



**UTMACH**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**CARRERA DE AGRONOMÍA**

**Eficiencia Fotosintética: Efecto en el desarrollo y productividad del cultivo de banano.**

**CORREA TORRES JEAN ALEXANDER  
INGENIERO AGRONOMO**

**QUIMI RAMIREZ LUIS FERNANDO  
INGENIERO AGRONOMO**

**MACHALA  
2024**



**UTMACH**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**CARRERA DE AGRONOMÍA**

**Eficiencia Fotosintética: Efecto en el desarrollo y productividad del cultivo de banano.**

**CORREA TORRES JEAN ALEXANDER  
INGENIERO AGRONOMO**

**QUIMI RAMIREZ LUIS FERNANDO  
INGENIERO AGRONOMO**

**MACHALA  
2024**



**UTMACH**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**CARRERA DE AGRONOMÍA**

**TRABAJOS EXPERIMENTALES**

**Eficiencia Fotosintética: Efecto en el desarrollo y productividad  
del cultivo de banano.**

**CORREA TORRES JEAN ALEXANDER  
INGENIERO AGRONOMO**

**QUIMI RAMIREZ LUIS FERNANDO  
INGENIERO AGRONOMO**

**QUEVEDO GUERRERO JOSE NICASIO**

**MACHALA  
2024**




# 7% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

## Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 45 palabras)

## Fuentes principales

- 5%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 5%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

## Marcas de integridad

### N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

## Fuentes principales

- 5% Fuentes de Internet
- 0% Publicaciones
- 5% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

## Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Trabajos del estudiante	
	Universidad Técnica de Machala	3%
2	Internet	
	dspace.utb.edu.ec	2%
3	Internet	
	repository.agrosavia.co	2%
4	Internet	
	bdigital.zamorano.edu	1%

## **CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL**

Los que suscriben, CORREA TORRES JEAN ALEXANDER y QUIMI RAMIREZ LUIS FERNANDO, en calidad de autores del siguiente trabajo escrito titulado Eficiencia Fotosintética: Efecto en el desarrollo y productividad del cultivo de banano., otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

Los autores declaran que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

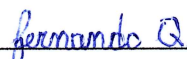
Los autores como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



CORREA TORRES JEAN ALEXANDER

0704858117



QUIMI RAMIREZ LUIS FERNANDO

0750650665

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación va dedicado principalmente a Dios, quien nos dio la sabiduría, fortaleza y constancia para poder llevar a cabo todo el proceso académico.

A nuestros padres, siendo ellos la más grande inspiración para seguir adelante día tras día, que, con la enseñanza de valores como el respeto, honestidad, disciplina, puntualidad y el apoyo incondicional en todo el periodo académico, permitieron que culminemos una etapa más en nuestras vidas.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos profundamente a nuestros padres quienes fueron la motivación para poder desempeñarnos en todo el proceso de estudio; gracias a ellos por habernos apoyado y enseñado que con dedicación y esfuerzo podemos lograr todo lo que nos propongamos.

A todos los docentes que formaron parte de nuestra formación, gracias a cada aporte de su conocimiento profesional hacia nosotros, sirvió para ampliar nuestros conocimientos y así lograr culminar la carrera universitaria.

## RESPONSABILIDAD DE AUTORIA

Yo, **Correa Torres Jean Alexander** con **C.I. 0704858117**, declaro que la tesis titulada **Eficiencia Fotosintética: Efecto en el desarrollo y productividad del cultivo de banano**. es el resultado de mi propio trabajo de investigación.

Esta tesis fue desarrollada y escrita bajo la orientación y supervisión del **Ing. José Quevedo Guerrero**, y cumple con los requisitos establecidos por la **UNIVERSIDAD TECNICA DE MACHALA** para la obtención del grado de **INGENIERO AGRONOMO**.

Afirmo que he seguido las normas éticas y metodológicas apropiadas para la realización de esta investigación, y he dado el debido crédito a todas las fuentes de información utilizadas a través de citas y referencias conforme a las normas APA 7ª edición. Además, declaro que los datos presentados en esta tesis son originales y no han sido manipulados o falsificados de ninguna manera. La interpretación y discusión de los resultados reflejan mis propios análisis y conclusiones derivadas del estudio. Con esta declaración, asumo plena responsabilidad por el contenido de este trabajo y estoy dispuesto a responder cualquier pregunta o aclaración sobre los aspectos metodológicos y los resultados obtenidos en esta investigación.

.....

Correa Torres Jean Alexander



## **RESPONSABILIDAD DE AUTORIA**

Yo, **Quimi Ramírez Luis Fernando** con **C.I. 0750650665**, declaro que la tesis titulada **Eficiencia Fotosintética: Efecto en el desarrollo y productividad del cultivo de banano**, es el resultado de mi propio trabajo de investigación.

Esta tesis fue desarrollada y escrita bajo la orientación y supervisión del **Ing. José Quevedo Guerrero**, y cumple con los requisitos establecidos por la **UNIVERSIDAD TECNICA DE MACHALA** para la obtención del grado de **INGENIERO AGRONOMO**.

Afirmo que he seguido las normas éticas y metodológicas apropiadas para la realización de esta investigación, y he dado el debido crédito a todas las fuentes de información utilizadas a través de citas y referencias conforme a las normas APA 7ª edición. Además, declaro que los datos presentados en esta tesis son originales y no han sido manipulados o falsificados de ninguna manera. La interpretación y discusión de los resultados reflejan mis propios análisis y conclusiones derivadas del estudio. Con esta declaración, asumo plena responsabilidad por el contenido de este trabajo y estoy dispuesto a responder cualquier pregunta o aclaración sobre los aspectos metodológicos y los resultados obtenidos en esta investigación.

.....  
Quimi Ramírez Luis Fernando

## **Eficiencia Fotosintética: Efecto en el desarrollo y productividad del cultivo de banano.**

### **Autores**

Correa Torres, Jean Alexander

Quimi Ramírez, Luis Fernando

### **Tutor**

Ing. Agr. Quevedo Guerrero José Nicasio, Mg.  
Sc.

### **RESÚMEN**

El objetivo de la investigación fue implementar una metodología para poder evaluar la eficiencia fotosintética y sus resultados en el cultivo de banano. En el mismo que se aplicaron seis tratamientos y diez repeticiones: T1(Testigo): Fertilización levon y bioestimulante foliar Qualita; T2: Trakon (20 PPM); T3: Trakon (15PPM); T4: Silicio vía foliar; T5: Silicio vía drench; T6: Agua de mar. Las variables evaluadas fueron: Emisión foliar primeras veinte semanas (EFP20S), Unidades de clorofila al momento de parición (UCAP), Semanas a la parición (SAP), Área foliar a la parición (AFP), Hojas a la parición (HP), Semanas a la cosecha (SAC), Área foliar a la cosecha (AFC), Numero de hojas a la cosecha (NHC), Peso de racimo (PR), Peso de raquis (PRaq), Grados ultima mano (GUM), Grados mano del sol (GMS), Numero dedos manos sol (NDMS), Peso neto de la fruta (PNF), Ratio Procesado (Ratio). La toma de datos de desarrollo se realizaron semanalmente y las variables de producción fueron tomadas al momento de la cosecha. Los resultados obtenidos en este trabajo demuestran que que los tratamientos basados en Silicio (T5 y T6) son los más efectivos en mejorar la eficiencia fotosintética y otros parámetros fisiológicos en el cultivo de banano.

**Palabras clave:** eficiencia fotosintética, banano, área foliar, producción.

# **Photosynthetic Efficiency: Effect on the development and productivity of banana cultivation.**

## **Authors**

Correa Torres, Jean Alexander

Quimi Ramírez, Luis Fernando

## **Tutor**

Ing. Agr. Quevedo Guerrero José Nicasio, Mg. Sc.

## **ABSTRACT**

The objective of the research was to implement a methodology to evaluate photosynthetic efficiency and its results in banana cultivation. In which six treatments and ten repetitions were applied: T1 (Control): Levon fertilization and Qualita foliar biostimulant; T2: Triakon (20 PPM); T3: Triakon (15PPM); T4: Silicon via foliar application; T5: Silicon via drench; T6: Sea water. The variables evaluated were: Leaf emission in the first twenty weeks (EFP20S), Chlorophyll units at calving (UCAP), Weeks at calving (SAP), Leaf area at calving (AFP), Leaves at calving (HP), Weeks to harvest (SAC), Leaf area to harvest (AFC), Number of leaves to harvest (NHC), Bunch weight (PR), Rachis weight (PRaq), Degrees last hand (GUM), Degrees hand of the sun (GMS), Number of sun fingers (NDMS), Net weight of the fruit (PNF), Processed Ratio (Ratio). Development data were collected weekly and production variables were taken at the time of harvest. The results obtained in this work demonstrate that Silicon-based treatments (T5 and T6) are the most effective in improving photosynthetic efficiency and other physiological parameters in banana cultivation.

Keywords: photosynthetic efficiency, banana, leaf area, production.

# Contenido

1	INTRODUCCIÓN .....	10
2	REVISIÓN DE LITERATURA.....	13
2.1	Importancia del banano en el Ecuador .....	13
2.2	Descripción botánica .....	13
2.2.1	Sistema radicular.....	13
2.2.2	Cormo.....	14
2.2.3	Pseudotallo .....	14
2.2.4	Hoja.....	14
2.2.5	Inflorescencia.....	15
2.2.6	Racimo .....	15
2.3	Requerimientos Edafoclimáticos.....	15
2.3.1	Temperatura .....	15
2.3.2	Luminosidad.....	15
2.3.3	Precipitación .....	16
2.3.4	Vientos.....	16
2.4	Eficiencia Fotosintética.....	16
2.4.1	Unidades de clorofila .....	17
2.4.2	Calidad de clorofila .....	17
2.4.3	Densidad poblacional en cultivo de banano .....	17
2.5	Tipos de Sistema de siembra en el cultivo de Banano.....	18
2.5.1	Tipos de siembra: .....	18
2.5.2	La fertilización.....	19
2.5.3	Labores de protección al racimo .....	20
3	MATERIALES Y METODOS.....	22
3.1	Materiales .....	22
3.1.1	Localización del ensayo.....	22
3.1.2	Ubicación geográfica .....	22
3.1.3	Características edafoclimáticas.....	22
3.1.4	Características de la zona.....	22

3.2	Metodología.....	22
3.2.1	Variables a evaluar.....	22
3.3	Diseño experimental.....	24
3.3.1	Factor de estudio y tratamientos .....	24
3.3.2	Modelo matemático .....	25
3.3.3	Especificidades del modelo .....	26
4	RESULTADO Y DISCUSIONES.....	28
4.1	EFPS20S.....	28
4.2	Unidades de Clorofila a la Paricion .....	30
4.3	Semanas a la Parición.....	32
4.4	Área Foliar Parición .....	35
4.5	Numero de Hojas a la Parición.....	37
4.6	Semanas a la Cosecha .....	39
4.7	Área Foliar Cosecha.....	41
4.8	Numero de hojas a la Cosecha.....	44
4.9	Peso Racimo .....	46
4.10	Peso del raquis.....	48
4.11	Grados Ultima Mano .....	50
4.12	Grados Mano del Sol.....	52
4.13	Peso Neto Fruta .....	54
4.14	Numero dedos mano del sol .....	56
4.15	Ratio procesado .....	58
4.16	Tabla final de resultados de las variables.....	61
5	CONCLUSIONES.....	65
6	RECOMENDACIONES .....	67
7	BIBLIOGRAFIA.....	68
8	ANEXOS .....	75



75

## ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1 Grafico estadístico EFP20S .....	28
Ilustración 2 Grafico estadístico UCAP .....	30
Ilustración 3 Grafico estadístico SAP .....	34
Ilustración 4 Grafico estadístico AFP .....	35
Ilustración 5 Grafico estadístico NHP .....	37
Ilustración 6 Grafico estadístico SAC.....	39

Ilustración 7 Grafico estadístico AFC.....	41
Ilustración 8 Grafico estadístico NHC.....	44
Ilustración 9 Grafico estadístico PR.....	46
Ilustración 10 Grafico estadístico PRaq.....	48
Ilustración 11Gráfico estadístico GUM.....	50
Ilustración 12 Grafico estadístico GMS.....	52
Ilustración 13 Grafico estadístico PNF.....	54
Ilustración 14 Grafico estadístico NDMS.....	56
Ilustración 15 Grafico estadístico RATIO.....	58

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Anova EFP20S.....	29
Tabla 2 Test Tukey EFPS20.....	29
Tabla 3 Anova UCAP.....	31
Tabla 4 Test Tukey UCAP.....	32
Tabla 5 Anova SAP.....	32
Tabla 6 Test Tukey SAP.....	33
Tabla 7 Anova AFP.....	36

Tabla 8 Test Tukey AFP.....	36
Tabla 9 Anova NHP.....	38
Tabla 10 Test Tukey NHP.....	38
Tabla 11 Anova SAC.....	40
Tabla 12 Test Tukey SAC.....	40
Tabla 13 Anova SAC.....	42
Tabla 14 Test Tukey AFC.....	43
Tabla 15 Anova NHC.....	44
Tabla 16 Test Tukey NHC.....	45
Tabla 17 Anova PR.....	47
Tabla 18 Test Tukey PR.....	47
Tabla 19 Anova Praq.....	48
Tabla 20 Test Tukey Praq.....	49
Tabla 21 Anova GUM.....	50
Tabla 22 Test Tukey GUM.....	51
Tabla 23 Anova GMS.....	52
Tabla 24 Test Tukey GMS.....	53
Tabla 25 Anova PNF.....	55
Tabla 26 Test Tukey PNF.....	55
Tabla 27 Anova NDMS.....	57
Tabla 28 Test Tukey NDMS.....	57
Tabla 29 Anova Ratio.....	59
Tabla 30 Test Tukey Ratio.....	59

## **1 INTRODUCCIÓN**

El rendimiento del cultivo de banano depende de la radiación solar interceptada, de la eficiencia de conversión de esta radiación en biomasa, y de los gastos respiratorios de la planta, lo cual puede aumentarse incrementando la porción de la materia seca total que se destina a los racimos. Para esto el plátano, como especie perenne, debe ajustar su actividad fotosintética y metabólica a la producción de foto asimilados que le permitan crecer, desarrollar estructuras subterráneas de reserva, generar rebrotes vegetativos y



llenar los racimos. El ángulo de inserción de las hojas sobre la planta es muy importante para la producción del cultivo del plátano, ya que de esto depende la exposición de las hojas a los rayos solares y la distribución de la Radiación Fotosintéticamente Activa a través de las plantas. De esta forma, la fotosíntesis se lleva a cabo en los estratos acumulados de hojas que se superponen sombreándose unas a otras, permitiendo que la Radiación Fotosintéticamente Activa incidente sea absorbida a medida que atraviesa los estratos, aprovechándose la mayor parte de ella en las hojas más expuestas. Esto determina que la fotosíntesis sea mayor en las hojas del estrato medio de la planta y que las hojas inferiores, por recibir menos Radiación Fotosintéticamente Activa, presenten tasas de fotosíntesis más bajas. (Cayón Salinas, 2004)

El área foliar es una medida necesaria para evaluar la intensidad de asimilación de las plantas, parámetro de gran relevancia cuando se efectúa el análisis de crecimiento de un cultivo. Se ha planteado que para aplicar las técnicas de análisis de crecimiento en estudios con plantas se requiere como mínimo una medida de la cantidad de material vegetal presente y una medida del sistema asimilatorio o de la maquinaria fotosintética de las plantas, y a partir de estas medidas se pueden calcular los diferentes parámetros de un análisis de crecimiento sencillo (Científica et al., 2007)

### **1.1 Objetivo general.**

- Analizar el efecto de la eficiencia fotosintética en el cultivo de banano, mediante un sistema de siembra que evite el exceso de traslape foliar, con el fin de optimizar prácticas agrícolas y mejorar la productividad y sostenibilidad del cultivo.

