



Universidad  
Nacional  
de Loja

## Universidad Nacional de Loja

### Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

#### Maestría en Agronomía con mención en Nutrición Vegetal

#### Efecto de la aplicación de Ca y Si en el desarrollo radicular y el crecimiento inicial del cultivo de banano en Chanduy, Santa Elena, Ecuador

Trabajo de Titulación, previo a la obtención del título de Magíster en Agronomía con mención en Nutrición Vegetal

#### AUTOR:

Héctor Alexis Méndez Tomalá

#### DIRECTOR:

Ing. Diego Ricardo Villaseñor Ortiz. PhD

Loja – Ecuador

2025

## Certificación

Loja, 28 de enero del 2025

Ing. Diego Ricardo Villaseñor Ortiz. PhD

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Efecto de la aplicación de Ca y Si en el desarrollo radicular y el crecimiento inicial del cultivo de banano en Chanduy, Santa Elena, Ecuador**, previo a la obtención del título **de Magíster en Agronomía con mención en Nutrición Vegetal**, de la autoría del estudiante **Héctor Alexis Méndez Tomalá**, con **cédula de identidad N° 2400207573**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.



Ing. Diego Ricardo Villaseñor Ortiz. PhD

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

## **Autoría**

Yo, **Héctor Alexis Méndez Tomalá**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

### **Firma:**

**Cédula de Identidad:** 2400207573

**Fecha:** 29-01-2025

**Correo electrónico:** hector.mendez@unl.edu.ec

**Teléfono:** +593 98 9947164

**Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.**

Yo, **Héctor Alexis Méndez Tomalá**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Efecto de la aplicación de Ca y Si en el desarrollo radicular y el crecimiento inicial del cultivo de banano en Chanduy, Santa Elena, Ecuador**, como requisito para optar el título de **Magíster en Agronomía con mención en Nutrición Vegetal**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los veinte y nueve días del mes de enero de dos mil veinticinco.

**Firma:**

**Autor:** Héctor Alexis Méndez Tomalá

**Cédula de identidad:** 2400207573

**Dirección:** Santa Elena, La Libertad, Gral. Enríquez Gallo

**Correo Electrónico:** hector.mendez@unl.edu.ec

**Teléfono:** +593 98 9947164

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:** Ing. Diego Ricardo Villaseñor Ortiz. PhD

## **Dedicatoria**

Este logro está dirigido a mi familia, son seres que innegablemente han contribuido en mi crecimiento personal y profesional, además, han confiado en mis capacidades forjando mi camino hacia un futuro promisorio.

***Héctor Alexis Méndez Tomalá***

## **Agradecimiento**

Mi especial agradecimiento a Dios, familia y amigos, protagonistas que indudablemente hicieron posible este logro.

Al Ing. Diego Ricardo Villaseñor Ortiz. PhD, por su participación activa como director del trabajo de investigación.

A la empresa Musatec y su personal técnico administrativo, quienes permitieron y prestaron las instalaciones para desarrollar la investigación.

Al Ing. Luis Felipe Lata Tenesaca, quien proporcionó el producto a base de silicio para la ejecución del proyecto.

***Héctor Alexis Méndez Tomalá***

## Índice de Contenidos

Portada.....	i
Certificación .....	ii
Autoría.....	iii
Carta de Autorización .....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Índice de Tablas .....	ix
Índice de Figuras.....	x
Índice de Anexos.....	xi
1. Título .....	1
2. Resumen .....	2
Abstract.....	3
3. Introducción.....	4
4. Marco Teórico .....	7
4.1. Cultivo de banano en Ecuador .....	7
4.2. Calidad de agua y manejo del riego .....	7
4.3. Requerimientos nutricionales.....	8
4.3.1. Nitrógeno (N) .....	8
4.3.2. Fosforo (P).....	8
4.3.3. Potasio (K).....	8
4.3.4. Calcio (Ca).....	8
4.3.5. Magnesio (Mg) .....	9
4.3.6. Azufre (S) .....	9
4.3.7. Zinc (Zn).....	10
4.3.8. Boro (B).....	10
4.3.9. Elemento benéfico Silicio (Si).....	10
4.4. Requerimiento de características químicas de suelo del cultivo de banano.....	11
5. Metodología .....	12
5.1. Descripción del sitio de investigación.....	12
5.2. Análisis inicial del suelo .....	13
5.3. Características y preparación de suelo .....	13

5.4.	Manejo agronómico de cultivo .....	14
5.4.1.	Material genético y siembra .....	14
5.4.2.	Fertilización .....	15
5.4.3.	Aplicación de tratamientos .....	15
5.4.4.	Control fitosanitario.....	15
5.4.5.	Labores culturales.....	16
5.5.	Metodología para determinar el efecto de la aplicación de Ca y Si en el suelo y desarrollo radical en el cultivo de banano.....	17
5.6.	Metodología para el segundo objetivo: Evaluar parámetros de crecimientos inicial en el cultivo de banano .....	17
5.6.1.	Variables evaluadas durante el crecimiento de la planta madre .....	17
5.6.2.	Variables evaluadas durante el evento de floración de la planta madre .....	18
5.7.	Diseño experimental .....	19
5.7.1.	Unidad experimental.....	20
5.7.2.	Modelo matemático .....	20
5.7.3.	Análisis estadístico .....	20
6.	Resultados y discusión .....	21
6.1.	Evaluación climatológica .....	21
6.2.	Efecto de la aplicación de calcio y silicio sobre el desarrollo radical del cultivo de banano.....	25
6.3.	Efecto de la aplicación de calcio y silicio sobre variables biométricas medidas durante el crecimiento de la planta madre .....	27
6.4.	Efecto de la aplicación de calcio y silicio sobre variables biométricas de la planta madre, medidas en floración.....	30
6.5.	Efecto de la aplicación de calcio y silicio sobre las variables biométricas en planta de sucesión (Retorno o hijos) .....	32
6.6.	Efecto de la aplicación de calcio y silicio sobre el contenido de nutrientes en el suelo ..	33
6.7.	Efecto de la aplicación de calcio y silicio sobre el contenido de nutrientes en el peciolo de la hoja. .....	36
7.	Conclusiones .....	39
8.	Recomendaciones .....	40
9.	Bibliografía.....	41
10.	Anexos.....	50



## Índice de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Requerimientos edáficos del cultivo de banano .....	11
<b>Tabla 2.</b> Método para análisis de suelo en laboratorio.....	13
<b>Tabla 3.</b> Ciclo de fumigación de sigatoka.....	16
<b>Tabla 4.</b> Tratamientos, dosis y concentración de Si y Ca utilizado .....	19
<b>Tabla 5.</b> Efectos de la aplicación de Ca y Si sobre el desarrollo radical de la planta de banano ‘Williams Cavendish’ medido en la floración, Chanduy, provincia de Santa Elena .....	27
<b>Tabla 6.</b> Efectos de la aplicación de Ca y Si sobre las variables biométricas del banano ‘Williams Cavendish’, medidas en planta madre durante el evento de floración, Chanduy, provincia de Santa Elena .....	32
<b>Tabla 7.</b> Efectos de la aplicación de Ca y Si sobre las variables biométricas del banano ‘Williams Cavendish’, medidas en planta hija durante el evento de floración de la planta madre, Chanduy, provincia de Santa Elena .....	33
<b>Tabla 8.</b> Efectos de la aplicación de Ca y Si sobre el contenido de elementos en el suelo.....	34
<b>Tabla 9.</b> Efectos de la aplicación de Ca y Si sobre pH y Ce, en el suelo.....	35
<b>Tabla 10.</b> Efectos de la aplicación de Ca y Si sobre el contenido de nutrientes en el peciolo.....	38

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> Esquema de siembra del cultivo, hacienda Musatec, parroquia Chanduy, provincia de Santa Elena (unidades de medida en metros).....	14
<b>Figura 2.</b> Dinámica de temperatura y humedad relativa evaluada entre los meses de enero a julio del 2024, hacienda Musatec, Chanduy, provincia de Santa Elena.....	22
<b>Figura 3.</b> Dinámica del déficit de presión de vapor (DPV) y radiación global evaluada entre los meses de enero a julio del 2024, hacienda Musatec, Chanduy, provincia de Santa Elena .....	24
<b>Figura 4.</b> Dinámica de precipitación y evapotranspiración evaluada entre los meses de enero a julio del 2024, hacienda Musatec, Chanduy, provincia de Santa Elena.....	25
<b>Figura 5.</b> Efecto de la aplicación de calcio y silicio sobre la altura de planta de banano ‘Williams Cavendish’, Chanduy, provincia de Santa Elena .....	28
<b>Figura 6.</b> Efecto de la aplicación de calcio y silicio sobre el diámetro del pseudotallo de la planta de banano ‘Williams Cavendish’, Chanduy, provincia de Santa Elena .....	29
<b>Figura 7.</b> Efecto de la aplicación de calcio y silicio sobre el ritmo de emisión foliar de la planta de banano ‘Williams Cavendish’, Chanduy, provincia de Santa Elena .....	30

## Índice de Anexos

<b>Anexo 1.</b> Manejo del experimento .....	50
<b>Anexo 2.</b> Distribución de tratamientos .....	50
<b>Anexo 3.</b> Evaluación de variables de crecimiento a las 10 SDT .....	51
<b>Anexo 4.</b> Evaluación de variables de crecimiento a las 14 SDT .....	51
<b>Anexo 5.</b> Evaluación de variables de crecimientos a las 22 SDT .....	52
<b>Anexo 6.</b> Muestreo de raíces .....	52
<b>Anexo 7.</b> Clasificación de raíces .....	53
<b>Anexo 8.</b> Triturado y tamizado de muestras de suelo. ....	53
<b>Anexo 9.</b> Análisis de nutrientes mediante equipo Imacimus 10.....	54
<b>Anexo 10.</b> Análisis de nutriente del jugo de extracto de peciolo .....	54
<b>Anexo 11.</b> Certificado de traducción del resumen .....	55

## **1. Título**

Efecto de la aplicación de Ca y Si en el desarrollo radicular y el crecimiento inicial del cultivo de  
banano en Chanduy, Santa Elena, Ecuador

## 2. Resumen

La provincia de Santa Elena (PSE) es considerada una zona emergente en el cultivo de banano, con escasa información científica sobre el manejo bajo las condiciones edáficas, climáticas específicas y limitantes de la zona. Esto destaca la importancia de realizar estudios para potencializar el cultivo, en este sentido, se realizó una investigación que permitió evaluar el efecto de la aplicación de Ca y Si en el desarrollo radical y el crecimiento inicial del cultivo de banano entre los meses de febrero a julio del 2024. El ensayo fue desarrollado bajo un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con estructura bifactorial, incluyó dos factores de evaluación; A (Si) y B (Ca) con tres dosis cada uno, se obtuvo nueve tratamientos y cuatro repeticiones. Los datos fueron analizados mediante el paquete estadístico Infostat, se usó la estadística paramétrica para las variables que cumplieron los supuestos de análisis de varianza, el cual se utilizó la prueba de Tukey al 95 % de confianza. Bajo otro escenario, las variables no paramétricas se analizaron mediante modelo lineal general y mixto, donde se usó la prueba LSD de Fischer al 95 %. Los datos sugieren que el tratamiento 4 donde se usó Si a una dosis de 248,8 mg L<sup>-1</sup>, alcanzó los mejores resultados en la variable masa de raíz, porcentaje de raíz viva, altura y diámetro de pseudotallo en planta madre e hija, intensidad de clorofila, número de hojas y edad a floración. Además, fue positivo que los tratamientos con Si presentaran mayor resistencia frente a las variaciones climáticas. Con relación al contenido de nutrientes en el suelo y peciolo no se encontró diferencias, no obstante, se observó que los valores fueron mayores en el peciolo conforme se aumenta la dosis de Si. Se concluye, que la aplicación de Si estimula el desarrollo de la raíz, mejora las condiciones de vigor de la planta y atenúa el estrés ambiental.

**Palabras claves:** Clima, estrés abiótico, musáceas, peciolo, península, raíz, suelo.

## **Abstract**

The province of Santa Elena (PSE) is considered an emerging area in banana cultivation, with little scientific information on management under the specific climatic, edaphic and limiting conditions of the area. This highlights the importance of conducting studies to potentiate the crop, in this sense, an investigation was conducted to evaluate the effect of Ca and Si application on root development and initial growth of the banana crop between February and July 2024. The trial was carried out under a completely randomized block design (CRBD) with a bifactorial structure, including two evaluation factors; A (Si) and B (Ca) with three doses each, nine treatments and four replicates were obtained. The data were analyzed using the Infostat statistical package. Parametric statistics were used for the variables that met the assumptions of analysis of variance, using Tukey's test at 95 % confidence. Under another scenario, the non-parametric variables were analyzed by general linear and mixed model, where the Fischer's LSD test was used at 95 %. The data suggest that treatment 4, where Si was used at a dose of 248.8 mg L<sup>-1</sup>, achieved the best results in root mass, percentage of live root, height and diameter of pseudostem in mother and daughter plants, chlorophyll intensity, number of leaves and age at flowering. In addition, it was positive that the Si treatments showed greater resistance to climatic variations. Regarding nutrient content in the soil and petiole, no differences were found; however, it was observed that the values were higher in the petiole as the dose of Si increased. It is concluded that the application of Si stimulates root development, improves plant vigor and attenuates environmental stress.

**Keywords:** Climate, abiotic stress, musaceae, petiole, peninsula, root, soil.

### 3. Introducción

Se estima que la población mundial alcance  $9 \times 10^9$  habitantes, lo que representa el 50 % de incremento en la demanda de alimentos y fibras (FAO, 2017), para el año 2050. Bajo estas condiciones, es indispensable buscar alternativas para incrementar la productividad de los cultivos y la eficiencia de la producción. En la actualidad, la eficiencia de uso de nutrientes ha captado mayor atención debido al incremento de los costos de fertilización y el impacto ambiental en la calidad de suelo y agua. Los conceptos de uso eficiente de nutrientes hacen referencia a la relación entre la cantidad de nutrientes utilizados y las unidades de producto cosechado (Avellán et al., 2020). Por lo general, esto depende de la utilización de dosis correcta, época, fuentes y localización (Alvarado et al., 2021).

Otro factor que tiene estrecha relación con la productividad, es el mantenimiento de un sistema radical saludable (Torres et al., 2019). Una buena salud de las raíces permite aprovechar los nutrientes de mejor forma, incrementar la producción, el crecimiento y la resistencia a enfermedades (Campos et al., 2020). La raíz es el principal medio para la nutrición de los cultivos, porque los nutrientes ingresan a la planta mediante flujos de masas (flujo transpiratorio), intercepción y/o difusión, por tanto, la nutrición se ve limitada cuando el desarrollo de este órgano es deficiente (Fischer et al., 2021).

Uno de los desafíos que enfrenta la producción de banano (*Musa spp.*) es la pérdida del sistema radical, problema que lo ocasionan insectos y nemátodos (Cedeño et al., 2021), pero también la saturación del suelo, acumulación de metales pesados y compactación. Girón et al. (2022) demostraron que la planta de banano con raíces funcionales inferior al 85 %, obtuvo una disminución entre 15 a 20 % en la masa del racimo. Si bien, han surgido tecnologías novedosas para contrarrestar estos problemas, la importancia económica del cultivo de banano, genera la necesidad de continuar con la búsqueda de nuevas alternativas que permitan establecer una producción sostenible (García et al., 2019).

La nutrición equilibrada permite a la planta expresar su mayor potencial genético, lo que contribuye en la optimización de la productividad de los cultivos (Vidal, 2019). En general, las plantas requieren cantidades apreciables de macro y micro nutrientes que extraen de la solución del suelo para cumplir con sus etapas de desarrollo (Mello, 2021).

Los análisis de suelos y foliares han demostrado la importancia de los elementos esenciales en la nutrición del cultivo de banano (Valverde et al., 2019). Las musáceas durante el desarrollo

vegetativo toman los macros y micros nutrientes en el orden  $K > N > Ca > Mg > P > Mn > Fe > B > Zn > Cu$ , si bien, existen diferencias en la traslocación de los elementos en hojas y frutos, se ha demostrado que el K y N son dominantes en ambos tejidos vegetales (Topcuoglu, 2021).

El calcio ( $Ca^{++}$ ) y silicio ( $H_2SiO_3$ ), juegan un rol importante en el ciclo biológico de la planta (Mello, 2021). En este sentido, el calcio es un elemento que influye sobre la división y elongación celular, formando parte de la membrana y pared de la célula. Además, tiene un efecto importante en el número y longitud de los pelos radicales, indispensables en la absorción de nutrientes (González et al., 2020).

La planta necesita una absorción adecuada y continua de  $Ca^{++}$ , manteniendo el diferencial en el potencial hídrico. En suelos con bajos contenido de éste, las raíces frenan el crecimiento producto de envejecimiento y senescencia. Además, pierden resistencia al estrés hídrico volviéndolas sensibles a los cambios de las condiciones ambientales (Sahu et al., 2023). De la misma manera, Holguin et al. (2023), menciona que el suministro de Ca, incrementa en el porcentaje de raíces funcionales, lo que mejora la absorción de elementos.

Con relación al Silicio (Si), es el segundo elemento de mayor abundancia en la corteza terrestre, de tal manera, se ha demostrado que diversas plantas contienen Si en sus tejidos. Aunque el Si no ha sido catalogado como esencial, el suministro de éste puede favorecer el crecimiento y desarrollo de las plantas, por tanto es considerado un elemento beneficioso (de Mello, 2023).

El Si cumple una función estructural en las células de las plantas, contribuye en las propiedades mecánicas, mejora la rigidez y elasticidad, además, genera una acumulación y polimerización en la pared celular (Torres et al., 2024). Estas características contribuyen a la resistencia frente al estrés biótico y abióticos, además, estimula la síntesis de compuesto bioquímicos como fenoles, lignina, fitoalexinas, peroxidasa, polifenoloxidasas, glucanasa y quitinasa, lo cual se relacionan con la producción de quinonas, misma que tienen propiedades antibióticas (González y Prado, 2015).

