



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE AGRONOMÍA

**Efecto de distintas fuentes de silicio foliar en la producción de banano
(Musa spp.) en Ecuador**

**ARIAS BLACIO DAVID ROBERTO
INGENIERO AGRONOMO**

**ROSALES ROSALES JOHN MICHAEL
INGENIERO AGRONOMO**

**MACHALA
2023**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE AGRONOMÍA

**Efecto de distintas fuentes de silicio foliar en la producción de
banano (Musa spp.) en Ecuador**

**ARIAS BLACIO DAVID ROBERTO
INGENIERO AGRONOMO**

**ROSALES ROSALES JOHN MICHAEL
INGENIERO AGRONOMO**

**MACHALA
2023**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE AGRONOMÍA

ENSAYOS O ARTÍCULOS ACADÉMICOS

**Efecto de distintas fuentes de silicio foliar en la producción de
banano (*Musa spp.*) en Ecuador**

**ARIAS BLACIO DAVID ROBERTO
INGENIERO AGRONOMO**

**ROSALES ROSALES JOHN MICHAEL
INGENIERO AGRONOMO**

VILLASEÑOR ORTIZ DIEGO RICARDO

**MACHALA
2023**



Revista Científica de la Facultad de Agronomía y Veterinaria, *Ab intus*
ISSN (On-line) 2618-2734
Facultad de Agronomía y Veterinaria Universidad
Nacional de Río Cuarto



Río Cuarto, 27 de noviembre de 2023

A quien corresponda

S _____ / _____ D

De mi mayor consideración

El Comité Editorial de la Revista Científica de la Facultad de Agronomía y Veterinaria, *Ab intus* (ISSN on-line 2618-2734) se dirige a Ud. a fin de comunicarle que los Sres. **DAVID ROBERTO ARIAS BLACIO** y **JOHN MICHAEL ROSALES ROSALES**, de la Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Granja Experimental Santa Inés, Av. Panamericana km 5 1/2 Vía a Pasaje/Machala, Ecuador, ha enviado el manuscrito titulado **Efectos de distintas fuentes de silicio foliar en la producción de banano (*Musa spp.*) en Ecuador.**

Actualmente, el manuscrito se encuentra en proceso de revisión por pares, donde expertos en el campo evaluarán la calidad científica y la relevancia del estudio. Este riguroso proceso de revisión garantiza la excelencia y la integridad de los artículos para ser publicado en nuestra revista.

Pablo J. Tamiozzo
Editor responsable

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

Los que suscriben, ARIAS BLACIO DAVID ROBERTO y ROSALES ROSALES JOHN MICHAEL, en calidad de autores del siguiente trabajo escrito titulado Efecto de distintas fuentes de silicio foliar en la producción de banano (*Musa spp.*) en Ecuador, otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

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

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

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

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



ARIAS BLACIO DAVID ROBERTO

0705305415



ROSALES ROSALES JOHN MICHAEL

0707093324

Efecto de distintas fuentes de silicio foliar en la producción de banano (*Musa spp.*) en Ecuador

Effect of different sources of foliar silicon in banana production (*Musa spp.*) in Equator

David Roberto Arias Blacio^{1,2*}, John Michael Rosales Rosales^{1,2}, Diego Ricardo Villaseñor Ortiz^{1,2}, Ángel Eduardo Luna Romero^{1,2}, Edwin Edison Jaramillo Aguilar^{1,2}.

1 Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Granja Experimental Santa Inés, Av. Panamericana km 5 ½ Pasaje. Machala, El Oro, Ecuador.

2 Semillero de Investigación en Fitotecnia (SINFIT). Ecuador.

* Autor corresponsal: 070105, +593 969072991, darias7@utmachala.edu.ec (D Arias-Blacio)

ID ORCID de los autores

D Arias-Blacio: <https://orcid.org/0009-0001-6714-416X>

J Rosales-Rosales: <https://orcid.org/0009-0004-6990-4566>

A. Luna-Romero: <https://orcid.org/0000-0002-4311-9445>

E. Jaramillo-Aguilar: <https://orcid.org/0000-0002-8241-9598>

D. Villaseñor-Ortiz: <https://orcid.org/0000-0001-5646-4451>

RESUMEN

El conocimiento sobre la aplicación foliar del silicio y su impacto en la productividad de banano es limitado. Por consiguiente, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la aplicación de diferentes fuentes de Si foliar en la productividad del cultivo de banano, con base a la medición de variables morfo productivas en las condiciones específicas de la provincia de El Oro. Se analizó cinco variables; masa del racimo, masa del raquis, calibre de la segunda mano, número de manos y longitud de dedos del racimo, para ello se planteó un diseño de bloques completamente al azar con seis tratamientos: Control (T1), Si(OH)₄ (Ácido silícico) 250 cm³ ha⁻¹ (T2), Si(OH)₄ 500 cm³ ha⁻¹ (T3), Si(OH)₄ 750 cm³ ha⁻¹ (T4), K₂SiO₃ (Silicato de Potasio) 1000 cm³ ha⁻¹ (T5) y Ca₂SiO₃ (Silicato de Calcio) 1000 cm³ ha⁻¹ (T6). Los resultados mostraron diferencias significativas en las variables masa del racimo para los tratamientos Si(OH)₄ en dosis de 750 y 500 cm³ ha⁻¹ con valores de 22 y 21,4 kg, de igual manera para la longitud de dedos del racimo el mejor tratamiento fue de 500 cm³ ha⁻¹ de Si(OH)₄ con un

valor de 25,4 cm. Por otro lado, las variables como la masa del raquis, el calibre de la segunda mano y el número de manos del racimo, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tratamientos. No obstante, las dosis de 750 y 500 cm³ ha⁻¹ mostraron un ligero incremento en comparación con los demás tratamientos.