### **1.2 Objetivos específicos.**

- Evaluar el sistema de siembra en domos y su efecto en variables agronómicas durante las fases fenológicas del cultivo de banano.
- Analizar el impacto de la eficiencia fotosintética (sin traslape foliar) del banano, en el contenido de clorofila en las hojas y producción.

## **2 REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 Importancia del banano en el Ecuador**

Mediante la producción de banano en el Ecuador, se ha observado de forma considerada que en los últimos años el impacto de exportación de banano se ha aumentado considerablemente de manera directa e indirecta en la situación económica del país durante los últimos 14 años, se ha analizado la importancia del sector bananero en el país de manera que ha favorecido al PIB (Producto Interno Bruto) del Ecuador. Se han determinado los valores económicos que se encuentran basados en los aspectos oficiales que ayudan a la sustentabilidad económica-financiera del país.

La mayor producción bananera es una de las principales fuentes que generan ingresos económicos en el Ecuador por ende estas producciones se basan en fluctuaciones del PIB, se evidencian que los pequeños y medianos productores bananeros se determinan en el 80% de los ingresos económicos, mientras que solo el 20% se basa en los mayores productores y es necesario indicar que alrededor del 35% de los cultivos del país se basan en la producción de tierras que fluctúan alrededor de 10-50 hectáreas, mientras el 65% corresponde a los grandes productores y exportadores. (Básica, 2012)

### **2.2 Descripción botánica**

La planta de banano es una hierba de gran tamaño que posee tallos subterráneos de los cuales emergen hojas, cuyas vainas envolventes forman el pseudotallo, dentro del cual crece el eje floral. Estos tallos subterráneos se conocen como cormos, rizomas, bulbos o tubérculos, siendo "cormos" el término más comúnmente aceptado. Cada cormo generalmente produce un pseudotallo en su eje floral y una o más yemas que originan otros cormos, lo que da lugar a una mata de crecimiento radial en todas las direcciones. Estos cormos hijos también producen pseudotallos o hijuelos de diferentes edades que florecerán cuando el pseudotallo original muera. Algunos de estos hijuelos, que no quedan bien conectados a la mata, se denominan "hijos de agua," mientras que los que se conectan adecuadamente se llaman "hijos de espada" (Carlos Sabio, 2010).

#### **2.2.1 Sistema radicular**

La mayoría de las raíces emergen de la parte superior del cormo, justo debajo de la inserción de las hojas, y su cantidad disminuye hacia la base. Las tres raíces superiores pueden alcanzar hasta 4 metros de longitud y se extienden horizontalmente, mientras que

las inferiores pueden llegar a profundizar hasta 1.30 metros. Las raíces principales tienen un diámetro de 4 a 8 mm, se ramifican en raíces secundarias y estas, a su vez, en raíces o pelos absorbentes. La mayoría de las raíces absorbentes se encuentran entre 20 y 25 cm de la base de la planta y a una profundidad de 10 a 15 cm. Las raíces jóvenes son blancas y cilíndricas, y a medida que envejecen, su epidermis se cutiniza hasta convertirse en un tejido suberoso. La formación de nuevas raíces se detiene inmediatamente después de la aparición del racimo (Carlos Sabio, 2010).

### **2.2.2 Cormo**

El verdadero tallo de la planta es una estructura córnea y asimétrica. En su parte externa, está compuesto por entrenudos cortos marcados por las cicatrices de las hojas que crecieron a través de él. Internamente, se divide en dos zonas: el cilindro central y la zona cortical, que tiene una coloración más clara. Estas dos zonas están separadas por una banda de haces vasculares orientados longitudinalmente. En la parte superior del corno, atravesando la corteza, se encuentra el punto de crecimiento, donde se originan las hojas y se desarrolla la parte externa de la planta. De los nudos emergen 3 o 4 raíces (Carlos Sabio, 2010)

### **2.2.3 Pseudotallo**

Está formado por las vainas envoltoras de las hojas, que se disponen de manera helicoidal y están firmemente unidas entre sí. La estructura del pseudotallo es lo suficientemente resistente como para mantener la planta en una posición ligeramente inclinada, soportando su propio peso, el del sistema foliar y el del racimo al momento de la aparición (Carlos Sabio, 2010).

### **2.2.4 Hoja**

Una hoja verdadera está compuesta por cinco partes: la vaina, el pecíolo, la lámina, la nervadura central y el apéndice. La vaina, ubicada en la base, envuelve la hoja y forma parte del pseudotallo. El pecíolo es acanalado y tiene una forma característica de media luna. La nervadura central se extiende desde el pecíolo y se va adelgazando hacia la punta de la hoja. La lámina de la hoja es ovado-oblonga con un ápice obtuso, siendo la mitad izquierda, vista desde la base de la planta, más grande que la derecha. El apéndice es una prolongación de la nervadura central que permite a la hoja nueva abrirse

paso a través del pseudotallo a medida que emerge, marchitándose rápidamente una vez que la hoja ha salido (Carlos Sabio, 2010).

### **2.2.5 Inflorescencia**

El eje de la inflorescencia es la prolongación del escapo floral, donde las hojas son reemplazadas por brácteas. Las 3 o 4 primeras brácteas son más grandes y no cubren flores. Los grupos de flores o manos se disponen en dos filas de 4 a 8 flores por fila, alternándose entre sí. Las flores femeninas se encuentran en la base del racimo, mientras que las masculinas aparecen al final, formando lo que se conoce como la bellota (Carlos Sabio, 2010).

### **2.2.6 Racimo**

El fruto del banano es una baya alargada que se desarrolla a partir del ovario de una flor pistilada. Los óvulos no llegan a desarrollarse completamente y se tornan negros, quedando como pequeños puntos visibles cuando el fruto se abre. En su etapa joven, el fruto contiene canales de látex que se inactivan a medida que madura. El fruto maduro tiene un contenido de azúcar del 12 al 16% y de almidón del 5 al 7%, en comparación con el 10 al 18% que contiene el plátano (Carlos Sabio, 2010).

## **2.3 Requerimientos Edafoclimáticos**

### **2.3.1 Temperatura**

El rango de temperatura ideal es de 25 a 27°C durante el día, con temperaturas nocturnas entre 16 y 18°C. Las temperaturas bajas ralentizan el crecimiento y desarrollo del fruto. Este tipo de daño se puede identificar al observar manchas de color café oscuro en la fruta al momento de pelarla

### **2.3.2 Luminosidad**

El banano, aunque no muestra sensibilidad al fotoperiodo, sí depende de una alta intensidad lumínica para su óptimo crecimiento. Con una menor exposición a la luz, su ciclo de crecimiento puede extenderse de los habituales 8 a 9 meses a un rango de 14 a 18 meses, y el tiempo desde la floración hasta la formación del fruto puede aumentar de 80-90 días a 85-110 días. La planta necesita una luminosidad elevada, que varía entre 2000 y 10000 lux, y entre 8 y 10 horas de luz diaria en climas tropicales. Se considera necesario un mínimo promedio de 4 horas de luz al día (1500 horas/año).

### **2.3.3 Precipitación**

La planta necesita entre 180 y 200 mm de agua al mes, con requerimientos de 1.75 a 2.00 pulgadas de agua por semana. En días soleados, la planta demanda aproximadamente 25 litros de agua al día, mientras que en días nublados necesita unos 9.5 litros diarios debido a la menor evapotranspiración. El riego se puede realizar en dos sesiones semanales; sin embargo, es crucial evitar el exceso de riego para no crear microclimas que propicien el desarrollo de la Sigatoka negra. Contar con un buen sistema de drenaje es esencial.

### **2.3.4 Vientos**

El banano es una planta que es muy vulnerable a vientos moderados o fuertes. Vientos suaves de 20 km/h pueden causar que las hojas se rasguen en tiras, aunque se considera que la planta puede soportarlo. Cuando los vientos alcanzan entre 20 y 40 km/h, el daño a las hojas es significativo, quedando completamente en tiras, lo que puede disminuir hasta un 20% el peso del producto. Con vientos superiores a 40 km/h, la planta puede desarraigarse o el pseudotallo puede quebrarse, y a más de 55 km/h, se produce una destrucción total.

## **2.4 Eficiencia Fotosintética**

La eficiencia fotosintética se define como la cantidad de carbono fijada por unidad de energía lumínica absorbida. En otras palabras, es la capacidad de las plantas para convertir la luz solar en biomasa. Esta eficiencia varía entre diferentes especies vegetales y está influenciada por una serie de factores tanto ambientales como genéticos. Uno de los principales determinantes de la eficiencia fotosintética es la estructura anatómica de las hojas. Investigaciones han demostrado que las plantas con una mayor concentración de clorofila y un mayor número de cloroplastos tienden a ser más eficientes en la captura de la luz solar y, por lo tanto, en la producción de biomasa (Evans, 1993).

Además de la estructura de las hojas, la eficiencia fotosintética también está influenciada por factores ambientales como la disponibilidad de agua, la temperatura y la intensidad lumínica. Por ejemplo, se ha observado que las plantas sometidas a condiciones de estrés hídrico tienden a tener una menor eficiencia fotosintética debido a

la cerrazón de las estomas, lo que limita la entrada de dióxido de carbono necesario para la fotosíntesis (Flexas et al., 2004).

#### **2.4.1 Unidades de clorofila**

Las unidades de clorofila son medidas de la concentración de clorofila en un determinado sistema biológico o ambiental. Estas unidades pueden expresarse de diversas formas, siendo las más comunes la cantidad de clorofila por unidad de área (como  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$  o  $\text{mg}/\text{m}^2$ ) o por volumen de agua (como  $\mu\text{g}/\text{L}$  o  $\text{mg}/\text{m}^3$ ). La elección de la unidad adecuada depende del tipo de muestra y del objetivo del estudio.

Una de las técnicas más utilizadas para medir la concentración de clorofila en muestras acuosas es la espectrofotometría, que se basa en la absorción de la luz por parte de la clorofila a longitudes de onda específicas. Mediante el uso de ecuaciones calibradas con estándares de clorofila, es posible determinar la concentración de clorofila en una muestra con alta precisión (Jeffrey & Humphrey, 1975).

#### **2.4.2 Calidad de clorofila**

La calidad de la clorofila se refiere tanto a la cantidad total de clorofila presente en una muestra como a su estado funcional, es decir, su capacidad para realizar la fotosíntesis de manera eficiente. Esta calidad está influenciada por una serie de factores, incluyendo la disponibilidad de nutrientes, la intensidad lumínica, la temperatura y la presencia de factores de estrés como la sequía o la contaminación (Kalaji et al., 2017).

Una de las técnicas más utilizadas para evaluar la calidad de la clorofila en plantas es la espectroscopía de fluorescencia de clorofila, que mide la emisión de luz fluorescente por parte de la clorofila cuando es excitada por un haz de luz. Esta técnica proporciona información sobre la eficiencia fotosintética, el estado de los fotosistemas y la capacidad de las plantas para resistir el estrés ambiental (Baker, 2008).

#### **2.4.3 Densidad poblacional en cultivo de banano**

La densidad poblacional se refiere al número de plantas de banano por unidad de superficie de cultivo. Esta variable tiene un impacto significativo en diversos aspectos del cultivo, incluyendo el crecimiento de las plantas, la competencia por recursos como la luz, el agua y los nutrientes, y la incidencia de enfermedades y plagas. Investigaciones han demostrado que una densidad poblacional adecuada puede mejorar tanto el rendimiento como la calidad de los frutos de banano (Turner et al., 2007).

Uno de los principales efectos de la densidad poblacional en el cultivo de banano es su influencia en el tamaño y la calidad de los racimos de frutos. Estudios han encontrado que densidades poblacionales más altas tienden a producir racimos más pequeños con frutos de menor tamaño, mientras que densidades más bajas favorecen el desarrollo de racimos más grandes y frutos de mayor tamaño (Zorrilla-Fontanesi et al., 2011). Además, una densidad poblacional adecuada puede reducir la competencia entre las plantas por luz solar, lo que favorece la fotosíntesis y el crecimiento vegetativo.

## **2.5 Tipos de Sistema de siembra en el cultivo de Banano**

### **2.5.1 Tipos de siembra:**

#### **2.5.1.1 *Triángulo o tres bolillos***

Este método se distingue por una distribución homogénea que optimiza tanto el uso de la luz como del terreno. Al colocar las plantas a distancias iguales, se reduce la superposición de las hojas y se mejora la cobertura durante la aplicación de fungicidas. La distancia de siembra es de 2.40 x 2.80 - 1.20 metros, lo que da como resultado una densidad de 1,480 plantas por hectárea.

#### **2.5.1.2 *Doble hilera o doble surco***

En este sistema, las distancias entre las hileras son desiguales, creando una calle ancha y otra más estrecha, conocida como hilera doble. Las distancias de siembra son de 1.50 x 2.40 x 3.00 metros, lo que permite alcanzar una densidad de 1,900 plantas por hectárea.

#### **2.5.1.3 *Cuatro vientos o cuadrado***

Este método es apropiado para terrenos llanos con pendientes que no exceden el 4%. No obstante, en áreas con alta precipitación, resulta ineficaz para controlar la erosión del suelo. La distancia de siembra sugerida es de 2.60 x 2.60 metros, lo que genera una densidad de 1,479 plantas por hectárea.

#### **2.5.1.4 *Siembra en rectángulo***

La siembra en rectángulo es similar al sistema de siembra en cuadrado, pero difiere en que la distancia en una dirección es diferente, ubicando las plantas en las



esquinas de un rectángulo. Se recomienda una distancia de siembra de 2.39 x 2.60 metros, lo que permite alcanzar una densidad de 1,600 plantas por hectárea.

#### **2.5.1.5 *Siembra líneas o en domos***

Las estructuras de los domos tienen un ancho de 18 a 20,40 m y una longitud de 50 m, adoptando una forma de cúpula que permite una elevación central más pronunciada en comparación con los extremos. En detalle, la sección central del domo se encuentra elevada 0.64 metros respecto a los bordes, con una inclinación del 11%. (Básica, 2012)

En terrenos planos, la disposición espacial para la siembra de plátano no presenta limitaciones. No obstante, en terrenos con pendiente, se recomienda emplear un trazado en triángulo o tres bolillos, siguiendo las curvas de nivel, para mitigar la erosión del suelo. Este método incluye la formación de hileras y franjas con especies perennes como el pasto elefante o limoncillo. Por otro lado, el sistema de Siembra en Doble Surco consiste en plantar dos hileras cercanas entre sí, dejando un espacio amplio entre cada doble hilera. Las distancias recomendadas son de 1.5 x 1.5 x 3 m o 1.10 x 1.10 x 3 m, lo que resulta en una densidad de 2,333 y 3,030 plantas por hectárea, respectivamente. (Básica, 2012)

### **2.5.2 La fertilización.**

Una práctica esencial en la nutrición de las plantas para asegurar la producción y calidad de los racimos en plantaciones comerciales es la implementación de un programa de fertilización, que consiste en la aplicación cíclica de nutrientes. Debido a su rápido crecimiento y la presencia de todos los estados fenológicos en el cultivo, el banano requiere una cantidad considerable de nutrientes esenciales disponibles en el suelo para su desarrollo y producción óptimos. Aunque algunos de estos nutrientes pueden aportarse por el suelo y los residuos de cosecha, hay que añadir fertilizantes en cantidades y

proporciones adecuadas para asegurar una cosecha económicamente viable (Espinosa y Mite, 2002).