Bajo otros escenarios, se ha demostrado que el Si mejora las características físicoquímicas del suelo, contribuyendo en la disponibilidad de los nutrientes esenciales (Rajput et al., 2021). Mediante sus iones reduce la toxicidad de elementos perjudiciales para las plantas, tales como el hierro, aluminio y cadmio (Cázarez et al., 2022). El suministro de Si puede mejorar la traslocación de nutrientes mediante la activación  $H^+$ -ATPasas en la membrana de la célula (Buchelt et al., 2020). Mejora la hidratación de la planta reduciendo la pérdida de agua por transpiración cuticular, esto



se debe a la formación de una doble capa de cutícula de Si bajo la epidermis de la hoja (Torres et al., 2024). También favorece la actividad fotosintética y la intensidad de la clorofila, lo que repercute en el crecimiento, desarrollo y producción de las plantas (Vijayan et al., 2021).

En el mercado existe una diversidad de productos a base de Si en forma de silicatos, estas moléculas son grandes y deben degradarse a Si disponible para las plantas (Raya y Aguirre, 2012). La única fuente de Si soluble es el ácido monosilícico, éste puede ser suministrado vía foliar o en drench (Sanmartín et al., 2023).

Frente a estos antecedentes, se busca evaluar el efecto de la aplicación de Ca y Si en el desarrollo radical y crecimiento inicial del cultivo de banano, bajo condiciones semiáridas de la provincia de Santa Elena (PSE). Para su efecto, se evaluarán parámetros de crecimiento y floración, concentración de nutrientes en suelo y peciolo, lo que conlleva a plantear la siguiente hipótesis; la aplicación de Ca y Si incrementa el desarrollo radical y el crecimiento inicial del cultivo de banano.

## **4. Marco Teórico**

### **4.1. Cultivo de banano en Ecuador**

La producción de banano es la actividad agrícola con mayor importancia económica para el Ecuador, representa el 25,4 % del Valor Agregado Bruto (VAB) agropecuario (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2023). A nivel mundial, Ecuador es considerado el sexto productor de banano y en Latinoamérica se ubica segundo por detrás de Brasil, mientras que a nivel de exportaciones es el primero con una participación del 26,2 % de la cuota del mercado (Ajila et al., 2023).

A nivel nacional, el cultivo de banano se encuentra distribuido principalmente en la Región Costa, donde la provincia de Los Ríos aporta con el 42,6 % de la producción, seguido de Guayas y El Oro, con 32,39 y 21,12 %, respectivamente (INEC, 2023).

La producción bananera en la provincia de Santa Elena (PSE) es baja, representa aproximadamente el 0,89 % del total a nivel Nacional (MAG, 2023). La implementación de infraestructuras estatales, como el trasvase Daule – Santa Elena, ha facilitado la expansión de este cultivo en la región. A pesar de ello, la PSE es considerada una zona emergente en la producción de banano, con escasa información científica disponible sobre el manejo del cultivo en las condiciones edáficas, climáticas específicas y limitantes de la región (Mayorga et al., 2022). Según el MAG (2023), la superficie cultivada del banano en la PSE es de 2235 hectáreas, con una productividad de 26,74 t ha<sup>-1</sup>, inferior al promedio nacional. Esto destaca la importancia de realizar estudios enfocados en mejorar la productividad del cultivo en la provincia.

### **4.2. Calidad de agua y manejo del riego**

La calidad de agua tiene un impacto directo sobre la producción de banano, este cultivo es muy sensible a la salinidad por tanto valores inferiores a 0,5 dS m<sup>-1</sup> incentivan un excelente crecimiento (Santacruz de León y Santacruz de León, 2020). El sistema de riego subfoliar es considerada como la técnica de suministro hídrico más adecuado para el banano (Caicedo et al., 2015). Según Varma y Bebbber (2019), las necesidades hídricas anual debe fluctuar de 900 mm a 1700 mm. Donde, los valores diarios varían de 2,5 a 8 mm día<sup>-1</sup> (Araújo et al., 2018).

### **4.3. Requerimientos nutricionales**

#### **4.3.1. Nitrógeno (N)**

El cultivo de banano requiere cantidades apreciables de minerales para mantener una producción sostenible, en este sentido, el nitrógeno (N), es uno de los elementos de mayor demanda en el cultivo, el cual es utilizado en el crecimiento vegetativo y desarrollo del racimo (Castillo et al., 2011). En estudios realizados por Valverde et al. (2019) mencionan, que una plantación productiva de banano requiere, en promedio, cantidades de N que bordeen los  $126 \text{ Kg Ha}^{-1} \text{ Año}^{-1}$ , el cual debe ser fraccionado mensualmente, aunque es preferible tener varias fracciones de fertilización mensual.

#### **4.3.2. Fosforo (P)**

El fosforo interviene en el crecimiento y desarrollo del cultivo de banano, participa en la división celular y la síntesis de fosfolípidos, adenosina trifósforo, indispensable en la mitocondria para la formación de energía. En ausencia de P, las plantas expresan síntomas como la reducción de ritmo de emisión de hojas, además, se produce necrosis marginal y toman una coloración rosada parecido a la deficiencia de N (Bernal y Cabrales, 2022). La demanda de P en el cultivo de banano es muy variable y se encuentra en dependencia del tipo de suelo, pese aquello, requiere cantidades apreciables de P que bordeen los  $100 \text{ Kg Ha}^{-1} \text{ Año}^{-1}$  (Izquierdo y Armas, 2018).

#### **4.3.3. Potasio (K)**

El potasio en el cultivo de banano participa en el transporte de azúcares, cierre y apertura estomática, producción de enzimas y contribuye en el incremento del peso del racimo. La deficiencia de K, provoca la disminución de la productividad. Además, la disponibilidad de este elemento disminuye cuando se cultiva en suelos sódicos y puede estar limitada por el desbalance de bases, especialmente cuando el contenido de Ca y Mg predominan. Generalmente, el cultivo de banano requiere cantidades de  $\text{K}_2\text{O}$  que fluctúen entre  $500$  a  $700 \text{ Kg Ha}^{-1} \text{ Año}^{-1}$  (Izquierdo y Armas, 2018).

#### **4.3.4. Calcio (Ca)**

Las funciones del  $\text{Ca}^{++}$  en las plantas se relacionan con el crecimiento radical y calidad de frutos, también participa en diversos procesos fisiológicos como la elongación y división celular (Legua et al., 2019). La deficiencia de éste provoca un bajo desarrollo de la masa de raíces,

crecimiento anormal de hojas, deformación y reducción del tamaño de frutos, pudrición apical, rajado de frutos, mala vida de anaquel y pulpa de consistencia floja (Bouzo y Cortez, 2012).

En el cultivo de banano, los niveles más altos de  $\text{Ca}^{++}$  se encuentran en el pecíolo, hojas y el pseudotallo. A medida que la planta se desarrolla, estas concentraciones aumentan, especialmente hacia el final del ciclo vegetativo. Los síntomas de deficiencia en el banano aparecen inicialmente en las hojas más jóvenes, comenzando con un aumento en el grosor de las nervaduras secundarias o laterales., las raíces son más cortas, muy ramificadas y más susceptibles a nemátodos y ataques fúngicos (Bataller, 2014).

La demanda de  $\text{Ca}^{++}$  en el cultivo de banano fluctúa de 100 a 200  $\text{Kg Ha}^{-1} \text{Año}^{-1}$ , además, cumple funciones de gran importancia que son irremplazables, entra a la planta por las raíces donde una pequeña fracción se concentra en la vacuola, el resto forma parte de las paredes celulares. La rigidez y elasticidad de las paredes celulares es afectada por la concentración de este elemento, en consecuencia, a bajas concentraciones se vuelve flexibles y sensibles a rupturas (Bataller, 2014). También, se ha demostrado que la permeabilidad de la membrana se limita por la carencia del  $\text{Ca}^{++}$ , las bajas concentraciones estimulan en las hojas y raíz la sobreproducción de exudados de compuestos orgánicos, mismo que son atrayentes de agente patógenos (Díaz et al., 2007).

#### **4.3.5. Magnesio (Mg)**

Se ha demostrado que el Mg, forma la parte central de la molécula de clorofila, además, es importante en el desarrollo del pseudotallo y hojas de la planta de banano, interviene en la síntesis y acumulación de carbohidratos. La deficiencia de este elemento se manifiesta a través de síntomas como la despigmentación foliar y moteado de pecíolo, también genera amarillamiento y clorosis en la zona central de hojas viejas (Valverde et al., 2019).

#### **4.3.6. Azufre (S)**

El azufre participa en la síntesis de aminoácidos esenciales como la cistina y metionina, bajo condiciones limitadas, las plantas presentan síntomas de deficiencias en hojas jóvenes, que adquieren una coloración blanco amarillenta. Cuando la deficiencia es extrema, aparecen manchas necróticas en el margen de la hoja y se produce el engrosamiento de la nervadura central, para el cultivo de banano los requerimientos de S varían entre 100 a 200  $\text{Kg Ha}^{-1} \text{Año}^{-1}$  (Nyombi, 2020).

#### **4.3.7. Zinc (Zn)**

El Zn estimula la síntesis de auxinas y proteínas, además, estudios demuestran que la deficiencia de éste, compromete la integridad de la pared y membrana celular, lo que resalta la importancia de una nutrición adecuada para la mitigación de enfermedades en los cultivos. En este sentido, el cultivo de banano demanda cantidades de Zn que se encuentren entre 3 a 10 Kg Ha<sup>-1</sup> Año<sup>-1</sup> (Lima et al., 2024).

#### **4.3.8. Boro (B)**

El boro es un microelemento que interviene en el metabolismo y conducción de azúcares. Además, se encuentra estrechamente relacionado con la formación y elongación del tubo polínico, una estructura clave en la reproducción floral. La deficiencia de B, produce deformación de hojas, lo que expresa un limbo de crecimiento irregular y reducción de área foliar, también provoca clorosis internerval e inhibe el desarrollo de tejidos meristemático de la raíz y hojas, la demanda de B varía de 4 a 5 Kg Ha<sup>-1</sup> Año<sup>-1</sup> (Izquierdo y Armas, 2018).

#### **4.3.9. Elemento benéfico Silicio (Si)**

El Si es considerado el segundo elemento de mayor abundancia en la corteza terrestre 27,7 % y se presenta como óxidos de silicio (SiO<sub>2</sub>), que constituyen los minerales que forman los silicatos, estructuras presentes en las rocas y partículas como arena, limo y arcilla (Faiq et al., 2018). Este elemento no es considerado como esencial para las plantas, no obstante, se ha evidenciado que actúa de forma indirecta en algunos procesos vitales que promueven el desarrollo, por tanto, es considerado como un elemento beneficioso (Santos et al., 2021). El Si incrementa la capacidad fotosintética, disminuye la transpiración, proporcionando resiliencia frente al estrés bióticos y abióticos, mejora el aprovechamiento de otros elementos y promueve el desarrollo de las plantas mejorando la productividad. La presencia de Si en el suelo es limitada, debido al intenso proceso de meteorización que se produce en estos (Pereira et al., 2022).

Se ha demostrado que la aplicación de Si puede estimular la resistencia de las plantas frente a plagas y enfermedades, reduce el efecto tóxico de elementos como el Mn, Fe, Al y Na, además proporciona una mayor absorción de elementos como el P y Ca (Rodrigues y Fernandes, 2020). La asimilación de Si en las plantas se produce en forma de ácido monosilícico (H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>), se mueve pasivamente mediante el flujo de agua desde la raíz (Sanmartín et al., 2023). El suelo está en una

forma inerte y es asimilado en forma soluble como  $\text{Si(OH)}_4$  y  $\text{H}_4\text{SiO}_4$ , lo que depende tanto del sistema radical y la composición química del suelo (Verma et al., 2021).

La presencia de Si puede desempeñar varias funciones útiles, como disminuir la toxicidad de los minerales, mejorar las propiedades mecánicas de los tejidos vegetales y aumentar la resistencia frente a diferentes tipos de estrés abiótico y biótico (da Silva et al., 2021).

En gramíneas, se ha establecido que el silicio influye indirectamente en la resistencia a plagas, reduciendo la susceptibilidad de la planta y favoreciendo una mejor asimilación de nutrientes. Particularmente, en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), se observó que la aplicación foliar de silicio tiene un efecto directo en el aumento de los niveles de nitrógeno (N) y potasio (K), mientras que tiende a reducir la concentración de sodio (Na) (González y Prado, 2015).

En investigaciones realizadas por Juárez y Castillo, (2024) demostraron la nutrición con Si en el cultivo de banano puede incrementar el número de hojas a floración y cosecha, masa y número de manos del racimo, resistencia a sigatoka negra, etc.

#### 4.4. Requerimiento de características químicas de suelo del cultivo de banano

Si bien las características edáficas se pueden mejorar mediante el empleo de prácticas agronómicas, es necesario considerar los siguientes aspectos (Tabla 1).

**Tabla 1.** Requerimientos de características químicas de suelo

Parámetro	Unidad	Niveles óptimos
Materia orgánica	%	3 - 12
Porcentaje de saturación de bases	%	> 65
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	meq 100g <sup>-1</sup>	> 15
Acidez intercambiable	meq 100g <sup>-1</sup>	< 0,5
Aluminio intercambiable	meq 100g <sup>-1</sup>	< 0,3
Conductividad eléctrica (CE)	dS m <sup>-1</sup>	0,3 – 0,6
pH (en H <sub>2</sub> O)	-	-
pH (en KCl)	-	5,5 - 7,0

Fuente: Carter y Gregorich, (2001).

## 5. Metodología

### 5.1. Descripción del sitio de investigación

El trabajo de investigación se realizó en la parroquia Chanduy, cantón Santa Elena, en la provincia del mismo nombre, en una de las parcelas productivas de la hacienda MUSATEC, localizadas entre las coordenadas 2°19'16,8" S, 80°39'12,1" W, a 44 metros sobre el nivel del mar (m snm). El periodo de desarrollo del experimento, comprendió los meses de febrero a julio de 2024.

Según la clasificación climática de Köppen-Geiger, la parroquia Chanduy presenta un clima seco (BSH) (Olivares y Sánchez, 2024). Las precipitaciones anuales fluctúan de insuficientes a normales, con regímenes de lluvias que llegan máximos de 200 mm, humedad relativa 81,6 % y temperatura media ambiental de 24,5 °C.

Los principales parámetros meteorológico como la temperatura, humedad relativa, precipitación y radiación, fueron obtenidos de la estación meteorológica (Davis Vantage PRO2 6162C) de la empresa hacienda MUSATEC.

La temperatura y humedad relativa fueron utilizados para determinar el déficit de presión de vapor (DPV). Esto permite relacionar la tensión actual a la que se hallan sometidas las partículas de agua en el aire (vapor) con respecto a las condiciones térmicas en donde este se saturaría, produciendo la condensación (punto de rocío donde se produce la HR 100%) y permite caracterizar el clima (Beluzán, 2013).

Según FAO (2006), el DPV calcula como la diferencia entre el valor de la presión de vapor de saturación ( $PV_{sat}$ ) (2) y la presión real de vapor aire ( $PV_{air}$ ) (3). Existen diversas ecuaciones para determinar el DPV, sin embargo, debido a su exactitud en los cálculos agroclimáticos se usa la ecuación de Penman-Monteith (1) y los valores resultantes son expresados en unidades de presión, kilopascal (kPa).

$$DPV (kPa) = [PV_{sat} - PV_{air}] \quad (1)$$

$$PV_{sat} = 0,61078 * e^{\left[\frac{17,27 * T(^{\circ}C)}{237,3 + T(^{\circ}C)}\right]} \quad (2)$$

$$PV_{air} = \left[\frac{HR}{100}\right] * PV_{sat} \quad (3)$$

Dónde el T°, corresponde a la temperatura media (°C) y HR comprende la humedad relativa (%).

## 5.2. Análisis inicial del suelo

Previo al establecimiento del cultivo, se tomaron muestras de suelo, realizando un recorrido en zigzag a cada 250 a 500 m<sup>2</sup>, dentro de los primeros 25 cm de profundidad del suelo, mediante el uso de un barreno (García, 2011). Cada muestra fue mezclada extrayendo una porción para ser analizada a nivel de laboratorio, siguiendo la Norma ISO 17025. Los análisis que se realizaron incluyen (Tabla 2):

**Tabla 2.** Método para análisis de suelo en laboratorio (SSSA, 2001).

Elemento	Norma o método
pH	H <sub>2</sub> O y KCl, Volumen 1:2
CE	Extracto H <sub>2</sub> O, Volumen 1:2
NH <sub>4</sub> , K, Ca y Mg	Extracción con NaCl 0.05 M
Fe, Mn, Zn y Cu	Extracción con DTPA/CaCl <sub>2</sub>
P	Extracción con NaHCO <sub>3</sub> 0,5 M (Método Olsen)
NO <sub>3</sub> , SO <sub>4</sub> , Na, Cl y B	Extracto Agua
Porcentaje de saturación de bases y CIC	EPA 9081
Materia Orgánica	AOAC 967.05 / DIN 19684-3

## 5.3. Características y preparación de suelo

La investigación fue establecida sobre un suelo en barbecho (descanso durante varios ciclos de producción), con antecedentes en la producción de maíz (*Zea mays* L), que taxonómicamente corresponde al orden *Aridisoles*, subgrupo *Typic Haplocambids*. La clase textural predominante es franco-arcillo-arenosa, lo que hace que el suelo tenga buena retención de humedad y nutrientes, por lo tanto, no es impedimento para la penetración de raíces y favorecen una aireación adecuada. Además, presenta estructura de bloques subangulares y angulares, consistencia muy dura, friable, adherente y plástico, las pendientes no sobrepasan el 2 % ( Balmaseda y Ponce de León, 2019).

En relación con la preparación del suelo, fue de forma mecanizada, se utilizó una rastra de tiro para eliminar malezas y rastrojos de cultivo, también, fue necesario el trinchado a 1 m de profundidad mediante retroexcavadora de oruga, donde se realizaron canales de drenajes a cada 11 m y 0,8 m de profundidad.

