



Efecto del silicio en el rendimiento de banano (*Musa spp.*) y control de sigatoka negra

Effect of silicon on banana performance (*Musa spp.*) and control of black sigatoka

Euder J. Juárez-Nima^{1*}; Pedro S. Castillo-Carrillo²

1 Asociación Regional de Productores de Cacao Tumbes, km 7 Carretera a Papayal, Villa Uña de Gato, Tumbes, Perú.

2 Universidad Nacional de Tumbes. Ciudad Universitaria, Av. Universitaria S/N, Tumbes, Perú.

* Autor correspondiente: javierjuarez2812@gmail.com (E. J. Juárez-Nima).

ID ORCID de los autores:

E. J. Juárez-Nima: <https://orcid.org/0000-0002-7330-2910>

P. S. Castillo-Carrillo: <https://orcid.org/0000-0002-0255-1047>

RESUMEN

En el Perú, el plátano o banano, es la fruta cultivada más importante. En Tumbes se cultivan 4 800 hectáreas, parte de esas áreas se encuentran en el valle de Zarumilla. Uno de los problemas fitosanitarios, es la sigatoka negra (*Micosphaerella fijiensis* Morelet), que disminuye el área foliar de las plantaciones, con efectos sobre los rendimientos. El objetivo fue evaluar el efecto de tres dosis de Silicio en los parámetros de rendimiento y control de la citada enfermedad en *Musa spp.*, bajo condiciones de campo en dicho valle. El diseño experimental empleado fue bloques completamente al azar (BCA). De acuerdo con los estudios realizados se concluyó que, en los parámetros de rendimiento, el silicio no presentó efecto en la circunferencia del pseudotallo, área foliar, el número de manos por racimo y peso del racimo, pero si hubo efectos en el número de hojas al momento de la floración, al momento de la cosecha y en el peso de dedos del banano. En cuanto al efecto del silicio en el control de "sigatoka negra" se logró disminuir el índice de daño en un 17,66% en el tratamiento S₃ (150 kg/ha) en comparación con el testigo (0 kg/ha) que se obtuvo 28,22%.

Palabras clave: Silicio; pseudotallo; *Micosphaerella*; sigatoka; Zarumilla.

ABSTRACT

In Peru, the plantain or banana is the most important cultivated fruit. In Tumbes 5,000 hectares are cultivated, part of these areas is found in the Zarumilla valley. One of the phytosanitary problems is the black sigatoka (*Micosphaerella fijiensis* Morelet), which decreases the leaf area of the plantations, with effects on yields. The objective was to evaluate the effect of three doses of Silicon on the yield and control parameters of the aforementioned disease in *Musa spp.*, under field conditions, in said valley. The experimental design used was completely randomized blocks (BCA). According to the studies carried out, it was concluded that, in the performance parameters, silicon did not show an effect on the circumference of the pseudostem, leaf area, the number of hands per bunch and bunch weight, but there were effects on the number of leaves. at the time of flowering, at the time of harvest and in the weight of banana fingers. Regarding the effect of silicon in the control of "black sigatoka", it was possible to reduce the damage index by 17.66% in the S₃ treatment (150 kg/ha) in comparison with the control (0 kg/ha) that was obtained 28.22%.

Keywords: Silicon; pseudostem; *Micosphaerella*; sigatoka; Zarumilla.

Recibido: 05-01-2024.

Aceptado: 20-05-2024.



Esta obra está publicada bajo la licencia [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

INTRODUCCIÓN

El plátano o banano es actualmente uno de los alimentos más consumidos en el planeta. Anualmente se producen más de 115 millones de toneladas, superadas solo por otros tres alimentos: trigo, maíz y arroz (FAO, 2020). Además, una enorme cantidad de la producción no se registra en los documentos oficiales porque es consumida por los habitantes más necesitados en las zonas del mundo donde se puede cultivar (Nayar, 2009), se cultiva ampliamente en los países tropicales y subtropicales (Ahouangninou et al., 2021; Sushmita et al., 2023;), es una excelente fuente de potasio, fibra y vitaminas (Lal et al., 2017). Su cultivo proporciona seguridad alimentaria y oportunidades de empleo en muchos países (Busche et al., 2021), contribuye con alrededor del 15% de la generación mundial de frutas, en más de 130 países, a lo largo de los trópicos y subtrópicos de Capricornio (Own et al., 2018). En Perú es la fruta cultivada más importante (Rafael-Rutte, 2022), con 15 mil hectáreas dedicadas al cultivo de banano orgánico; 12,8 mil hectáreas se concentran en el departamento de Piura, principalmente en la provincia de Sullana, seguido de Lambayeque, Tumbes y La Libertad (MINAGRI, 2018). En Tumbes se posee en promedio 4 800 hectáreas a este cultivo, de los cuales el 62,35% es banano convencional, 22,00% banano orgánico y 16,40% corresponde a plátano dominico; de las cuales, parte de esas áreas se encuentran en el valle de Zarumilla. Hasta el momento, en la zona aún no se apertura la exportación de banano, siendo un cultivo convencional, destinado al mercado nacional, especialmente Lima (SENASA, 2018).

Si bien las plantas de banano crecen bien en tierras marginales y fértiles, los problemas que se enfrentan en su crecimiento son la diferente fertilidad del suelo en cada región, las técnicas de cultivo, las plagas y las enfermedades (Kurniawan et al., 2023).

Uno de los problemas fitosanitarios que enfrentan los agricultores, cuando se presentan altas temperaturas y fuertes precipitaciones es especialmente la sigatoka negra (*Micosphaerella fijiensis* Morelet), que disminuye el área foliar de las plantaciones de banano, con efectos sobre los rendimientos e ingresos económicos que no permiten cubrir los costos que implica la utilización de fungicidas para el control de esta enfermedad, los cuales muchas veces no son aplicados idóneamente, provocando perturbaciones en el agroecosistema.