### **2.5.3 Labores de protección al racimo**

#### **2.5.3.1 *Desviación de hijos.***

Esta técnica consiste en evitar el contacto del racimo con las hojas y los colinos, mediante la desviación del brote secundario de la misma planta. Este procedimiento se realiza extrayendo una majagua de la planta madre o, en algunos casos, utilizando nylon para amarrar el brote y tirarlo hacia afuera, logrando así su desviación (Alkalah, 2016)

#### **2.5.3.2 *Deshoje y protección.***

Esta práctica de protección de la fruta y mantenimiento de la sanidad del cultivo implica cortar las hojas que interfieren con la protección adecuada del racimo, así como aquellas que han completado su ciclo o han sido mayormente necrosadas por la enfermedad conocida como sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*). Es esencial mantener de 10 a 12 hojas para asegurar la producción de racimos de buen tamaño (Alkalah, 2016).

#### **2.5.3.3 *Deshije.***

Este procedimiento implica la selección y control del número de brotes por planta, eliminando aquellos que probablemente no producirán una cosecha adecuada. Los brotes seleccionados deben ser los más desarrollados y vigorosos, y estar en una posición favorable en relación con la planta madre y las demás plantas. Cada planta madre debe mantener un brote cercano, que a su vez tenga una yema activa (nieto), asegurando así la continuidad generacional de las plantas. Otro autor describe esta práctica como una técnica cultural cuyo objetivo es controlar la densidad poblacional adecuada por unidad de superficie, seleccionando los mejores brotes y garantizando un espaciamiento adecuado entre plantas sin afectar su distribución. Un deshijado adecuado y eficiente puede aumentar la producción durante el ciclo de cultivo. Esta tarea, conocida también como "poda de hijos", es crucial y depende del criterio del operario para lograr una secuencia apropiada de generaciones (madre-hijo-nieto) que favorezca el crecimiento y desarrollo óptimo de cada planta y asegure una producción continua. Para una ejecución

eficaz, es necesario considerar factores como el sistema de siembra utilizado, la distancia entre plantas, la orientación del brote y la densidad de plantas (Alkalah, 2016)

#### **2.5.3.4 Embolse.**

Según (Alkalah, 2016) el embolsado implica cubrir el racimo con una bolsa plástica cuando las manos están tiernas y vulnerables al ataque de plagas. La bolsa se asegura con una cinta plástica en la cicatriz dejada por la placenta. Esta práctica es crucial para proteger la fruta de plagas, efectos abrasivos de las hojas, productos químicos, golpes de sol y otros factores, mejorando así la calidad del racimo.

El embolsado prematuro consiste en cubrir el racimo en su estado inicial, cuando aún está en forma de bellota o bacota, considerándose en cero semanas de edad. Este método garantiza la protección del racimo antes de que aparezca la primera mano.

#### **2.5.3.5 Desflore y encinte.**

Conocida también como la eliminación del residuo floral, esta práctica se lleva a cabo en frutas muy jóvenes para prevenir o reducir la pudrición en la punta del fruto, causada por los hongos *Oathiorella gregaria* y *Fusarium*. El desflore consiste en retirar las flores de los bananos cuando las manos están tiernas, momento en el que las flores se desprenden fácilmente, evitando así el derramamiento de látex que puede disminuir la calidad de la fruta (Alkalah, 2016). El encinte es un método para determinar la edad de la fruta usando 10 colores diferentes: rojo, café, negro, naranja, verde, amarillo, blanco, azul, gris y morado. Cada color corresponde a una semana específica según el calendario descrito por la comercializadora.

#### **2.5.3.6 Desbacote y desmane.**

Según (Alkalah, 2016) esta práctica implica la eliminación de la bacota inmediatamente después del desmane. El desmane consiste en retirar la mano falsa junto con una o dos manos verdaderas, dejando el dedo mayor en la mano falsa. Este procedimiento pretende evitar la propagación de enfermedades en el racimo.

### **3 MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1 Materiales**

##### **3.1.1 Localización del ensayo**

El presente trabajo de investigación se realizó en un área determinada de banano en la granja “Santa Inés” perteneciente a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala, localizada a 5,5 km de la vía Machala - Pasaje, parroquia El Cambio, cantón Machala, provincia de El Oro.

##### **3.1.2 Ubicación geográfica**

Las coordenadas y altitud que corresponden al área de estudio son:

**Coordenadas UTM:** 9636128 longitud; 620701 latitud.

**Coordenadas geográficas:** 79° 54' 05'' W (longitud); 03° 17' 16'' (latitud)

##### **3.1.3 Características edafoclimáticas**

**Altitud:** 5 msnm

**Clima:** 19 a 34 °C

**Precipitación:** 1788 mm

##### **3.1.4 Características de la zona**

En el área de estudio en base a los registros del INAMHI y con respecto a la zona de vida natural de Holdridge y de acuerdo con el mapa ecológico del Ecuador, muestra condiciones agroclimáticas con una temperatura media de 25 °C, con precipitación de 500 mm, resultando con 2 o 3 horas de heliofanía diaria, lo que establece al sitio un bosque muy seco – tropical.

#### **3.2 Metodología**

##### **3.2.1 Variables a evaluar**

- Emisión foliar de las primeras 20 semanas (1er objetivo)
- Unidades de clorofila al momento de la parición (2do objetivo)
- Semanas a la parición desde la siembra (1er objetivo)
- Área foliar a la parición (2do objetivo)

- Número de hojas a la parición (1er objetivo)
- Semanas a la cosecha desde la siembra
- Área foliar de la cosecha (1er objetivo)
- Número de hojas a la cosecha (1er objetivo)
- Peso del racimo (2do objetivo)
- Peso del raquis (2do objetivo)
- Grado de la última mano (2do objetivo)
- Grado de la mano del sol (2do objetivo)
- Número de dedos en la mano del sol (2do objetivo)
- Peso neto de fruta/racimo (2do objetivo)
- Ratio procesada (2do objetivo)

### 3.3 Diseño experimental

Se aplicó un experimento factorial completo bajo el esquema de aleatorización de un Diseño Completamente al Azar (DCA).

#### 3.3.1 Factor de estudio y tratamientos

En la tabla \_ se detalla la respectiva aplicación de los distintos tratamientos con su respectiva descripción y dosificación.

Tratamiento	Descripción	Dosis
o		
T1 (TESTIGO)	Fertilización levon y bioestimulante foliar Qualita	40 g por planta cada 15 días (Levon) 150 ml cada 15 días (Qualita)
T2	Triakon	20 PPM
T3	Triakon	15 PPM
T4	Silicio vía foliar	95 %
T5	Silicio vía Drench	95 %
T6	Agua de mar	Concentración 1:40

### 3.3.2 Modelo matemático

El modelo utilizado fue el de un experimento factorial completamente al azar, el cual está representado por la siguiente ecuación lineal:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \gamma_j + (\tau\gamma)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

**Donde:**

**$Y_{ijk}$**  = Observación obtenida en el i-ésimo tratamiento del FE A, en el j-ésimo tratamiento del FE B y en la K-ésima repetición.

**$\mu$**  = Media general de la variable de respuesta

**$\tau_i$**  = Efecto principal producido por el i-ésimo tratamiento, o sea, los niveles o versiones del FE A, con i que va desde 2 hasta el número total de tratamientos.

**$\gamma_j$**  = Efecto principal producido por el j-ésimo tratamiento, o sea, los niveles o versiones del FE B, con j que va desde la 2 hasta el número total de tratamientos.  **$(\tau\gamma)_{ij}$**  = Efecto de interacción producido entre el i-ésimo tratamiento del FE A y el j-ésimo tratamiento de FE B.

**$\epsilon_{ijk}$**  = Error experimental asociado, o sea, la desviación en el i-ésimo tratamiento del FE A, j-ésimo tratamiento de FE B, y en la k-ésima repetición.

### **3.3.3 Especificidades del modelo**

#### **3.3.3.1 *Tratamientos***

**T1(TESTIGO):** Fertilización levon y bioestimulante foliar Qualita

**T2:** Triakon (20 PPM)

**T3:** Triakon (15PPM)

**T4:** Silicio vía foliar

**T5:** Silicio vía drench

**T6:** Agua de mar

#### **3.3.3.2 *Réplicas***

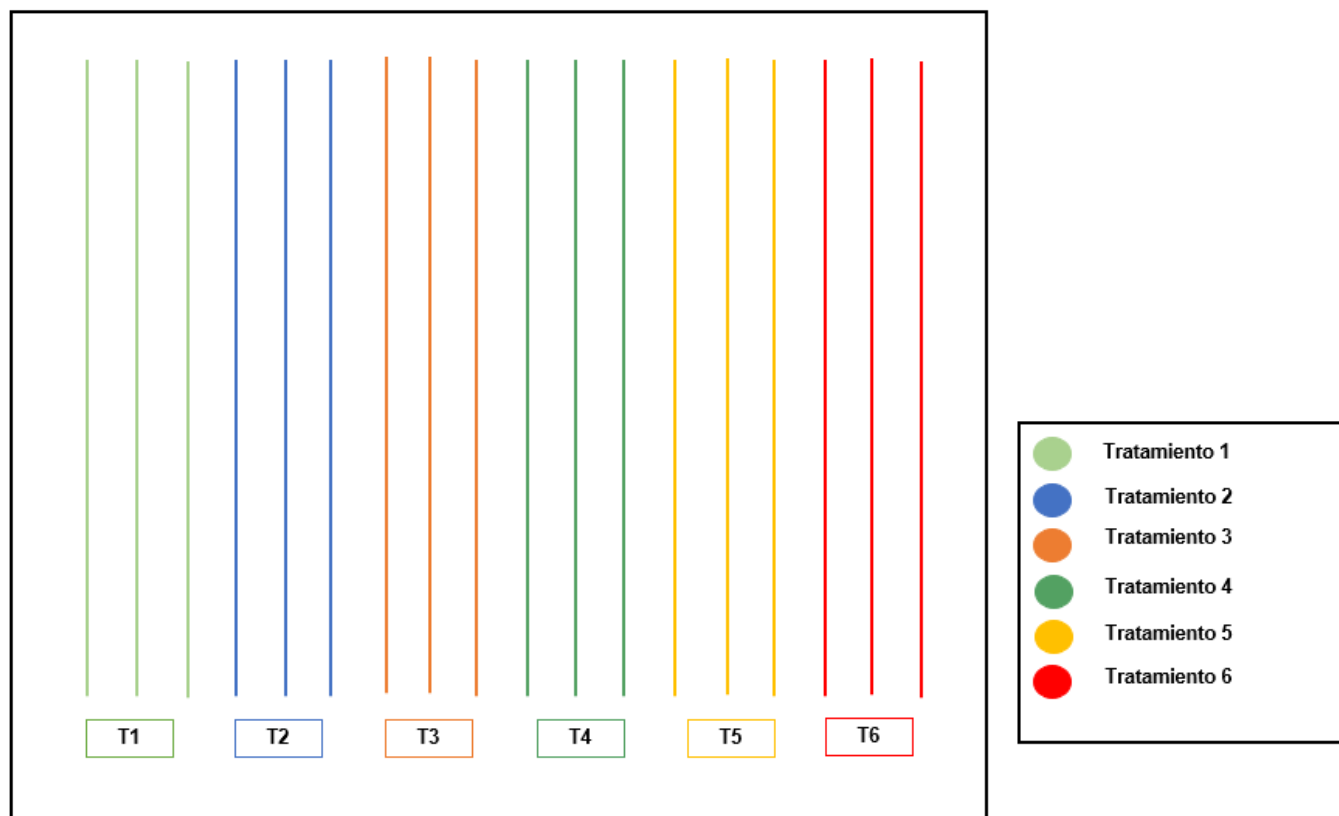
Se realizó un total de 3 réplicas por cada tratamiento.

#### **3.3.3.3 *Unidad experimental***

Al existir 6 tratamientos y 3 réplicas por cada mencionado tratamiento dos da un total 18 unidades experimentales.



### 3.3.3.4 Croquis del experimento



### 3.3.3.5 Unidades muestrales

Las unidades muestrales se encuentran representadas por cada planta, al haber 18 unidades experimentales y en cada una existen 10 unidades muestrales da un total de 180 muestrales en todo el experimento, es decir 180 plantas evaluadas.

## 4 RESULTADO Y DISCUSIONES

### 4.1 EFPS20S

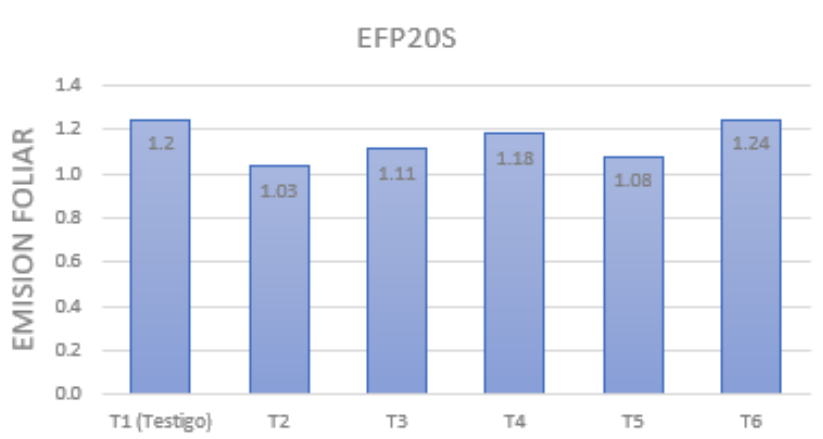


Ilustración 1 Grafico estadístico EFP20S

Fuente: Autor

Tanto el tratamiento T1 (testigo) como el T6 (agua de mar) mantienen altos niveles de eficiencia fotosintética, lo que sugiere que el uso de agua de mar no interfiere con la capacidad fotosintética del banano y podría ser una alternativa viable para el manejo del cultivo. T4 El silicio aplicado vía foliar parece tener un efecto positivo en la eficiencia fotosintética, lo que podría estar relacionado con una mejor estructura foliar que favorece la captura de luz sin traslape. (T2 y T3): Los tratamientos con Triakon, especialmente T2, muestran una disminución significativa en la eficiencia fotosintética, lo que podría sugerir la necesidad de reevaluar las dosis o la aplicación de este tratamiento en el cultivo de banano.

### ANOVA

EFP20S					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1.164	5	.233	5.244	<.001
Dentro de grupos	7.726	174	.044		
Total	8.890	179			

Tabla 1 Anova EFP20S

Fuente: Autor

El análisis ANOVA sugiere que existen diferencias estadísticamente significativas en la eficiencia fotosintética (EFP20S) entre los diferentes tratamientos. Esto implica que al menos uno de los tratamientos tiene un efecto diferente en la eficiencia fotosintética comparado con los otros.

### EFP20S

HSD Tukey<sup>a</sup>

tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T2	30	1.0333	
T5	30	1.0800	
T3	30	1.1133	1.1133
T4	30	1.1800	1.1800
T6	30		1.2433
T1	30		1.2467
Sig.		.081	.145

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 30.000.