Palabras clave: Silicio foliar, *Musa* spp, productividad, variables, evaluación.

ABSTRAC

Knowledge on foliar application of silicon and its impact on banana productivity is limited. Therefore, the present research aimed to evaluate the effect of the application of different sources of foliar silicon on banana crop productivity, based on the measurement of morpho-productive variables in the specific conditions of the province of El Oro. Five variables were analyzed; bunch mass, rachis mass, second hand caliber, number of hands and bunch finger length, for which a completely randomized block design with six treatments was used: Control (T1), Si(OH)₄ (Silicic acid) 250 cm³ ha⁻¹ (T2), Si(OH)₄ 500 cm³ ha⁻¹ (T3), Si(OH)₄ 750 cm³ ha⁻¹ (T4), K₂SiO₃ (Potassium silicate) 1000 cm³ ha⁻¹ (T5) and Ca₂SiO₃ (Calcium silicate) 1000 cm³ ha⁻¹ (T6). The results showed significant differences in the variables bunch mass for the treatments Si(OH)₄ at doses of 750 and 500 cm³ ha⁻¹ with values of 22 and 21.4 kg, likewise for bunch finger length the best treatment was 500 cm³ ha⁻¹ of Si(OH)₄ with a value of 25.4 cm. On the other hand, variables such as rachis mass, second hand caliper and number of bunch hands, no statistically significant differences were observed among the different treatments. However, the doses of 750 and 500 cm³ ha⁻¹ showed a slight increase compared to the other treatments.

Key words: Foliar silicon, *Musa* spp, productivity, variables, evaluation.

INTRODUCCIÓN

Las musáceas compuestas por bananos y plátanos ocupan un lugar destacado entre los cultivos alimenticios en términos de economía y seguridad alimentaria, siguiendo solo al arroz, trigo y maíz en importancia (FAO, 2009). En este sentido, el banano es considerado de gran importancia social y económica en más de 120 países ubicados en las zonas tropicales y subtropicales (Soares, 2014). De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), en el año 2020 Ecuador exportó 6,1 millones de toneladas de banano, lo que representa aproximadamente el 32% de la producción mundial (Chamba y Montoya, 2021).

En Ecuador, la producción de banano (*Musa* spp.) destaca como una de las principales actividades agrícolas. Vastas áreas de terreno están destinadas a esta producción, y mediante diversas técnicas se alcanzan elevados niveles de rendimiento que respaldan el costo invertido en las plantaciones (Carrión, 2018). Según informes realizados por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG, 2017), Ecuador tiene alrededor de 162.236 hectáreas sembradas de banano y cuenta con 4.473 productores, donde el 92% se encuentra en mayor cantidad en las provincias de El Oro, Guayas y Los Ríos, y el 8% restante repartidas en otras 7 provincias.

Desde una perspectiva nutricional, el cultivo de banano presenta demandas rigurosas. Se requiere la aplicación de dosis elevadas de macro y microelementos. Sin embargo, a menudo se enfrenta a una limitación en la disponibilidad de ciertos nutrientes, resultando en deficiencias comunes en el siguiente orden: potasio (K), nitrógeno (N), calcio (Ca) y hierro (Fe) (Villaseñor *et al.*, 2020).

Entre los microelementos se destaca el silicio (Si), el cual cumple diversas funciones dentro de la planta, entre ellas se encuentran, la estimulación, desarrollo y formación de la banda de Caspary (barrera física en la endodermis de la raíz, está constituida

mayoritariamente por suberina, esta banda impide el paso de agua y iones por vía apoplasto y obliga al paso por vía simploplasto), además incrementa el mecanismo de protección físico de la planta mediante el incremento de lignina y suberina en las paredes celulares, así mismo se ha evidenciado que incrementa la concentración de Fe dentro de la planta debido a la sinergia que existe entre la relación Si - Fe (Carrasco *et al.*, 2018; Becker *et al.*, 2020; Tenesaca y Villaseñor, 2023).

El Si se encuentra de manera predominante en el suelo en forma de óxido de silicio (SiO_2), sin embargo no es asimilable para las plantas debido a que está presente en forma de cristal (Zargar *et al.*, 2019), por lo tanto, el Si debe ser suministrado de forma asimilable, como ácido silícico (Si(OH)_4), los transportadores LSi1 (Low Silicio 1) y LSi2 (Low silicio 2) permiten el ingreso y distribución de Si en la planta, localizándose especialmente en las paredes celulares en forma de SiO_2 (Ma y Yamaji, 2015). Investigaciones realizadas por Ma y Takahashi (2002) determinaron que la concentración de Si en las especies vegetales varía entre 0,1 – 10 % en términos de materia seca.

La importancia del Si en la agricultura radica en que permite disminuir el estrés causado por factores bióticos (Fortunato *et al.*, 2012), este efecto puede potenciarse cuando se aplica en conjunto con microorganismos benéficos (Gbongue *et al.*, 2019). Al mismo tiempo existen reportes de que, el rendimiento de un cultivo aumenta cuando no está restringido por factores de estrés, ligado a estudios realizados por Abdelaal *et al.* (2020); dos Santos Sarah *et al.* (2021); Nadeem *et al.* (2022) demostraron que el efecto benéfico del Si en condiciones de estrés osmótico podría estar asociado a su capacidad para reducir la absorción de Na^+ e incrementar la de K^+ .