Para reducir la incidencia de la enfermedad, se deben considerar tres estrategias, el uso de plantas resistentes, el uso de fungicidas sistémicos y las prácticas de manejo de cultivo o control cultural. Las variedades resistentes se utilizan de forma preventiva para evitar la germinación de las esporas, al igual que las prácticas de cultivo como es la fertilización para dar vigor a las plantas, en cambio los fungicidas sistémicos se utilizan como medidas curativas para reducir la producción de esporas y las hojas infectadas (Agouanet et al., 2024).

El agotamiento de los nutrientes del suelo amenaza la seguridad alimentaria mundial y se ha subestimado gravemente para el potasio (K) y varios micronutrientes. Este es particularmente el caso de suelos altamente meteorizados en países tropicales, donde

los fertilizantes solubles clásicos a menudo no son asequibles o no son accesibles (Swoboda et al., 2022). Los nutrientes son importantes para el crecimiento y desarrollo de plantas y microorganismos, así como para el control de enfermedades (Agrios, 2005). Los elementos minerales contribuyen directamente a la protección de las plantas a través de una nutrición completa y equilibrada (Tripathi et al., 2022). Según Huber et al. (2012) y Olivares et al. (2020), los nutrientes a menudo tienen efectos secundarios inesperados en el crecimiento y el rendimiento de las plantas al inducir cambios en los patrones de crecimiento, la morfología y la anatomía de las plantas o la composición química, lo que puede aumentar o disminuir la resistencia, la tolerancia y la virulencia de las plantas a los patógenos, uno de esos elementos es el silicio.

El silicio (Si) es uno de los elementos más abundantes en la corteza terrestre, y aunque no se considera esencial para los vegetales superiores porque no responde a los criterios directos e indirectos de la esencialidad (Malavolta, 2006), promueve efectos positivos para muchas especies y puede reducir muchos efectos de estrés ambiental (Currie & Perry, 2007).

Su absorción se da en un rango de pH de 2 hasta 9 en forma energéticamente pasiva (Epstein, 1994) siendo tomado por la raíces en la solución como ácido monosilícico Si(OH)_4 (Yoshida, 1975; Loué, 1988) para ser acumulado en las células epidermales que las impregna en una fina capa (2,5 μm), y al asociarse con pectinas y polifenoles en la pared celular (Epstein, 1994) pueden ser barreras efectivas a la pérdida de agua, transpiración cuticular e infecciones fungosas; no obstante, a medida que se acumula este ácido en forma de sílice de 87% a 99%, aun cuando el efecto es casi netamente físico (por el sílice), se ha indicado que la asociación del silicio con los constituyentes de la pared celular los hace menos susceptibles a la degradación enzimática que acompaña la penetración de la pared celular por las hifas de los hongos (Salvant et al., 1997).

El silicio puede ocasionar efectos benéficos para algunos cultivos como son resistencia a plagas, tolerancia a la toxicidad por metales pesados, al estrés hídrico y salino, menor evapotranspiración, promoción del crecimiento y nodulación en leguminosas, efecto en la actividad de las enzimas y en la composición mineral, mejoría de la arquitectura de las plantas, reducción del encamado de las plantas y por consiguiente aumento de la tasa fotosintética (Epstein, 1999; Cunha da et al., 2008). Ghouri et al. (2024) indican que la aplicación sinérgica de Silicio y Nanopartículas de Hierro puede considerarse una técnica favorable, ambientalmente prometedora y rentable para reducir la letalidad del plomo en los cultivos de arroz y recuperar suelos contaminados con este metal pesado.

Se ha descubierto que varias especies de plantas, especialmente las monocotiledóneas, cuando están sujetas a diversos estreses abióticos y/o bióticos, se benefician de los numerosos efectos positivos del silicio (Datnoff et al., 2007). Una forma de reponer macro y Los micronutrientes son polvos de roca de silicato molidos (Swoboda et al., 2022).

Se conoce que las plantas de banano son muy eficientes en la acumulación de Si en los brotes a través de la absorción de ácido monosilícico del suelo y, por lo tanto, se vuelven resistentes a algunos patógenos de plantas (Henriet et al., 2006; Fortunato et al., 2012 a; Fortunato et al., 2012b).

Por las razones expuestas respecto al silicio, el objetivo de realizar la investigación fue evaluar el

efecto de tres dosis de silicio en los parámetros de rendimiento y control de sigatoka negra en el cultivo de banano *Musa* spp., bajo condiciones de campo, en el sector "Dornajo" margen derecha del río Zarumilla y brindarles al agricultor bananero una alternativa para la mejora de su producción y contrarrestar el ataque de enfermedades fúngicas en su cultivo.

MATERIAL Y MÉTODOS

El trabajo de investigación se realizó en el sector Dornajo margen derecha del río Zarumilla en las coordenadas UTM Norte: 9609642, UTM Este: 0586170 y una altitud de 17 m.s.n.m., tuvo una duración de 12 meses. La parcela es propiedad de un agricultor perteneciente a la Villa Uña de Gato, distrito de Papayal y provincia de Zarumilla. El cultivo es de más de 20 años, sembrado con un distanciamiento inicial de 4x4 m de la variedad montecristo. Éste último se caracteriza por ser una planta alta. Se empleó un GPS map 78s Garmin, termohigrografo Coolbox, cámara de celular, balanza analítica modelo EK3651.

Diseño del experimento

Se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar. El área total experimental fue de 4 968 m². La muestra estuvo representada por 6 plantas por cada unidad experimental, con un total de 100 plantas evaluadas durante todo el experimento para todas las variables en estudio. Durante el desarrollo del experimento se realizaron las labores culturales propias del cultivo como riego, deshierbe, deshierbo, deschante, deshoje, enfunde, desbellote, y control fitosanitario.

Determinación de macroelementos y Si

Para la determinación de N-P-K, las muestras de suelo fueron enviadas al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Piura, igualmente se realizó el análisis para determinar la cantidad de silicio remitiéndose las muestras al laboratorio Ingelabc Servicios Generales S.A.C.

Aplicación de Si y fertilización

El producto utilizado en el ensayo tiene una concentración de óxido de silicio (SiO₂) de 58%. Su aplicación se realizó por un periodo de tres meses por las condiciones de lluvias y temperaturas donde las plantaciones se vieron afectadas por las plagas y enfermedades. Pasada la época lluviosa, la fertilización se realizó de forma normal como viene realizando el agricultor que es cada 3 a 4 meses.