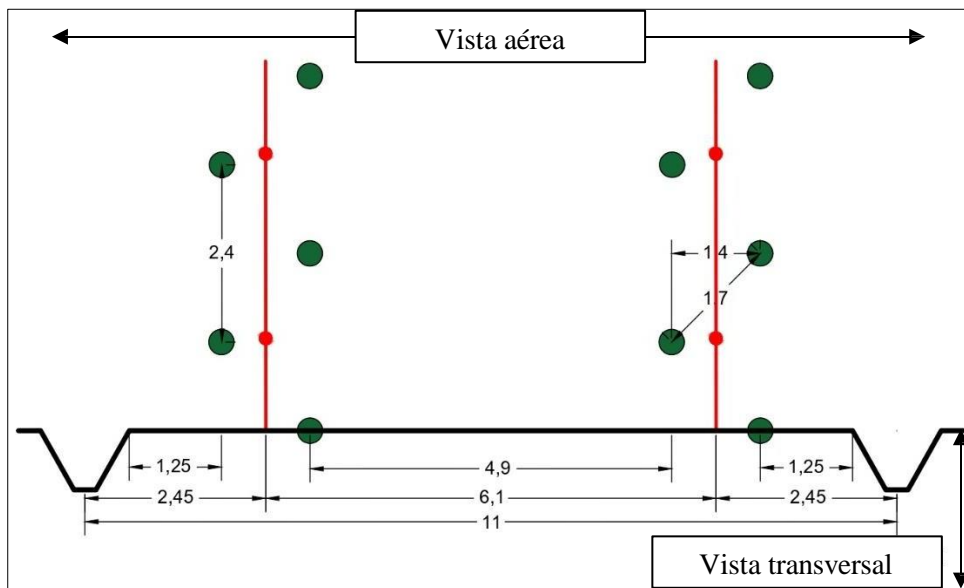


## 5.4. Manejo agronómico de cultivo

### 5.4.1. Material genético y siembra

Dentro de la configuración agronómica del cultivo, se utilizó el cultivar de banano triploide *Musa* AAA, cv. Williams, del subgrupo Cavendish Williams Cavendish. Esta variedad presenta excelente adaptabilidad en climas cálidos con temperaturas medias de 26 a 27 °C, requiere precipitaciones prolongadas y distribuidas. Respecto a sus características morfológicas y productivas, presenta alta producción, planta semienana, vigorosa con buen desarrollo radial y buena adaptación en condiciones extremas de clima, suelo y agua (Galiltec, 2023).

Se utilizó un esquema de siembra (Figura 1), en doble hilera orientada perpendicular al recorrido del sol, es decir de norte a sur. Este sistema representa una alternativa en clima semiárido debido al ahorro considerable de agua según Medina et al., (2024), constituye un manejo en platabandas donde se ubicaron dos hileras de riego (línea roja), sobre cada línea emisora se establecieron dos hileras de cultivo espaciado a 2,4 m entre plantas y 1,4 m entre hileras, finalmente, se formó una estructura en tres bolillos o zigzag, con este esquema se obtuvo una densidad de 1500 plantas ha<sup>-1</sup>.



**Figura 1.** Esquema de siembra del cultivo, hacienda Musatec, parroquia Chanduy, provincia de Santa Elena (unidades de medida en metros).

#### **5.4.2. Fertilización**

El programa nutricional base fue fraccionado a 52 semanas, consistió en una fertilización mediante sistema de riego de manera homogénea en todos los tratamientos. Se suministró a las plantas dosis anuales estándar de: 237 kg ha<sup>-1</sup> de N, 54 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 430 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, 73 kg ha<sup>-1</sup> de CaO, 42 kg ha<sup>-1</sup> de MgO, 985 kg ha<sup>-1</sup> de SO<sub>4</sub>, 22 kg ha<sup>-1</sup> de ZnO, 16 kg ha<sup>-1</sup> de B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0,07 kg ha<sup>-1</sup> FeO, 0,06 kg ha<sup>-1</sup> de MnO y 0,05 kg ha<sup>-1</sup> de CuO (Lahav y Turner, 1989).

#### **5.4.3. Aplicación de tratamientos**

La aplicación de Ca y Si representó un complemento del manejo nutricional de base, consistió en el suministro de una solución en Drench con diferentes concentraciones a razón de 150 mL de solución por planta, esta aplicación fue realizada cada 4 semanas, donde las concentraciones se establecieron en referencia a las dosis aplicadas dentro del mercado. Previo a la preparación de la mezcla, se usó un regulador de agua a base de citratos reguladores de pH para bajar de 7,5 a 6,5, la dosis de 0,5 g L<sup>-1</sup> fue definida debido a la calidad de agua, el cual pertenece a la clasificación C1S1.

El Drench (Humedecer) es una técnica de fertilización que consiste en el suministro de una solución acuosa de fertilizantes en el suelo, cerca de la base de la planta. Esta forma de aplicación de fertilizantes al encontrarse en suspensión líquida, garantiza la total disponibilidad de los nutrientes para las plantas, por lo que mejora la eficiencia en el uso de fertilizantes (Pérez, 2021).

#### **5.4.4. Control fitosanitario**

El manejo sanitario fue realizado en función de la incidencia y severidad de plagas y enfermedades, se utilizó el método de Stover para la evaluación de sigatoka. Las fumigaciones áreas fueron realizadas mediante equipo aéreo no tripulado (Dron) y las terrestres mediante nebulizadora llegando a un total de 4 ciclos de fumigación, misma que inició a partir de la 18 semana después del trasplante (SDT), con una frecuencia de 15 días entre aplicaciones (Tabla 3).

**Tabla 3.** Ciclo de fumigación de sigatoka.

Ciclo	Equipo	Producto	Ingrediente activo	Dosis
1	Nebulizadora	Acoidal	Azufre	3 kg ha <sup>-1</sup>
		Cosmo oil	Aceites parafínicos y cicloparafínicos	2 L ha <sup>-1</sup>
		Cosmo aguas	Citratos reguladores de pH	0,5 g L <sup>-1</sup>
		Sprayfit	Alcoholes terpénicos	250 cc L <sup>-1</sup>
2	Dron	Carigol	Aceites de hoja de árbol de té	0,5 L ha <sup>-1</sup>
		Cosmo oil	Aceites parafínicos y cicloparafínicos	2 L ha <sup>-1</sup>
		Cosmo aguas	Citratos reguladores de pH	0,5 g L <sup>-1</sup>
		Sprayfit	Alcoholes terpénicos	250 cc L <sup>-1</sup>
3	Nebulizadora	Banacore	Extracto de canela	1,5 L ha <sup>-1</sup>
		Cosmo oil	Aceites parafínicos y cicloparafínicos	2 L ha <sup>-1</sup>
		Cosmo aguas	Citratos reguladores de pH	0,5 g L <sup>-1</sup>
		Sprayfit	Alcoholes terpénicos	250 cc L <sup>-1</sup>
4	Dron	Serenade	Bacillus subtilis cepa QST 713	0,5 L ha <sup>-1</sup>
		Cosmo oil	Aceites parafínicos y cicloparafínicos	2 L ha <sup>-1</sup>
		Cosmo aguas	Citratos reguladores de pH	0,5 g L <sup>-1</sup>
		Sprayfit	Alcoholes terpénicos	250 cc L <sup>-1</sup>

#### 5.4.5. Labores culturales

Las labores culturales (selección, deshoje, deschante, deshermane, control de maleza, enzunche y apuntalamiento), fueron realizadas conforme al Anexo 1, tal cual se maneja una plantación de banano (Orozco et al., 2008). El suministro hídrico se realizó mediante sistema de

riego por microaspersión con caudales de  $16 \text{ L h}^{-1}$  y tiempos de 0 a 2 h  $\text{día}^{-1}$ , los tiempos de riego serán ajustados diariamente en relación a las condiciones ambientales (Jaramillo, 2020).

### **5.5. Metodología para determinar el efecto de la aplicación de Ca y Si en el suelo y desarrollo radical en el cultivo de banano**

En cada unidad experimental se tomaron 10 muestras de suelo de los primeros 20 cm de profundidad, se mezcló y se extrajo una muestra compuesta por tratamientos y repetición siguiendo la metodología propuesta por García, (2011). Las determinaciones químicas del suelo fueron realizadas en el Laboratorio de suelos de la Universidad Técnica de Machala, considerando las normas y protocolos establecidos.

Las muestras de suelo secas fueron triturada, tamizada ( $2 \text{ mm mesh}^{-1}$ ) y pesadas, donde se trabajó con una metodología de extracción de agua destilada con una relación 1:2 (10 g de suelo por cada 20 ml de agua), posterior a este proceso, se realizó el análisis través del equipo medidor multiparámetro Imacimus 10 (Anexo 8 y 9). Las variables evaluadas fueron; Calcio (Ca), Potasio (K), Amonio ( $\text{NH}_4$ ), Nitrato ( $\text{NO}_3$ ), Magnesio (Mg), Carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), Cloro (Cl), Potencial de hidrógeno (pH) y Conductividad eléctrica (CE).

El muestreo de raíces se realizó en cinco plantas de cada unidad experimental, las muestras fueron tomadas en plantas en floración con presencia del retorno de al menos 1,2 m de altura. Frente al retorno se elaboró un hoyo de  $30 \times 15 \times 30 \text{ cm}$  de largo, ancho y profundo, respectivamente (Anexo 6). Además, el criterio para determinar la cantidad de raíces en esta porción de suelo se debe al comportamiento del sistema radical del cultivo de banano, el cual tiene mayor actividad dentro de los primeros 60 cm de profundidad (Santacruz de León y Santacruz de León, 2020). Las raíces extraídas en esa porción de suelo se evaluó la masa total, porcentaje de raíz vivas y muertas (Anexo 7).

### **5.6. Metodología para el segundo objetivo: Evaluar parámetros de crecimientos inicial en el cultivo de banano**

#### **5.6.1. Variables evaluadas durante el crecimiento de la planta madre**

Las variables altura de planta, diámetro de fuste y emisión foliar fueron evaluada una semana después de aplicado los tratamientos (Anexo 3 y 4). Las mediciones se realizaron a cada cuatro semanas hasta que se produzca el evento de floración, esto ocurrió a las 25 semanas después del trasplante, aproximadamente.

**Altura de planta:** se evaluó mediante un flexómetro (Anexo 5), desde el suelo hasta la intersección en V de los pecíolos de las últimas dos hojas apicales (Martínez y Gerardo, 2011).

**Diámetro del pseudotallo:** fue medida a una altura de 50 cm sobre el suelo. El instrumento a utilizar fue una cinta métrica, el cual se midió el perímetro del pseudotallo y mediante la ecuación 4 se obtuvo el diámetro del fuste (Vargas et al., 2017).

$$D (\text{Diámetro}) = \frac{\text{perímetro del pseudotallo}}{\pi} \quad (4)$$

**Ritmo de emisión foliar:** se llevó un registro del número de hoja emitidas y el estado evolutivo de la hoja cigarro, que dividido para el intervalo de tiempo de cada lectura se obtuvo el número de hojas emitidas por semana (Rodríguez et al., 2006).

### 5.6.2. Variables evaluadas durante el evento de floración de la planta madre

**Altura de planta y diámetro de pseudotallo:** Estas variables fueron medidas en planta madre e hija, siguiendo la metodología mencionada previamente (Martínez y Gerardo, 2011).

**Número de hojas a floración:** consistió en contar cuantas hojas presentó la planta madre cuando se produjo la emergencia de la inflorescencia.

**Medición de la intensidad de la clorofila:** se colectaron muestras foliares de la planta madre de cada unidad experimental. Las muestras fueron tomadas en plantas en plena floración siguiendo el método MEIR, consiste en extraer de la tercera hoja apical, una porción central de 10 × 10 cm en cada lado de la vena central. En ambas porciones se registraron tres mediciones de la concentración de clorofila con el dispositivo de medición portátil CCM-200 Plus, y se registró el dato promedio en  $\mu\text{g cm}^{-2}$  (Sanmartín et al., 2023).

#### **Edad a floración:**

A partir de la fecha de siembra, se llevó un registro semanal del tiempo a floración (Emergencia de la bellota).

#### **Contenido de nutrientes en peciolo de la hoja:**

De cada tratamiento y repetición se extrajo 2 muestras de peciolo (72 total). Las muestras de 30 cm de longitud fueron tomadas de la parte basal del peciolo de la tercera hoja apical. A nivel de laboratorio se procedió a cortar 10 cm de la parte céntrica de la muestra, mismo que fueron despojadas de la epidermis para luego volver a cortar los tejidos internos en tamaño de 1 cm (Anexo 10), finalmente, mediante una presan se extrajo 10 ml del contenido celular aproximadamente (Guato, 2022).

Se evaluó el contenido de potasio ( $K^+$ ), Calcio ( $Ca^{++}$ ), Sodio (Na), Nitrato ( $NO_3^-$ ), pH y CE mediante dispositivos horibas. Estos equipos portátiles representan una alternativa para determinar el contenido de nutrientes en tejidos vegetales de forma rápida y eficaz (Gómez et al., 2017). Aunque no desplazan los análisis de tejido a nivel de laboratorio, estos implementos se han convertido en herramientas que permite entender el comportamiento de la planta y ayudan a tomar decisiones efectivas (Flores et al., 2021). Para medir el porcentaje de sólidos soluble totales (°brix), se utilizó un refractómetro con un rango de lectura de 0 a 32, previo a su utilización se procedió a calibrar utilizando agua destilada (Vera et al., 2024).

### 5.7. Diseño experimental

Esta investigación fue establecida sobre una plantación de banano de nueve semanas de edad, incluyó dos factores de evaluación; 1) dosis de Ca, y 2) dosis de Si. En el Factor 1 las concentraciones de Ca van de 0 a 2085 mg L<sup>-1</sup>, mientras que el Factor 2, las concentraciones de Si oscilan de 0 a 497,7 mg L<sup>-1</sup>. Es por ello, que esta investigación obtuvo nueve tratamientos (3 × 3) y fue desarrollada bajo un diseño de bloques completos al azar (DBCA) y estructura bifactorial con cuatro repeticiones (Tabla 3), se obtuvo un total de 36 unidades experimentales. Cada tratamiento fue ubicado de forma aleatoria y separado a 4,9 m para cumplir con el supuesto de aleatorización e independencia (Anexo 2).

La fertilización de los tratamientos representó un complemento de la nutrición base. La fuente de Ca utilizada será en forma de CaO líquido; El Si en forma de ácido monosilícico ( $H_4SiO_4$ ).

**Tabla 4.** Tratamientos, dosis y concentración de Si y Ca utilizado.

Tratamientos	Factor A (Si)		Factor B (Ca)	
	mg L <sup>-1</sup>	L ha <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>	L ha <sup>-1</sup>
T1	0,0	0,0	0,0	0,0
T2	0,0	0,0	1042,8	0,5
T3	0,0	0,0	2085,7	1,0
T4	248,8	0,5	0,0	0,0
T5	248,8	0,5	1042,8	0,5
T6	248,8	0,5	2085,7	1,0
T7	497,7	1,0	0,0	0,0
T8	497,7	1,0	1042,8	0,5
T9	497,7	1,0	2085,7	1,0

### **5.7.1. Unidad experimental**

Cada unidad experimental estuvo conformada por grupos de plantas ubicadas sobre la línea de riego, la cual tuvieron 50 m de largo y 4,9 m de separación. Para la toma de datos se seleccionaron 10 plantas de crecimiento uniforme ubicada en la parte céntrica de la línea emisora, la parte externa fue considerada como efecto de borde.

### **5.7.2. Modelo matemático**

Se trabajó bajo un diseño de bloques completamente al azar, con estructura bifactorial, el modelo matemático se muestra a continuación 5.

$$y = u + A + B + (AB) + b + E \quad (5)$$

### **5.7.3. Análisis estadístico**

Los datos fueron analizados mediante el paquete estadístico Infostat (Di Rienzo et al., 2020). Se usó la estadística paramétrica (ANOVA) para las variables que cumplieron los supuestos de análisis de varianza (aleatoriedad, normalidad y homocedasticidad), el cual se utilizó la prueba de Tukey al 95 % de confianza para determinar el grado de significancia entre tratamientos. Bajo otro escenario, las variables no paramétricas se analizaron mediante modelo lineal general y mixto, donde se usó la prueba LSD de Fischer al 95 % para medir el nivel de significancia entre tratamientos. Además, se tomó como covariable altura inicial de planta y diámetro de pseudotallo para controlar el posible efecto sobre los resultados.

## 6. Resultados y discusión

### 6.1. Evaluación climatológica

Se evaluaron los principales parámetros meteorológicos como la temperatura, humedad relativa, radiación global y precipitación entre los meses de enero a julio, mismos que sirvieron para determinar el posible efecto sobre la fisiología y crecimiento del cultivo de banano. Además, la temperatura y humedad relativa fue utilizada para calcular el déficit de presión de vapor (DPV).

Durante la investigación, el promedio de las temperaturas fluctuó entre 22,87 °C para la mínima y 30,1 °C en la máxima, obteniendo una media general de 26,49 °C (Figura 2). Según Varma y Bebber (2019), las temperaturas óptimas mínimas y máximas para el crecimiento del cultivo de banano oscilan entre 24 y 27 °C. Si bien, la temperatura media se mantuvo dentro del rango normal, la planta pudo haber experimentado condiciones de estrés durante los días más calurosos (semana 11 a 17), que oscilaron entre los 32 °C y fríos (semana 23 a 30) que bordearon los 20 °C.

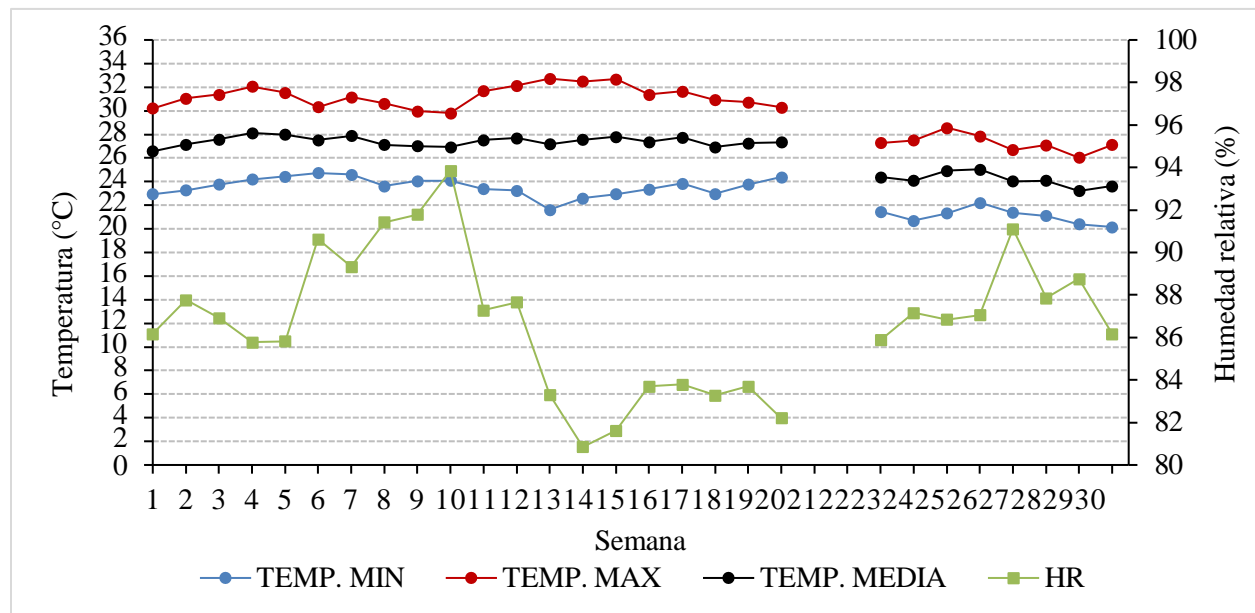
Según lo señalado por Ramírez et al. (2011) indican, que el crecimiento del banano se ralentiza en ambientes cercanos a los 20 °C, es probable que los tratamientos, en particular el control fuese influenciado por la variación climática, mismo que retraso el evento de diferenciación floral y emergencia de la bellota (Tabla 6). Bajo otro escenario, a temperaturas superiores a los 32 °C, las plantas pueden presentar daños por golpe de sol, ocasionando el estrés térmico (Bhat et al., 2022).