Así mismo, se ha encontrado Si de manera foliar en rangos desde 0,2 – 3% (Kablan *et al.*, 2012; Sanmartín *et al.*, 2023), con lo cual se afirma que el Si puede ser asimilado por

las plantas monocotiledóneas (Zargar *et al.*, 2019). Investigaciones realizadas por Wassel y Ali (2018); Helaly y El-Hoseiny (2017); Vijayan *et al.* (2021); Roshdy (2014) han demostrado que la aplicación de Si tanto foliar como edáfico llegan a tener efectos positivos en el cultivo de banano aumentando el rendimiento e incluso disminuyendo los días a la cosecha.

Ante los argumentos antes descritos, en este experimento se ha propuesto evaluar el efecto de la aplicación de diferentes fuentes de Si foliar en la productividad del cultivo de banano, con base a la medición de variables morfo productivas en las condiciones específicas de la provincia de El Oro.

MATERIALES Y METODOS

Localización y características del área experimental.

El presente experimento se realizó entre junio de 2022 a julio de 2023 en la granja experimental situada en el campo Santa Inés de la Universidad Técnica de Machala, ubicada en el km 5 1/2 perteneciente a la vía Machala-Pasaje, específicamente en las coordenadas: latitud 79° 54' 43" W y longitud 3° 17' 22" S, con una altitud de 5 msnm. El clima perteneciente a esa región es característico de una sabana tropical (AW), con una estación lluviosa de enero a abril y una estación seca de mayo a diciembre (Morán-Tejeda *et al.*, 2016). La temperatura media anual de la zona oscila entre 25 y 30°C (Pourrut *et al.*, 1995). En cuanto a las características del suelo de la zona, están clasificadas dentro del al subgrupo de Aquic Dystrudepts del orden de los inceptisoles (Soil Survey Staff, 2022). El cultivar utilizado en el experimento fue el triploide AAA, cv. "Williams", del subgrupo Cavendish ("Williams Cavendish").

Diseño experimental.

Para el desarrollo del experimento se utilizó un diseño en bloques completamente al azar (DBCA). Para el establecimiento del diseño: los bloques se ubicaron de manera perpendicular al factor no controlado (características físicas y químicas del suelo). Los bloques fueron divididos en función al número de tratamientos y asignados completamente al azar en cada unidad experimental (UE), alrededor del área experimental se delimitó una franja para neutralizar el efecto borde. El factor de estudio fue las dosis progresivas. Los distintos tratamientos utilizados en el experimento se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: Distintas dosis y fuentes de Silicio aplicadas de forma foliar a un experimento de banano en Ecuador.

Tratamiento	Formula	Dosis (cm ³ ha ⁻¹)
T1	—	Control
T2	Si(OH) ₄	Ácido silícico 250
T3	Si(OH) ₄	Ácido silícico 500
T4	Si(OH) ₄	Ácido silícico 750
T5	K ₂ SiO ₃	Silicato de Potasio 1000
T6	Ca ₂ SiO ₃	Silicato de Calcio 1000

Procedimiento estadístico

El análisis estadístico fue determinado bajo un nivel de significancia del $p < 0.05$, estos valores representan un análisis de los efectos de diferentes concentraciones y fuentes de Si en características productivas del banano. Estas características comprenden aspectos cuantitativos como la masa del racimo y del raquis, grado de madurez y la longitud del dedo. Desde un enfoque científico, el estudio de estas variables es esencial para entender el vigor y productividad del cultivo bajo distintos tratamientos.

Las fuentes de Si analizadas abarcan aplicaciones de ácido silícico en tres concentraciones variadas y dos tipos distintos de silicatos, el potasio (K) y el calcio (Ca). Los resultados, interpretados a través de la prueba de F (prueba paramétrica que determina si las medias de los grupos son iguales), otorgan una visión estadística sobre la relevancia y diferencia entre los tratamientos. El coeficiente de variación (CV %) brinda información sobre la variabilidad de los resultados. Además, la utilización del sistema de notación alfabética facilita la identificación de las diferencias significativas entre los tratamientos, permitiendo, así, tomar decisiones informadas y basadas en datos concretos para futuras aplicaciones agrícolas.

Para el procedimiento estadístico se realizó un análisis de varianza factorial intergrupos con el fin de determinar niveles de significancia entre las medias de los tratamientos. Mientras que para la comparación de medias entre los grupos se utilizó el test de Tukey con un nivel de significancia de $p < 0.05$. Para evaluar estadísticamente los resultados se empleó el paquete estadístico AgroEstat® versión 1.1.0.712 para *Microsoft Windows* (Barbosa y Maldonado, 2015).

Manejo del ensayo

Las aplicaciones de Si foliar se realizaron mensualmente mediante un vehículo aéreo no tripulado (VANT-Dron), de bajo volumen de agua (dosis mínima de agua para aplicaciones foliares) para fumigación agrícola. Además, se realizó la planificación nutricional anual, a base de fertilización edáfica y foliar en toda el área experimental de forma homogénea entre los tratamientos. Se aplicó en las plantas dosis estándar de: 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ en forma de superfosfato triple (46% de P₂O₅); 64 kg ha⁻¹ de CaO (23% CaO) y 60 kg ha⁻¹ de SO₄ en forma de sulfato cálcico (18% SO₄) (Villaseñor *et al.*, 2022). Se realizaron las respectivas labores en campo propuestas por García (2020), las cuales se

realizaron de manera homogénea para todos los tratamientos, dichas labores se mencionan a continuación: fertilización, deshoje, deshije, enfunde, deschive, limpieza de arvenses, limpieza de canales, control de sigatoka negra.