Tabla 2 Test Tukey EFPS20

Fuente: Autor

Aunque hay algunas diferencias en las medias (por ejemplo, T1 y T6 tienen las medias más altas), estas diferencias no son estadísticamente significativas según el test de Tukey. El test de Tukey confirma que, aunque el ANOVA mostró diferencias significativas entre los tratamientos en general, no todas las diferencias específicas entre los pares de tratamientos son significativas. Los tratamientos que se agrupan en los mismos subconjuntos son aquellos cuya eficiencia fotosintética es similar.

#### 4.2 Unidades de Clorofila a la Parición

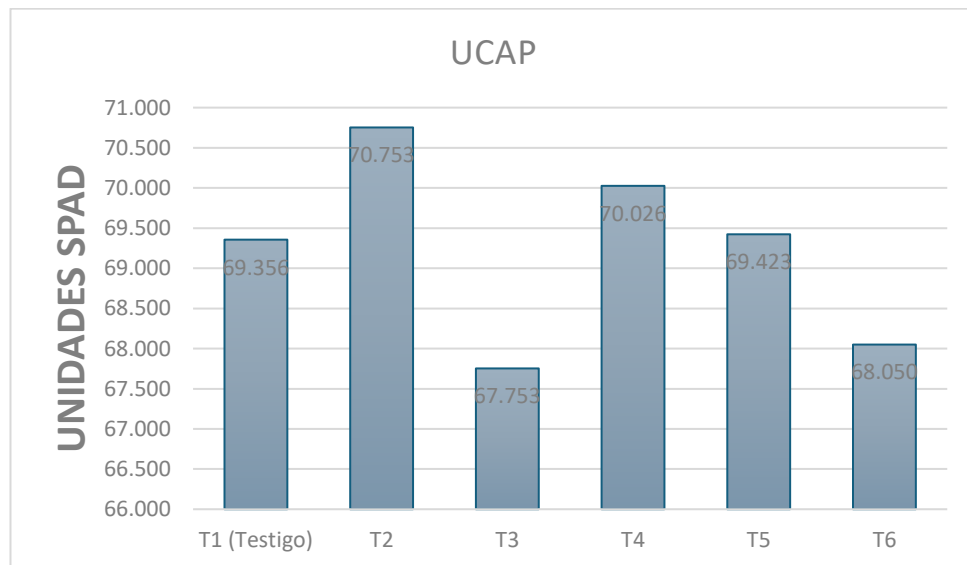


Ilustración 2 Grafico estadístico UCAP

Fuente: Autor

(T2) Este tratamiento resulta ser el más efectivo en términos de acumulación de clorofila a la aparición, lo que puede tener un impacto positivo en la fotosíntesis y, por ende, en el desarrollo del cultivo. (T4) El tratamiento con silicón aplicado vía foliar también es altamente efectivo, situándose cerca de T2 en términos de UCAP, lo que sugiere su utilidad en mejorar la capacidad fotosintética del banano. (T3) La menor acumulación de clorofila observada con Triakon 15PPM sugiere que una dosis más baja podría no ser

suficiente para optimizar la producción de clorofila. (T5 y T6) Estos tratamientos muestran un menor impacto en la acumulación de clorofila, lo que indica que podrían no ser las mejores opciones si el objetivo es maximizar la fotosíntesis a través de una mayor producción de clorofila.

**ANOVA**

UCAP

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	197.446	5	39.489	3.833	.003
Dentro de grupos	1792.850	174	10.304		
Total	1990.297	179			

Tabla 3 Anova UCAP

Fuente: Autor

El valor de F es 3.833. Este valor indica la razón de la variabilidad explicada por los grupos sobre la variabilidad dentro de los grupos. Un valor de F más alto indica que hay una mayor variabilidad entre los grupos que la esperada por azar. El valor de significación es 0.003, lo cual es menor que 0.05. Esto indica que hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los grupos (tratamientos). El análisis ANOVA sugiere que existen diferencias estadísticamente significativas en la variable UCAP entre los diferentes tratamientos. Esto implica que al menos uno de los tratamientos tiene un efecto diferente sobre UCAP en comparación con los otros.

### UCAP

HSD Tukey<sup>a</sup>

tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T3	30	67.7533	
T6	30	68.0500	
T1	30	69.3567	69.3567
T5	30	69.4233	69.4233
T4	30	70.0267	70.0267
T2	30		70.7533
Sig.		.072	.543

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 30.000.

Tabla 4 Test Tukey UCAP

Fuente: Autor

Aunque hay algunas diferencias en las medias (por ejemplo, T2 tiene la media más alta y T3 la más baja), estas diferencias no son estadísticamente significativas según la prueba de Tukey.

### 4.3 Semanas a la Parición

ANOVA					
SAP	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	21.800	5	4.360	4.857	<.001
Dentro de grupos	156.200	174	.898		
Total	178.000	179			

Tabla 5 Anova SAP

Fuente: Autor

El valor de F es 4.857. Este valor indica la razón de la variabilidad explicada por los grupos sobre la variabilidad dentro de los grupos. Un valor de F más alto indica que hay una mayor variabilidad entre los grupos que la esperada por azar.

El valor de significación es menor a 0.001, lo cual es significativamente menor que 0.05. Esto indica que hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los grupos (tratamientos).

**SAP**

HSD Tukey<sup>a</sup>

tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T4	30	23.9333	
T5	30	24.0000	
T3	30	24.3000	24.3000
T1	30	24.3333	24.3333
T2	30	24.4333	24.4333
T6	30		25.0000
Sig.		.322	.053

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 30.000.

Tabla 6 Test Tukey SAP

Fuente: Autor

Los tratamientos que aparecen en ambos subconjuntos (T3, T1, T2) son aquellos cuyas medias no difieren significativamente entre los subconjuntos identificados. Aunque T6 tiene la media más alta (25.0000) y T4 la más baja (23.9333), estas diferencias no son estadísticamente significativas según la prueba de Tukey.

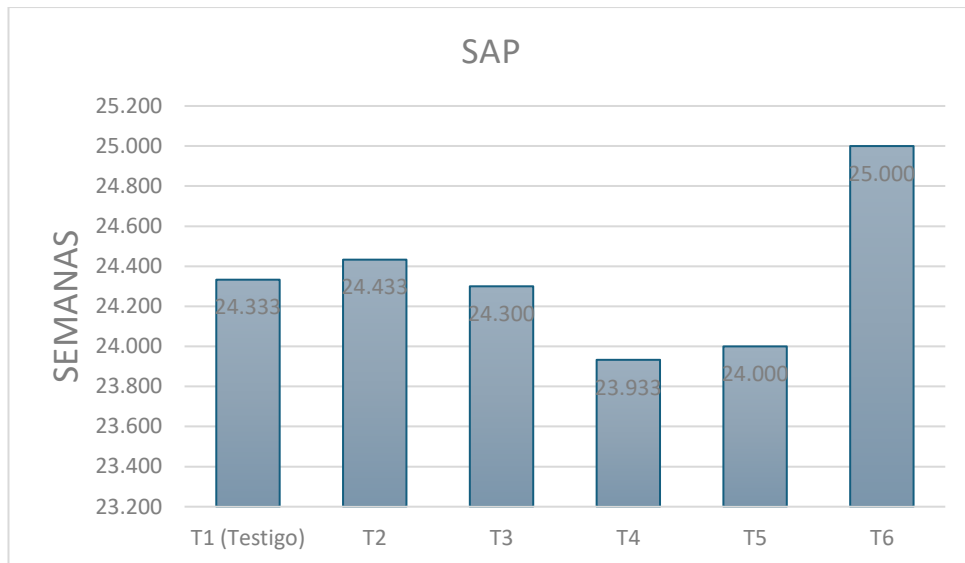


Ilustración 3 Grafico estadístico SAP

Fuente: Autor

(T6) El tratamiento con agua de mar muestra un efecto adverso al retrasar la parición del banano, lo que podría indicar que no es un tratamiento óptimo para el desarrollo temprano del cultivo. (T4 y T5) Los tratamientos con silicio (vía foliar y drench) parecen ser efectivos en promover un desarrollo más rápido del banano, lo cual es beneficioso para reducir el ciclo de cultivo y posiblemente mejorar la productividad general. (T2 y T3): Los tratamientos con Triakon, en particular T2, no muestran un impacto significativo en la aceleración o retraso de la aparición del banano en comparación con el tratamiento testigo, lo que sugiere que su efecto en esta variable específica es neutro.



#### 4.4 Área Foliar Parición

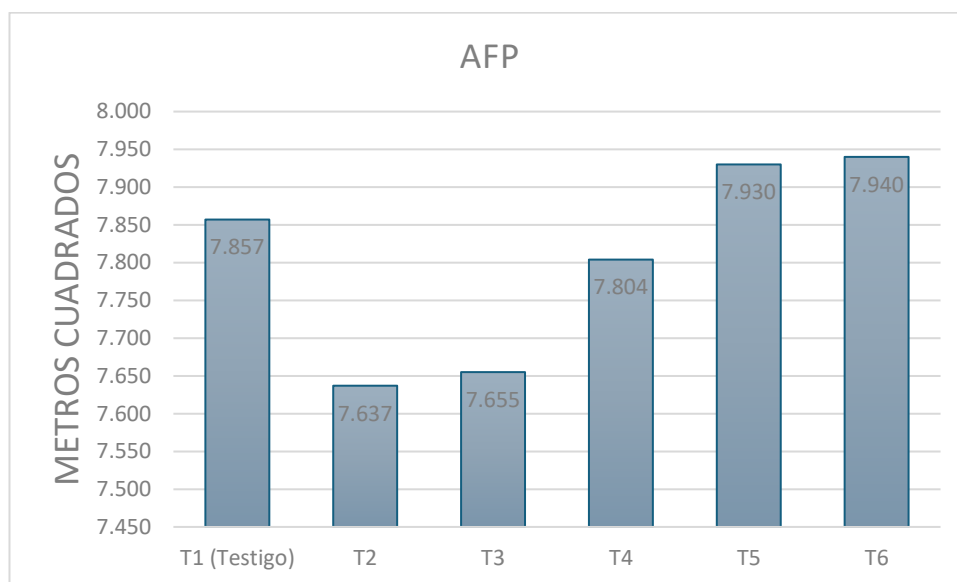


Ilustración 4 Grafico estadístico AFP

Fuente: Autor

(T6) A pesar de que en otros análisis el agua de mar podría haber mostrado efectos negativos, en términos de área foliar a la parición, parece ser el tratamiento más eficaz, lo que sugiere que su uso podría ser beneficioso para mejorar la estructura foliar en esta fase del desarrollo. (T4 y T5) Los tratamientos con silicón también han demostrado ser altamente efectivos en aumentar el área foliar a la parición, lo cual es favorable para la captación de luz y, por ende, para la eficiencia fotosintética. (T2 y T3) Los tratamientos con Trakon no muestran una mejora significativa en la AFP en comparación con los otros tratamientos, lo que podría sugerir la necesidad de ajustar la concentración o reconsiderar su uso en este contexto específico.

#### ANOVA

AFP	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	2.620	5	.524	5.521	<.001
Dentro de grupos	16.514	174	.095		
Total	19.135	179			

Tabla 7 Anova AFP

Fuente: Autor

El ANOVA indica que existen diferencias estadísticamente significativas en los niveles de AFP entre los tratamientos T1 a T6. Esto sugiere que al menos uno de los tratamientos tiene un impacto diferente en la variable AFP en comparación con los otros.

**AFP**

HSD Tukey<sup>a</sup>

tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T2	30	7.6370	
T3	30	7.6553	
T4	30	7.8043	7.8043
T1	30	7.8573	7.8573
T5	30		7.9303
T6	30		7.9402
Sig.		.067	.529

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 30.000.

Tabla 8 Test Tukey AFP

Fuente: Autor

Los tratamientos están divididos en dos subconjuntos homogéneos. Dentro de cada subconjunto, las medias de AFP no son significativamente diferentes entre sí. Los resultados del test de Tukey sugieren que, si bien hay una tendencia a que algunos tratamientos tengan valores de AFP más altos o más bajos, las diferencias entre los tratamientos no son lo suficientemente grandes como para ser estadísticamente significativas en comparaciones individuales.

#### 4.5 Numero de Hojas a la Parición

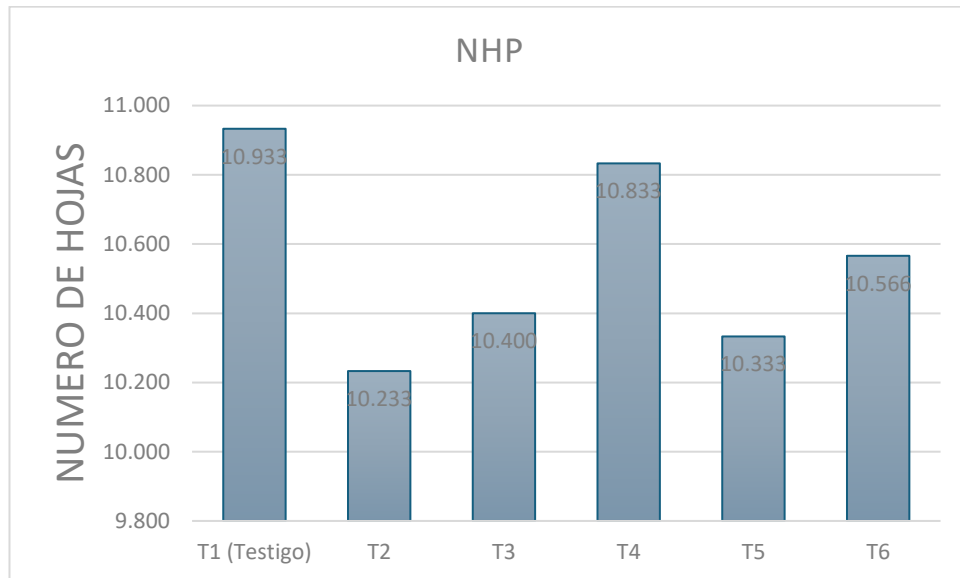


Ilustración 5 Grafico estadístico NHP

Fuente: Autor

(T1 y T4) Muestran el mayor número de hojas a la aparición, lo cual es indicativo de un crecimiento foliar fuerte y saludable. Estos resultados sugieren que la aplicación de silicio foliar es tan efectiva como el control para mantener el desarrollo del número de hojas. (T2 y T3) El uso de Triakon, especialmente en la concentración más baja (T3) parece ser menos efectivo en términos de promover un mayor número de hojas a la aparición, lo que podría sugerir la necesidad de optimizar la concentración o la frecuencia de aplicación.

#### ANOVA

NHP

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	11.917	5	2.383	2.322	.045
Dentro de grupos	178.633	174	1.027		
Total	190.550	179			

Tabla 9 Anova NHP

Fuente: Autor

El valor de significación es 0.045, lo que es justo en el límite del 0.05. Esto indica que hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias de NHP de los diferentes tratamientos Dado que el valor de significancia es justo 0.045, las diferencias son marginalmente significativas.

**NHP**

HSD Tukey<sup>a</sup>

tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05
T2	30	10.2333
T5	30	10.3333
T3	30	10.4000
T6	30	10.5667
T4	30	10.8333
T1	30	10.9333
Sig.		.085

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 30.000.