Indicadores de rendimiento del cultivo

Los datos de los indicadores de rendimiento fueron registrados en una cartilla de evaluación. La longitud de circunferencia del pseudotallo del hijuelo (cm), se realizó mensualmente con cinta métrica a una altura de 0,5 m del nivel del suelo, desde abril y suspendiéndose la evaluación hasta agosto del 2018. Se contó el número de hojas al momento de la floración y de igual forma al momento de la cosecha. Se consideró hojas sanas las que presentaba más del

75% sin daño de sigatoka. Para determinar el área foliar (m²), se tomó la primera hoja verdadera en el sentido de arriba hacia abajo en dos plantas por tratamiento hasta la floración, evaluándose mensualmente. El área se determinó con el método de pesos, tomando un área conocida y determinando su peso respectivo, donde por regla de tres se determinó el área total de la hoja, aplicándose la fórmula:

$$AF = \frac{PT \times AC}{PM}$$

Donde AF: Área foliar en m²; PT: Peso total de la hoja en kilogramos; AC: Área conocida de la hoja; PM: Peso de la muestra de hoja en kilogramo.

Para determinar el número de manos por racimo a la cosecha, se contabilizó el número de manos de cada planta evaluada y se realizó el peso de cada racimo. Para el peso de un dedo por racimo se eligió un dedo del tercio superior, uno del tercio medio y uno del tercio inferior para luego ser pesados y determinar el promedio de peso.

Índice de severidad de la enfermedad

Para evaluar la severidad de sigatoka negra se empleó el sistema de calificación de Stover modificado por Gauhl (1989). Se evaluó quincenalmente, utilizando para ello la escala de severidad de síntomas para sigatoka, donde se puso cerca de la mata y se observó en el envés de las hojas unas pequeñas manchas negro-rojizas siendo los síntomas característicos del hongo, donde los datos se registraron en la cartilla de evaluación.

El Índice del porcentaje de infección de la planta, se obtuvo mediante la fórmula siguiente.

$$IID = \frac{n(1) + n(2) + n(3) + \dots + n(n)}{Nt(N)} * 100$$

Donde N: Número de hojas enfermas; 1, 2, 3...n: Grados de la enfermedad; N: Máximo grado de la escala.

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se realizó el análisis de varianza (ANVA) y la prueba de Duncan al 5% de significación estadística de los niveles en kg de silicio (Tabla 1).

Tabla 1
Factores, niveles y clave de silicio

Factor	Niveles en kg/ha	Clave
Silicio	0	S ₀
	50	S ₁
	100	S ₂
	150	S ₃

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados de análisis de Silicio y N-P-K

El terreno donde se desarrolló la investigación presentó niveles de silicio en un 19,5% en arcillas de color Beige (granular) y un 32,0% en Micas. Del mismo modo, las características físico-químico de suelo, mostraron lo siguiente: suelo de clase textural franco arcilloso, con una conductividad eléctrica de 0,35 dS/m; con un pH de 7,80; 0,93% de calcáreo; 0,48% de materia orgánica; 0,02% de nitrógeno total; fósforo con 10 ppm; potasio 0,32 meq/100 g de suelo; a capacidad de intercambio catiónico (C.I.C) 16,66 meq/100 g de suelo y una densidad aparente de 1,30 g/cm³.

Evaluación de parámetros de rendimiento

Longitud de circunferencia de pseudotallo

Del análisis de varianza de este indicador, se determinó que no existen diferencias significativas en ninguna de las cinco evaluaciones realizadas mensualmente con respecto a las fuentes de variación tratamientos y bloques. Los coeficientes de variación oscilan entre 8,9% en el primer mes y 6,7% en el último mes de evaluación.

La prueba post ANOVA de medias (Duncan $\alpha=5\%$) para la longitud de circunferencia del pseudotallo del hijuelo (Tabla 2), nos indica que no existen diferencias significativas en los tratamientos en estudio. Así mismo, las medias generales de todos los tratamientos según las evaluaciones mensuales realizadas incrementaron en promedio 28,54 cm de longitud de circunferencia del pseudotallo mensualmente, iniciando con un valor mínimo promedio de 28,86 cm en el primer mes de evaluación (abril de 2018) y culminando en la última evaluación con un valor máximo promedio de 57,40 cm de longitud de circunferencia (agosto de 2018).

El tratamiento donde se obtuvo mayor incremento de longitud de circunferencia del pseudotallo de banano promedio fue el S₀ (0 kg/ha de Si) durante los meses de abril, mayo, junio y julio del 2018 con 28,86; 39,32; 45,17; 52,67 y 57,40 respectivamente. Estos datos contradicen a los referidos por Borda et al. (2007) y Abreu et al. (2013), quienes indican que el aporte de silicio incrementó la altura y diámetro de tallo en el cultivo de *Avena sativa* L. y aplicación de fuentes de silicio como silicato de sodio y silicato de potasio obtuvieron mayor diámetro de pseudotallo el cultivo de banano variedad "Gran Enano" bajo condiciones invitro.

Número de hojas a la floración

Se determinó a partir del análisis de varianza para este indicador, que no existe diferencia significativa, en las fuentes de variación tratamientos y bloques, presentando un coeficiente de variación de 11,71%. La prueba post ANOVA de medias (Duncan $\alpha=5\%$) para el número de hojas al momento de la floración (Tabla 3), nos indica que existen diferencias no significativas con los tratamientos S₃ y S₂; S₂, S₁ y S₀.