Medición de las variables productivas.

Las plantas localizadas dentro de cada unidad experimental fueron seleccionadas semanalmente con base a su edad, la cual está determinada por el color de cinta y una pre-calibración de la fruta (los frutos son marcados un día antes de la cosecha, la segunda mano debe tener un grado de 45 y la última mano un grado de 40, cabe recalcar que “grado” hace referencia al diámetro expresado en mm), este proceso se realizó un día antes de la cosecha. Al momento de la cosecha los racimos fueron cortados y posteriormente trasladados a la empacadora en donde se midieron las variables de estudio que se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2: Variables y metodología empleada en el ensayo

Variable	Metodología
Masa del racimo	Se midió la masa neta del racimo con una balanza de resorte.
Masa del raquis	Se midió la masa únicamente del raquis con una balanza de resorte.
Calibre de la segunda mano	Se determinó el grado de los dedos en la segunda mano con la ayuda de un calibrador.
Número de manos del racimo	Se contó el número total de manos por cada racimo cosechado.
Longitud de dedos del racimo	Se midió la curvatura externa del dedo hasta sus extremos, en la segunda mano.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

La Tabla 3. presenta los resultados estadísticos derivados de las mediciones de las variables realizadas en el experimento, con el fin de evaluar los diferentes tratamientos utilizados.

Tabla 3. Efecto de las aplicaciones de las distintas fuentes de Si en las variables productivas de banano.

Tratamientos cm ³ ha ⁻¹	Masa del Racimo (kg)	Masa del Raquis (kg)	Calibre de la segunda mano (mm)	Longitud de dedos del racimo (cm)	Número de manos del racimo
Control	15,8b	2,4a	42,8a	25,1ab	5,5a
Ácido silícico 250	19,3ab	2,4a	43,0a	24,3ab	5,5a
Ácido silícico 500	21,4a	2,8a	42,3a	25,4a	5,9a
Ácido silícico 750	22,0a	2,7a	43,4a	23,1b	5,8a
Silicato K	19,5ab	2,4a	43,3a	24,0ab	5,3a
Silicato Ca	19,7ab	2,4a	43,3a	24,8ab	5,8a
Prueba de F	5,0**	0,6 ^{NS}	1,1 ^{NS}	3,5*	0,5 ^{NS}
CV %	9,7	16,1	1,8	3,6	11,8

CV %: Coeficiente de variación, NS: No significativo, * significancia <5%, ** significancia <1%. Distinta letra en la misma columna indica diferencia significativa.

Masa de racimo

Resulta evidente que la aplicación de ácido silícico Si(OH)₄ influye positivamente en el peso de los racimos de banano (Figura 1). El aumento progresivo en la masa de los racimos con incrementos en la concentración de Si(OH)₄, hasta 750 cm³ ha⁻¹, puede deberse a una mejora en la estructura celular y la robustez de los tejidos, proporcionados por el Si, lo que podría traducirse en frutos más densos y robustos (Epstein, 1994; Ma y Yamaji, 2008). Por otro lado, aunque los tratamientos con silicatos de potasio y calcio (K₂SiO₃ y Ca₂SiO₃) mejoraron la masa del racimo en comparación con el control estos tratamientos no alcanzaron los niveles observados con el Si(OH)₄. Esta diferencia podría ser atribuida a variaciones en la disponibilidad o eficiencia de absorción del Si en estas

diferentes formas (Rodrigues *et al.*, 2003). Es también relevante el bajo coeficiente de variación (CV) de 9,7%, lo que indica una buena precisión en las mediciones y homogeneidad en las respuestas de los tratamientos. La prueba F (5,0**) confirma que las diferencias observadas no son aleatorias y pueden atribuirse a los tratamientos aplicados. Estos hallazgos resaltan la relevancia del tipo y concentración de la fuente de Si en la producción de banano (Buck *et al.*, 2008), por tanto, se sugieren la necesidad de investigaciones adicionales para determinar cómo optimizar estas aplicaciones.

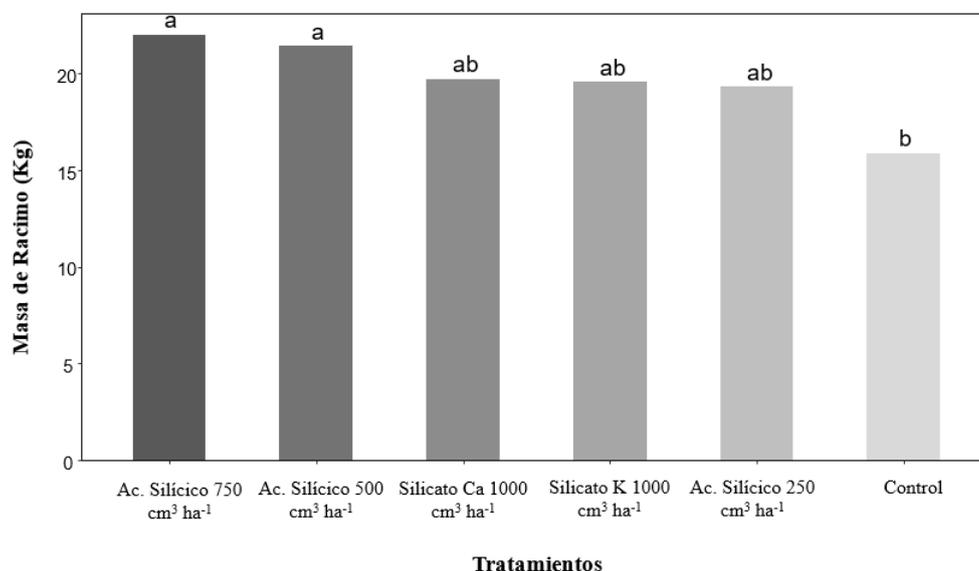


Figura 1. Efecto de las diferentes fuentes de Si sobre la variable masa de racimo, evaluado mediante el test de tukey con un nivel de significancia $p < 0.05$.

