop* (en línea). *Scientia Agricola* 76(5):362-367. Disponible en [https://pdfs.semanticscholar.org/422a/48fb8adf3712cf2b2a2165371c91db5d4c5c.pdf?\\_ga=2.134010957.273225733.1588043013-264150026.1587936706](https://pdfs.semanticscholar.org/422a/48fb8adf3712cf2b2a2165371c91db5d4c5c.pdf?_ga=2.134010957.273225733.1588043013-264150026.1587936706)

Fischer, G; Pérez, C. 2012. *Efecto de la radiación solar en la calidad de los productos hortícolas* (en línea). *Memorias Congreso Internacional de Hortalizas en el Trópico: La Olericultura Colombiana, Nuevos Retos para Enfrentar los Tratados de Libre Comercio*. Universidad Nacional de

Colombia, Bogotá. 15 p. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/256575856\\_Efecto\\_de\\_la\\_radiacion\\_solar\\_en\\_la\\_calidad\\_de\\_los\\_productos\\_hortícolas](https://www.researchgate.net/publication/256575856_Efecto_de_la_radiacion_solar_en_la_calidad_de_los_productos_hortícolas).

Flors, V. 2000. Alteración de rutas metabólicas y promoción de defensas endógenas en *Lycopersicon esculentum* Mill. y *Capsicum annum* L. inducidas por la aplicación de nuevos reguladores de crecimiento (en línea). 209 p. Disponible en <https://www.tesisenred.net/handle/10803/10420?show=full>.

Galán, V; Robinson, J. 2013. Fisiología, Clima Y Producción De Banano (en línea). ACORBAT. Brasil, s.e. Disponible en [https://agroislas.com/blog/9-blog/download/35\\_bf0032c7fe5f2fe64e006f4c7cbfe884](https://agroislas.com/blog/9-blog/download/35_bf0032c7fe5f2fe64e006f4c7cbfe884)

Gauggel, C; Sierra, F; Arévalo, G. 2005. The problem of banana root deterioration and its impact on production: Latin America's experience (en línea). INIBAP. 237p. Disponible en [https://pdfs.semanticscholar.org/0660/4478bfba9b58a9ed43d5280750092085041b.pdf?\\_ga=2.252485705.1968732176.1592115704-264150026.1587936706](https://pdfs.semanticscholar.org/0660/4478bfba9b58a9ed43d5280750092085041b.pdf?_ga=2.252485705.1968732176.1592115704-264150026.1587936706).

González, M; Sandoval, J. 2018. Comportamiento agronómico de tres cultivares de banano (*Musa* AAA, subgrupo Cavendish) a tres densidades de población en el Pacífico Seco de Costa Rica. *Revista Científica de la Corporación Bananera Nacional* 44(64):33-48.

Guerrero, B; Velandia, M; Fischer, G; Montenegro, H. 2007. Los ácidos carboxílicos de extractos vegetales y la humedad del suelo influyen en la producción y el rajado del fruto de uchuva (*Physalis peruviana* L.) (en línea). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 1(1):9-19. Disponible en <http://www.soccolhort.com/revista/pdf/magazin/Vol1/vol.1no.1/Vol1.No.1.Art1.pdf>.

Hernández, M; Modesto, G; Chailloux, M; Pulido, J; Anselma, O. 2005. EVALUACIÓN DE ÁCIDOS CARBOXÍlicos EN EL CULTIVO PROTEGIDO DEL TOMATE (en línea). Disponible en <https://es.scribd.com/document/75250771/Acidos-Carboxilicos-en-El-Cultivo-Protegido-de-Tomate>.