Adicionalmente, en estudios realizados por, Santos et al. (2024), afirman que las variaciones térmicas están estrechamente relacionadas con las anomalías climáticas típicas de esta época del año, afectando principalmente a regiones como el sur de Colombia, Ecuador y el norte de Perú.

La humedad relativa registrada entre los meses de enero a julio fluctuó entre 80,85 % a 93,85 %, alcanzando una media general de 86,70 % (Figura 2), estos valores son superiores a los rangos óptimos para el cultivo de banano, el cual requiere una humedad relativa moderada de 74 a 79 % (Salau et al., 2016). Sin bien, la humedad relativa se mantuvo superior al rango ideal, los valores mayores al 85 % registrados durante la semana 6 a 12 y 23 a 30, provocaron en la planta, la disminución de la transpiración, lo que afectó el flujo de savia debido a la saturación parcial de la atmosfera. En este sentido, Urrestarazu (2015) señala que, en ambientes húmedos, las plantas reducen su transpiración, lo que disminuye la absorción de calcio, ya que este nutriente se



transporta únicamente a través del xilema junto con la corriente transpiratoria. Por lo tanto, este evento podría estar asociado a la deficiencia de calcio registrado en el peciolo de la hoja (Tabla 10).



**Figura 2.** Dinámica de temperatura y humedad relativa evaluada entre los meses de enero a julio del 2024, hacienda Musatec, Chanduy, provincia de Santa Elena.

La temperatura, humedad relativa y radiación, son factores que influyen directamente sobre el déficit de presión de vapor (DPV), que se refiere a la cantidad de vapor de agua que la atmósfera necesita para alcanzar la saturación. En términos concretos, el DPV mide la deficiencia de humedad atmosférica, a una humedad relativa y temperatura determinada, y la contrasta con la humedad requerida para que la atmosfera pueda alcanzar su saturación (Salas et al., 2020).

El DPV es fundamental para el proceso de transpiración en las plantas: cuando es adecuado, las plantas liberan agua en forma de vapor para saturar la atmósfera, lo que mantiene el flujo de savia en el tallo (Swaef y Steppe, 2010). Además, favorece la transpiración y la fotosíntesis, interviniendo en la absorción de agua y nutrientes a nivel radical (Escamirosa et al., 2017).

En condiciones extremas, un DPV elevado indica que la atmósfera necesita más humedad para alcanzar la saturación (baja humedad relativa). En respuesta, las plantas cierran sus estomas para evitar la pérdida excesiva de agua o deshidratación, lo que afecta negativamente la fotosíntesis y la absorción de agua y nutrientes. Por el contrario, cuando el DPV es bajo, la transpiración se detiene debido a la saturación total o parcial de la atmósfera (alta humedad relativa), lo que impide la difusión del vapor de agua desde los estomas (Cervantes et al., 2013). Por lo tanto, el bajo o alto

DPV, puede limitar el flujo de savia, afectando directamente en la absorción y translocación de nutrientes que ingresan a la planta mediante el flujo de masas (Salas et al., 2020).

En este contexto, el DPV ideal para el cultivo de banano oscila entre 0,6 y 0,8 kPa. Durante la investigación, los valores del DPV fluctuaron entre 0,22 y 0,70 kPa. En la fase de crecimiento del cultivo (semanas 1 a 12), correspondiente a la época lluviosa, el DPV se mantuvo por debajo de 0,6 kPa, lo cual fue resultado de las condiciones de alta humedad relativa (>86 %) y temperaturas medias cercana a los 28 °C. Sin embargo, desde la semana 13 hasta la semana 20, el DPV se mantuvo dentro del rango ideal. Cabe destacar que en este periodo las temperaturas medias se mantuvieron estables cercano a los 27 °C, mientras que la humedad relativa descendió entre 80,85 y 83,70 %.

Aunque en ciertos periodos el DPV se mantuvo dentro del rango adecuado, los momentos en los que disminuyó pudieron provocar problemas en la asimilación de calcio y nitrato (Tabla 10). Valores inferiores a 0,5 kPa limitan el flujo de agua y nutrientes, especialmente de calcio y otros elementos que se ingresan a la planta mediante flujo de masas (Beluzán, 2013). De manera similar, Gutiérrez y Fitz, (2020) señalan que diversos cultivos hortícolas se ven afectados cuando los niveles de DPV descienden a niveles de 0,2 kPa, lo que ralentiza el crecimiento de las plantas. A partir de la semana 20 hasta la 30 (diferenciación floral y emergencia de la bellota), el DPV volvió a caer por debajo de 0,6 kPa, esto pudo influir en la etapa del cultivo, el cual provocó que ciertos tratamientos en especial el control, alargaran el tiempo a floración (Tabla 6).

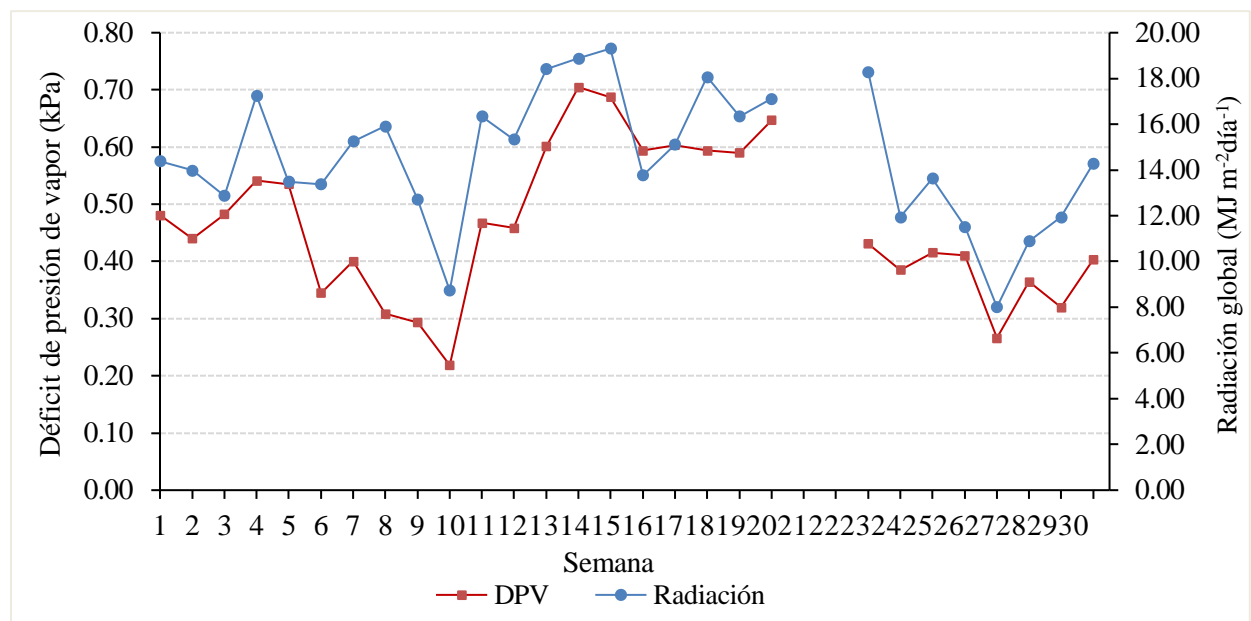
La radiación es la fuente energética que la planta necesita para llevar a cabo el proceso de fotosíntesis, además, mantiene el balances hídrico y energético (Montero, 2022). Cuando la cantidad de radiación interceptada por la planta es adecuada, estimula el crecimiento y desarrollo del cultivo, lo que mejora la producción de materia seca y productividad (Beluzán, 2013). En el cultivo de banano, la radiación global óptima debe oscilar entre 15 y 21 MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>, mientras que valores superiores a 24 MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> se consideran excesivos (Santos et al., 2024).

Durante el estudio, los valores registrados fluctuaron entre 6,59 y 19,31 MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> (Figura 3). Si bien, los valores se mantuvieron dentro del rango ideal entre la semana 1 a 23, etapa que corresponde al desarrollo vegetativo, en la semana 10 se observó un descenso, misma que fue provocada por el aumento significativo de la humedad relativa y precipitaciones, debido a un día nublado. Bajo otro escenario, en la etapa de diferenciación floral y emergencia de la bellota (semanas 24 a 30), los niveles de radiación quedaron por debajo del rango óptimo. Este fenómeno

coincidió con un período de bajas temperaturas y alta humedad relativa, lo que provocó una disminución en el DPV, por lo tanto, podría haber influido en el retraso de la floración en ciertos tratamientos, principalmente el control (Tabla 6).

De manera similar, Domingues et al. (2022) señalan que la baja radiación puede provocar anomalías en el crecimiento del banano, y que, cuando se asocia con prácticas nutricionales deficientes, puede causar deformaciones en la emergencia de la inflorescencia. Aunque en la floración no se detectaron anomalías relacionadas con este problema, la baja radiación registrada en días nublados y fríos entre junio y julio (semanas 24 a 30), pudo limitar la capacidad fotosintética, la síntesis de fotoasimilados e influyó en la intensidad de la clorofila (Tabla 6), además, estos factores pueden explicar la disminución en el contenido de grados Brix en el peciolo de la hoja (Beluzán, 2013).

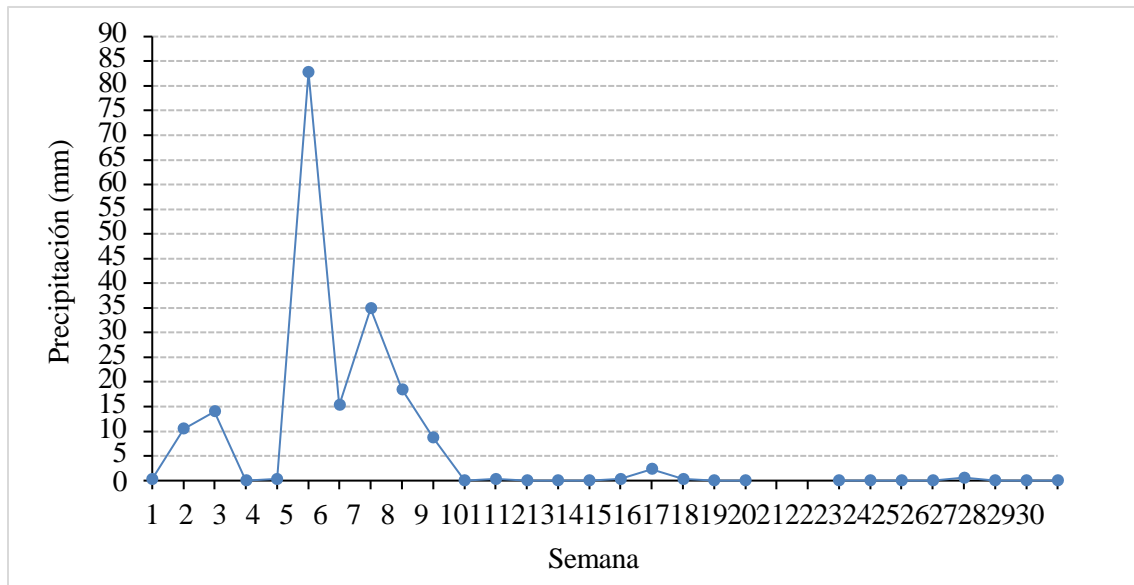
Ayala et al. (2011) mencionan que la planta absorbe la radiación principalmente por medio de los pigmentos clorofílicos; y la fotomorfogénesis, el cual interviene en la elongación del tallo, el crecimiento del cloroplasto y la síntesis de la clorofila, es por esto, que una baja radiación ralentiza los procesos fisiológicos, haciendo que el cultivo prolongue su ciclo biológico (Tabla 6).



**Figura 3.** Dinámica del déficit de presión de vapor (DPV) y radiación global evaluada entre los meses de enero a julio del 2024, hacienda Musatec, Chanduy, provincia de Santa Elena.

En cuanto a las precipitaciones (Figura 4), estas fluctuaron entre insuficientes y normales, excepto en la semana 6 donde se registró la mayor intensidad de lluvia con 82,8 mm semana<sup>-1</sup>. Según Santacruz de León y Santacruz de León (2020), el cultivo de banano requiere precipitaciones

prolongadas y bien distribuidas, con valores que oscilen entre los 35 a 42 mm semana<sup>-1</sup>, si bien, fueron pocas las semanas que llegaron a este requerimiento, es poco probable que la planta presentara estrés por sequía debido al suministro hídrico mediante sistema de riego. Además, se descartan problemas asociados con la saturación del suelo provocado por las precipitaciones de la semana 6, esto se debe a la presencia de canales de drenaje en el cultivo.



**Figura 4.** Dinámica de precipitación y evapotranspiración evaluada entre los meses de enero a julio del 2024, hacienda Musatec, Chanduy, provincia de Santa Elena.

## 6.2. Efecto de la aplicación de calcio y silicio sobre el desarrollo radical del cultivo de banano

Los resultados para la variable masa de raíz no mostraron diferencias en la interacción entre Ca y Si. Sin embargo, al analizar el factor independiente de Si, se encontró diferencia en la concentración de 248,8 mg L<sup>-1</sup> (T4, T5 y T6). Estos tratamientos presentaron las medias más altas, superando en promedio al control en un 29,5%. El control, por su parte, tuvo la media más baja, con un valor de 56,79 g planta<sup>-1</sup> (Tabla 5).

Los valores obtenidos en la masa de raíz mediante el uso de la concentración de Si 248,8 mg L<sup>-1</sup> (500 cm<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), son superiores en comparación con otros estudios y puede atribuirse a la forma de aplicación del Si. Sanmartín et al. (2023), al evaluar el efecto de la aplicación foliar de Si en banano, reportaron medias de 38,33 g planta<sup>-1</sup> para una dosis de 750 cm<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de Si, además, menciona que este elemento mejora la asimilación de nutrientes, lo que repercute en el incremento de la masa radical (Borda y Barón, 2007).

Los hallazgos alcanzados en este estudio son positivos desde el punto de vista nutricional (Torres et al., 2019). La raíz al ser el principal órgano donde ocurre la asimilación de nutrientes guarda una estrecha relación con la productividad (Fischer et al., 2021). También, repercute en el crecimiento del cultivo y resistencia frente a enfermedades (Campos et al., 2020). Esto se puede apreciar en la valoración de las variables biométricas medidas en planta madre e hija (Tabla 6 y 7).

Para las variables porcentaje de raíz viva (PRV) y muerta (PRM), no se obtuvo diferencias en la interacción, ni en sus factores independientes (Tabla 5). Las cifras promedio fluctuaron de 93,19 a 96,9 % para el PRV y de 3,1 a 6,81 % para el PRM, estos valores se consideran aceptables, siendo superior al rango normal (75 a 80 %) para el PRV (Sanmartín et al., 2023).

Es necesario mencionar que los resultados alcanzados podrían haber sido influenciados por las condiciones en que se estableció el cultivo, el cual corresponde a un terreno recientemente preparado, dos años de barbecho y antecedentes productivos del cultivo de maíz, el cual presentan baja compatibilidad con enfermedades radiculares.

El calcio (Ca) es un elemento esencial para el desarrollo radical de las plantas. Aunque no se encontraron diferencias significativas que evidenciaron este aspecto, esto puede atribuirse a la naturaleza de los suelos de la Península de Santa Elena (PSE) (Vinueza et al., 2024). Según Lino et al. (2019), los suelos de la PSE se caracterizan por presentar cantidades apreciables de Ca, lo que permite que las plantas prosperen en ciertas zonas, incluso sin un suministro adicional de Ca como fertilización complementaria.