El tratamiento donde se registró un mayor número de hojas al momento de la floración fue S₃

(150 kg/ha de Si) con una media de 9,25 hojas; en segundo lugar, el tratamiento S₂ (100 kg/ha de Si) con una media de 8,77 hojas; en tercer lugar, S₁ (50 kg/ha de Si) con una media de 8,72 hojas y en último lugar el tratamiento S₀ (0 kg/ha de Si) con una media de 8,51 hojas. Por lo tanto, podemos inducir que con la dosis más alta se logra obtener un mayor número de hojas funcionales en el momento de la fase de floración. Sin embargo, el número de hojas al momento de la cosecha fue mejor influenciada por el tratamiento S₃ (150 kg/ha de Si) con una media 6,64 hojas; en segundo lugar, el tratamiento S₂ (100 kg/ha de Si) con una media de 6,17 hojas; en tercer lugar, S₁ (50 kg/ha de Si) con una media de 5,99 hojas y en último lugar el tratamiento S₀ (0 kg/ha de Si) con una media de 5,90 hojas. Por lo tanto, podemos inferir que al momento de la cosecha con la dosis más alta se logra obtener un mayor número de hojas funcionales. Estos datos son similares a los que reportan Moyano & Jiménez (2009) quienes demostraron efectos positivos en los parámetros agronómicos del cultivo de banano variedad Willians con respecto al número de hojas totales utilizando tres fuentes de silicio como Zumsil, Activada y Biosil.

Tabla 2

Prueba post ANOVA de Duncan ($\alpha=5\%$) para longitud de circunferencia del pseudotallo del hijuelo de banano

Mes	Tratamientos	Medias (cm)	Duncan 5 %
Abril	S ₀	30,08	a
	S ₁	29,08	a
	S ₂	28,63	a
	S ₃	27,66	a
Mayo	S ₀	40,10	a
	S ₂	39,49	a
	S ₁	39,34	a
	S ₃	38,35	a
Junio	S ₀	45,85	a
	S ₂	45,85	a
	S ₁	44,83	a
	S ₃	44,16	a
Julio	S ₀	53,77	a
	S ₂	53,53	a
	S ₁	52,21	a
	S ₃	51,17	a
Agosto	S ₂	58,65	a
	S ₀	58,51	a
	S ₁	56,47	a
	S ₃	55,98	a

Número de hojas a la cosecha

Se determinó del análisis de varianza para este parámetro la fuente de variación dosis de silicio y bloques alcanzaron resultados no significativos, con un coeficiente de variación 9,08%. La prueba post ANOVA de medias (Duncan $\alpha=5\%$) para el número de hojas al momento de la cosecha (Tabla 3), indican que existen diferencias no significativas con los tratamientos S₃ y S₂; S₂, S₁ y S₀ respectivamente.

Tabla 3

Prueba post ANOVA de Duncan ($\alpha=5\%$) para número de hojas a la floración y cosecha

Claves	Trata- mientos	Floración		Cosecha	
		Medias	Duncan 5%	Medias	Duncan 5%
IV	S ₃	9,25	a	6,64	a
III	S ₂	8,77	ab	6,17	ab
II	S ₁	8,72	b	5,99	b
I	S ₀	8,51	b	5,90	b
		CV = 11,71%		CV = 9,08%	

Área foliar en m²

Según el análisis de varianza realizado no existen diferencias significativas en el origen de las variaciones dosis de silicio y bloques durante los meses de evaluación respectivamente, con coeficientes de variación inicial de 17,22% en el mes de abril del 2018 y una variación final de 31,01% agosto del mismo año. La prueba post ANOVA de medias (Duncan $\alpha = 5\%$) para este indicador (Tabla 4), nos determinó que los tratamientos en estudio son estadísticamente no significativos durante los meses abril, mayo y agosto del 2018; sin embargo, durante los meses de junio y julio los tratamientos S₀ y S₂ presentan diferencias significativas y de igual manera los tratamientos S₂ y S₁ y así mismo los tratamientos S₁ y S₃.

Tabla 4

Prueba post ANOVA de Duncan ($\alpha=5\%$) para área foliar

Mes	Trata- mientos	Medias (m ²)	Duncan 5%	C.V. (%)
Abril	S ₀	0,17	a	17,22
	S ₂	0,12	a	
	S ₁	0,09	a	
	S ₃	0,08	a	
Mayo	S ₃	0,33	a	35,64
	S ₀	0,32	a	
	S ₁	0,29	a	
	S ₂	0,27	a	
Junio	S ₀	0,58	a	30,43
	S ₂	0,54	ab	
	S ₁	0,41	bc	
	S ₃	0,29	c	
Julio	S ₂	0,98	a	30,89
	S ₀	0,83	ab	
	S ₁	0,80	ab	
	S ₃	0,65	b	
Agosto	S ₀	1,13	a	31,01
	S ₃	1,07	a	
	S ₂	0,99	a	
	S ₁	0,99	a	

En la Figura 2 puede observarse el incremento progresivo del área foliar promedio durante los cinco meses de evaluación (abril hasta agosto del 2018) iniciando con un promedio de 0,12 m² y el último mes con 1,05 m² con una diferencia de aumento de 0,93 m².

El área foliar fue variable según el efecto de los tratamientos en estudio; por lo tanto, en el mes de abril el tratamiento S₀ (0 kg/ha de Si) presentó una mayor área foliar promedio de 0,77 m², en mayo el tratamiento S₃ (150 kg/ha de Si) expresó

una mayor área foliar promedio de 0,33 m², en junio el tratamiento S₀ (0 kg/ha de Si) manifestó una mayor área foliar promedio de 0,58 m², julio el tratamiento S₂ (100 kg/ha de Si) pronunció una mayor área foliar promedio de 0,98 m² y en agosto el tratamiento S₀ (0 kg/ha de Si) demostró una mayor área foliar promedio de 1,13 m² todo esto en el año 2018. Por lo expuesto, con la aplicación de silicio, en los tratamientos S₃ (150 kg/ha de Si) y S₂ (100 kg/ha de Si) se presentó mayor área foliar en las plantas tratadas con silicio coincidiendo por lo expuesto por Panta (2011) donde obtuvo un incremento de área foliar aplicando la dosis de 3 ml de producto comercial a base de silicio para las condiciones del valle de Tumbes; sin embargo, es necesario resaltar que el terreno donde se realizó el presente trabajo, en el análisis de suelo reportó cierto contenido de silicio, influyendo muy posiblemente en las variables en estudio.