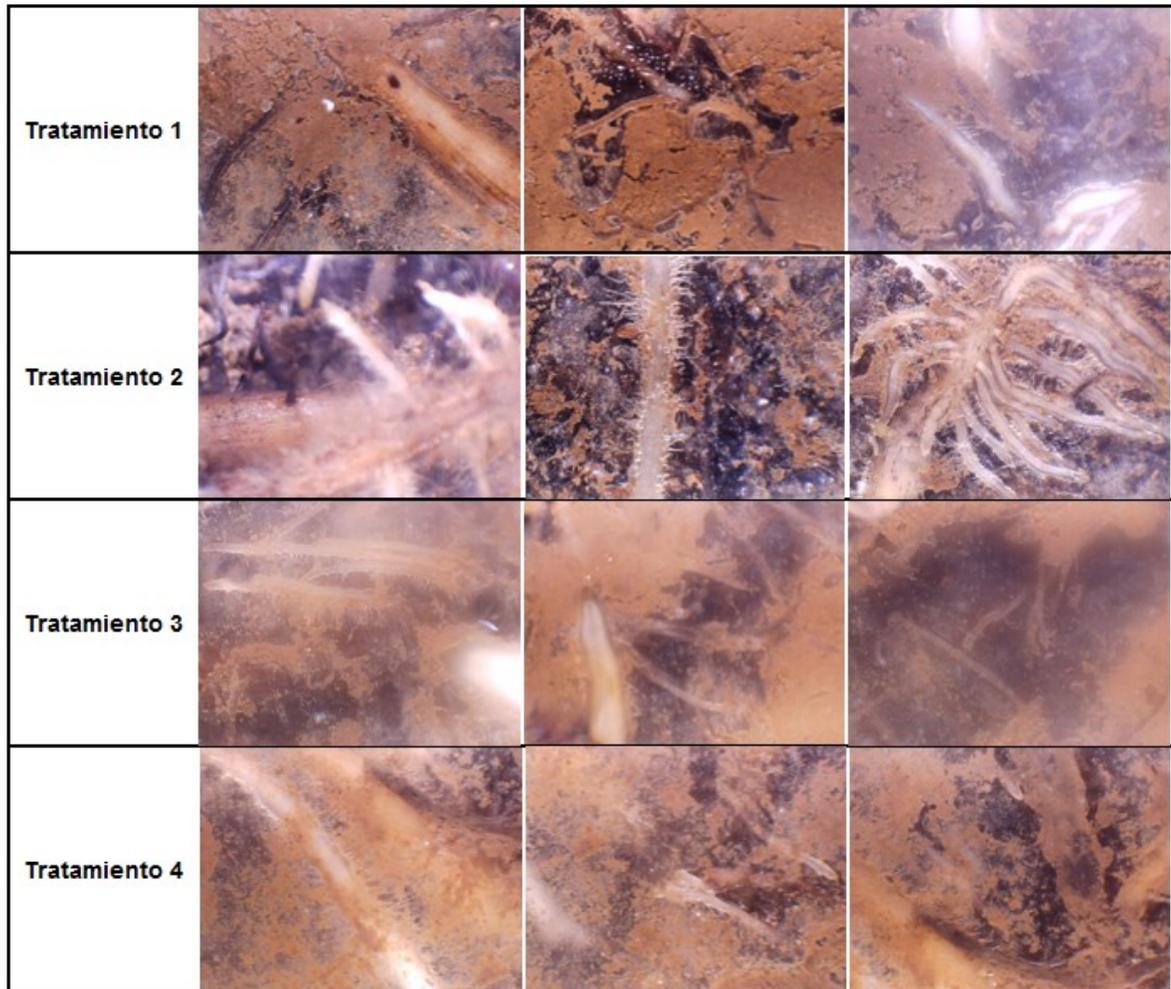
- INDER. 2016. Caracterización territorio Quepos, Garabito y Parrita (en línea). 56 p. Disponible en <https://www.inder.go.cr/quepos-garabito-parrita/Caracterizacion-Quepos-Garabito-Parrita.pdf>.
- Kass, D. 2007. Fertilidad de suelos. 1 ed. San José, Costa Rica, EUNED. 272 p.
- López, A; Espinosa, J. 1995. Manual de nutrición y fertilización del banano (en línea). International Plant Nutrition Institute 1:88 p. Disponible en [http://nla.ipni.net/ipniweb/region/nla.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/c093707b0327c2fe05257a40005f359f/\\$FILE/N%20F%20Banano.002.002.pdf/N%20F%20Banano.pdf](http://nla.ipni.net/ipniweb/region/nla.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/c093707b0327c2fe05257a40005f359f/$FILE/N%20F%20Banano.002.002.pdf/N%20F%20Banano.pdf)
- Mahouachi, J. 2007. Growth and mineral nutrient content of developing fruit on banana plants (*Musa acuminata* AAA, 'Grand Nam') subjected to water stress and recovery (en línea). *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 82(6):839-844. Disponible en <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14620316.2007.11512315?sr=c=recsys>
- Marini, R. 1999. Are Nonsignificant Differences Really Not Significant? (en línea). *HortScience* 34(5):761-762. Disponible en <https://pdfs.semanticscholar.org/fb87/598eb7e77bf19cbaa2b9d008a400a81daa04.pdf>.
- Martínez, A; Cayón, G. 2011. Dinámica del Crecimiento y Desarrollo del Banano (*Musa* AAA Simmonds cvs . Gran Enano y Valery) (en línea). *Revista Facultad Nacional de Agronomía* 64(7):6055-6064. Disponible en <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/29360/37145>.
- Martínez, R. 2013. Efecto del riego deficitario controlado en la productividad del banano (en línea). *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 22(2):51-55. Disponible en <http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v22n2/rcta09213.pdf>.
- Monge, E; Val, J; Sanz, M; Blanco, A; Montañes, L. 1994. El calcio nutriente para las plantas: Bitter pit en manzano (en línea). *Estación Experimental de Aula Dei* 21(3):189-202. Disponible en [http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/El\\_calcio\\_nutriente.pdf](http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/El_calcio_nutriente.pdf).