**Tabla 5. Efectos de la aplicación de Ca y Si sobre el desarrollo radical de la planta de banano ‘Williams Cavendish’ medido en la floración, Chanduy, provincia de Santa Elena.**

Tratamiento	Factor		MR	PRV	PRM
	Si	Ca			
	mg L <sup>-1</sup>		g planta <sup>-1</sup>	%	%
Control	0	0	56,79 b	94,56 a	5,44 a
2	0	1042,8	63,12 b	96,27 a	3,73 a
3	0	2085,7	62,97 b	94,83 a	5,17 a
4	248,8	0	82,46 a	95,51 a	4,49 a
5	248,8	1042,8	72,44 a	94,56 a	5,44 a
6	248,8	2085,7	65,78 a	93,19 a	6,81 a
7	497,7	0	66,69 ab	93,31 a	6,69 a
8	497,7	1042,8	65,37 ab	94,60 a	5,40 a
9	497,7	2085,7	63,54 ab	96,90 a	3,10 a
	<b>p-valor</b>		0,0066	0,2109	0,2012
	<b>CV</b>		32,82	8,68	60,84
	<b>Si</b>		*	Ns	ns
	<b>Ca</b>		ns	Ns	ns
	<b>Si x Ca</b>		ns	Ns	ns

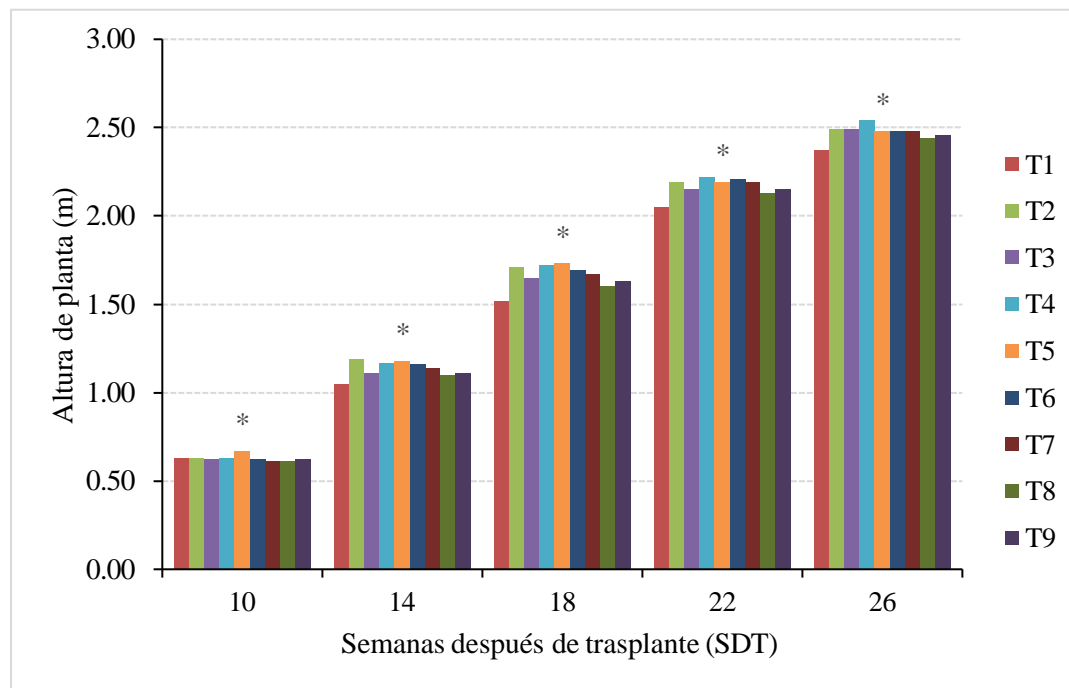
ns = no significativo, \* = diferencia significativa, CV= coeficiente de variación, MR = Masa radical, PRV = Porcentaje de raíz viva, PRM= Porcentaje de raíz muerta.

### 6.3. Efecto de la aplicación de calcio y silicio sobre variables biométricas medidas durante el crecimiento de la planta madre

Se observó diferencia en la interacción entre Ca y Si en la variable de crecimiento altura de planta (Figura 5). El tratamiento 5 y 2 obtuvieron las cifras más elevas en las mediciones realizadas a las 10 y 15 semanas después del trasplante (SDT), respectivamente. No obstante, en la evaluación a las 18 SDT, el T2, T4 y T5 se consolidaron como dominantes, donde finalmente, el T4 (Si: 248,8 mg L<sup>-1</sup>) alcanzó la cifra más alta en las últimas evaluaciones a las 22 y 26 SDT. Bajo otro escenario, el control (T1) mostró las medias más bajas desde la 14 a 26 SDT. Es probable que el T1 haya estado influenciado por las condiciones climáticas, lo que pudo experimentar mayor estrés en las plantas, limitando así su crecimiento. En este contexto, De Mello (2023), señala que una de las ventajas del silicio es proporcionar mayor resistencia a las plantas frente al estrés ambiental.

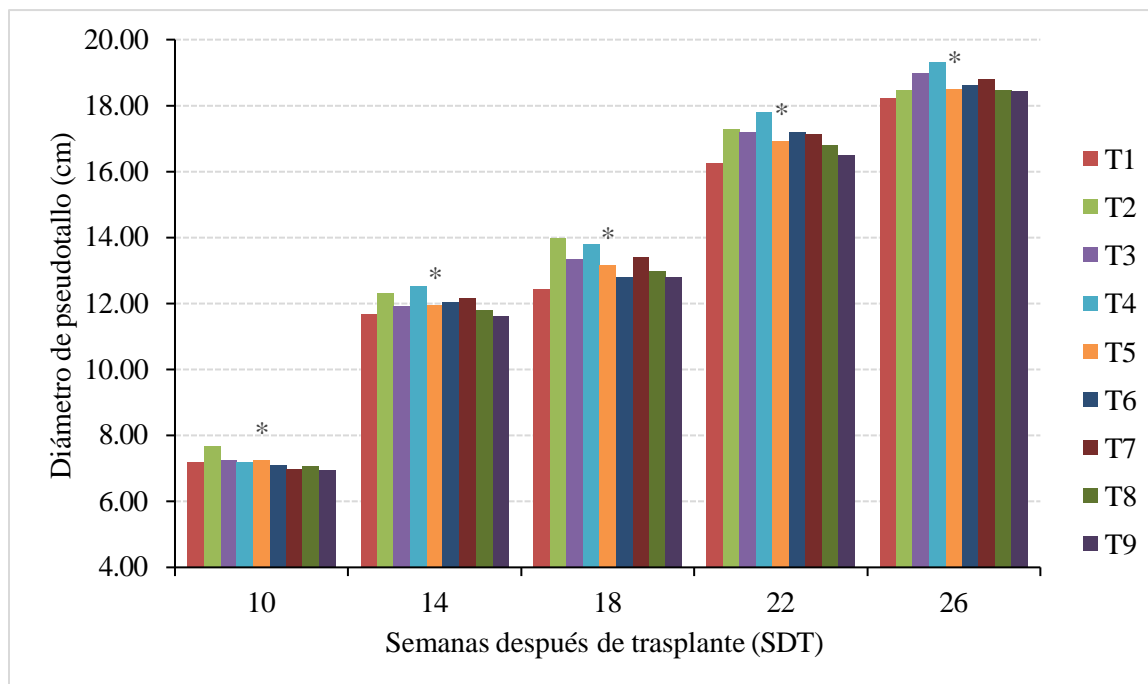
Los estudios realizados por Heredia y Moreno (2021) presentan resultados similares a los obtenidos en este experimento, quien al evaluar el efecto de la aplicación de algas marinas en plantas de banano del clon Williams, encontraron una media de 65,20 cm en la altura de las plantas a las 10 SDT. De manera similar, Galiltec (2023), como entidad promotora de la variedad Williams, indica que estos datos se encuentran dentro del rango normal para el estado reproductivo R0. Este

clon, al entrar en su primer año de producción, puede aumentar su altura hasta 3 m (R1), y en el segundo año puede alcanzar entre 3,5 y 4 m (R2 en adelante).



**Figura 5.** Efecto de la aplicación de calcio y silicio sobre la altura de planta de banano ‘Williams Cavendish’, Chanduy, provincia de Santa Elena. (\*) diferencia significativa.

Los datos correspondientes a la variable diámetro del pseudotallo sugieren que la interacción entre Ca y Si tuvo efecto significativo en los distintos momentos de evaluación, a excepción de la medición realizada a las 10 SDT, donde el Si como factor independiente, presentó las medias más altas sin la adición de éste. A partir de las mediciones realizadas a las 14, 18, 22 y 26 SDT, fue común que el T4 (Si: 248,8 mg L<sup>-1</sup>) se estableció como el dominante, aunque mostró similitud con el T3, T5, T6 y T7 (Figura 6). Bajo otro escenario, el control (T1) registró las medias más bajas desde las 14 a 26 SDT. Los resultados obtenidos en esta investigación se encuentran dentro del rango normal, el cual tiende a incrementarse a medida que avanza la etapa reproductiva de R0 a R1 (Galiltec, 2023).



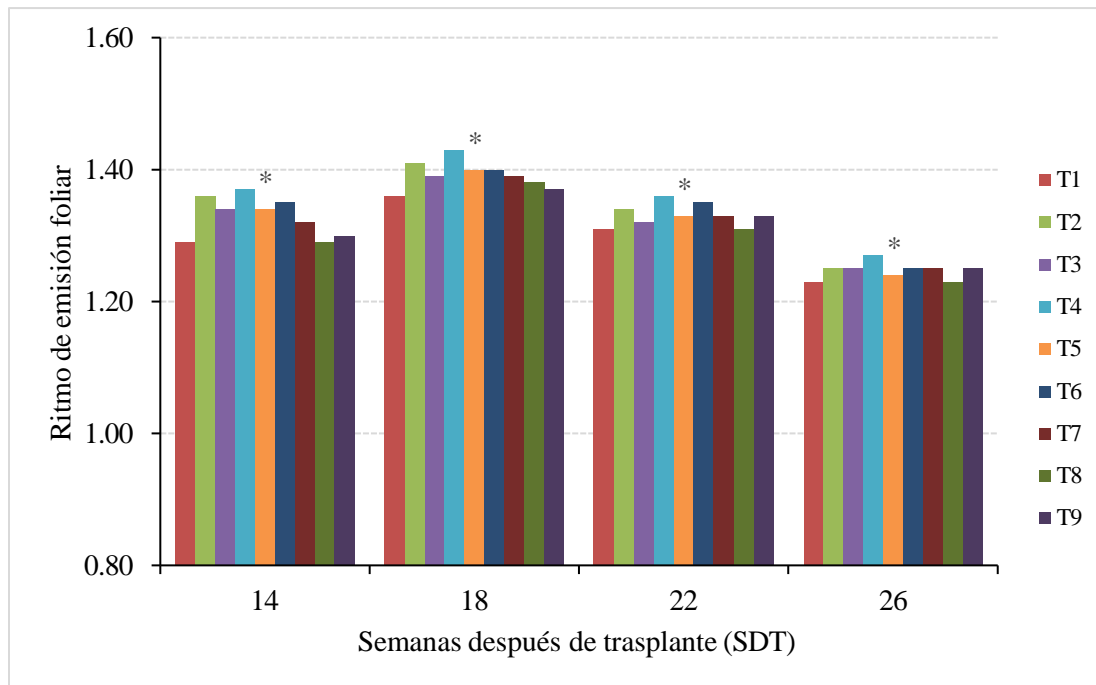
**Figura 6.** Efecto de la aplicación de calcio y silicio sobre el diámetro del pseudotallo de la planta de banano ‘Williams Cavendish’, Chanduy, provincia de Santa Elena. (\*) diferencia significativa.

En lo que respecta al ritmo de emisión foliar, se observaron diferencias en la interacción entre Ca y Si (Figura 7). El T4 registró los valores más altos en los distintos momentos de evaluación, con medias que fluctuaron entre 1,27 y 1,43 hojas semana<sup>-1</sup>. Bajo otro escenario, el control (T1) presentó las cifras más bajas, que oscilaron entre 1,23 y 1,36 hojas por semana.

A nivel general, los valores en los diversos tratamientos decrecen en las evaluaciones realizadas entre las 22 y 26 SDT. Este evento fue provocado por las variaciones climáticas, el cual coincide con la disminución de la temperatura, radicación y DPV. Pese a esto, el T4 (Si:248,8 mg L<sup>-1</sup>) se vio menos afectado. Según Greger et al. (2018), esto se debe a las propiedades del Si, el cual forma una capa gruesa en la epidermis de la hoja. Provee tolerancia frente al estrés ambiental (Sanmartín et al., 2023). Además, mejora la asimilación de CO<sub>2</sub> y la eficiencia en el fotosistema II (Ferraz et al., 2014).

Los resultados obtenidos en este estudio son similares a los reportados por Quintana et al. (2024), quienes al evaluar la eficiencia del ácido giberélico, microorganismos nativos, *Trichoderma* sp. y melaza en el cultivo de banano del clon Williams en estado productivo R0, encontraron un promedio de 1,40 hojas emitidas por semana en diferentes momentos de evaluación.





**Figura 7.** Efecto de la aplicación de calcio y silicio sobre el ritmo de emisión foliar de la planta de banano ‘Williams Cavendish’, Chanduy, provincia de Santa Elena. (\*) diferencia significativa

#### **6.4. Efecto de la aplicación de calcio y silicio sobre variables biométricas de la planta madre, medidas en floración**

El efecto de la aplicación de Ca y Si sobre las variables biométricas medidas durante el evento de floración de la planta madre se muestran en la Tabla 6, donde se evidencia un efecto positivo para la interacción entre ambos elementos. En las variables relacionadas con las condiciones de vigor en la planta, los tratamientos 3 (Ca:2085,7 mg L<sup>-1</sup>) y 4 (Si: 248,8 mg L<sup>-1</sup>) destacaron, superaron al control en 4,55 % en el diámetro del pseudotallo y 2,38 % en la altura de la planta.

Las plantas con buenas condiciones de vigor son deseables, ya que suelen desarrollar racimos de mayor tamaño y actúan como reservas de agua y nutrientes para la planta sucesora, recursos que esta utiliza hasta alcanzar su independencia fisiológica (Rodríguez et al., 2006). La respuesta favorable en los tratamientos con Ca y Si se debe a que estos elementos influyen en la división y elongación celular, lo que mejora la turgencia y se refleja en la vigorosidad de la planta (Arthi et al., 2020).

Aunque los resultados obtenidos en este estudio indican un efecto positivo, son inferiores a los reportados por Helaly y El-Hoseiny (2017). Estos autores, al aplicar silicio en forma de K<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> al 3 % vía fertirriego, lograron un diámetro de pseudotallo de 25,8 cm en plantas del clon Williams

en el estado productivo R1. Por otro lado, Guerrero et al. (2019), al evaluar la velocidad del crecimiento del hijo en R1 para el clon Williams, obtuvo una media de 3,24 m para la altura de planta a floración. En este contexto, Rodríguez et al. (2006) señalan que las variables de diámetro del pseudotallo y altura de la planta mejoran al pasar del estado productivo R0 a R1 en su estudio sobre el impacto del vigor de la planta madre en la planta sucesora.

La edad a floración fue otro parámetro positivamente influenciado por la aplicación de Ca y Si, todos los tratamientos aceleraron la floración con relación al testigo, destacando especialmente el T4 (Si: 248,8 mg L<sup>-1</sup>), que adelantó la emergencia de la bellota en 3,07 semanas (Tabla 6). Este hallazgo sugiere que la aplicación de Si estimula el crecimiento de la planta (González y Prado, 2015), acelerando tanto el proceso de diferenciación floral como la emergencia de la inflorescencia. En este sentido, Panchal et al. (2020) observaron que al aplicar ácido silícico a razón de 3 ml L<sup>-1</sup> en el cultivo de banano, la edad a floración se redujo en 2,15 semanas en comparación con el control. Además, es probable que el control haya sido afectado negativamente por las condiciones climáticas registradas durante el estudio (Figuras 2 y 3).

En cuanto al número de hojas al momento de la floración, los resultados no muestran diferencias entre los tratamientos (Tabla 6), y son superiores a los obtenidos por Juárez y Castillo (2024), quienes al aplicar Si en forma de SiO<sub>2</sub> a una dosis de 150 kg ha<sup>-1</sup>, lograron un promedio de 9,25 hojas por planta. La ausencia de diferencias significativas para la variable número de hoja a floración, puede atribuirse al riguroso control de la sigatoka, lo que permitió que las plantas alcanzaran la floración con un promedio aceptable de hojas lo que concuerda con Orozco et al., (2008).

Los resultados para la intensidad de clorofila determinaron diferencias en la interacción entre Ca y Si (Tabla 6). El tratamiento 4 donde se usó la concentración de 248,8 mg L<sup>-1</sup> de Si presentó la media más alta (61.84 µg cm<sup>-2</sup>), superando al control en un 14,94 %. los valores alcanzados en este estudio son superiores a los reportados por Mejía et al. (2023), quienes al trabajar mediante estimulación de desarrollo radical alcanzaron una media de 59,3 µg cm<sup>-2</sup>, además, señalan que el desarrollo radical está directamente relacionado y es proporcional a la intensidad de la clorofila. Así, las plantas que presentan un mayor desarrollo de raíces pueden mejorar la asimilación de nutrientes.

El rol del Si en el incremento del nivel de clorofila se debe al mantenimiento de la ultraestructura del cloroplasto, junto con la mejora de la enzima responsable de la biosíntesis de

clorofila, lo cual ocurre por la inhibición de las enzimas que la degradan, como el superóxido dismutasa, guaiacol peroxidasa, ascorbato peroxidasa, catalasa y glutatión reductasa (Savvas et al., 2009; Arthi et al., 2020).

**Tabla 6. Efectos de la aplicación de Ca y Si sobre las variables biométricas del banano ‘Williams Cavendish’, medidas en planta madre durante el evento de floración, Chanduy, provincia de Santa Elena.**

Tratamiento	Factor		Altura de planta $\psi$	Diámetro de pseudotallo	Intensidad de clorofila	Número de hoja $\psi$	Edad a floración $\psi$
	Si	Ca					
	mg L <sup>-1</sup>		m	cm	$\mu\text{g cm}^{-2}$	unidad	semana
Control	0	0	2,52 d	18,53 b	53,8 c	11,95 a	29,00 a
2	0	1042,8	2,53 cd	19,02 ab	57,28 abc	11,78 a	26,12 de
3	0	2085,7	2,59 a	19,42 a	59,44 ab	11,98 a	27,23 bc
4	248,8	0	2,57 ab	19,33 a	61,84 a	12,03 a	25,93 e
5	248,8	1042,8	2,53 cd	18,81 ab	55,41 bc	11,70 a	26,05 de
6	248,8	2085,7	2,57 abc	19,18 ab	57,79 abc	11,63 a	26,71 cd
7	497,7	0	2,54 bcd	19,12 ab	59,56 ab	11,80 a	26,99 c
8	497,7	1042,8	2,57 abc	18,90 ab	54,55 bc	12,05 a	27,95 b
9	497,7	2085,7	2,54 abcd	18,98 ab	58,62 abc	11,78 a	26,87 cd
	<b>p-valor</b>		0,0118	0,0025	0,0002	0,0689	0,0001
	<b>CV</b>		14,09	5,17	13,72	6,51	6,72
	<b>Si</b>		ns	ns	ns	ns	*
	<b>Ca</b>		ns	ns	*	ns	*
	<b>Si x Ca</b>		*	*	*	ns	*

ns = no significativo, \* = diferencia significativa, CV= coeficiente de variación,  $\psi$  = variable evaluada bajo modelo lineal general y mixto (Prueba LSD Fisher).