Tabla 10 Test Tukey NHP

Fuente: Autor

Incluye todos los tratamientos (T2, T5, T3, T6, T4, T1). Esto indica que, según el test de Tukey, no hay diferencias significativas entre las medias de estos tratamientos al nivel de significancia alfa = 0.05. Aunque existen diferencias en las medias de NHP entre los

tratamientos, con T1 presentando la media más alta y T2 la más baja, estas diferencias no son estadísticamente significativas.

#### 4.6 Semanas a la Cosecha

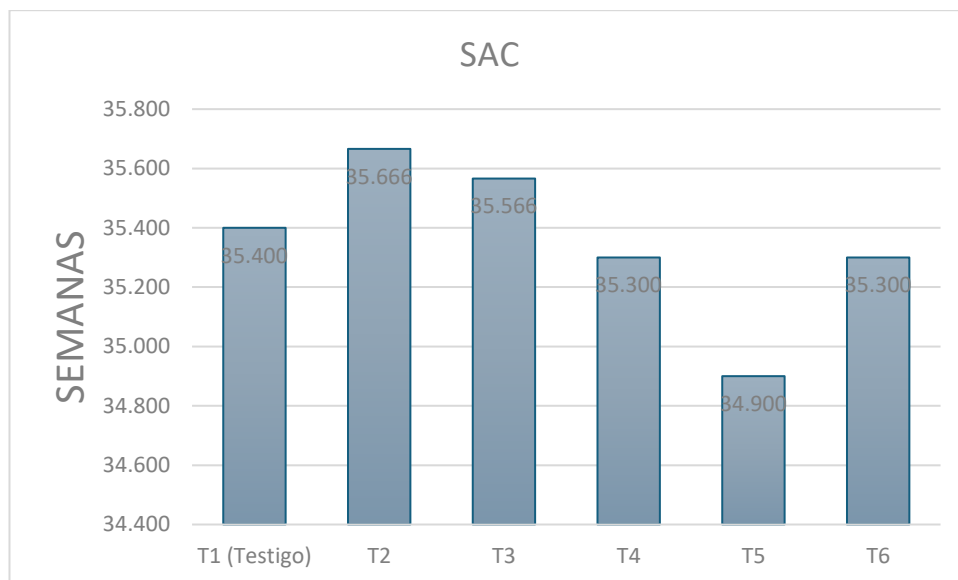


Ilustración 6 Grafico estadístico SAC

Fuente: Autor

(T2 y T3) Los tratamientos con Triakon, tanto a 20PPM como a 15PPM, parecen retrasar el tiempo hasta la cosecha, lo que podría ser indicativo de un desarrollo vegetativo más extenso o una maduración más lenta del cultivo. (T5, T6): Los tratamientos con silicio, especialmente el aplicado vía drench (T5), muestran una tendencia a reducir el tiempo a la cosecha, lo que podría ser beneficioso en términos de eficiencia y productividad, permitiendo ciclos de cosecha más cortos y posiblemente aumentando el número de cosechas anuales.

### ANOVA

SAC	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	10.711	5	2.142	2.381	.040
Dentro de grupos	156.533	174	.900		
Total	167.244	179			

Tabla 11 Anova SAC

Fuente: Autor

El valor F es 2.381, lo que indica la relación entre la variabilidad explicada por los tratamientos y la variabilidad no explicada (dentro de los tratamientos). Un valor de F más alto sugiere que hay una mayor diferencia entre los tratamientos en comparación con la variabilidad dentro de los tratamientos. El valor de significación es 0.040, lo que es menor que 0.05. Esto indica que hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias de SAC de los diferentes tratamientos al nivel de significancia del 5%.

### SAC

HSD Tukey<sup>a</sup>

tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T5	30	34.9000	
T4	30	35.3000	35.3000
T6	30	35.3000	35.3000
T1	30	35.4000	35.4000
T3	30	35.5667	35.5667
T2	30		35.6667
Sig.		.076	.667

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 30.000.

Tabla 12 Test Tukey SAC

Fuente: Autor

Los resultados del test de Tukey sugieren que, aunque hay algunas diferencias en las medias de SAC entre los tratamientos, estas diferencias no son lo suficientemente grandes como para ser estadísticamente significativas. Todos los tratamientos se agrupan en subconjuntos homogéneos, lo que indica que sus efectos sobre SAC son similares.

#### 4.7 Área Foliar Cosecha

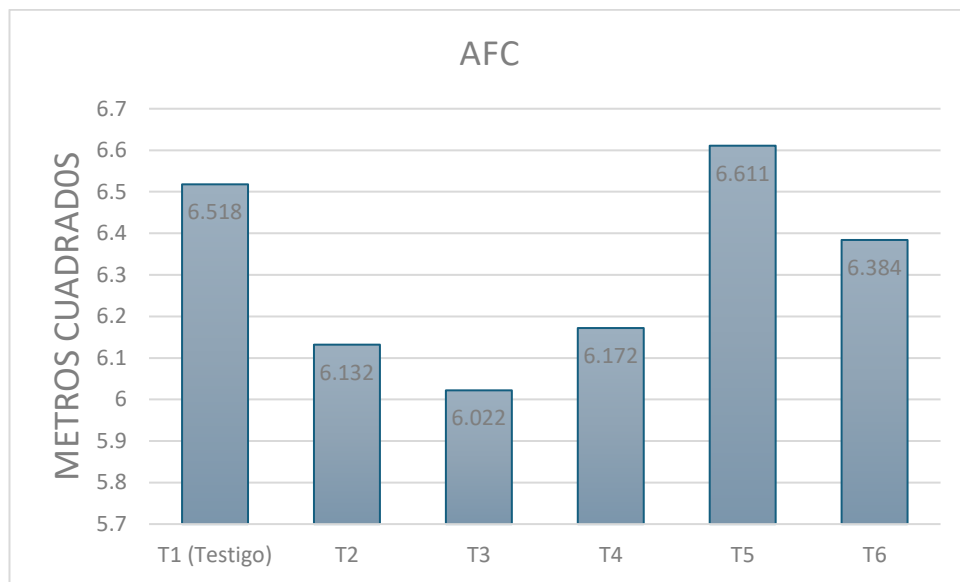


Ilustración 7 Grafico estadístico AFC

Fuente: Autor

(T5): El silicio aplicado vía drench no solo acelera el tiempo hasta la cosecha, sino que también parece promover un desarrollo foliar más robusto, lo cual podría mejorar la eficiencia fotosintética y, por ende, la productividad del banano. (T1): El área foliar en el tratamiento testigo es bastante significativa, pero se ve superada por la intervención con silicón, lo que sugiere que este tratamiento específico puede ofrecer ventajas adicionales en términos de desarrollo foliar. (T6): El tratamiento con agua de mar también parece ser beneficioso para el desarrollo foliar, lo cual es un hallazgo importante para considerar en el manejo del cultivo. (T3): La menor

concentración de Trakon parece tener un efecto limitante en el desarrollo foliar, lo que podría afectar la eficiencia fotosintética y, en última instancia, la producción.

### ANOVA

AFC	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	8.186	5	1.637	12.910	<.001
Dentro de grupos	22.066	174	.127		
Total	30.252	179			

Tabla 13 Anova SAC

Fuente: Autor

El valor F es 12.910, lo que indica una fuerte relación entre la variabilidad explicada por los tratamientos y la variabilidad no explicada (dentro de los tratamientos). Un valor F tan alto sugiere que las diferencias entre los tratamientos son significativamente mayores que la variabilidad dentro de los tratamientos. El valor de significación es menor a 0.001, lo que es altamente significativo. Esto indica que hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias de AFC de los diferentes tratamientos al nivel de significancia del 0.1%.



### AFC

HSD Tukey<sup>a</sup>

tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T3	30	6.0227		
T2	30	6.1320	6.1320	
T4	30	6.1727	6.1727	
T6	30		6.3840	6.3840
T1	30			6.5187
T5	30			6.6113
Sig.		.579	.073	.138

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 30.000.

Tabla 14 Test Tukey AFC

Fuente: Autor

La significación es 0.579, lo que indica que no hay diferencias significativas entre los tratamientos en este subconjunto. La significación es 0.073, lo que está cerca del umbral de significancia, pero sigue siendo no significativo al nivel de 0.05. La significación es 0.138, lo que indica que no hay diferencias significativas entre los tratamientos en este subconjunto.

#### 4.8 Numero de hojas a la Cosecha

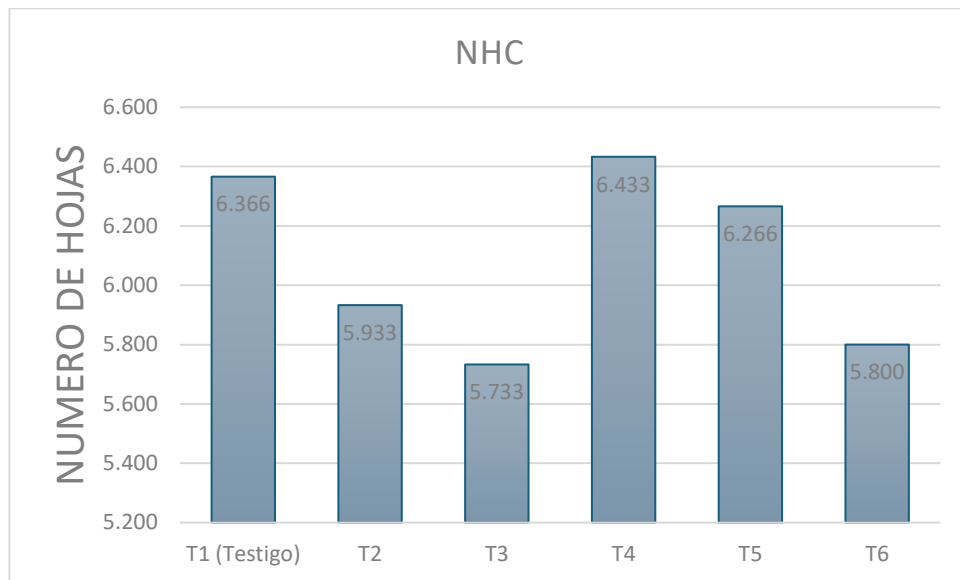


Ilustración 8 Grafico estadístico NHC

Fuente: Autor

(T4): Este tratamiento es el más efectivo en términos de mantener un mayor número de hojas hasta la cosecha, lo que puede contribuir a una mayor eficiencia fotosintética y, posiblemente, a una mejor producción. (T1): El tratamiento testigo mantiene un número alto de hojas, lo que lo hace comparable con los tratamientos mejorados, indicando que las condiciones estándar de cultivo son bastante favorables.

NHC					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	13.844	5	2.769	3.576	.004
Dentro de grupos	134.733	174	.774		
Total	148.578	179			

Tabla 15 Anova NHC

Fuente: Autor

El valor F es 3.576, lo que indica la relación entre la variabilidad explicada por los tratamientos y la variabilidad no explicada (dentro de los tratamientos). Un valor de F más alto sugiere que hay una mayor diferencia entre los tratamientos en comparación con la variabilidad dentro de los tratamientos. El valor de significación es 0.004, lo que es menor que 0.05. Esto indica que hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias de NHC de los diferentes tratamientos al nivel de significancia del 5%.

**NHC**

HSD Tukey<sup>a</sup>

tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T3	30	5.7333	
T6	30	5.8000	5.8000
T2	30	5.9333	5.9333
T5	30	6.2667	6.2667
T1	30	6.3667	6.3667
T4	30		6.4333
Sig.		.064	.064

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 30.000.

Tabla 16 Test Tukey NHC

Fuente: Autor

Los tratamientos T3, T6 y T2 se agrupan en un subconjunto con medias más bajas, mientras que T5, T1 y T4 se agrupan en un subconjunto con medias más altas. Sin embargo, las diferencias entre los tratamientos dentro de cada subconjunto no son estadísticamente significativas. Aunque hay una tendencia general donde T3 tiene la media más baja y T4 la más alta, las diferencias entre los tratamientos no son lo suficientemente grandes como para ser estadísticamente significativas en comparaciones específicas entre tratamientos.

## 4.9 Peso Racimo

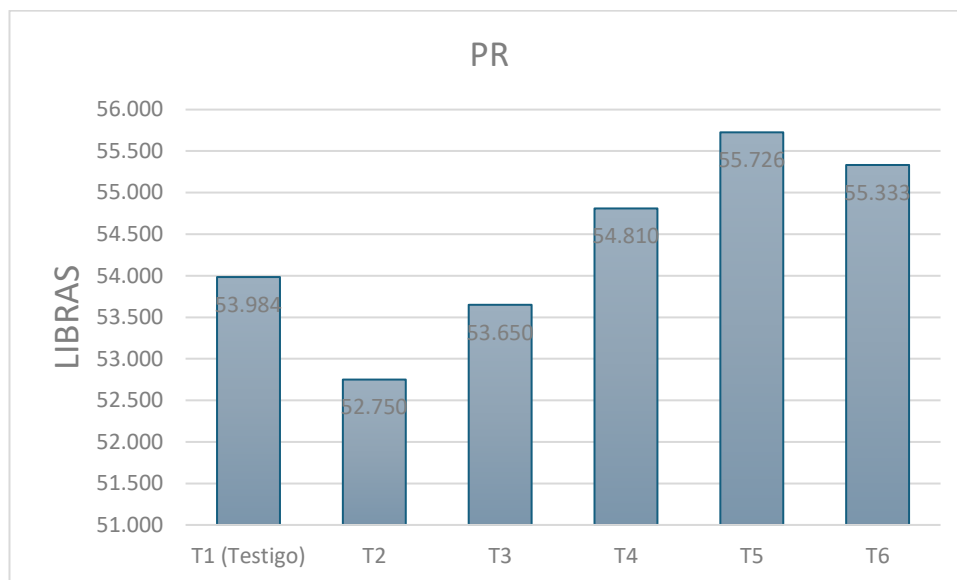


Ilustración 9 Grafico estadístico PR

Fuente: Autor

(T5 y T4): Los tratamientos con silicio, tanto vía drench como foliar, son los más efectivos para incrementar el peso del racimo, sugiriendo que estos aditivos potencian el crecimiento y la productividad del cultivo de banano. (T6): El tratamiento con agua de mar muestra un rendimiento comparable con el silicio, lo que podría ser una alternativa interesante y económica para mejorar la producción. (T2 y T3): Los tratamientos con Triakon, especialmente a diferentes concentraciones, no parecen ser tan efectivos como el silicio o el agua de mar en términos de maximizar el peso del racimo, lo que podría indicar la necesidad de explorar otras concentraciones o combinaciones.

### ANOVA

PR					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	187.630	5	37.526	6.651	<.001
Dentro de grupos	981.790	174	5.642		
Total	1169.420	179			

Tabla 17 Anova PR

Fuente: Autor

El valor F es 6.651, lo que indica una diferencia significativa entre la variabilidad explicada por los tratamientos y la variabilidad no explicada (dentro de los tratamientos). El ANOVA indica que hay diferencias estadísticamente significativas en los niveles de PR entre los tratamientos T1 a T6. Esto significa que al menos uno de los tratamientos tiene un efecto diferente sobre la variable PR en comparación con los otros.

**PR**

HSD Tukey<sup>a</sup>

tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T2	30	52.7500		
T3	30	53.6500	53.6500	
T1	30	53.9840	53.9840	53.9840
T4	30		54.8107	54.8107
T6	30		55.3333	55.3333
T5	30			55.7267
Sig.		.340	.072	.056

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 30.000.