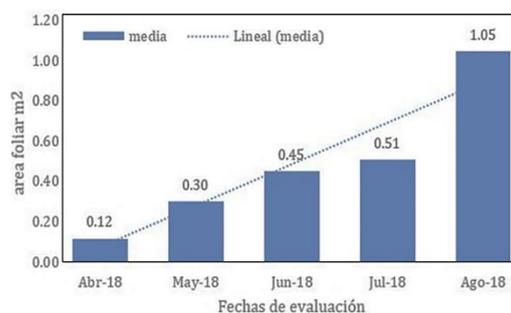


Figura 1. Comportamiento de medias de área foliar en m², por efecto de tres dosis de silicio, sector "Dornajo" margen derecha del río Zarumilla.

Número promedio de manos por racimo

Según el análisis de varianza indica que no existe diferencia significativa entre las fuentes de variación de bloques y tratamiento, con un coeficiente de variación del 5,35%. La prueba post ANOVA de medias (Duncan $\alpha = 5\%$) (tabla 5), indica que no existe diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos en estudio, presentando el tratamiento S₃ (dosis de 150 kg de Silicio/ha) un promedio de manos de 7,65 ligeramente mayor en comparación con los demás tratamientos que presentaron un promedio igual de 7,45 respectivamente. Con los tratamientos en estudio, el tratamiento S₃ (150 kg/ha Si) fue ligeramente mayor con una media promedio de 7,65 manos, en comparación con los demás tratamientos que obtuvieron un promedio igual a 7,45 manos para S₂, S₁ y S₀ (100, 50 y 0 kg/ha de Si respectivamente).

Peso del racimo (kg)

El análisis de varianza para peso del racimo, indica que no existe diferencia significativa entre las fuentes de variación bloques y tratamiento, con un coeficiente de variación del 10,80%. La prueba post ANOVA de medias (Duncan $\alpha = 5\%$) (Tabla 5), indica que no existe diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos en estudio, presentando el tratamiento S₀ un mayor promedio.

El tratamiento S₀ (0 kg/ha de Si) se obtuvo un mayor peso del racimo con una media de 22,95 kilogramos, diferenciando de los datos obtenidos por Panta (2011) donde menciona que obtuvo un mejor peso de fruto aplicando la dosis de 3 ml de un producto foliar a base de silicio en la variedad de banano IC2 bajo las condiciones del valle de Tumbes. En segundo lugar, el tratamiento S₃ (150 kg/ha de Si) con una media de 22,56 kilogramos, en tercer lugar, el tratamiento S₂ (100 kg/ha de Si) con una media de 21,51 kilogramos y en último lugar el tratamiento S₁ (50 kg/ha de Si) con una media 21,28 kilogramos.

Aplicando el tratamiento S₂ (100 kg/ha de Si) presentó un mayor peso de dedo con una media 176,66 gramos, en segundo lugar, el tratamiento S₁ (50 kg/ha de Si) con una media 174,40 gramos, en tercer lugar, el tratamiento S₃ (150 kg/ha de Si) con una media 169,11 gramos y en último lugar el tratamiento S₀ (0 kg/ha de Si) con una media de 164,83 gramos.

Peso de dedo (g)

El análisis de varianza para peso de dedo al momento de la cosecha, indica que no existen diferencias significativas entre las fuentes de variación bloques, pero si para tratamiento, con un coeficiente de variación del 3,09%. La prueba post ANOVA de medias (Duncan $\alpha=5\%$) (Tabla 5), indica que no existe diferencia significativa en los tratamientos S₂ y S₁ (176,66 y 174,40 gramos); igualmente para los tratamientos S₁ y S₃ (entre 174,40 y 169,11 gramos) y lo mismo para los tratamientos S₃ y S₀ (169,11 y 164,83 gramos).

Severidad de *M. fijiensis*

En la Tabla 6 puede observarse el promedio del índice de severidad por tratamiento de manera mensual. Durante el periodo indicado, se presentó un incremento paulatino de sigatoka en el campo de estudio en los tratamientos S₀, S₁ y S₂ de abril a agosto y comenzando a disminuir de setiembre 2018 a enero del 2019. En el tratamiento S₃, se observan menores valores del incremento del índice de severidad y recién en el mes de octubre comienza a descender. La máxima expresión promedio del daño foliar ocasionado por el hongo tuvo valores de 11,87; 12,76; 11,00 y 7,74% para S₀, S₁, S₂ y S₃ respectivamente; siendo la dosis última 150 kg/ha de silicio donde hubo una menor expresión de sigatoka negra comparada con los demás tratamientos. Estos datos se pueden visualizar mucho mejor en la Figura 3, donde se aprecia claramente las curvas de desarrollo de

esta enfermedad fúngica en función de los tratamientos en estudio. La sigatoka negra es la enfermedad que mayores pérdidas ocasiona al productor, por lo tanto, en este trabajo de investigación, el tratamiento S₃ (150 kg/ha de Si) incidió mucho en la disminución de la severidad de esta enfermedad durante diez meses de evaluación (abril del 2018 hasta enero del 2019) coincidiendo con lo reportado por los autores Hasing (2007) y Moyano & Jiménez (2009) donde manifiestan que con la aplicación de silicio lograron obtener un índice de infección menor ocasionado por *M. fijiensis*. Así mismo, los autores referidos recomiendan que este elemento debe ser incluido como fertilizante regular en los planes de fertilización y que la mejor vía de aplicación es vía radicular para la variedad Williams. Esta explicación se debe a lo manifestado por los autores Chérif et al. (1994) donde indican que la inducción de mecanismos de defensa en respuesta a los ataques de hongos en el caso del cultivo de pepino por la aplicación de Si soluble (Si+), obtuvieron una marcada estimulación, debido a la actividad de quitinasa y una activación más intensa y rápida de peroxidadas y polifenoloxidasas después de la infección con *Pythium* spp. Además, los compuestos fenólicos unidos glicosídicamente extraídos de plantas de pepino tratadas con Si+ y sometidos a hidrólisis ácida o β -glucosidasa (extractos de Gly) mostraron una fuerte actividad fungistática contra *P. ultimum*, *P. aphanidermatum* y *Cladosporium cucumerinum*. En el mes de abril se registró un área afectada promedio de 0,41% de la hoja de banano con T° promedio de 31,00°C y HR de 58,00% en comparación con los demás tratamientos donde las severidades fueron mayores en el mismo mes. Sin embargo, con el transcurrir de los meses, la severidad de esta enfermedad se fue incrementando hasta llegar al mes de agosto donde se manifestó la máxima expresión del daño foliar con 11,87; 12,76 y 11,00% para los tratamientos S₀, S₁ y S₂ (0, 50 y 100 kg/ha de Si) respectivamente, con promedio de T° 26,15 °C y HR de 69,00%. Pero, en el mes de setiembre fue mayor la expresión de este hongo para el tratamiento S₃ (150 kg/ha de Si) con una media de 8,70% de daño de área foliar con T° y HR promedio de 26,47°C y 69,67% respectivamente; este resultado podría ser explicado por Heather & Carole (2007) que dan a conocer que el silicio activa mecanismos naturales ante el ataque de plagas y enfermedades, en este caso para sigatoka negra.