### 6.5. Efecto de la aplicación de calcio y silicio sobre las variables biométricas en planta de sucesión (Retorno o hijos)

Como se muestra en la Tabla 7, se encontraron diferencias estadísticas significativas en la interacción entre Ca y Si para las variables medidas en la planta hija. El T4 presentó las medias más altas tanto en altura de planta como en diámetro del pseudotallo, superando al control en un 10,37 % y 10,81 %, respectivamente. Estos resultados sugieren un efecto positivo de la aplicación de Si a una concentración de 248,8 mg L<sup>-1</sup>, ya que el control registró las medias más bajas, con 1,35 m de altura de planta y 8,69 cm de diámetro del pseudotallo.

Los resultados obtenidos en este estudio se encuentran dentro del rango normal para la altura de la planta hija. Guerrero et al. (2019) señalan que estos valores pueden variar entre 1,30 y 1,50 m, aunque es preferible que la planta alcance una mayor altura, como ocurrió en el T4. El crecimiento de los hijos se ve influenciado tanto por el desarrollo radical (Tabla 5) y la dominancia

apical de la planta madre (Tabla 6). En ambos casos, esto se traduce en un excelente crecimiento y producción de la planta sucesora (Brenes, 2017).

**Tabla 7. Efectos de la aplicación de Ca y Si sobre las variables biométricas del banano ‘Williams Cavendish’, medidas en planta hija durante el evento de floración de la planta madre, Chanduy, provincia de Santa Elena.**

Tratamiento	Factor		Altura de planta m	Diámetro del pseudotallo Cm
	Si mg L <sup>-1</sup>	Ca		
Control	0	0	1,35 c	8,69 D
2	0	1042,8	1,45 ab	9,49 AB
3	0	2085,7	1,45 ab	9,51 AB
4	248,8	0	1,49 a	9,63 A
5	248,8	1042,8	1,39 bc	8,74 CD
6	248,8	2085,7	1,38 bc	9,01 BCD
7	497,7	0	1,47 ab	9,32 ABC
8	497,7	1042,8	1,41 abc	9,11 ABCD
9	497,7	2085,7	1,41 abc	8,95 BCD
	<b>p-valor</b>		0,0051	0,0013
	<b>CV</b>		14,07	15,30
	<b>Silicio</b>		ns	Ns
	<b>Calcio</b>		ns	Ns
	<b>Silicio x calcio</b>		*	*

ns = no significativo, \* = diferencia significativa, CV= coeficiente de variación, Letras mayúsculas = Prueba LSD Fisher.

## 6.6. Efecto de la aplicación de calcio y silicio sobre el contenido de nutrientes en el suelo

La disponibilidad de nutrientes en el suelo para el cultivo de banano no se vio afectada por la aplicación de Ca y Si (Tabla 8). Esto se respalda en la ausencia de diferencias significativas en el contenido de cationes como Ca<sup>++</sup> y Mg<sup>++</sup>. Además, al analizar el efecto independiente del Ca, se observó que los niveles de K<sup>+</sup> y NH<sub>4</sub><sup>+</sup> fueron mayores en los tratamientos sin adición de Ca. En este sentido, Lino et al. (2019) mencionan que la mayoría de suelos de la Península de Santa Elena (PSE), poseen cantidades apreciable de Ca, por tanto, las plantas pueden prosperar sin adicionar este elemento como fertilización complementaria.

En cuanto a los aniones NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y Cl<sup>-</sup>, no se observaron diferencias en la interacción entre Ca y Si, ni en sus factores independientes. Asimismo, para el CaCO<sub>3</sub>.

Estudios previos revelan que el Si posea la capacidad de solubilizar los nutrientes del suelo (Borda y Barón, 2007). No obstante, la razón que justifica la inexistencia de diferencias en los tratamientos podría ser la concentración de Si utilizada en el experimento, en este sentido, Greger

et al. (2018) al evaluar el efecto de la aplicación de Si en forma de  $K_2SiO_3$ , demostró que la adición de  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  produce un ligero incremento en la disponibilidad de nutrientes, pero sin diferencias significativas.

El ritmo de aplicación de la fertilización de base, es otro factor que pudo influir sobre la disponibilidad de elementos, el plan nutricional fue aplicado semanalmente vía fertirriego, por tanto, el cultivo siempre se mantuvo fertilizado e incluso las muestras de suelo fueron tomadas 3 días después la fertilización. Si bien, esto es beneficioso para el cultivo ya que la nutrición es fraccionada a 52 semanas al año, esto pudo influir sobre los presentes resultados.

Pese a que la aplicación de Ca y Si no mostró un efecto sobre el contenido de nutrientes del suelo, en promedio, el nivel del  $K^+$  y  $NH_4^+$  fueron superiores cuando se usó Si en dosis de  $248,8 \text{ mg L}^{-1}$ , mientras que el contenido de  $Ca^{++}$  y  $Mg^{++}$  fue mayor en dosis de Si de  $497,7 \text{ mg L}^{-1}$ , por su parte los niveles del  $NO_3^-$  fue mejor en los tratamientos sin la adición de Si.

**Tabla 8. Efectos de la aplicación de Ca y Si sobre el contenido de elementos en el suelo.**

Tratamiento	Factor		$K^+$	$Ca^{++}$	$NH_4^+$	$Mg^{++}$	$NO_3^-$	$Cl^- \psi$	$CaCO_3$
	Si	Ca							
			$\text{mg L}^{-1}$						
Control	0	0	0,57 a	13,77 a	0,07 a	0,60 a	3251,25 a	22,75 a	36,85 a
2	0	1042,8	0,49 b	11,67 a	0,06 b	0,47 a	3954,63 a	23,00 a	31,05 a
3	0	2085,7	0,42 ab	14,23 a	0,05 ab	0,55 a	3299,56 a	20,34 a	30,62 a
4	248,8	0	0,71 a	14,41 a	0,08 a	0,53 a	3744,25 a	25,38 a	38,16 a
5	248,8	1042,8	0,40 b	15,20 a	0,05 b	0,49 a	2818,63 a	24,50 a	40,00 a
6	248,8	2085,7	0,58 ab	13,88 a	0,06 ab	0,54 a	2987,88 a	23,75 a	36,84 a
7	497,7	0	0,61 a	15,81 a	0,06 a	0,69 a	2932,13 a	25,34 a	42,31 a
8	497,7	1042,8	0,32 b	13,76 a	0,04 b	0,50 a	2540,88 a	23,63 a	37,24 a
9	497,7	2085,7	0,52 ab	16,52 a	0,06 ab	0,88 a	3822,19 a	27,57 a	44,89 a
	<b>p-valor</b>		0,0057	0,8845	0,0090	0,7003	0,3321	0,5323	0,6223
	<b>CV</b>		21,47	16,52	11,38	23,18	26,41	22,55	11,19
	<b>Si</b>		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	<b>Ca</b>		*	ns	*	ns	ns	ns	ns
	<b>Si x Ca</b>		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ns = no significativo, \* = diferencia significativa, CV= coeficiente de variación,  $\psi$  = variable evaluada bajo modelo lineal general y mixto (Prueba LSD Fisher).

El pH para el cultivo de banano se requiere valores que se encuentren dentro del rango de 5 a 7 y la CE inferior a  $1 \text{ dS m}^{-1}$  (Santacruz de León y Santacruz de León, 2020). Los valores de pH alcanzados durante el estudio son considerado medianamente alcalinos, mismos que variaron entre 8,58 a 8,69, mientras que la Ce fue aceptable y varió entre 0,38 a  $0,64 \text{ dS m}^{-1}$  (Tabla 9).

Hanumanthaiah et al. (2015), al aplicar Si vía edáfica y foliar, tampoco encontraron variación en el pH y Ce del suelo, donde sus valores fueron 6,43 y 0,037 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente.

La razón por la cual el pH no se vio afectado podría deberse a la concentración de Si utilizada, además el Si como ácido es muy débil, el cual se requiere grandes cantidades para producir un cambio importante en el pH. Esto coincide con lo señalado por Greger et al. (2018), quienes indicaron que el suministro de Si menos de 1000 kg Ha<sup>-1</sup> en forma de K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, no genera variaciones en el pH en diferentes tipos de suelo y características texturales.

Los niveles de pH y CE alcanzado en el presente estudio, son característicos de las zonas semiáridas de la PSE. Balmaseda y Ponce de León (2019), al estudiar las características químicas del suelo en diversos cultivos de la costa encontraron valores de 6,8 a 8,3 para el pH. Con relación a la Ce, los valores pueden variar de 0,11 a 0,32 dS m<sup>-1</sup> para la CE (Lino et al., 2019).

Si bien, las variaciones en el pH del suelo no son amplias entre tratamientos, se puede observar un ligero incremento conforme aumenta la dosis de Si. A su vez, la Ce fue más baja cuando se usó la concentración de 248,8 mg L<sup>-1</sup> de Si.

**Tabla 9. Efectos de la aplicación de Ca y Si sobre pH y CE, en el suelo.**

Tratamiento	Factor		pH	CE $\psi$
	Si	Ca		
	mg L <sup>-1</sup>		Unidad	dS m <sup>-1</sup>
Control	0	0	8,58 a	0,47 ab
2	0	1042,8	8,64 a	0,43 b
3	0	2085,7	8,69 a	0,44 ab
4	248,8	0	8,66 a	0,44 b
5	248,8	1042,8	8,64 a	0,43 b
6	248,8	2085,7	8,67 a	0,40 b
7	497,7	0	8,66 a	0,40 b
8	497,7	1042,8	8,68 a	0,38 b
9	497,7	2085,7	8,65 a	0,64 a
	<b>p-valor</b>		0,4850	0,0139
	<b>CV</b>		1,19	28,42
	<b>Si</b>		ns	Ns
	<b>Ca</b>		ns	Ns
	<b>Si x Ca</b>		ns	*

ns = no significativo, \* = diferencia significativa, CV= coeficiente de variación,  $\psi$  = variable evaluada bajo modelo lineal general y mixto (Prueba LSD Fisher).

## **6.7. Efecto de la aplicación de calcio y silicio sobre el contenido de nutrientes en el peciolo de la hoja.**

Los resultados de la extracción de extracto del peciolo de la planta de banano indican que la aplicación de Ca y Si no tuvo efecto en el contenido de nutrientes, °Brix y pH, ya que no se encontraron diferencias, ni en la interacción ni en sus factores independientes (Tabla 10).

El contenido de °Brix para el cultivo de banano varían de 10 a 15 % (Oliveira et al., 2007). Durante la investigación los valores fueron bajos, mismos que fluctuaron de 2,36 en el control y 2,78 en el tratamiento 9, esto se encuentra estrechamente con la baja radicación registrada durante la etapa de diferenciación floral y emergencia de la bellota (semana 23 a 30). Según Domingues et al. (2022) las plantas expuestas a baja radicación disminuyen su capacidad fotosintética, lo que se ve reflejado en la reducción de la síntesis de fotoasimilados. El DPV, fue otro aspecto que influyó sobre el contenido de °Brix, donde los valores inferiores a 0,6 kPa limitan el flujo de savia y la traslocación de nutrientes (Salas et al., 2020).

El pH del peciolo es un indicador que refleja el equilibrio de nutrientes en la planta, en el cultivo de banano se requiere niveles ligeramente ácidos que fluctúen de 5,5 a 6,5 (HORIBA, 2017). Las cifras registradas en el ensayo fueron inferiores al nivel óptimo, mismos que oscilan de 5,25 a 5,45 unidades. Las plantas con pH bajo se vuelven sensibles al ataque de insectos, ácaros y expresan deficiencia de Ca y Mg, esto puede explicar los bajos niveles de Ca en el peciolo.

La conductividad eléctrica (Ce), fue el único parámetro que mostró diferencias en la interacción, siendo los tratamientos 2, 5 y 7 los que registraron las medias más elevadas, con 7,90, 7,75 y 8,44 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabla 10). Los valores de Ce registrados en el estudio son superiores al rango óptimo de 2 a 4 dS m<sup>-1</sup>, esto puede ser atribuible a las concentraciones de sodio, que si bien, es preferible que se encuentren por debajo de 50 ppm, los valores de alcanzados en la investigación pudieron provocar el incremento en la Ce. Por tanto, los hallazgos sugieren que las plantas pudieron experimentar estrés osmótico, lo que, además, podría haber limitado la absorción de nutrientes, afectando la producción de azúcares (°Brix) y comprometiendo, en general, la salud de las plantas.

Guato y Pacheco (2022) reportan resultados similares para el °Brix y pH, al evaluar el efecto de la fertilización sobre los parámetros nutricionales del extracto celular del peciolo, determinando medias que oscilan entre 2,45 y 2,60, respectivamente. Para la CE, el mismo autor obtuvo resultados superiores con 11,62 dS m<sup>-1</sup>.

Las cifras para el contenido de Ca fueron inferior al nivel de referencia (300 a 600 mg L<sup>-1</sup>) en todos los tratamientos y fluctuaron de 12 a 35,38 mg L<sup>-1</sup>. Se descarta un posible efecto del pH del suelo, el cual se mantuvo superior a 8, lo que garantizó la mayor disponibilidad de este elemento (Osorio, 2012). La baja absorción de calcio se debe a la influencia del clima, donde los bajos niveles del DPV limitó la transpiración en las plantas (Cervantes et al., 2013). En respuesta al bajo DPV las plantas disminuyen la asimilación de Ca ya que este elemento que se mueve con la corriente transpiratoria (Salas et al., 2020). El Ca al ser considerado un elemento poco móvil dentro de la planta, es afectada por la baja transpiración, donde el 71 % ingresa por la raíz mediante flujo de masas (Vidal, 2019).

Con relación al K, los niveles óptimos bordean los 4000 a 5000 mg L<sup>-1</sup>. En la investigación los valores se encontraron cercano al rango adecuado, mismo que fluctuaron de 3737 mg L<sup>-1</sup> en el T5 a 5393 mg L<sup>-1</sup> en el T2. Es probable que el clima no haya afectado de forma severa la asimilación de K, esto se debe a que 79 % de este elemento ingresa a la planta a través de la difusión, una vez ingresado, la movilidad relativa es del 90 % (Vidal, 2019).

En estudios realizados por Oliveira et al. (2007), al evaluar la composición química de diversas partes de la planta de banano de variedad Cavendish, determinaron que la concentración de Ca y K en el pecíolo de la hoja fue de 32,3 y 9,4 %, respectivamente. Bhargava y Reddy, (1992) afirman que el contenido de Ca en el pecíolo de la hoja varía entre 0,49 y 2,67 %, y el de potasio entre 2,35 y 6,52%.

El contenido óptimo de nitrato en banano bordea los 600 a 1000 mg L<sup>-1</sup>. En el estudio los valores se encontraron por debajo del límite inferior y fluctuaron de 277 a 452 mg L<sup>-1</sup>. Es posible que este nutriente también haya sido afectado por los bajos niveles en el DPV, esto se debe a que es un elemento donde el 94 % se mueve e ingresa a la planta mediante flujo de masas (Vidal, 2019). Por tanto, la disminución de la tasa de transpiración pudo afectar la movilidad de este elemento, además, forma parte de compuestos orgánicos como la clorofila, por tanto, la deficiencia de éste, pudo provocar la baja intensidad de la clorofila en el control (Tabla 6). El pH del suelo es otro factor que pudo restringir la asimilación del nitrógeno, ya que su disponibilidad comienza a decaer a partir 8 unidades (Osorio, 2012).

En resumen, los bajos niveles nutricional encontrados en el extracto del peciolo sugieren que la planta experimentó condiciones de estrés nutricional. Este problema se relaciona con las condiciones climáticas en el momento del muestreo, donde a partir de la semana 23 a 30 se



registraron bajas temperaturas, alta humedad relativa, niveles bajos de radiación y déficit de presión de vapor (Figuras 2, 3 y 4). Estas condiciones limitaron la transpiración, tasa fotosintética, la síntesis de fotoasimilados, el flujo de savia y traslocación de nutrientes (Beluzán, 2013; Raza et al., 2022).

Con relación al sodio, fue favorable que se mantuviera por debajo de 50 mg L<sup>-1</sup>, no optante, los niveles registrados en el estudio pudieron provocar el incremento en la CE (Tabla 10).

**Tabla 10. Efectos de la aplicación de Ca y Si sobre el contenido de nutrientes en el peciolo.**

Tratamiento	Factor		°Brix	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	CE $\psi$
	Si	Ca							
	mg L <sup>-1</sup>		%		mg L <sup>-1</sup>			Unidad	dS/m
1	0	0	2,36 a	3799,91 a	26,46 a	22,50 a	378,75 a	5,25 a	7,09 bc
2	0	1042,8	2,58 a	5393,13 a	21,38 a	25,22 a	326,27 a	5,30 a	7,90 ab
3	0	2085,7	2,33 a	4200,00 a	25,75 a	22,50 a	327,50 a	5,34 a	7,28 bc
4	248,8	0	2,60 a	4150,00 a	12,00 a	26,75 a	438,75 a	5,38 a	7,47 bc
5	248,8	1042,8	2,55 a	3737,50 a	33,25 a	23,13 a	332,71 a	5,29 a	7,75 ab
6	248,8	2085,7	2,40 a	4612,50 a	35,38 a	23,63 a	277,50 a	5,38 a	7,10 bc
7	497,7	0	2,38 a	3862,50 a	17,94 a	24,00 a	452,50 a	5,35 a	8,44 a
8	497,7	1042,8	2,43 a	3975,00 a	33,75 a	23,88 a	307,50 a	5,45 a	6,75 c
9	497,7	2085,7	2,78 a	4225,00 a	26,00 a	24,13 a	368,75 a	5,30 a	7,44 bc
	<b>p-valor</b>		0,2813	0,1745	0,5503	0,3936	0,7087	0,467	0,0059
	<b>CV</b>		18,99	30,72	60,06	18,96	22,23	3,94	12,49
	<b>Si</b>		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	<b>Ca</b>		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	<b>Si x Ca</b>		ns	ns	ns	ns	ns	ns	*

ns = no significativo, \* = diferencia significativa, CV= coeficiente de variación,  $\psi$  = variable evaluada bajo modelo lineal general y mixto (Prueba LSD Fisher).

## 7. Conclusiones

La aplicación en drench con Si a una dosis de  $248,8 \text{ mg L}^{-1}$ , mejoró el crecimiento inicial con relación a las variables altura, diámetro de pseudotallo y ritmo de emisión foliar en planta madre e hija. Además, estimuló el desarrollo radical, lo que produjo un mayor porcentaje de raíz viva, intensidad de la clorofila y optimizó la edad a floración en el cultivar de banano ‘Williams Cavendish’, cultivado en Chanduy, Santa Elena, Ecuador.