Masa raquis.

El análisis de la masa de raquis no presentó significancia estadística conforme a los resultados obtenidos mediante la prueba F. Sin embargo, es importante destacar que la aplicación de Si(OH)_4 en determinadas concentraciones. Específicamente, las dosis de 500 y 750 $\text{cm}^3 \text{ ha}^{-1}$ mostraron los valores más elevados, 2,8 y 2,7 kg, respectivamente. Estos resultados contrastan con las concentraciones más bajas y el grupo control, que presentaron un valor de 2,4 kg. Estos hallazgos resaltan el potencial de Si(OH)_4 como

agente mejorador en el cultivo en estudio. Resultados similares han sido reportados por Luyckx *et al.* (2017), donde la suplementación con Si resultó en un aumento notable en la biomasa del cultivo de cáñamo, el cual es retribuido a la acción mediada por Si sobre la biosíntesis de fitohormonas, coordinando de esta manera distintos eventos como la transición del alargamiento al engrosamiento de los tejidos del tallo y la síntesis de paredes celulares secundarias impregnadas de lignina, muchos de los cuales están regulados por fitohormonas. De igual manera trabajos realizados por Trejo *et al.* (2020) en el cultivo de pimiento manifestaron mejoras en el área foliar, el peso de biomasa fresca y seca en hojas y tallos, con aplicaciones de Si en concentraciones de 60 y 125 mg L⁻¹. Subrayando la importancia de este elemento en el vigor y desarrollo de ciertos cultivos.

Calibre de la segunda mano del racimo.

Los resultados obtenidos presentaron diferencias numéricas entre los tratamientos con respecto a la evaluación del calibre de la segunda mano, presentando el valor más alto el Si(OH)₄ 750 cm³ ha⁻¹ (43,4 mm), a pesar de ello, es crucial mencionar que estas diferencias no demostraron tener significancia estadística de acuerdo con la prueba F. No obstante estudios realizados por Valente *et al.* (2004) exponen que los efectos directos del Si (refuerzo de la pared celular, resistencia a plagas, tolerancia a la toxicidad por metales pesados y al estrés hídrico y salino), se acompañan de varios efectos indirectos, de los cuales destacamos el aumento de la capacidad fotosintética y la reducción de las tasas transpiratorias. De esta manera el incremento en el calibre de la segunda mano podría atribuirse al aumento de la actividad fotosintética de las hojas producido por la aplicación de Si, como lo reportan trabajos realizados por Amin *et al.* (2018) en el cual la aplicación de Si a plantas de maíz estresadas por la sequía mejoró el crecimiento y el rendimiento.

Longitud de dedos del racimo.

Los resultados obtenidos muestran que el Si(OH)_4 a partir de una dosis de 250 hasta 500 $\text{cm}^3 \text{ha}^{-1}$ tiene un efecto positivo en la longitud de dedo con valores desde 24,3 - 25,4 cm respectivamente, esto posiblemente se deba a que el Si(OH)_4 actúa de manera sinérgica con calcio (Ca), esto debido a que el Si promueve la actividad de la ATPasa (da Silva *et al.*, 2021), una vez que el Ca es absorbido se deposita en las paredes celulares ocasionando su elongación (de Mello Prado, 2021), en cambio con el tratamiento de Si(OH)_4 750 $\text{cm}^3 \text{ha}^{-1}$ se determinó un efecto desfavorable, disminuyendo su longitud (23,1 cm). A pesar de que los valores en los tratamientos con K_2SiO_3 y Ca_2SiO_3 son similares al mejor tratamiento, la prueba F demuestra que las diferencias son significativas (3,5*), en conjunto con un bajo CV (3,6%) como se muestra en la Figura 2, por lo cual se debe analizar los beneficios desde otra perspectiva (económica, ambiental y operativa), ya que otros autores han obtenido excelentes resultados en esta variable sobre el mismo cultivar y otros cultivares (Panchal y Chawla, 2020; Roshdy, 2014; Sreeja *et al.*, 2022; Wassel y Ali, 2018).