Tabla 5

Prueba post ANOVA de Duncan ($\alpha=5\%$) para número promedio de manos por racimo, peso promedio en kg por racimo y peso promedio en gramos por dedo

Claves	Tratam.	Nº promedio manos/racimo	Duncan 5 %	Tratam.	Peso promedio en kg /racimo	Duncan 5%	Tratam.	Peso promedio en g /dedo	Duncan 5%	
IV	S ₃	7,65	a	S ₀	22,95	a	S ₂	176,66	a	
III	S ₂	7,45	a	S ₃	22,56	a	S ₁	174,40	ab	
II	S ₁	7,45	a	S ₂	21,51	a	S ₃	169,11	bc	
I	S ₀	7,45	a	S ₁	21,28	a	S ₀	164,83	c	
		CV= 5,35%				CV= 10,80%				
								CV= 3,09%		

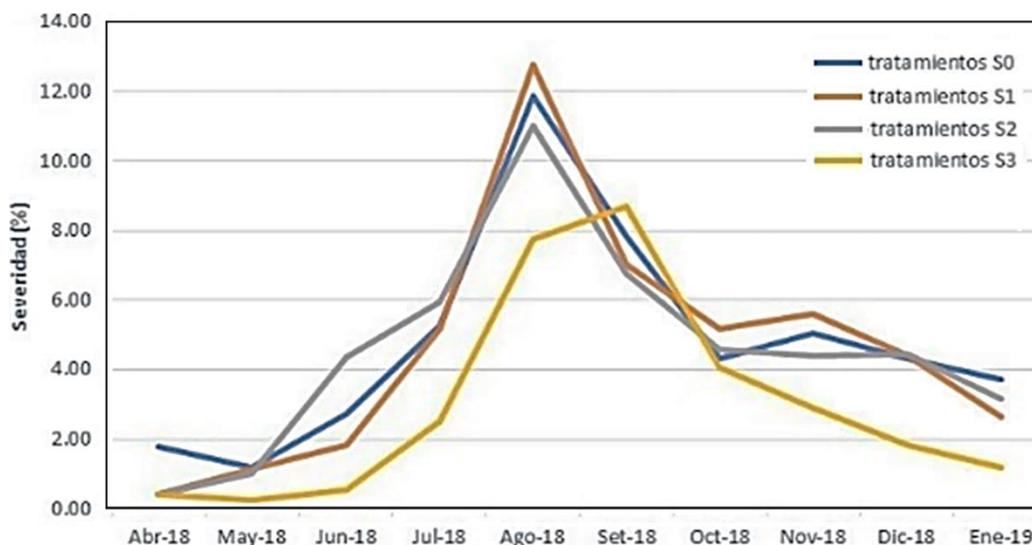


Figura 3. Comportamiento de medias de índice de severidad de *M. fijiensis*. Abril 2018 - enero del 2019.

Los resultados se manifiestan, en este caso, como componentes de las paredes celulares de las plantas asociadas a la sílice polimerizada; pero, aun así, este tratamiento comparado con los demás, fue donde se obtuvo menor daño durante el tiempo de evaluación mejorando el área fotosintética, mayor contenido de celulosa y hemicelulosa (Abreu et al., 2013). Kablan et al., (2012) realizaron 3 experimentos en condiciones controladas, para determinar el efecto de la absorción de silicio (Si) en la susceptibilidad de *Musa acuminata* a *Mycosphaerella fijiensis*, en tal sentido cultivaron plantas en macetas adaptadas para un sistema de cultivo hidropónico o en macetas llenas de compost en presencia y ausencia de Si. Las hojas de banano se inocularon después de 4 o 6 meses de crecimiento de la planta por aspersión de suspensiones de conidios o por cepillado de fragmentos de micelio. El progreso de la enfermedad a lo largo del tiempo la evaluaron mediante escalas cuantitativas y cualitativas. Al final de cada experimento, también se analizó la gravedad de la enfermedad utilizando el software de análisis de imágenes ASSESS. La concentración de Si en las hojas de las plantas fertilizadas con Si

alcanzaron de 10 a 28 g/kg de materia seca. Los primeros síntomas aparecieron 18 días después de la inoculación. La enfermedad se desarrolló con mayor rapidez y severidad en plantas de banano cultivadas sin Si que en plantas a las que se les suministró Si. Las áreas bajo la curva de progreso de la enfermedad (AUDPC) calculadas para plantas cultivadas con Si fueron significativamente más bajas que las AUDPC para plantas que no recibieron Si, independientemente del método de inoculación. Por lo tanto, el suministro de Si podría ser una herramienta valiosa en el manejo integrado de *M. fijiensis* al reducir la presión de la enfermedad sobre el banano. La deposición de Si, en forma de gel de sílice que luego se convierte en ópalo biogénico en las paredes celulares y en los espacios intercelulares de las células de las raíces y las hojas (Yoshida et al., 1962; Lanning, 1963), es uno de los mecanismos que explican la resistencia a enfermedades mediada por Si en varios cultivos. Datnoff et al. (2007) y Fortunato et al. (2014) proporcionan evidencia del papel fundamental de la vía fenilpropanoide en la resistencia de las plantas de banano a la infección de *F. oxysporum* f. sp. *cubense* cuando se suministra con Si.