A nivel de suelo, no se hallaron variaciones significativas en la disponibilidad de nutrientes y pH. No obstante, el contenido de elemento disponible mejora conforme se aumenta la dosis de Si. Con relación a la concentración de nutrientes en el jugo de extracto de peciolo de la hoja, no se reflejó efecto de la aplicación de Ca y Si.

Las variaciones climáticas presentes en la zona de estudio influyeron negativamente sobre las variables medidas en el peciolo de la hoja y crecimiento de la planta. No obstante, fue positivo que los tratamientos con Si a una dosis de  $248,8 \text{ mg L}^{-1}$ , pudieron atenuar el estrés climático con relación al control.

## **8. Recomendaciones**

Es aconsejable utilizar Si en el cultivo de banano, lo hallazgos registrados en la presente investigación sugieren un beneficio sobre la producción de raíces y desarrollo vegetativo de la planta. Además, proporciona mayor resistencia frente a las variaciones climáticas.

Desarrollar investigaciones para determinar la demanda de silicio en el cultivo de banano.

## 9. Bibliografía

- Ajila, J. P. L., Aguilar, M. A. E., Romero, H. R. C., y Campoverde, J. Q. (2023). Análisis de la producción y comercialización de banano en la provincia de El Oro en el periodo 2018-2022. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), Article 1. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v7i1.4981](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4981)
- Alvarado, D., Aguilar, L., Cepeda, J., Rubí, M., y Pineda, J. (2021). Aplicación fraccionada de fertilizantes vía fertirriego y la eficiencia del nitrógeno, fósforo y potasio en calabacita: Aplicación fraccionada en calabacita. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 7(1), Article 1.
- Araújo, J. J. D., Mendonça, V., Pereira, M. F. S., and Souza, M. D. F. (2018). Agronomic characteristics of the pacovan organic banana in irrigation systems in the açu-rn Valley. *Revista Caatinga*, 31(2), 370-378. <https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n213rc>
- Arthi, V., Sriramachandrasekharan, M. V., Manivannan, R., and Shakila, A. (2020). Effect of Silicon Fertilization on Agro-Morphological Traits of Grand Naine Banana Grown in Typic Ustifluent Soil. *International Journal of Plant & Soil Science*, 39(19), 38-46. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2020/v32i1930395>
- Avellán, L., Cobeña, N., Estévez, S., Zamora, P., Vivas, J., González, I., y Sánchez, A. (2020). Exportación y eficiencia del uso de fósforo en plátano ‘barraganete’ (*Musa paradisiaca* L.). *Revista fitotecnia mexicana*, 43(1), 25-33. <https://doi.org/10.35196/rfm.2020.1.25>
- Ayala, F., Zatarain, D., Valenzuela, M., Partida, L., Velázquez, T. de J., Díaz, T., y Osuna, J. (2011). Crecimiento y rendimiento de tomate en respuesta a radiación solar transmitida por mallas sombra. *Terra Latinoamericana*, 29(4), 403-410.
- Balmaseda, C., y Ponce de León, D. (2019). Características de los suelos del centro de producción y prácticas Río Verde, Santa Elena, Ecuador. *Journal of Science and Research: Revista Ciencia e Investigación*, 4(3), 18-26.
- Bataller, V. (2014). El calcio y su asimilación por parte de las plantas. *Cannabis Magazine: La revista de los profesionales y amantes del cáñamo*, 1(125), 58-63.
- Beluzán, F. (2013). *Déficit de Presión de Vapor (DPV) y factores microclimáticos como herramientas de pronóstico de Botrytis cinerea Pers. Ex Fr., EN Lactuca sativa L. bajo invernadero* (pp. 1-113) [Tesis de maestría]. Universidad Austral de Chile. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2013/egb453d/doc/egb453d.pdf>
- Bernal, M., y Cabrales, E. (2022). Respuesta del banano clon Valery en alta densidad a la inoculación con micorrizas y fósforo en Apartadó—Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica*, 25(2), 1-9. <https://doi.org/10.31910/rudca.v25.n2.2022.1659>
- Bhargava, B. S., and Reddy, B. M. C. (1992). Selection of index tissue in banana for nutritional diagnosis. *Indian Journal of Horticulture*, 49(2), 120-126.

- Bhat, K., Mahajan, R., Pakhtoon, M., Urwat, U., Bashir, Z., Shah, A., Agrawal, A., Bhat, B., Sofi, P., Masi, A., y Zargar, S. (2022). Low Temperature Stress Tolerance: An Insight Into the Omics Approaches for Legume Crops. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1-18. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.888710>
- Borda, O., y Barón, F. (2007). El silicio como elemento benéfico en avena forrajera (*Avena sativa* L.): Respuestas fisiológicas de crecimiento y manejo. *Agronomía Colombiana*, 25(2), 273-279.
- Bouzo, C., y Cortez, S. (2012). Efecto de la aplicación foliar de calcio sobre algunos atributos de calidad en frutos de melón. *Revista de investigaciones agropecuarias*, 38(3), 257-262.
- Brenes, S. (2017). Parámetros de producción y calidad de los cultivares de banano FHIA-17, FHIA-25 y Yangambi. *Agronomía Mesoamericana*, 28(3), 719. <https://doi.org/10.15517/ma.v28i3.21902>
- Buchelt, A., Teixeira, G., Oliveira, K., Rocha, A., Prado, R., and Caione, G. (2020). Silicon Contribution Via Nutrient Solution in Forage Plants to Mitigate Nitrogen, Potassium, Calcium, Magnesium, and Sulfur Deficiency. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20, 1-17. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00245-7>
- Caicedo, O., Balmaseda, C., y Proaño, J. (2015). Evaluación hidráulica del riego por aspersión subfoliar en banano (*Musa paradisiaca*) en la finca San José 2, provincia Los Ríos, Ecuador. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(1), 38-43.
- Campos, J., Álvarez, M., Maldonado, R., y Vargas, A. (2020). Aplicación de abonos orgánicos en el rendimiento y desarrollo radicular en el cultivo de aguacate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(2), 263-274. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i2.2301>
- Carter, M., and Gregorich, E. (Eds.). (2001). *Soil sampling and methods of analysis* (Segunda edición). Canadian Society of Soil Science; CRC Press.
- Castillo, A., Hernández, M., García, E., Pineda, J., Valdéz, L., y Torres, T. (2011). Extracción de macronutrientes en banano 'Dominico' (*Musa spp.*). *Pyton*, 80(1), 65-72.
- Cáñez, L., Partida, L., Velázquez, T., Ayala, F., Díaz, T., Yáñez, M., y López, C. (2022). Silicio y cloro en el crecimiento, rendimiento y calidad postcosecha de pepino y tomate. *Terra Latinoamericana*, 40, 1-11. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.994>
- Cedeño, J., Vera, D., Cabezas, F., y Tubay, J. (2021). Resiliencia de dos sistemas de producción de musáceas en dos zonas del trópico ecuatoriano. *Revista Ciencia y Tecnología*, 14(2), 17-26.
- Cervantes, R., Arteaga, R., Vázquez, M. A., Ojeda, W., y Quevedo, A. (2013). Comparación de modelos para estimar la presión real de vapor de agua. *Tecnología y ciencias del agua*, 4(2), 37-54.
- da Silva, D., de Mello Prado, R., Tenesaca, L., da Silva, J., and Mattiuz, B. (2021). Silicon attenuates calcium deficiency by increasing ascorbic acid content, growth and quality of cabbage leaves. *Scientific Reports*, 11(1), 1770. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80934-6>

- de Mello, R. (2023). *Benefits of silicon in the nutrition of plants* (Primera edición). São Paulo State University Jaboticaba. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-26673-7>
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, M., y Robledo, C. (2020). *Infostat—Software estadístico*. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <https://www.infostat.com.ar/>
- Díaz, A., Cayón, G., y Mira, J. (2007). Metabolismo del calcio y su relación con la «mancha de madurez» del fruto de banano. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 25(2), 280-287.
- Domingues, J., Mesczezen, A., Silva, C., da-Conceição, M. P., Eduardo-Rozane, D., y Nardini, E. (2022). Arrepolamiento de banano asociado a variaciones climáticas y nutricionales. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(3), 393-405. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i3.2918>
- Escamirosa, C., Gúzman, D., y Langlé, L. (2017). Efecto del déficit de presión de vapor en el crecimiento de plantas de agave potatorum zucc. Bajo ambiente controlado y en campo. *Universidad y ciencia*, 6(0), 18-26.
- Faiq, H., Bibi, N., Zia, Z., Abbas, S., Hammad, H., Fahad, S., Muhammad, R., Ghulam, M., Rabbani, F., and Saeed, S. (2018). Silicon mitigates biotic stresses in crop plants: A review. *Crop Protection*, 104, 21-34. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.10.008>
- FAO. (2006). *Evapotranspiración del cultivo*. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/8802ddc9-86b6-4f13-96b7-4871dd3aee65/content>
- FAO. (2017). *El futuro de la alimentación y la agricultura, tendencias y desafíos*. <https://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/229357/>
- Ferraz, R., Beltrão, N., Melo, A., Magalhães, I. D., Fernandes, P., and Rocha, M. (2014). Trocas gasosas e eficiência fotoquímica de cultivares de algodoeiro herbáceo sob aplicação de silício foliar. *Semina: Ciências Agrárias*, 35(2), 735. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n2p735>
- Fischer, G., Miranda, D., Magnitskiy, S., Balaguera, H. E., y Molano, Z. (Eds.). (2021). *Avances de la horticultura y la mejora en la calidad de vida* (Primera edición). Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas. <https://doi.org/10.17584/VIIHorticultura>
- Flores, E., Sandoval, M., Guzmán, M., Espinosa, M., Vázquez, M., y Sabino, J. (2021). Estado nutricional en el extracto celular de pecíolo y hojas de genotipos de jamaica. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(2), 1-10. <https://doi.org/10.19136/era.a8nII.2928>
- Galiltec. (2023). *Banana Williams*. Banana. <https://galiltec.com/es/plants/banana>
- García, A. (2011). *Manual de muestreo de suelo, agua y planta*. Fertilab. <https://www.fertilab.com.mx/new/files/Manual-de-Muestreo-4ta-Edicion.pdf>
- García, J., Marcillo, A., y Palacios, C. (2019). Amenazas de las manchas foliares de Sigatoka, *Mycosphaerella* spp., en la producción sostenible de banano en el Ecuador. *Revista Verde de Agroecología e Desenvolvimento Sustentável*, 14(5), 591-596.

Girón, Y., Guerrero, J., y Cervantes, A. (2022). Evaluación de Estimulantes Radiculares en el Cultivo de Banano (*Musa x Paradisiaca*). *Revista Científica Agroecosistemas*, 10(2), 148-157.

Gómez, M., Magnitskiy, S., and Rodríguez, L. (2017). Diagnostics of K<sup>+</sup> and NO<sub>3</sub><sup>-</sup> in sap to determine nutritional status in potato (*Solanum tuberosum* L. subsp. *Andigena*). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(1), 133-142. <https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.6132>

González, L. C., and Prado, R. (2015a). El silicio en la resistencia de los cultivos a las plagas agrícolas. *INCA*, 36, 16-24.

González, L. C., y Prado, R. (2015b). Revisión bibliográfica: El silicio en la resistencia de los cultivos a las plagas agrícolas. *Cultivos Tropicales*, 36(1), 16-24.

González, M., Ríos, D., Peña Rojas, K., García, E., Acevedo, M., Cartes, E., y Sánchez Olate, M. (2020). Efecto de la concentración de fósforo y calcio sobre atributos morfo-fisiológicos y potencial de crecimiento radical en plantas de *Aextoxicon punctatum* producidas a raíz cubierta en la etapa de endurecimiento. *Bosque (Valdivia)*, 41(2), 137-146. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002020000200137>

Greger, M., Landberg, T., and Vaculík, M. (2018). Silicon Influences Soil Availability and Accumulation of Mineral Nutrients in Various Plant Species. *Plants*, 7(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/plants7020041>

Guato, A. (2022). *Establecimiento de parámetros nutricionales con la técnica de extracto celular de peciolo (ECP) bajo influencia de fertilizantes en el cultivo de banano* [Tesis de grado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ)]. <https://scholar.google.com/scholar?cluster=10808220455989528865&hl=en&oi=scholar>

Guato, A., y Pacheco, F. (2022). *Declaración de auditoría y cesión de derechos* (pp. 1-84) [Tesis de grado]. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/1c71077b-26a1-4626-bb37-86970ece4ed4/content>

Guerrero, J., Pontón, A., Guncay, I., y Batista, R. (2019). Evaluación de la aplicación de fertilizante al pseudotallo de plantas cosechadas de banano (*Musa x paradisiaca* L.) Y su efecto en la velocidad de crecimiento del hijo retorno. *Revista Científica Agroecosistemas*, 7(2), Article 2.

Gutiérrez, J., y Fitz, E. (2020). *Control del déficit de presión de vapor (dpvc) en cultivos de invernadero con sistemas de nebulización* [Tesis doctoral, Universidad Autónoma Chapingo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12098/974>

Hanumanthaiyah, M. R., Renuka, D. M., Vijendrakumar, R. C., Santhosha, K. V., and Kumar, K. K. (2015). Effect of soil and foliar application of silicon on physical character, nutrient content of soil and leaf lamina of banana cv. neypoovan under hill zone. *Plant Archives*, 15(1), . 447-450.

Helaly, M. N., and El-Hoseiny, H. A. R. (2017). Effects of Silicon and Yeast Extract on Growth, Flowering and Yield of Banana (*Musa cavendishii* L.). *Journal of Plant Production*, 8(4), 549-554. <https://doi.org/10.21608/jpp.2017.40068>

Heredia, R., y Moreno, A. (2021). *Estimulación temprana en plántulas de banano (musa × paradisiaca) clon williams con diferentes dosis de algas marinas granuladas aplicadas edáficamente*. [Tesis de grado]. Universidad Técnica de Machala. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/17475>

Holguin, H., Guerrero, J., y Batista, R. (2023). Efecto de la fertilización inyectada y diferentes dosis de enraizantes en el cultivo de banano. *Revista Científica Agroecosistemas*, 11(1), 84-90.

HORIBA. (2017). *Measurement of pH in Plant Tissue*. Laqua Horiba. <https://www.horiba.com/int/water-quality/applications/agriculture-crop-science/measurement-of-ph-in-plant-tissue/>

INEC. (2023). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC)*. Intituto Nacional de Estadísticas y Censos. [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_agropecuarias/espac/2023/Boletin\\_tecnico\\_ESPAC\\_2023.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/2023/Boletin_tecnico_ESPAC_2023.pdf)

Izquierdo, M., y Armas, M. (2018). Propuesta de un protocolo de fertilización como una estrategia para el control de nematodos en el cultivo de banano. *Revista Científica Ciencias Naturales y Ambiente*, 12(1), 31-42.

Jaramillo, S. (2020). Guía de diagnóstico de la calidad y salud de suelos bananeros. *Agrocalidad*, 1, 1-94.

Juárez, E., y Castillo, P. (2024). Efecto del silicio en el rendimiento de banano (*Musa spp.*) y control de sigatoka negra. *Manglar*, 21(2), 237-245. <https://doi.org/10.57188/manglar.2024.025>

Lahav, E., and Turner, D. (1989). Fertilising for high yield banana. *Bern, Switzerland: Intl. Potash Institute*, 62.

Legua, J., Alvarado, C., Cruz, D., y Espinoza, F. (2019). Efecto de dosis de calcio, para el rendimiento de cultivo de vainita (*Phaseolus vulgaris*). *Aporte Santiaguino*, 12(1), 45-58.

Lima, A., Natale, W., Deus, J., and Rozane, D. (2024). Establishment of critical nutrient levels in the soil and leaf of 'Prata' banana using the boundary line. *Scientia Horticulturae*, 328, 112923. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.112923>

Lino, J., Balmaseda, C., y Ponce De León, D. (2019). Comportamiento espacial y temporal de la salinidad de suelos del Centro de Apoyo Manglaralto UPSE. *Killkana Técnica*, 3(3). [https://doi.org/10.26871/killkana\\_tecnica.v3i3.571](https://doi.org/10.26871/killkana_tecnica.v3i3.571)

MAG. (2023). *Boletín Situacional Banano 2023*. Ministerio de agricultura y ganadería. <https://online.fliphtml5.com/ijia/jvqd/>



Martínez, A., y Gerardo, D. (2011). Dinámica del Crecimiento y Desarrollo del Banano (MusaAAA Simmonds cvs. Gran Enano y Valery). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 64(2), 6055-6064.

Mayorga, M. A., Flores, L. R., Mejía, A. L., y Quimi, C. Q. (2022). Efecto del distanciamiento de siembra en la productividad del banano (*Musa acuminata*) Santa Elena – Ecuador. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, 4(5), Article 5.

Medina, M., Ramirez, E., Morán, H., Ramírez, Y., Rodríguez, M., y Martínez, T. (2024). La Importancia de los Sistemas de Riego para el Uso Eficiente del Agua en la Agricultura. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(4), Article 4. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i4.12587](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.12587)

Mejía, D., Villaseñor, D., Delgado, I., Romero, Á., y Barrezueta, S. (2023). Efecto de la estimulación radical sobre variables productivas del cultivo de banano. *Ab intus FAV-UNRC*, 1(11), 1-13.

Mello, P. (2021). *Mineral nutrition of tropical plants* (Primera edición). São Paulo State University. <https://www.wellesu.com/https://doi.org/10.1007/978-3-030-71262-4>

Montero, J. (2022). Relación de la radiación solar con la producción de plantas: Agroproductivas. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 9(1), 48-62. <https://doi.org/10.53287/oqym7033yy88k>

Nyombi, K. (2020). Diagnóstico y manejo de las limitaciones de nutrientes en banano (*Musa* spp.). *Fruit Crops*, 651-659. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818732-6.00044-7>

Olivares, L., y Sánchez, G. (2024). Lineamientos generales para la clasificación climática de Köppen-Geiger del continente americano en los siglos XVI y XVII. *Revista de Historia de América*, 167, Article 167. <https://doi.org/10.35424/rha.167.2024.4715>

Oliveira, L., Cordeiro, N., Evtuguin, D. V., Torres, I. C., and Silvestre, A. J. D. (2007). Chemical composition of different morphological parts from ‘Dwarf Cavendish’ banana plant and their potential as a non-wood renewable source of natural products. *Industrial Crops and Products*, 26(2), 163-172. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2007.03.002>

Orozco, M., Orozco, J., Pérez, O., Manzo, G., Farías, J., y Moraes, W. (2008). Prácticas culturales para el manejo de la Sigatoka negra en bananos y plátanos. *Tropical Plant Pathology*, 33(3), 189-196. <https://doi.org/10.1590/S1982-56762008000300003>

Osorio, N. (2012). pH del suelo y disponibilidad de nutrientes. *Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal*, 1(4), 1-4.