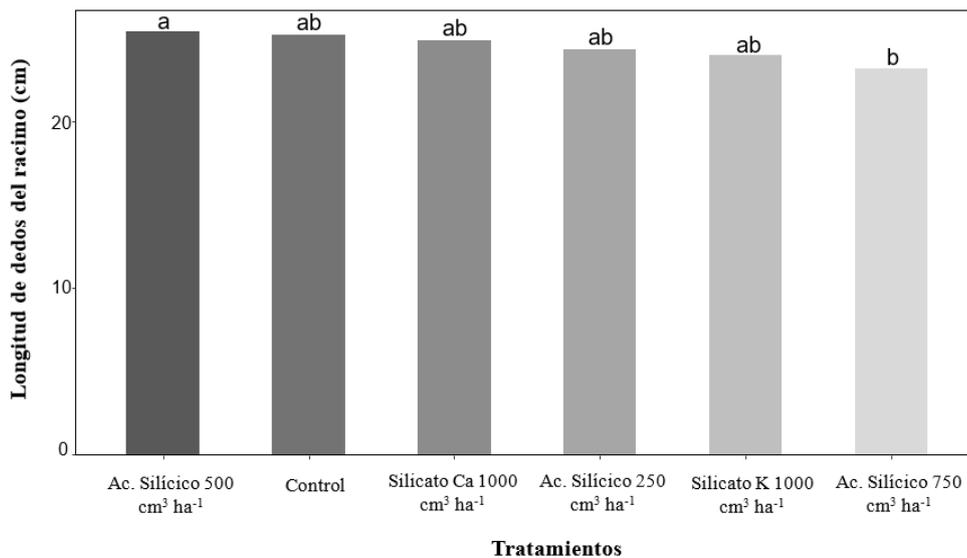


Figura 2. Efecto de las diferentes fuentes de Si sobre la variable longitud de dedos del racimo, evaluado mediante el test de tukey con un nivel de significancia $p < 0.05$.

Número de manos del racimo

Aunque se observaron diferencias numéricas en el número de manos entre los tratamientos, como el Si(OH)_4 $500 \text{ cm}^3 \text{ ha}^{-1}$ que presentó la media más alta de (5,9), es importante señalar que estas diferencias no resultaron ser estadísticamente significativas según la Prueba de F. Sin embargo, varios estudios, como los presentados por Balakhnina *et al.* (2012) en el cultivo de cebada, Ahmed *et al.* (2011) en sorgo y Ma *et al.* (2004) en pepino, en los cuales la aplicación de Si aportó efectos positivos como: mejora de la capacidad de retención de agua, estimulación del crecimiento, mayor producción de biomasa y aumento de la tasa fotosintética neta.

CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos en el experimento se concluye que con la aplicación de Si(OH)_4 en dosis de 750 y $500 \text{ cm}^3 \text{ ha}^{-1}$ tuvo efectos positivos en el rendimiento de banano obteniendo una masa de racimo de 22 y 21,4 kg respectivamente, la longitud de dedos también tuvo una incidencia positiva para el tratamiento de Si(OH)_4 con una dosis de $500 \text{ cm}^3 \text{ ha}^{-1}$ presentando un valor de 25,4 cm de longitud. Por otro lado, para las variables masa del raquis, calibre de la segunda mano y número de manos del racimo no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos, sin embargo, resulta importante señalar que las dosis de 750 y $500 \text{ cm}^3 \text{ ha}^{-1}$ de Si(OH)_4 fueron ligeramente superiores al resto de tratamientos.

Estos resultados afirman que el Si puede aumentar el rendimiento en los sistemas productivos si se lo implementa en los ciclos de fertilización, tomando en cuenta que la dosis de $500 \text{ cm}^3 \text{ ha}^{-1}$ de Si(OH)_4 otorga una mayor rentabilidad, aunque en este experimento no se realizó un análisis económico de los tratamientos se deduce que debido a que no presenta significancia con los valores obtenidos con una dosis de $750 \text{ cm}^3 \text{ ha}^{-1}$

de Si(OH)_4 se economiza al reducir la dosis de aplicación. Hacemos énfasis en que se debe ahondar en este experimento, debido a que el retorno (nueva generación) de las plantas cosechadas podrían mejorar los valores de las variables estudiadas, esto como consecuencia de las sustancias elaboradas (compuestos orgánicos) recibidas por la planta cosechada que recibió las aplicaciones de Si, así mismo, es importante evaluar dosis crecientes de K_2SiO_3 y Ca_2SiO_3 , esto con la finalidad de verificar si existe un efecto positivo o negativo con respecto al compuesto Si(OH)_4 .

AGRADECIMIENTO

A la empresa Yara Ecuador Cia. Ltda. por financiar el presente trabajo de investigación, en contribución con la Universidad Técnica de Machala (UTMACH).

REFERENCIAS

- Abdelaal, K. A. A., Mazrou, Y. S. A., & Hafez, Y. M. (2020). Silicon Foliar Application Mitigates Salt Stress in Sweet Pepper Plants by Enhancing Water Status, Photosynthesis, Antioxidant Enzyme Activity and Fruit Yield. *Plants* 2020, Vol. 9, Page 733, 9(6), 733. <https://doi.org/10.3390/PLANTS9060733>
- Ahmed, M., Fayyaz-ul-Hassen, & Khurshid, Y. (2011). Does silicon and irrigation have impact on drought tolerance mechanism of sorghum? *Agricultural Water Management*, 98(12), 1808–1812. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2011.07.003>
- Amin, M., Ahmad, R., Ali, A., Hussain, I., Mahmood, R., Aslam, M., & Lee, D. J. (2018). Influence of Silicon Fertilization on Maize Performance Under Limited Water Supply. *Silicon*, 10(2), 177–183. <https://doi.org/10.1007/S12633-015-9372-X/METRICS>
- Balakhnina, T. I., Matichenkov, V. V., Wlodarczyk, T., Borkowska, A., Nosalewicz, M., & Fomina, I. R. (2012). Effects of silicon on growth processes and adaptive potential of barley plants under optimal soil watering and flooding. *Plant Growth Regulation*, 67(1), 35–43. <https://doi.org/10.1007/S10725-012-9658-6>
- Barbosa J.C., Maldonado J.W. (2015): AgroEstat: System for statistical analysis of agronomic trials (1.1.0.694). *Jaboticabal, FCAV/UNESP*.
- Becker, M., Ngo, N. S., & Schenk, M. K. A. (2020). Silicon reduces the iron uptake in rice and induces iron homeostasis related genes. *Scientific Reports* 2020 10:1, 10(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61718-4>