Tabla 6

Resultados en promedio de la severidad de *M. fijiensis* desde abril del 2018 hasta enero del 2019, por efecto de tres dosis de silicio, sector "Dornajo" margen derecha del río Zarumilla

Mes	T °C	HR%	Tratamientos			
			S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
Abr-18	31,00	58,00	1,80	0,39	0,39	0,41
May-18	27,98	77,50	1,19	1,13	1,00	0,26
Jun-18	21,20	85,00	2,73	1,85	4,38	0,54
Jul-18	24,05	76,00	5,25	5,18	5,93	2,50
Ago-18	26,15	69,00	11,87	12,76	11,00	7,74
Set-18	24,47	69,67	7,85	7,01	6,75	8,70
Oct-18	26,70	65,00	4,31	5,18	4,57	4,06
Nov-18	27,90	67,00	5,03	5,60	4,39	2,88
Dic-18	33,45	59,50	4,33	4,40	4,45	1,81
Ene-19	28,60	71,00	3,71	2,64	3,18	1,19

CONCLUSIONES

Los resultados demostraron que en la longitud de circunferencia del pseudotallo de los hijuelos de banano no se vio influenciada por la aplicación de ninguna de las dosis de silicio, ya que no hubo diferencia estadística en los tratamientos en comparación con el testigo. El número de hojas al momento de la floración fue influenciado por los tratamientos S₃ y S₂ obteniéndose 9,25 y 8,77 hojas promedio respectivamente. El número de hojas al momento de la cosecha presentó mejores resultados con los tratamientos S₃ y S₂ con 6,64 y 6,17 hojas promedio. Los mejores resultados en el área foliar se obtuvieron con el tratamiento S₂ (0,98 m²) durante el mes de julio de 2018 en comparación con el testigo. El número de manos por racimo se vio ligeramente influenciado por el tratamiento S₃, obteniéndose un valor promedio de 7,65 manos, en comparación con los tratamientos

S₂, S₁ y el testigo que fueron iguales a 7,45 manos en promedio.

Con la aplicación del tratamiento S₃, se logró obtener un peso del racimo promedio de 22,56 kilos. El mejor peso de dedo se obtuvo aplicando la dosis S₂ obteniéndose 176,66 gramos en promedio. Un mejor control de sigatoka negra se logró aplicando la dosis de S₃ (150 kg/ha de Si), durante los diez meses de evaluación.

Se recomienda realizar estudios adicionales con fuentes de silicio de mayor concentración y considerarse su aplicación en los planes de fertilización en el cultivo de banano y otros e igualmente sería interesante realizar estudios con materiales residuales de cosecha y que son abundantes en nuestra región, como es el caso de las cenizas de la cáscara de arroz, cuyo principal componente es el silicio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, S., Pasqual, M., Gómez, A., Lara, R., Almendagna, F., & Salles, L. (2013). Características morfofisiológicas de bananeiras 'Grande Naine' aclimatizadas em resposta a utilização de silício in vitro. *Ciências Agrárias, Londrina*, 34, 1. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n1p73>
- Agouanet, F. P., Yatat-Djeumen, V., Tankam-Chedjou, I., & Tewa, J. J. (2024). Control model of banana black sigatoka disease with seasonality. *Differential Equations and Dynamical Systems*. <https://doi.org/10.1007/s12591-024-00692-z>
- Agrios, G. N. (2005). Chapter twelve—plant diseases caused by prokaryotes: Bacteria and mollicutes. *Plant Pathology*, 615–703. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-047378-9.50018-x>
- Ahouangninou, C., Zandjanakou-Tachin, M., Abiola, A., Avocevou-Ayisso, C., Vodounou, M., Affokpon, A., & Fanou, A. (2021). Characterization and typology of banana producing farms in the district of Houeyogbe in Southern Benin. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 40(48), 21–32. <https://doi.org/10.9734/cjast/2021/v40i4831640>
- Borda, O., Barón, F., & Gómez, M. (2007). El silicio como elemento benéfico en avena forrajera (*Avena sativa* L.): respuestas fisiológicas de crecimiento y manejo. *Agronomía Colombiana*, 25(2), 273–279.
- Busche, M., Acatay, C., Martens, S., Weisshaar, B., & Stracke, R. (2021). Functional Characterisation of Banana (*Musa* spp.) 2-Oxoglutarate-Dependent Dioxygenases Involved in Flavonoid Biosynthesis. *Front. Plant Sci.*, 12, 701780. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.701780>
- Chérif, M., Asselin, A., & Bélanger, R. R. (1994). Defense responses induced by soluble silicon in cucumber root infected by *Pythium* spp. *The American Phytopathological Society*. <https://doi.org/10.1094/Phyto-84-236>
- Cunha da, P., Williams, Araújo do Nascimento, C. & José da Silva, A. (2008). Silicon alleviates the toxicity of cadmium and zinc for maize (*Zea mays* L.) grown on a contaminated soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 171(6), 849–853.
- Currie, H. A., & Perry, C. C., (2007). Silica in plants: biological and biochemical and chemical studies. *Annals of Botany* 100, 1383–1389.
- Datnoff, L. E., Rodrigues, F. A., & Seebold, K. W. (2007). Silicon and plant disease. Pages 233–246 in: Mineral Nutrition and Plant Disease. L. E. Datnoff, W. H. Elmer, and D. M. Huber, eds. The American Phytopathological Society, St. Paul, MN.
- Epstein, E. (1994). The anomaly of silicon in plant biology. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 91(1), 11–17.
- Epstein, E. (1999). Silicon. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 50, 641–664.
- FAO. (2020). Perspectivas a mediano plazo: Perspectivas para la producción y el comercio mundial de bananos y frutas tropicales 2019–2028. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). <http://www.fao.org/3/ca7568es/ca7568es.pdf>
- Fortunato, A. A., Rodrigues, F. A., Baroni, J. C. P., Soares, G. C. B., Rodriguez, M. A. D., & Liparini, O. P. (2012). Silicon suppresses *Fusarium* wilt development in banana plants. *J. Phytopathol.*, 160, 674–679.
- Fortunato, A. A., Rodrigues, F. A., & Nascimento, K. J. T. (2012). Physiological and biochemical aspects of the resistance of banana plants to *Fusarium* wilt potentiated by silicon. *Phytopathology*, 102, 957–966.
- Fortunato, A. A., Da Silva, W. L., & Rodrigues, F. A. (2014). Phenylpropanoid pathway is potentiated by Silicon in the roots of Banana plants during the infection process of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. *Phytopathology*, 104(6), 597–603.
- Ghouri, F., Sarwar, S., Sun, L., Riaz, M., Haider, F. U., Ashraf, H., Lai, M., Imran, M., Liu, J., Ali, S., Liu, X., & Shahid, M. Q. (2024). Silicon and iron nanoparticles protect rice against lead (Pb) stress by improving oxidative tolerance and minimizing Pb uptake. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-55810-2>
- Hasing, F. (2007). Impacto de las Aplicaciones de un Mineral Bioactivo sobre Parámetros Agronómicos y Fitosanitarios en Plantas de Banano del Grupo Cavendish, Variedad Williams a Nivel de Laboratorio e Invernadero. Tesis de grado para la obtención del título de Ingeniero Agropecuario. Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción. Escuela Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.
- Heather A. C., & Carole, C. P. (2007). Silica in Plants: Biological, Biochemical and Chemical Studies, *Annals of Botany*, 100(7), 383–1389.
- Henriet, C., Draye, X., Oppitz, I., Swennen, R., & Delvaux, B. (2006). Effects, distribution and uptake of silicon in banana (*Musa* spp.) under optimal conditions. *Plant Soil*, 287, 359–374.
- Huber, D., Römheld, V., & Weinmann, M. (2012). Chapter 10 - Relationship between nutrition, plant diseases and pests. Marschner's mineral nutrition of higher plants (283–298). Massachusetts, United State: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00010-8>
- 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>
- Kurniawan, R., Rahayuniati, R., & Nurtiati, N. (2023). The Influence of Soil Nutrients Availability on Banana Bunchy Top Disease Incidence in Banyumas Regency, Central Java Province, Indonesia. Caraka Tani: *Journal of Sustainable Agriculture*, 38(1), 125–136. <http://dx.doi.org/10.20961/carakatani.v38i1.67120>
- Lal, N., Sahu, N., Shiurkar, G., Kumar, D., & Chack, S. (2017). Banana: Awesome fruit crop for society. *The Pharma Innovation Journal*, 6(7), 223–228.
- Lanning, F. C. (1963). Silicon in rice. *J. Agric. Food Chem.*, 11, 435–437.