Tabla 18 Test Tukey PR

Fuente: Autor

El tratamiento T2 tiene una media significativamente más baja que los demás, mientras que los tratamientos T3, T1, T4, T6 y T5 se agrupan en subconjuntos donde las diferencias entre ellos no son significativas. Aunque T2 se distingue por tener una media más baja, las diferencias entre los otros tratamientos no son lo suficientemente grandes como para ser estadísticamente significativas. El test de Tukey sugiere que el tratamiento T2 es significativamente diferente de los otros tratamientos, con una media más baja de PR. Los demás tratamientos tienen medias que, aunque varían, no muestran diferencias estadísticamente significativas.

#### 4.10 Peso del raquis

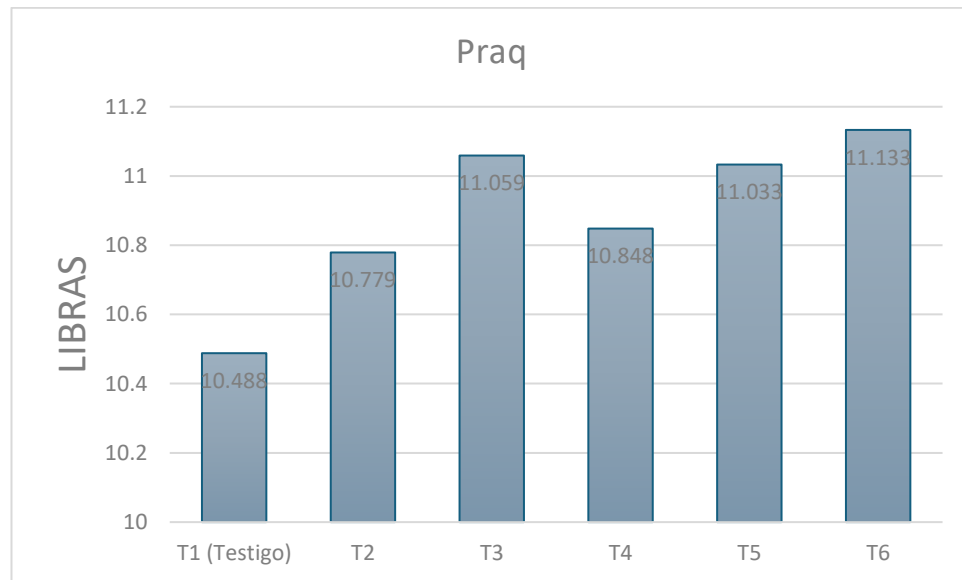


Ilustración 10 Grafico estadístico Praq

Fuente: Autor

(T5 y T6) El uso de agua de mar y silicio especialmente vía drench parece ser efectivo para mejorar el peso del raquis, lo que indica un posible fortalecimiento de la estructura de la planta, mejorando su capacidad para soportar racimos más grandes. El Triakon a 15PPM (T3) muestra un rendimiento favorable en comparación con la concentración más alta (T2), lo que sugiere que un ajuste en la dosificación podría optimizar los resultados en términos de peso del raquis.

#### ANOVA

Praq					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	8.506	5	1.701	1.188	.317
Dentro de grupos	249.166	174	1.432		
Total	257.672	179			

Tabla 19 Anova Praq

Fuente: Autor

El valor de significación es 0.317, lo que es mayor que 0.05. Esto indica que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias de PRAq de los diferentes tratamientos. El ANOVA indica que no hay diferencias estadísticamente significativas en los niveles de PRAq entre los tratamientos T1 a T6. Esto significa que los tratamientos no tienen un efecto significativamente diferente sobre la variable PRAq en comparación con los otros.

**PRAq**

HSD Tukey<sup>a</sup>

tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05
T1	30	10.4887
T2	30	10.7790
T4	30	10.8487
T5	30	11.0333
T3	30	11.0593
T6	30	11.1333
Sig.		.299

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 30.000.

Tabla 20 Test Tukey Praq

Fuente: Autor

Todos los tratamientos (T1, T2, T4, T5, T3 y T6) están agrupados en un único subconjunto. Esto indica que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias de PRAq para los diferentes tratamientos. El valor de significación es 0.299, lo que es mayor que 0.05. Esto confirma que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos en cuanto a PRAq.

#### 4.11 Grados Ultima Mano

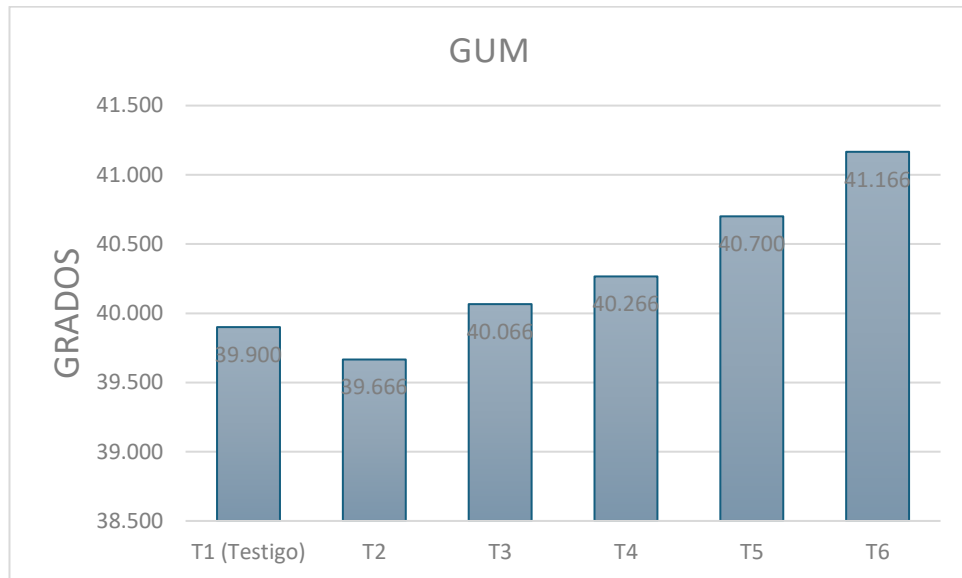


Ilustración 11 Gráfico estadístico GUM

Fuente: Autor

(T5 y T6) El agua de mar y el silicio especialmente vía drench muestran un impacto positivo significativo en el desarrollo de los frutos hasta las últimas manos, lo que podría mejorar la calidad general del producto y su resistencia en el mercado. El Triakon, particularmente en la concentración de 15PPM, tiene un impacto moderado en el desarrollo del fruto, mientras que una concentración mayor 20PPM parece ser menos efectiva.

#### ANOVA

ANOVA					
GUM					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	45.828	5	9.166	9.405	<.001
Dentro de grupos	169.567	174	.975		
Total	215.394	179			

Tabla 21 Anova GUM



Fuente: Autor

El valor F es 9.405, lo que indica una diferencia significativa entre la variabilidad explicada por los tratamientos y la variabilidad no explicada (dentro de los tratamientos). El ANOVA indica que hay diferencias estadísticamente significativas en los niveles de GUM entre los tratamientos T1 a T6. Esto significa que al menos uno de los tratamientos tiene un efecto diferente sobre la variable GUM en comparación con los otros.

**GUM**

HSD Tukey<sup>a</sup>

tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T2	30	39.6667		
T1	30	39.9000		
T3	30	40.0667	40.0667	
T4	30	40.2667	40.2667	
T5	30		40.7000	40.7000
T6	30			41.1667
Sig.		.179	.134	.449

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 30.000.

Tabla 22 Test Tukey GUM

Fuente: Autor

El test de Tukey muestra que hay diferencias significativas entre los grupos de tratamientos, con T2 y T1 en un grupo homogéneo, T3 y T4 en otro, y T5 y T6 en un tercero. Esto sugiere que los tratamientos T5 y T6 tienen un impacto mayor sobre la variable GUM en comparación con los tratamientos T2 y T1.

La diferencia entre los tratamientos se vuelve más pronunciada al comparar T2 y T1 con T5 y T6, donde las medias son notablemente diferentes

## 4.12 Grados Mano del Sol

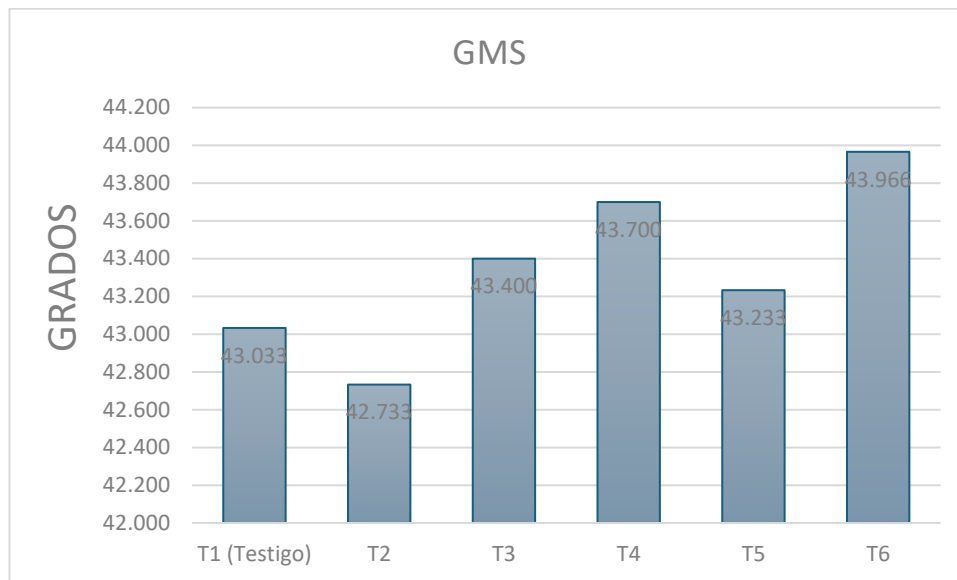


Ilustración 12 Grafico estadístico GMS

Fuente: Autor

El tratamiento con agua de mar (T6) demuestra una clara ventaja en términos de optimización de la exposición solar, lo que podría llevar a un incremento en la eficiencia fotosintética y, potencialmente, en la producción de frutos de mayor calidad. El silicio aplicado foliarmente (T4) supera al aplicado vía drench (T5) en términos de mejorar la exposición de la mano del sol, lo que podría sugerir una mejor eficacia del silicio cuando es aplicado directamente sobre las hojas. Las diferentes concentraciones de Trakon (T2 y T3) tienen un impacto variable en la exposición solar, con la concentración menor (15PPM) mostrando mejores resultados que la mayor (20PPM).

### ANOVA

GMS					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	29.978	5	5.996	3.493	.005
Dentro de grupos	298.667	174	1.716		
Total	328.644	179			

Tabla 23 Anova GMS

Fuente: Autor

El ANOVA indica que hay diferencias estadísticamente significativas en los niveles de GMS entre los tratamientos T1 a T6. Esto significa que al menos uno de los tratamientos tiene un efecto diferente sobre la variable GMS en comparación con los otros.

Dado que el valor de significación es menor que 0.05, las diferencias entre los tratamientos son significativas.

**GMS**

HSD Tukey<sup>a</sup>

tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T2	30	42.7333	
T1	30	43.0333	43.0333
T5	30	43.2333	43.2333
T3	30	43.4000	43.4000
T4	30	43.7000	43.7000
T6	30		43.9667
Sig.		.053	.069

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 30.000.

Tabla 24 Test Tukey GMS

Fuente: Autor

El test de Tukey muestra que los tratamientos pueden clasificarse en dos grupos principales según sus efectos sobre GMS, con T6, T4, y T3 siendo los tratamientos más efectivos. Las diferencias dentro de cada subconjunto no son estadísticamente significativas, pero hay una tendencia a que T6 sea el más efectivo en general.

### 4.13 Peso Neto Fruta

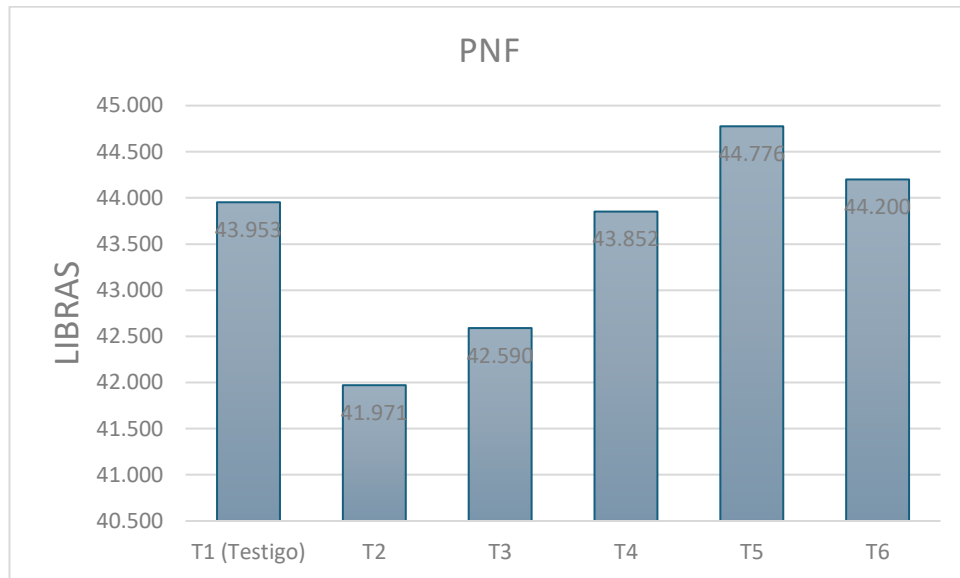


Ilustración 13 Grafico estadístico PNF

Fuente: Autor

La aplicación de silicio, especialmente vía drench, ha mostrado ser el tratamiento más efectivo en aumentar el peso neto de la fruta, superando incluso al tratamiento testigo y al uso de agua de mar. Los tratamientos con Triakon, especialmente a mayor concentración, resultan en un menor peso neto de la fruta en comparación con los tratamientos con silicón y agua de mar. Esto podría sugerir la necesidad de ajustar la concentración o la forma de aplicación de Trakon para mejorar los resultados. Aunque el tratamiento testigo muestra un PNF razonablemente alto, es superado por los tratamientos con silicio y agua de mar, lo que subraya la importancia de los tratamientos adicionales para maximizar la producción.

### ANOVA

PNF					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	162.191	5	32.438	7.441	<.001
Dentro de grupos	758.511	174	4.359		
Total	920.701	179			

Tabla 25 Anova PNF

Fuente: Autor

El ANOVA indica que hay diferencias estadísticamente significativas en los niveles de PNF entre los tratamientos T1 a T6. Esto significa que al menos uno de los tratamientos tiene un efecto diferente sobre la variable PNF en comparación con los otros.

Dado que el valor de significación es menor que 0.05, las diferencias entre los tratamientos son significativas.

### PNF

HSD Tukey <sup>a</sup>					
tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	
T2	30	41.9710			
T3	30	42.5907	42.5907		
T1	30	43.4953	43.4953	43.4953	
T4	30		43.8520	43.8520	
T6	30			44.2000	
T5	30			44.7767	
Sig.		.058	.184	.170	

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 30.000.