Panchal, R., Patil, S., and Chawla, S. (2020). *Effect of foliar application of silicon on leaf nutrient content and flowering of banana (Musa paradisiaca L.) cv. Grand Nain Panchal RK, Patil SJ, Chawla SL, Tandel BM and Gaikwad SS*. 8(6), 2163-2164. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i6ae.11093>

Pereira, D., Silva, I., Martins, W., Muraishi, C., Santos, G., Dourado, D., Oliveira, A., Carvalho, L., Mendes, W., and Sobrinho, C. (2022). Efeito do silício na redução da severidade da brusone na cultura do arroz: Uma revisão bibliográfica. *Research, Society and Development*, 11(16), Article 16. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i16.37730>

Pérez, G. (2021). Efecto del método de aplicación del fertilizante químico en la productividad del cultivo de café (*Coffea arábica*). *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 5(3), Article 3. <https://doi.org/10.25127/aps.20213.813>

Quintana, M., Torres, L., Parrales, Y., Contreras, C., y Contreras, S. M. V. (2024). Efecto de la aplicación de ácido giberélico, microorganismos nativos, trichoderma sp. Y melaza en el cultivo de banano (*musa x paradisiaca* l). *Conocimiento global*, 9(2), Article 2.

Rajput, V., Minkina, T., Feizi, M., Kumari, A., Khan, M., Mandzhieva, S., Sushkova, S., El-Ramady, H., Verma, K., Singh, A., Hullebusch, E., Singh, R., Jatav, H., and Choudhary, R. (2021). Effects of Silicon and Silicon-Based Nanoparticles on Rhizosphere Microbiome, Plant Stress and Growth. *Biology*, 10(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/biology10080791>

Ramirez, J., Jarvis, A., Van den Bergh, I., Staver, C., and Turner, D. (2011). Changing Climates: Effects on Growing Conditions for Banana and Plantain (*Musa* spp.) and Possible Responses. En *Crop Adaptation to Climate Change* (pp. 426-438). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470960929.ch29>

Raya, J., y Aguirre, C. (2012). El papel del silicio en los organismos y ecosistemas. *ConCiencia Tecnológica*, 43, 42-46.

Raza, A., Charagh, S., García, P., Rahman, M. A., Ogwugwa, V. H., Saeed, F., and Jin, W. (2022). Melatonin-mediated temperature stress tolerance in plants. *GM Crops y Food*, 13(1), 196-217. <https://doi.org/10.1080/21645698.2022.2106111>

Rodrigues, A., y Fernandes, D. (2020). Efeito do silício na redução da disponibilidade de elementos tóxicos no solo: uma revisão. *sociedade 5.0:educação,ciência,tecnologia e amor. v congresso internacional das ciências agrárias, Brasil*. <https://doi.org/10.31692/2526-7701.VCOINTERPDVAgro.0062>

Rodríguez, C., Cayón, G., ay Mira, J. (2006). Influencia del seudotallo de la planta madre cosechada sobre el crecimiento y producción del hijo de sucesión en banano (*Musa AAA Simmonds*). *Agronomía Colombiana*, 24(2), 274-279.

Sahu, J., Bahadur, V., Topno, S. E., and Naveen, K. (2023). Effect of Different Levels of Calcium & Magnesium on Production and Quality of Banana (*Musa paradisiaca* L.) cv. Grand Naine. *International Journal of Plant & Soil Science*, 35(16), 426-435. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i163170>

Salas, R., Valdez, L., Alvarado, D., Rascón, E., Peña, F., y González, J. (2020). Balance potasio:calcio, relación con el déficit de presión de vapor y la radiación fotosintéticamente activa en tomate de invernadero. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 38(2), 301-311. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.589>

Salau, O., Momoh, M., Olaleye, O., and Owoeye, R. (2016). Effects of Changes in Temperature, Rainfall and Relative Humidity on Banana Production in Ondo State, Nigeria. *World Scientific News*, 44, 143-154.

Sanmartín, J., Cuenca, A., Luna, Á., Jaramillo, E., y Villaseñor, D. (2023). Efecto nutricional foliar de silicio para el cultivo de banano (musa spp.) en Ecuador. *Agronomía costarricense: Revista de ciencias agrícolas*, 47(2), 47-56.

Santacruz de León, G., y Santacruz de León, E. E. (2020). Evaluación del desempeño del riego por aspersión en lotes con cultivo de banana en Chiapas, México. *Siembra*, 7(2), 1-13. <https://doi.org/10.29166/siembra.v7i2.1712>

Santos, L., Silva, G., Abranches, M. de O., Rocha, J., Silva, S., Ribeiro, M., Gomes, V., Severo, P., Brilhante, C., and Sousa, F. (2021). O papel do silício nas plantas. *Research, Society and Development*, 10(7), Article 7. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i7.16247>

Santos, T., Chávez, C., Rosales, M., Mejía, J., Parra, J., Chang, J., Rudamas, C., Andino, A., Bolaños, E., Tinoco, H., and Araya, M. (2024). Heat Wave Impacts on Incidence of Deformed Banana (Musa AAA) Bunches in Ecuador, Possible Causes and Mitigation Options: A Case Study. *Agriculture and Life Sciences*, 4(4), 1-11. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.11090456>

Savvas, D., Giotis, D., Chatzieustratiou, E., Bakea, M., and Patakioutas, G. (2009). Silicon supply in soilless cultivations of zucchini alleviates stress induced by salinity and powdery mildew infections. *Environmental and Experimental Botany*, 65(1), 11-17. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2008.07.004>

Swaef, T., and Steppe, K. (2010). Linking stem diameter variations to sap flow, turgor and water potential in tomato. *Functional Plant Biology*, 37, 429-438. <https://doi.org/10.1071/FP09233>

Topcuoglu, B. (2021). *Recent Advances in Plant Nutrition* [Ponencia de conferencia]. [https://www.researchgate.net/publication/352401920\\_C04212007\\_Recent\\_Advances\\_in\\_Plant\\_Nutrition\\_CBEE-21](https://www.researchgate.net/publication/352401920_C04212007_Recent_Advances_in_Plant_Nutrition_CBEE-21)

Torres, J., Ramos, R., Reyes, J., Quinatoa, E., y Rivas, T. (2024). Silicio como bioestimulante en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) y agente de control biológico de *Moniliophthora roreri*. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 42, 1-11. <https://doi.org/10.28940/terra.v42i0.1817>

Torres, P., Segura, R., Sandoval, J., Ortega, R., y Samuels, J. (2019). Manejo de la sanidad radical del cultivo del banano mediante rizoestimulantes microbianos, enmiendas orgánicas y minerales Relación Suelo-Planta/ Nota Técnica. *Revista Corbana*, 45(65), 83-92.

Urrestarazu, M. (2015). *Manual práctico del cultivo sin suelo e hidroponía* (1.<sup>a</sup> ed., Vol. 1). Mundiprensa. <https://www.mundiprensa.com/catalogo/9788484766681/manual-practico-del-cultivo-sin-suelo-e-hidroponia>

Valverde, E., García, R., Moreno, A., y Socorro, A. (2019). Nutricionales eficientes en banano orgánico en la provincia EL ORO, ECUADOR. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 2(1), 151-159.

Vargas, A., Watler, W., Morales, M., y Vignola, R. (2017). *Ficha técnica, cultivo de banano*. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-8205.pdf>

Varma, V., and Bebbber, D. (2019). Climate change impacts on banana yields around the world. *Nature Climate Change*, 9(10), 752-757. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0559-9>

Vera, I., Jara, J., y Carriles. (2024). Recubrimiento de pectina y un híbrido de hidroxilaminar de zinc con limoneno para extender la vida de anaquel de fresas. *INGENIERÍA: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 11(1), Article 1. <https://doi.org/10.26495/x8vgh660>

Verma, K., Song, X., Tian, D., Guo, D., Chen, Z., Zhong, C., Nikpay, A., Singh, M., Rajput, V., Singh, R., Minkina, T., and Li, Y. (2021). Influence of Silicon on Biocontrol Strategies to Manage Biotic Stress for Crop Protection, Performance, and Improvement. *Plants*, 10(10), 2141-2163. <https://doi.org/10.3390/plants10102163>

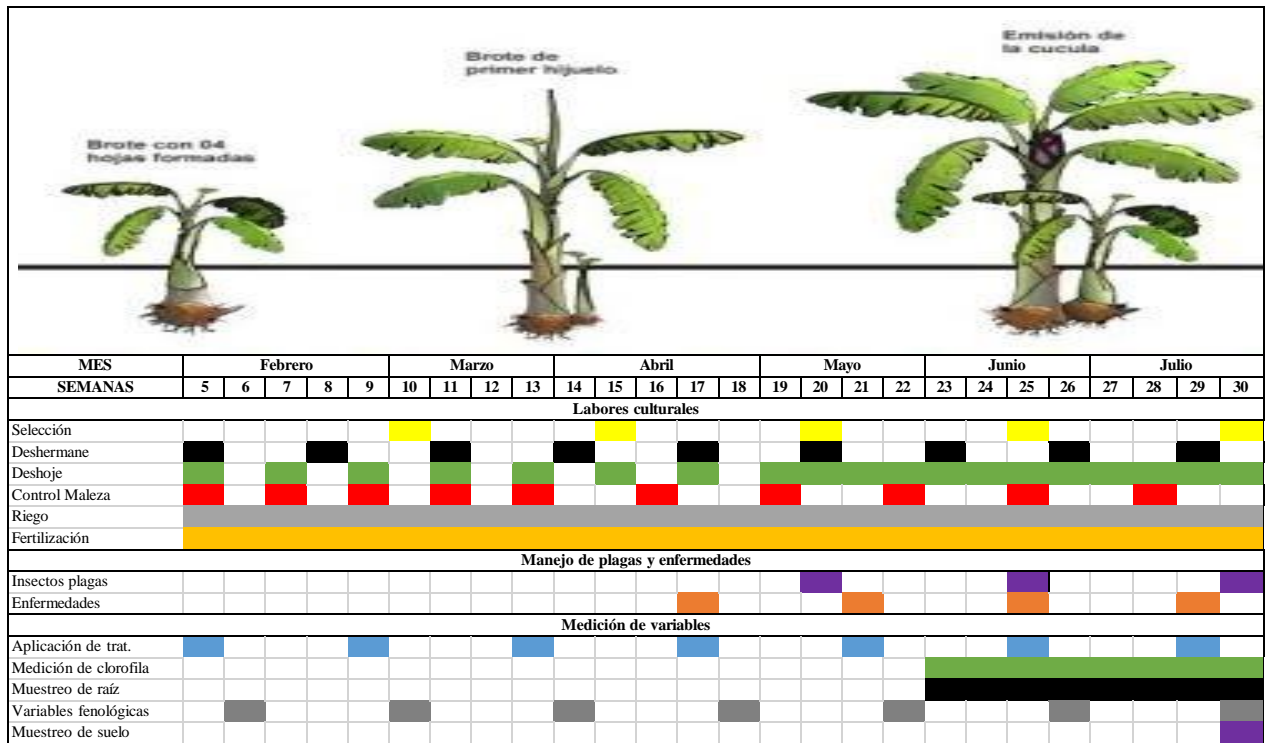
Vidal, I. (2019). *Fertirrigación de la teoría a la práctica* (Primera edición, Vol. 1). Universidad de concepción. <https://irriifer.cl/wp-content/uploads/2021/08/Fertirrigacion-de-la-teoria-a-la-practica.pdf>

Vijayan, A., Sriramachandrasekharan, M., Manivannan, R., and Shakila, A. (2021). Effect of Silicon through Potassium Silicate on Yield, Nutrient Uptake and Quality of Grand Naine Banana. *Asian Journal of Agriculture and Food Sciences*, 9(3), Article 3. <https://doi.org/10.24203/ajafs.v9i3.6639>

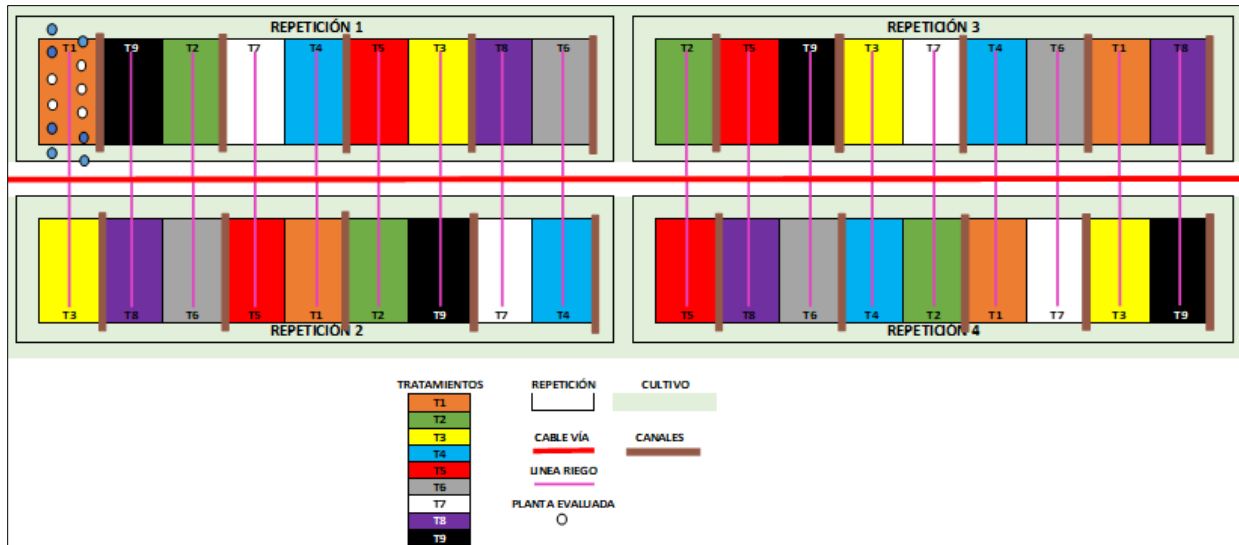
Vinueza, W., Reyes, R., Cascante, G., Galarza, J., y Chalco, I. (2024). *Estudio regional de perfiles de suelos de la costa* (Primera edición). Instituto geográfico militar.

## 10. Anexos

### Anexo 1. Manejo del experimento.



### Anexo 2. Distribución de tratamientos.



**Anexo 3.** Evaluación de variables de crecimiento a las 10 SDT.



**Anexo 4.** Evaluación de variables de crecimiento a las 14 SDT.



**Anexo 5.** Evaluación de variables de crecimientos a las 22 SDT.



**Anexo 6.** Muestreo de raíces.



**Anexo 7. Clasificación de raíces.**



**Anexo 8. Triturado y tamizado de muestras de suelo.**





Anexo 9. Análisis de nutrientes mediante equipo Imacimus 10.



Anexo 10. Análisis de nutriente del jugo de extracto de peciolo.



## CERTIFICACIÓN DE TRADUCCIÓN

Doctora.  
Erika Lucía González Carrión, Ph.D.

### CERTIFICO:

Yo, Doctora Erika Lucía González Carrión, Ph.D., con cédula de ciudadanía 1105820953, en mi calidad de traductora del idioma Inglés, con capacidades que pueden ser probadas a través de los siguientes documentos acreditativos:

1. **TÍTULO DE LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA EDUCACION MENCION IDIOMA INGLES**, Registro SENESCYT Nro. 1008-16-1457913 (Anexo 1 documento SENESCYT):  
<https://drive.google.com/file/d/1TrRikB37XkDSSXRhIsZDh4FhWbyLYkFz/view?usp=sharing>
2. **CERTIFICADO DE PROFICIENCIA DEL IDIOMA INGLES** (Anexo 2 documento):  
<https://drive.google.com/file/d/1cNGWVEFjYH1E4eoHVDHGDkmLFEIIUYAT/view?usp=sharing>
3. **CERTIFICADO INGLÉS NIVEL B2** (Anexo 3):  
<https://drive.google.com/file/d/1i9QP22MCNrRMkflrKPO54003zE92tfMu/view?usp=sharing>
4. **ACCESO A REVISTA COMUNICAR- BLOG ESCUELA DE AUTORES:**  
<https://www.grupocomunicar.com/wp/school-of-authors/>  
(Al acceder en el enlace al blog, se podrá evidenciar la traducción realizada por quien certifica de cada entrada. Para mayor referencia observar la captura de pantalla adjunta ANEXO 4 :  
[https://drive.google.com/file/d/1UjPj\\_R1ciRBxeW8UwNUHuNxICOXC1r2f/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1UjPj_R1ciRBxeW8UwNUHuNxICOXC1r2f/view?usp=sharing)

Con fundamento en la citada experiencia, numerales 1 al 4, **C E R T I F I C O** que la traducción del Resumen (Abstract) del Trabajo de Titulación denominado: **Efecto de la aplicación de Ca y Si en el desarrollo radicular y el crecimiento inicial del cultivo de banano en Chanduy, Santa Elena, Ecuador**, de autoría del estudiante: **Héctor Alexis Méndez Tomalá** con CI: **2400207573**, es correcta y completa, según las normas internacionales de traducción de textos.

Es cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado, **Héctor Alexis Méndez Tomalá**, hacer uso legal del presente, según estime conveniente.

Atentamente,



**Dra. Erika González Carrión. PhD.**  
**C.I. 1105820953**

- Registro SENESCYT Nro. 1008-16-1457913 - LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA EDUCACION MENCION IDIOMA INGLES
- Registro SENESCYT Nro. 1031-15-1414538 - LICENCIADO EN COMUNICACION SOCIAL
- Registro SENESCYT Nro. 7242132304 - MASTER UNIVERSITARIO EN COMUNICACION Y EDUCACION AUDIOVISUAL
- Registro SENESCYT Nro. 7241182671 - DOCTORA DENTRO DEL PROGRAMA DE DOCTORADO EN COMUNICACION
- Registro Investigador SENESCYT acreditado: REG-INV-22-05714- Investigador Agregado 1.