- Loué, A. (1988). Los microelementos en la agricultura. Silicio. Ed. Mundi-Prensa, Brasil. pp. 208-211.
- Malavolta, E. (2006). Manual de nutrição mineral de plantas [en línea]. edit. Editora Agronômica CERES, Sao Paulo, Brasil, 638 p.
- MINAGRI. (2018). Situación Comercial del Banano Orgánico en el Mercado Europeo. Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI), Dirección General de Políticas Agrarias (DGPA), Lima, Perú.
- Moyano, B. & Jiménez, M. (2009). Establecimiento de la línea base de productos formulados con silicio y estudio del efecto en los parámetros de desarrollo y sanitarios de plantas de banano Cavendish (AAA), variedad Williams. Escuela Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.
- Olivares, B. O., Araya-Alman, M., Acevedo Opazo, C., Rey, J. C., Cañete-Salinas, P., Kurina, F. G., Balzarini, M., Lobo, D., Navas-Cortés, J. A., Landa, B. B., & Gómez, J. A. (2020). Relationship between soil properties and banana productivity in the two main cultivation areas in Venezuela. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20, 2512–2524. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00317-8>
- Ohn, M. H., Ohn, K. M., Souza, U. D., Yusof, S., & Ariffin, Z. (2019). Banana peel: ¿Is it useful for surgical suturing training? *Journal of Physics: Conference Series* 1358(18). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1358/1/012018>
- Panta, G. (2011). Efecto del silicio en las características morfoproductivas del banano (*Musa sapientum* L.) Variedad IC2 en el valle de Tumbes. Tesis de grado para obtener el título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Tumbes. Tumbes, Perú.
- Rafael-Rutte, R., Zavala, L., Maldonado, E. A., Aguilar-Ancota, R., Saucedo-Bazalar, M., Tirado-Lara, J., & Aquije, C. (2022). Characterization of rhizome and pseudostem wet rot of organic banana (*Musa* sp.) in Piura, Peru. *Chilean Journal of Agricultural and Animal Sciences*, 38(2), 176-188. <https://doi.org/10.29393/CHJAA38-17CRRC70017>
- Salvant, N., Snyder, G., Danoff, L. (1997). Silicon management and sustainable rice production. *Adv. Agr.*, 58, 151-199.
- SENASA (2018). Tumbes: ECA de banano y plátano dominico fortalecieron conocimiento de productores en MIP. Servicio Nacional de Sanidad Agraria.
- Sushmita, B., Priyanka, P., Rajani, K., & Binayak, P. (2023). Production efficiency of banana cultivation in Chitwan District, Nepal, *Cogent Food & Agriculture*, 9, 1. <https://doi.org/10.1080/23311932.2023.2212461>
- Swoboda, P., Döring, T. F., & Hamer, M. (2022). Remineralizing soils? the agricultural usage of silicate rock powders: A review. *Science of the Total Environment*, 807. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150976>.
- Tripathi, R., Tewari, R., Singh, K. P., Keswani, C., Minkina, T., Srivastava, A. K., De Corato, U., & Sansinenea, E. (2022). Plant mineral nutrition and disease resistance: A significant linkage for sustainable crop protection. *Frontiers in Plant Science*, 13, 883970. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.88397>
- Yoshida, S. (1975). The physiology of silicon on rice. *Technical Bulletin. Food and Fertilizer Technology Center (FFTC)*. Taipei, Taiwán. 27 p.
- Yoshida, S., Ohnishi, Y., & Kitagishi, K. (1962). Chemical forms, mobility and deposition of silicon in rice plant. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 8, 15-21.