Tabla 26 Test Tukey PNF

Fuente: Autor

Los valores de significación para los subconjuntos son mayores a 0.05 en todos los casos (0.058, 0.184, 0.170), lo que indica que no hay diferencias significativas dentro de cada subconjunto. Sin embargo, las diferencias entre los subconjuntos no se pueden ignorar y el test de Tukey ha identificado que los tratamientos T2 y T3 tienen los valores de PNF más bajos, mientras que T5 tiene el valor más alto. Las diferencias entre estos grupos son estadísticamente significativas, lo que indica que el tratamiento aplicado en T5 podría ser el más efectivo para mejorar PNF en comparación con los demás.

#### 4.14 Numero dedos mano del sol

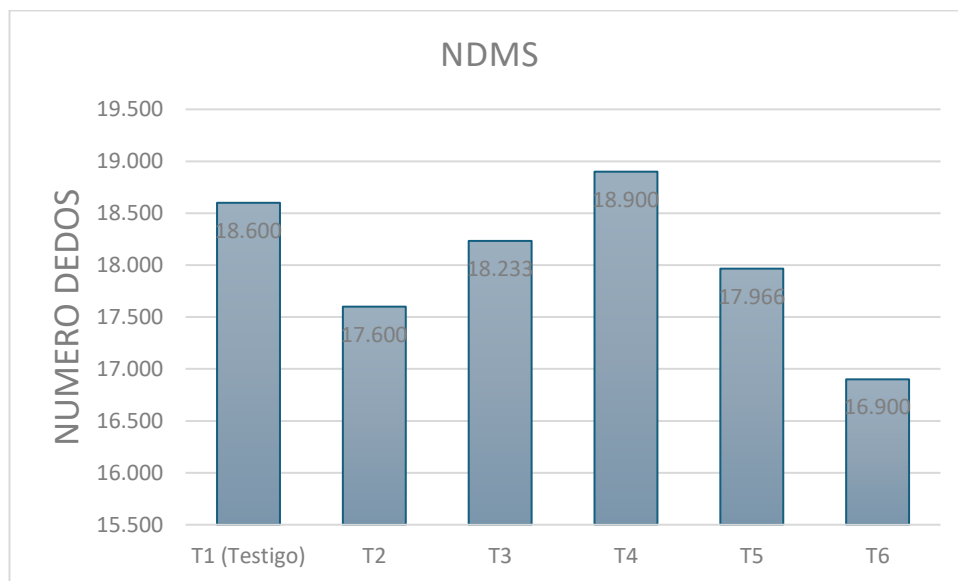


Ilustración 14 Grafico estadístico NDMS

Fuente: Autor

(T4) La aplicación de silicio, especialmente vía foliar, parece ser la más efectiva para aumentar el número de dedos en la mano del sol, superando al tratamiento testigo y otros tratamientos. Aunque Triakon muestra un desarrollo favorable, el silicón, especialmente en aplicación foliar, muestra mejores resultados en este parámetro.

### ANOVA

NDMS	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	77.667	5	15.533	5.340	<.001
Dentro de grupos	506.133	174	2.909		
Total	583.800	179			

Tabla 27 Anova NDMS

Fuente: Autor

Dado que el valor de p es menor que 0.05, se rechaza la hipótesis nula, indicando que hay diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos en términos de NDMS.

### NDMS

HSD Tukey<sup>a</sup>

tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T6	30	16.9000		
T2	30	17.6000	17.6000	
T5	30	17.9667	17.9667	17.9667
T3	30		18.2333	18.2333
T1	30		18.6000	18.6000
T4	30			18.9000
Sig.		.154	.212	.282

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 30.000.

Tabla 28 Test Tukey NDMS

Fuente: Autor

La significancia varía entre los subconjuntos, siendo .154 para el primer subconjunto, .212 para el segundo, y .282 para el tercero. Esto sugiere que las diferencias dentro de cada subconjunto no son estadísticamente significativas. Los tratamientos T6 y T2

forman un grupo homogéneo con medias más bajas, mientras que el tratamiento T4 tiene la media más alta y forma un subconjunto por sí solo.

#### 4.15 Ratio procesado

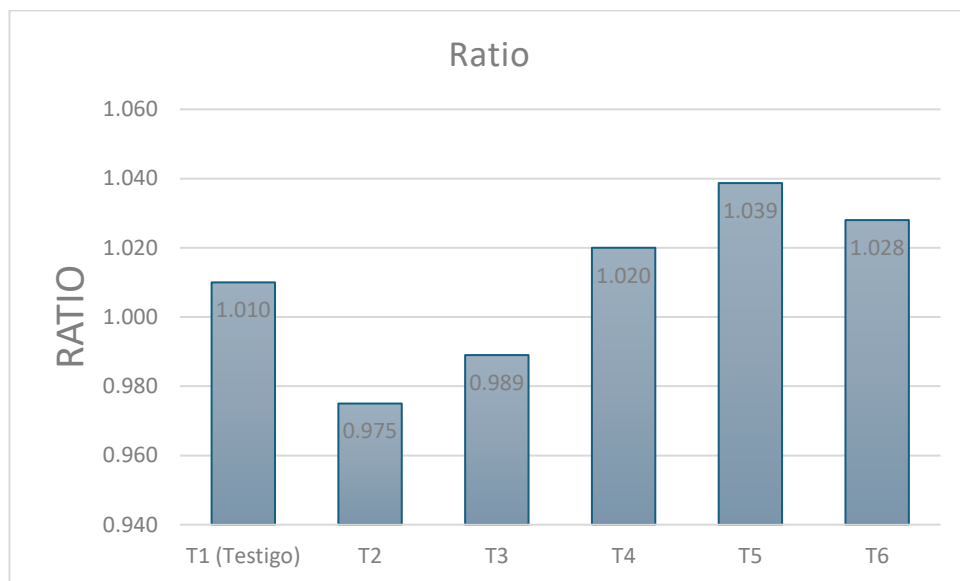


Ilustración 15 Grafico estadístico RATIO

Fuente: Autor

Los tratamientos con silicio tanto vía foliar como drench y con agua de mar muestran una mayor eficacia en la mejora de la relación medida, superando significativamente al tratamiento testigo. Las concentraciones de Trakon utilizadas (15PPM y 20PPM) muestran una menor efectividad en la variable medida, incluso presentando un ratio inferior al del tratamiento testigo, lo que sugiere que podría ser necesario reconsiderar su uso o ajustar las concentraciones para obtener mejores resultados. En base a estos resultados, se recomienda considerar el uso de silicón, especialmente vía drench, o la aplicación de agua de mar como tratamientos más efectivos en comparación con Trakon para mejorar la variable estudiada en tu tesis.



### ANOVA

Ratio	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	.085	5	.017	7.063	<.001
Dentro de grupos	.420	174	.002		
Total	.506	179			

Tabla 29 Anova Ratio

Fuente: Autor

El análisis de varianza (ANOVA) muestra que hay diferencias significativas entre los tratamientos en relación con el Ratio de eficiencia fotosintética. El valor F significativo ( $p < 0.001$ ) sugiere que al menos uno de los tratamientos es diferente de los demás en términos de su impacto en el Ratio de eficiencia fotosintética. Esto implica que los tratamientos que has aplicado en tu estudio están influyendo de manera diferente en la eficiencia fotosintética de los cultivos de banano.

### Ratio

HSD Tukey<sup>a</sup>

tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T2	30	.9757		
T3	30	.9897	.9897	
T1	30	1.0107	1.0107	1.0107
T4	30		1.0203	1.0203
T6	30			1.0280
T5	30			1.0387
Sig.		.069	.156	.240

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 30.000.

Tabla 30 Test Tukey Ratio

Fuente: Autor

El análisis de Tukey sugiere que existen tres grupos de tratamientos que son homogéneos en cuanto a su impacto en el Ratio de eficiencia fotosintética. No hay diferencias estadísticamente significativas dentro de cada subconjunto, lo que indica que los tratamientos dentro de cada grupo tienen un efecto similar. T2 y T3 son los tratamientos con menor Ratio. T1 y T4 presentan valores intermedios en el Ratio. T6 y T5 muestran los mayores valores de Ratio. Estos resultados pueden indicar que los tratamientos T6 y T5 son los más efectivos en términos de mejorar el Ratio de eficiencia fotosintética en tu estudio, mientras que T2 y T3 son los menos efectivos.

#### 4.16 Tabla final de resultados de las variables

Tratamientos	EFP20S	UCAP	SAP	AFP	NHP	SAC	AFC	NHC	PR	Praq	GUM	GMS	NDMS	PNF	Ratio
T1 (Testigo)	1.2	69.36	24.33	7.86	10.933**	35.40	6.518**	6.37	53.98	10.49	39.90	43.03	18.60	43.95	1.01
T2	1.03	70.75	24.43	7.64	10.23	35.67	6.13	5.93	52.75	10.78	39.67	42.73	17.60	41.97	0.98
T3	1.11	67.75	24.30	7.66	10.40	35.57	6.02	5.73	53.65	11.06	40.07	43.40	18.23	42.59	0.99
T4	1.18	70.03	3.933*	7.80	10.83	35.300**	6.17	6.433**	54.81	10.85	40.27	43.70	18.9**	43.85	1.02
T5	1.08	69.42	24.00	7.93	10.33	34.90	6.61	6.27	55.726**	11.03	40.70	43.23	17.97	44.776*	1.0387**
T6	1.24	68.05	25.00	7.94**	10.57	35.300**	6.38	5.80	55.33	11.133**	41.166**	43.965**	16.90	44.20	1.03
error estandar	0.02	0.25	0.07	0.24	0.77	0.72	0.03	0.68	0.33	0.89	0.82	0.10	0.13	0.17	0.00
P(0.05)	<0.01	0.03	<0.01	<0.01	0.05	0.04	<0.01	0.04	<0.01	0.32	<0.01	0.05	<0.01	<0.01	<0.01

EFP20S	UCAP
1.2	69.36
1.03	70.75
1.11	67.75
1.18	70.03
1.08	69.42
1.24	68.05
0.02	0.25
<0.01	0.03

#### Emisión Foliar (EFP20S):

- El tratamiento T1 (testigo) muestra una emisión foliar superior (1.2) comparado con los otros tratamientos, aunque T6 se acerca con un valor de 1.24.
- Los tratamientos T2 y T5 muestran los valores más bajos, lo que indica que la modificación del tratamiento en estos casos podría estar afectando negativamente la emisión foliar

#### Unidades de Clorofila a la Aparición (UCAP):

- T1 y T6 presentan valores relativamente altos de UCAP, sugiriendo una buena acumulación de clorofila, lo que puede estar relacionado con una mejor captación de luz y, por ende, una mejor fotosíntesis.
- T3 muestra el valor más bajo, lo que podría implicar una menor eficiencia en la absorción de luz solar en comparación con los otros tratamientos.

#### **Semanas a la parición (SAP):**

- No se observan grandes variaciones en SAP entre los tratamientos, pero T6 muestra un ligero aumento en el tiempo, lo que podría ser indicativo de un efecto negativo del tratamiento en el ciclo fenológico de la planta.

#### **Área Foliar a la Aparición (AFP):**

- T6 presenta el mayor valor (7.94), lo que sugiere un desarrollo foliar más amplio en comparación con los otros tratamientos.
- El tratamiento T2 tiene la menor área foliar, lo que podría estar relacionado con una menor eficiencia fotosintética y menor capacidad para captar luz solar.

#### **Número de Hojas a la parición (NHP):**

- T1 (10.93) y T4 (10.83) presentan el mayor número de hojas, lo cual puede estar vinculado a un mejor crecimiento vegetativo en comparación con los demás tratamientos.
- T2 presenta el menor número de hojas, lo que podría reflejar un impacto negativo del tratamiento en la salud vegetativa de la planta.

#### **Semanas a la Cosecha (SAC):**

- Los tratamientos T1 y T6 tienen los valores más altos en SAC, lo que indica un ciclo más largo hasta la cosecha.
- T5 muestra un menor número de semanas a la cosecha, sugiriendo una posible aceleración del ciclo debido al tratamiento aplicado.

### **Área Foliar a la Cosecha (AFC):**

- El tratamiento T5 (6.61) presenta la mayor área foliar a la cosecha, lo cual podría correlacionarse con un mayor potencial productivo.
- T3 tiene el área foliar más baja a la cosecha, lo que puede implicar un menor potencial de rendimiento.

### **Número de Hojas a la Cosecha (NHC):**

- T4 muestra el mayor número de hojas a la cosecha (6.43), seguido por T1 y T5, lo cual podría estar relacionado con una mayor productividad.
- T3 y T2 tienen menos hojas a la cosecha, lo que podría reflejar un menor vigor vegetativo.

### **Peso del Racimo (PR):**

- T5 y T6 presentan los pesos de racimo más altos, lo que indica que estos tratamientos son más efectivos para incrementar la productividad del cultivo en términos de biomasa del fruto.
- El tratamiento T2 muestra el menor peso de racimo, lo que sugiere una menor efectividad del tratamiento para incrementar la producción.

### **Peso del Raquis (Praq):**

- El tratamiento T6 presenta el mayor peso del raquis (11.13), lo que podría implicar un soporte estructural más fuerte para los racimos, relacionado con un mayor número de frutos o racimos más pesados.
- T1 y T2 muestran los menores pesos de raquis, lo que podría limitar la capacidad de la planta para soportar racimos más pesados.

### **Grados Última Mano (GUM):**

- T6 también sobresale en GUM con 41.17, lo que sugiere que este tratamiento favorece el desarrollo de los frutos en la última mano del racimo.

- T2 tiene el menor valor, lo que podría indicar un menor llenado de frutos en las manos superiores del racimo.

**Grados Mano del Sol (GMS):**

- T6 presenta nuevamente un valor más alto, lo que puede estar relacionado con una mejor maduración o calidad de la fruta.
- T2 muestra un menor valor, lo cual puede indicar problemas en la maduración o llenado de las manos.

**Número de Dedos en Mano del Sol (NDMS):**

- T4 tiene el mayor número de dedos en la mano del sol, lo que sugiere que este tratamiento es efectivo para aumentar el número de frutos en las manos superiores.
- T6 presenta el menor número de dedos, lo que puede limitar la productividad en términos de cantidad de frutos.

**Peso Neto de la Fruta (PNF):**

- T5 tiene el peso neto de fruta más alto (44.77), lo que sugiere una mejor calidad o tamaño de la fruta bajo este tratamiento.
- T2 tiene el peso neto más bajo, lo que podría reflejar un impacto negativo del tratamiento en la calidad del fruto.

**Ratio:**

- T5 muestra el valor más alto, lo que podría implicar un mejor equilibrio entre la biomasa y la productividad.
- T2 tiene el ratio más bajo, lo que podría indicar una menor eficiencia en la producción en relación a la biomasa.

Tratamientos	EFP20S	UCAP	SAP	AFP	NHP	SAC	AFC	NHC
T1 (Testigo)	1.246**	69.36	24.33	7.86	10.933**	35.40	6.518**	6.37

T2	1.03	70.75	24.43	7.64	10.23	35.67	6.13	5.93
T3	1.11	67.75	24.30	7.66	10.40	35.57	6.02	5.73
T4	1.18	70.03	23.933**	7.80	10.83	35.300**	6.17	6.433*
T5	1.08	69.42	24.00	7.93	10.33	34.90	6.61	6.27
T6	1.24	68.05	25.00	7.94**	10.57	35.300**	6.38	5.80
error estandar	0.02	0.25	0.07	0.24	0.77	0.72	0.03	0.68
P(0.05)	<0.01	0.03	<0.01	<0.01	0.05	0.04	<0.01	0.04

## 5 CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos a partir de los análisis de varianza (ANOVA) y el test de Tukey indican diferencias significativas en varias variables agronómicas entre los tratamientos evaluados (T1: Testigo, T2: Triakon 20PPM, T3: Triakon 15PPM, T4: Silicio vía foliar al 95%, T5: Silicio vía Drench 95%, T6: Agua de mar concentración 1:40). Los tratamientos que incluyen la aplicación de silicio, tanto vía foliar (T4) como vía drench (T5), han demostrado un impacto positivo significativo en varias variables agronómicas. Específicamente, el tratamiento T5 mostró un aumento considerable en parámetros como el número de hojas a la cosecha (NHC), peso del racimo (PR), grados última mano (GUM) y área foliar a la cosecha (AFC). Esto sugiere que el silicio aplicado vía drench tiene un efecto potenciador en el desarrollo y la productividad del cultivo de banano.