- Mora, S; Quesada, R; Jaén, L; Monge, D. 2020. Boletín Estadístico Agropecuario Serie Cronológica 2016-2019 (en línea). 30 ed. Costa Rica, Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria. 141 p. Disponible en <http://www.infoagro.go.cr/BEA/BEA30.pdf>.
- Padam, B; Tin, H; Chye, F; Abdullah, M. 2014. Banana by-products: an under-utilized renewable food biomass with great potential (en línea). *Journal of Food Science and Technology* 51(12):3527-3545. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0861-2>.
- Paradiković, N; Vinković, T; Vinković Vrček, I; Žuntar, I; Bojić, M; Medić-Šarić, M. 2011. Effect of natural biostimulants on yield and nutritional quality: An example of sweet yellow pepper (*Capsicum annuum* L.) plants. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 91(12):2146-2152. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.4431>.
- Saa, S; Olivos, A; Castro, S; Brown, PH. 2015. Foliar application of microbial and plant based biostimulants increases growth and potassium uptake in almond (*Prunus dulcis* [Mill.] D. A. Webb) (en línea). *Frontiers in Plant Science* 6(FEB):1-9. Disponible en <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2015.00087/full>
- Sánchez, J; Mira, J. 2013. Principios para la nutrición en el cultivo de banano (en línea). 1 ed. AUGURA (ed.). Colombia, s.e. 253 p. Disponible en <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/12593>.
- Saure, M. 2005. Calcium translocation to fleshy fruit: Its mechanism and endogenous control (en línea). *Scientia Horticulturae* 105(1):65-89. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304423804002365>
- Serrano, E. 2003. Relationship between functional root content and banana yield in Costa Rica (en línea). *Banana Root System: towards a better understanding for its productive management*. INIBAP. 10 p. Disponible en <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20053211586>
- Serrano, E; Sandoval, J; Guzmán, M; Ortega, R; Segura, R; Rodríguez, W; Arias, F; González, M; Mora, M; Segura, Á; Gonzalez, R. (2007). Deficiencia de calcio

en las hojas y en el fruto del cultivo de banano (Musa AAA). Corporación Bananera Nacional. Guapiles, Costa Rica, s.e.

- Serrano, E; Sandoval, J; Pocasangre, L; Rosales, F; Delgado, E. (2006). Importancia de los indicadores físico-químicos en la calidad del suelo para la producción sustentable del banano en Costa Rica. ACORBAT. Santa Catarina, Brasil, s.e. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- Soto, M. 2016. Bananos III: manejo postcosecha y comercialización. Cartago, Costa Rica, s.e. 310 p.
- Turner, D; Fortescue, J; Thomas, D. 2007. Environmental physiology of the bananas (Musa spp.) (en línea). Brazilian Journal of Plant Physiology 19(4):463-484. Disponible en <https://www.scielo.br/pdf/bjpp/v19n4/a13v19n4.pdf>
- Vargas, A; Sandoval, J; González, M. 2018. Efecto del cubrimiento de hijos estresados de banano con diferentes condiciones de pseudotallo sobre el crecimiento y la producción. Revista Científica de la Corporación Bananera Nacional 44(64):184 p.
- Vargas, A; Watler, W; Morales, M; Vignola, R. 2017. Prácticas efectivas para la reducción de impactos por eventos climáticos en el cultivo de banano en Costa Rica (en línea). 56 p. Disponible en <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/reduccion-impacto-por-eventos-climaticos/Informe-final-Banano.pdf>.
- Varma, V; Bebbber, D. 2019. Climate change impacts on banana yields around the world (en línea). Nature Climate Change. 11 p. Disponible en <https://www.nature.com/articles/s41558-019-0559-9>
- Villalta, R; Vargas, A; Guzmán, M. 2018. Respuesta de la planta de banano a la nutrición foliar con aminoácidos más nutrientes y su efecto sobre la severidad de la sigatoka negra. Revista Científica de la Corporación Bananera Nacional 44(64):184 p.
- White, P; Broadley, M. 2003. Calcium in plants (en línea). Annals of Botany 92(4):487-511. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/10602157\\_Calcium\\_in\\_Plants](https://www.researchgate.net/publication/10602157_Calcium_in_Plants)

## 8. ANEXOS



**Anexo 1.** Evaluación de la condición física del sistema radicular. Finca San Gerardo. Evaluado 26 semanas después de iniciar el ensayo. Semana 21, 2019.