- Buck, G. B., Korndörfer, G. H., Nolla, A., & Coelho, L. (2008). Potassium Silicate as Foliar Spray and Rice Blast Control. *Journal of Plant Nutrition*, 31(2), 231–237. <https://doi.org/10.1080/01904160701853704>
- Carrasco-Gil, S., Rodríguez-Menéndez, S., Fernández, B., Pereiro, R., de la Fuente, V., & Hernandez-Apaolaza, L. (2018). Silicon induced Fe deficiency affects Fe, Mn, Cu and Zn distribution in rice (*Oryza sativa* L.) growth in calcareous conditions. *Plant Physiology and Biochemistry*, 125, 153–163. <https://doi.org/10.1016/J.PLAPHY.2018.01.033>
- Carrión, A. (2018). Evaluación del comportamiento agronómico del cultivo de banano (*Musa acuminata* triploide A), aplicando un fertilizante a base de silicio en el cantón El Guabo , provincia de El Oro . [Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.]. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/10345/1/T-UCSG-PRE-TEC-AGRO-138.pdf>
- Chamba, L. M., & Montoya, A. N. (2021). Evolución en las exportaciones de banano e impacto del desarrollo económico, provincia de El Oro 2011 - 2020, pre-pandemia, pandemia; aplicando series de tiempo. *Dominio de Las Ciencias*, 7(3), 1558–1577. <https://doi.org/10.23857/dc.v7i3.2074>
- da Silva, D. L., de Mello Prado, R., Tenesaca, L. F. L., da Silva, J. L. F., & Mattiuz, B. H. (2021). Silicon attenuates calcium deficiency by increasing ascorbic acid content, growth and quality of cabbage leaves. *Scientific Reports 2021 11:1*, 11(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80934-6>
- de Mello Prado, R. (2021). Mineral nutrition of tropical plants. In *Mineral nutrition of tropical plants*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-71262-4/COVER>
- dos Santos Sarah, M. M., de Mello Prado, R., de Souza Júnior, J. P., Teixeira, G. C. M., dos Santos Duarte, J. C., & de Medeiros, R. L. S. (2021). Silicon supplied via foliar application and root to attenuate potassium deficiency in common bean plants. *Scientific Reports 2021 11:1*, 11(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-99194-z>
- Epstein, E. (1994). The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 91(1), 11. <https://doi.org/10.1073/PNAS.91.1.11>
- FAO. (2009). *Review of the world market situation for bananas and tropical fruits*. <http://www.fao.org/es/esc/en/15/190/index.html>;
- Fortunato, A. A., Rodrigues, F. Á., & Do Nascimento, K. J. T. (2012). Physiological and biochemical aspects of the resistance of banana plants to Fusarium wilt potentiated by silicon. *Phytopathology*, 102(10), 957–966. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-02-12-0037-R>
- García, G. A. (2020). *Acompañamiento y supervisión de labores culturales del cultivo de banano (Musa AAA) en la finca Velero en Apartado-Antioquia* [Universidad de Córdoba]. <https://core.ac.uk/download/pdf/336856972.pdf>

- Gbongue, L. R., Lalaymia, I., Zeze, A., Delvaux, B., & Declerck, S. (2019). Increased silicon acquisition in bananas colonized by *Rhizophagus irregularis* MUCL 41833 reduces the incidence of *Pseudocercospora fijiensis*. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1977. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2018.01977/BIBTEX>
- Helaly, M. N., & El-Hoseiny, H. A. R. (2017). Effects of Silicon and Yeast Extract on Growth, Flowering and Yield of Banana (*Musa cavendishii* L.). *J. Plant Production, Mansoura Univ*, 8(4), 549–554. https://jpp.journals.ekb.eg/article_40068_004e87d9b05afa84465557c77d9d7fe0.pdf
- Kablan, L., Lagauche, A., Delvaux, B., & Legrève, A. (2012). Silicon reduces black Sigatoka development in banana. *Plant Disease*, 96(2), 273–278. <https://doi.org/10.1094/PDIS-04-11-0274>
- Luyckx, M., Hausman, J. F., Lutts, S., & Guerriero, G. (2017). Impact of Silicon in Plant Biomass Production: Focus on Bast Fibres, Hypotheses, and Perspectives. *Plants 2017, Vol. 6, Page 37*, 6(3), 37. <https://doi.org/10.3390/PLANTS6030037>
- Ma, C. C., Gao, Y. B., Xin, T. R., Ma, C. C., & Li, Q. F. (2004). Effects of silicon application on drought resistance of cucumber plants. *Soil Science and Plant Nutrition*, 50(5), 623–632. <https://doi.org/10.1080/00380768.2004.10408520>
- Ma, J. F., & Yamaji, N. (2008). Functions and transport of silicon in plants. *Cellular and Molecular Life Sciences: CMLS*, 65(19), 3049–3057. <https://doi.org/10.1007/S00018-008-7580-X>
- Ma, J. F., & Yamaji, N. (2015). A cooperative system of silicon transport in plants. *Trends in Plant Science*, 20(7), 435–442. <https://doi.org/10.1016/J.TPLANTS.2015.04.007>
- Ma, J. Feng., & Takahashi, E. (2002). Soil, fertilizer, and plant silicon research in Japan. *Trends Plant Sci*, 11, 73–106. <https://www.elsevier.com/books/soil-fertilizer-and-plant-silicon-research-in-japan/ma/978-0-444-51166-9>
- MAG. (2017). Informe sector bananero ecuatoriano. In *Informe sector bananero ecuatoriano*. <https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2019/06/Informe-sector-bananero-español-04dic17.pdf>
- Morán-Tejeda, E., Bazo, J., López-Moreno, J. I., Aguilar, E., Azorín-Molina, C., Sanchez-Lorenzo, A., Martínez, R., Nieto, J. J., Mejía, R., Martín-Hernández, N., & Vicente-Serrano, S. M. (2016). Climate trends and variability in Ecuador (1966–2011). *International Journal of Climatology*, 36(11), 3839–3855. <https://doi.org/10.1002/JOC.4597>
- Nadeem, M., Anwar-ul-Haq, M., Saqib, M., Maqsood, M., & He, Z. (2022). Ameliorative Effect of Silicic Acid and Silicates on Oxidative, Osmotic Stress, and Specific Ion Toxicity in Spring Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22(2), 2334–2345. <https://doi.org/10.1007/S42729-022-00812-0/METRICS>