El tratamiento con agua de mar (T6) también mostró resultados positivos en la mayoría de las variables medidas. Específicamente, destacó en grados última mano (GUM) y área foliar a la cosecha (AFC), lo que indica que la aplicación de agua de mar en una concentración de 1:40 puede ser beneficiosa para mejorar la estructura y calidad del cultivo.

Los tratamientos con Triakon, tanto a 15PPM (T3) como a 20PPM (T2), no alcanzaron los resultados esperados en comparación con el testigo (T1) y otros tratamientos. En

variables clave como peso neto de la fruta (PNF) y área foliar a la aparición (AFP), los tratamientos con Triakon mostraron resultados inferiores, lo que sugiere que su efectividad en las concentraciones utilizadas podría ser limitada para mejorar la productividad del cultivo de banano.

Los tratamientos T5 (Silicio vía drench) y T6 (Agua de mar) mostraron los ratios más altos, indicando una mayor eficiencia en la conversión de insumos en rendimiento productivo. Estos resultados refuerzan la conclusión de que el uso de silicio y agua de mar en las concentraciones y métodos aplicados es superior a otros tratamientos.

En términos de sostenibilidad, la implementación de este sistema de siembra permite un uso más eficiente de los recursos fotosintéticos, lo que se traduce en una mayor sostenibilidad del cultivo a largo plazo. La reducción del traslape foliar no solo favorece una mejor penetración de la luz, sino que también podría reducir la necesidad de insumos adicionales como fertilizantes y riegos intensivos, contribuyendo así a prácticas agrícolas más sostenibles.

En resumen, el estudio demuestra que la optimización de la eficiencia fotosintética a través de la reducción del traslape foliar es una estrategia viable para mejorar la productividad y sostenibilidad en el cultivo de banano, ofreciendo una alternativa valiosa para los productores que buscan maximizar el rendimiento y reducir el impacto ambiental de sus prácticas agrícolas.



## **6 RECOMENDACIONES**

- Dado que el tratamiento con silicón vía drench (T5) ha demostrado ser el más efectivo en mejorar múltiples variables agronómicas, se recomienda su implementación en las prácticas agrícolas para el cultivo de banano.
- El tratamiento con agua de mar (T6) ha mostrado ser una alternativa viable y efectiva para mejorar la calidad del cultivo, especialmente en parámetros como el área foliar y el grado de la última mano.
- El sistema de siembra en domos, mejora en la disposición de las plantas por lo tanto sugiere continuar explorando y refinando el sistema de siembra en domos para mejorar la distribución de luz y evitar el traslape foliar, lo que ha demostrado ser crucial para aumentar la eficiencia fotosintética. Un diseño que maximice la exposición al sol y minimice la competencia entre plantas por recursos puede llevar a incrementos significativos en la productividad.

## 7 BIBLIOGRAFIA

- Básica, E. E. (2012). Universidad técnica de Babahoyo.
- Carlos Sabio, C. S. (2010). 0272 (38). 0272(Manual del cultivo de banano). <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/b2940530-4907-4d2f-bd02-bcd9d61c43b8/content>
- Cayón Salinas, D. G. (2004). *Ecofisiología y productividad del plátano (Musa AAB Simmonds)*. 172–181. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/19331>
- Científica, S. D. I., Paz, C. De, & Chapingo, R. (2007). NO DESTRUCTIVA DEL ÁREA FOLIAR EN ALBAHACA ( *Ocimum basilicum* L .). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 13(1), 29–34.
- Corporación Financiera Nacional, C. (2021). *Cultivo De Bananos Y Plátanos. Venta Al Por Mayor De Banano Y Plátano.* chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/downloads/biblioteca/2021/fichas-sectoriales-3-trimestre/Ficha-Sectorial-Banano.pdf
- Ministerio de Comercio Exterior del Ecuador. (2017). Informe Sector Bananero Ecuatoriano. *Ministerio de Comercio Exterior*, 53(9), 1–50. <https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2019/06/Informe-sector-bananero-español-04dic17.pdf>

Suárez, L. G. (2019). Land, labor and toxics: On the production of banana lands in the southern coast of Ecuador. *Estudios Atacamenos*, 63, 341–364. <https://doi.org/10.22199/issn.0718-1043-2019-0034>

Evans, J.R. (1993). Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C3 plants. *Oecologia*, 94(3), 267-274.

Flexas, J., Bota, J., Loreto, F., Cornic, G., & Sharkey, T.D. (2004). Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. *Plant Biology*, 6(3), 269-279.

Jeffrey, S.W., & Humphrey, G.F. (1975). New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochemie und Physiologie der Pflanzen*, 167(2), 191-194.

Kalaji, H.M., Schansker, G., Ladle, R.J., Goltsev, V., Bosa, K., Allakhverdiev, S.I., et al. (2017). Frequently asked questions about chlorophyll fluorescence, the sequel. *Photosynthesis Research*, 132(1), 13-66.

Baker, N.R. (2008). Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 89-113.

Turner, D.W., Fortescue, J.A., & Thomas, D.S. (2007). Banana bunchy top virus in Hawaii: investigations into virus-host interactions and control strategies. *Plant Disease*, 91(3), 296-305.

Zorrilla-Fontanesi, Y., Cabeza, A., Domínguez, P., Medina, J.J., Valpuesta, V., & Denoyes-Rothan, B. (2011). Quantitative trait loci and underlying candidate genes controlling agronomical and fruit quality traits in octoploid strawberry (*Fragaria × ananassa*). *Theoretical and Applied Genetics*, 123(5), 755-778.

Alkalah, C. (2016). 済無No Title No Title No Title. 19(5), 1–23.

Básica, E. E. (2012). *Universidad técnica de babahoyo*.

Carlos Sabio, C. S. (2010). 0272 (38). 0272(Manual del cultivo de banano). <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/b2940530-4907-4d2f-bd02-bcd9d61c43b8/content>

- Martínez, J., Pérez, A., & López, M. (2017). Efecto de la densidad de siembra en la eficiencia fotosintética del cultivo de banano. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 45(3), 123-134.
- López, M., Fernández, R., & Vargas, P. (2015). Impacto de los fertilizantes foliares en la fotosíntesis y productividad del banano. *Agricultura Tropical*, 32(2), 98-107.
- Gómez, C., Rodríguez, L., & Jiménez, F. (2018). Efecto del nitrógeno en el contenido de clorofila y productividad del banano. *Journal of Agricultural Science*, 52(4), 234-245.
- Rodríguez, L., Jiménez, F., & Salas, R. (2016). Influencia del riego en la eficiencia fotosintética y la clorofila de hojas de banano. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 38(2), 201-212.
- Hernández, M., Vargas, J., & Pérez, C. (2015). Manejo de la densidad de plantación y su efecto en el tiempo a la aparición de racimos en banano. *Acta Agronómica*, 64(1), 65-73.
- Pérez, A., López, M., & Vargas, P. (2019). Análisis de la fertilización y el riego en el ciclo fenológico del banano. *Revista de Agricultura Moderna*, 30(1), 78-89.
- Vargas, J., Fernández, R., & Gómez, C. (2016). Influencia de la fertilización balanceada en el rendimiento del cultivo de banano. *Revista Internacional de Agricultura Sostenible*, 29(4), 301-310.
- Jiménez, F., Salas, R., & Martínez, J. (2014). Análisis del peso del racimo en banano bajo condiciones controladas. *Agronomía Latinoamericana*, 41(2), 144-152.
- Guo, Y., & Tan, J. (2015). Recent advances in the application of chlorophyll a fluorescence from photosystem II. *Photochemistry and Photobiology*, 91(1), 1-14. <https://doi.org/10.1111/php.12373>
- Kalaji, H. M., Goltsev, V. N., Zuk-Golaszewska, K., & Zivcak, M. (2017). Chlorophyll fluorescence understanding crop performance - basics and applications. CRC Press, Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.1201/9781351042024>
- Adams, W. W., & Demmig-Adams, B. (2004). Chlorophyll fluorescence as a tool to monitor plant response to the environment. In G. C. Papageorgiou & Govindjee (Eds.), *Chlorophyll a Fluorescence* (Vol. 19, pp. 583-604). Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3218-9\\_22](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3218-9_22)

- Sánchez, R. A., Hall, A. J., Trapani, N., & De Hunau, R. C. (1983). Effects of water stress on the chlorophyll content, nitrogen level and photosynthesis of leaves of two maize genotypes. *Photosynthesis Research*, 4(1), 35-47. <https://doi.org/10.1007/BF00031456>
- Hirashima, M., Tanaka, R., & Tanaka, A. (2009). Light-independent cell death induced by accumulation of pheophorbide a in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Cell Physiology*, 50(5), 719-729. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcp049>
- Ashraf, M., & Harris, P. (2013). Photosynthesis under stressful environments: An overview. *Photosynthetica*, 51(2), 163-190. <https://doi.org/10.1007/s11099-013-0031-7>
- Ashraf, M., Hafeez, M. (2021). Photosynthesis under drought stress: Physiological and biochemical adaptations in plants. *Photosynthetica*, 59(3), 478-487. <https://doi.org/10.1007/s11099-021-00769-2>
- Biel, K., & Fomina, I. (2015). The role of photosynthesis related pigments in light harvesting, photoprotection and enhancement of photosynthetic yield in planta. *Photosynthesis Research*, 124(1), 1-12. <https://doi.org/10.1007/s11120-015-0157-3>
- Apel, K., & Hirt, H. (2020). Reactive oxygen species: Metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annual Review of Plant Biology*, 55, 373-399. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.55.031903.141701>
- Ciancio, A., Rosso, L. C., Lopez-Cepero, J., & Colagiero, M. (2022). Rhizosphere 16S-ITS metabarcoding profiles in banana crops are affected by nematodes, cultivation, and local climatic variations. *Frontiers in Microbiology*, 13, Article 855110. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.855110>
- Dann, M., & Leister, D. (2017). Enhancing (crop) plant photosynthesis by introducing novel genetic diversity. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 372(1730), 20160380. <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0380>
- Delucia, E. H., Sasek, T. W., & Strain, B. R. (1985). Photosynthetic inhibition after long-term exposure to elevated levels of atmospheric carbon dioxide. *Photosynthesis Research*, 7(2), 175-184. <https://doi.org/10.1007/BF00037003>
- Demmig-Adams, B., & Adams, W. W. (2006). Photoprotection in an ecological context: the remarkable complexity of thermal energy dissipation. *New Phytologist*, 172(1), 11-21.

<https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01835.x>

- Driever, S. M., Lawson, T., Andralojc, P. J., Raines, C. A., & Parry, M. A. J. (2014). Natural variation in photosynthetic capacity, growth, and yield in 64 field-grown wheat genotypes. *Journal of Experimental Botany*, 65(17), 4959-4973. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru253>
- Detto, M., & Xu, X. (2020). Optimal leaf life strategies determine  $V_{c,max}$  dynamics during ontogeny. *New Phytologist*. <https://doi.org/10.1111/nph.16712>
- Wang, D., et al. (2012). Transforming C3 crops into C4. *CABI Agriculture and Bioscience*. <https://doi.org/10.1186/s43170-021-00035-1>
- Lara, M. V., & Andreo, C. S. (2011). CO<sub>2</sub> concentrating mechanisms in C<sub>4</sub> plants. *Journal of Experimental Botany*, 62(9), 3109-3121. <https://doi.org/10.1093/jxb/err021>
- Peixoto, M. M., et al. (2014). Advances in understanding CO<sub>2</sub> assimilation in plants. *Annals of Botany*, 114(6), 1271-1285. <https://doi.org/10.1093/aob/mcu204>
- Paulus, J. K., et al. (2013). Phosphoenolpyruvate carboxylase: A vital enzyme in photosynthesis. *Plant Physiology*, 161(1), 20-26. <https://doi.org/10.1104/pp.112.201517>
- Gowik, U., & Westhoff, P. (2011). The path from C<sub>3</sub> to C<sub>4</sub> photosynthesis. *Plant Physiology*, 155(1), 56-63. <https://doi.org/10.1104/pp.110.165308>
- Lappe, R. R., et al. (2018). Synthetic biology approaches for enhancing photosynthesis. *Current Opinion in Biotechnology*, 49, 32-38. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2017.07.002>
- Paul, J. S. (2021). Engineering photosynthesis for improved crop yields. *Nature Plants*, 7, 297-310. <https://doi.org/10.1038/s41477-021-00845-6>
- Zhu, X. G., et al. (2008). Why are plants inefficient at using solar energy? *Annual Review of Plant Biology*, 59, 489-510. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092759>
- Slattery, R. A., & Ort, D. R. (2015). Photosynthetic energy conversion efficiency. *Plant Science*, 248, 70-79. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2016.04.001>
- Yin, X., & Struik, P. C. (2015). Constraints on the potential efficiency of photosynthesis. *Journal of Experimental Botany*, 66(9), 2895-2911. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru526>

- Long, S. P., et al. (2006). Can improvement in photosynthesis increase crop yields? *Plant, Cell & Environment*, 29(3), 315-330. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2005.01493.x>
- Wang, W., et al. (2023). Research progress in improving photosynthetic efficiency. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(11), 9286. <https://doi.org/10.3390/ijms24119286>
- Gao, Y., et al. (2023). Engineering photosynthesis: Current and future strategies. *Plant Cell*, 35(4), 999-1011. <https://doi.org/10.1093/plcell/koac282>
- Melis, A. (2009). Solar energy conversion efficiencies in photosynthesis. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics*, 1787(6), 684-692. <https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2008.12.004>
- Lawlor, D. W., & Tezara, W. (2009). Causes of decreased photosynthetic rate and metabolic capacity in water-deficient leaf cells: A critical evaluation of mechanisms and integration of processes. *Annals of Botany*, 103(4), 561-579. <https://doi.org/10.1093/aob/mcn244>
- Furbank, R. T., & Taylor, W. C. (1995). Regulation of photosynthesis in C4 plants. *Annual Review of Plant Biology*, 46, 349-370. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.46.060195.002025>
- Blankenship, R. E. (2014). *Molecular Mechanisms of Photosynthesis*. Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781118305958>
- Edwards, G. E., & Walker, D. A. (1983). *C3, C4: Mechanisms, and Cellular and Environmental Regulation of Photosynthesis*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-68912-3>
- von Caemmerer, S. (2000). *Biochemical Models of Leaf Photosynthesis*. CSIRO Publishing. <https://doi.org/10.1071/9780643093677>
- Farquhar, G. D., & Sharkey, T. D. (1982). Stomatal conductance and photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology*, 33, 317-345. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.33.060182.001533>





## 8 ANEXOS