- Panchal, R., & Chawla, S. L. (2020). Effect of foliar application of silicon on growth of banana (*Musa paradisiaca* L.) cv. Grand Nain Sagar Janardan Patil NMCA NAU Navsari. *The Pharma Innovation*, 9(12), 39–40. <http://www.thepharmajournal.com>
- Pourrut, P., Gómez, G., Bermeo, A., & Segovia, A. (1995). Factores condicionantes de los regimenes climáticos e hidrológicos. *El Agua En El Ecuador*, 7, 7–12. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_7/divers2/010014823.pdf
- Rodrigues, F. Á., Benhamou, N., Datnoff, L. E., Jones, J. B., & Bélanger, R. R. (2003). Ultrastructural and cytochemical aspects of silicon-mediated rice blast resistance. *Phytopathology*, 93(5), 535–546. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2003.93.5.535>
- Roshdy, K. A. (2014). Effect of spraying silicon and seaweed extract on growth and fruiting of grandnaine banana. *Egyptian Journal of Agricultural Research*, 92(3), 979–991. <https://doi.org/10.21608/EJAR.2014.156427>
- Sanmartín, J., Cuenca, A., Luna, Á., Jaramillo, E., & Villaseñor, D. (2023). Efecto nutricional foliar de silicio para el cultivo de banano (*Musa* spp.) en Ecuador. *Agronomía Costarricense*, 47(2), 47–56. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost/article/view/56131/56797>
- Soares, T. L. (2014). In vivo fertilization of banana Fertilização in vivo de bananeira. *Ciencia Rural*, 44(1), 37–42. <https://www.scielo.br/j/cr/a/Q9yYy5S9ShcWzPxM8cvzCks/?format=pdf&lang=en>
- Soil Survey Staff. (2022). Keys to Soil Taxonomy, 13th edition. *United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service*, 207–254. <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-09/Keys-to-Soil-Taxonomy.pdf>
- Sreeja, V., Kukanoor, L., Jalawadi, S., & Sabarad, A. I. (2022). Effect of soil and foliar application of silicon on yield and economics of banana (*Musa paradisiaca* L.) cv. Rajapuri. *The Pharma Innovation*, 11(6), 651–654. www.thepharmajournal.com
- Tenesaca, L. F., & Villaseñor, D. R. (2023). Effect of Silicon in Mitigating Iron Deficiency. *Benefits of Silicon in the Nutrition of Plants*, 167–180. https://doi.org/10.1007/978-3-031-26673-7_11
- Trejo, L. I., García, A., Escobar, H. F., Ramírez, S. M., Bello, J. J., & Gómez, F. C. (2020). Silicon induces hormetic dose-response effects on growth and concentrations of chlorophylls, amino acids and sugars in pepper plants during the early developmental stage. *PeerJ*, 8(6), e9224. <https://doi.org/10.7717/PEERJ.9224/SUPP-4>
- Valente, A., Morais, R., Couto, C., & Correia, J. H. (2004). Modeling, simulation and testing of a silicon soil moisture sensor based on the dual-probe heat-pulse method. *Sensors and Actuators A: Physical*, 115(2–3), 434–439. <https://doi.org/10.1016/J.SNA.2004.04.056>
- Vijayan, A., Sriramachandrasekharan, M. V, Manivannan, R., & 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), 2321–1571. www.ajouronline.com

- Villasenor, D., Prado, D. M., Luna, E., Jaramillo, E., & Agurto, L. (2022). Critical nitrogen and potassium levels and sufficiency ranges for banana cultivation in Ecuador. *Web of Science*, 7. <https://doi.org/10.17660/TH2002/002>
- Villaseñor, D., Prado, R. de M., Pereira da Silva, G., Carrillo, M., & Durango, W. (2020). DRIS norms and limiting nutrients in banana cultivation in the South of Ecuador. *Https://Doi.Org/10.1080/01904167.2020.1793183*, 2785–2796. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1793183>
- Wassel, A. H., & Ali, H. S. (2018). Effect of silicon, glutamic acid and selenium on the yield of williams banana cv. and its component. *Agric. Res. & Develop*, 38, 17–88.
- Zargar, S. M., Mahajan, R., Bhat, J. A., Nazir, M., & Deshmukh, R. (2019). Role of silicon in plant stress tolerance: opportunities to achieve a sustainable cropping system. *3 Biotech 2019 9:3*, 9(3), 1–16. <https://doi.org/10.1007/S13205-019-1613-Z>