

ARTÍCULOS

Efectos de la aplicación de diferentes fuentes de Silicio foliar en el cultivo de pimienta, Var: Yolo Wonder

Effects of the application of different sources of foliar Silicon in the cultivation of pepper, Var: Yolo Wonder

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.13136285>

Irene Bersave Lazo Salinas^{1,2} , Diego Ricardo Villaseñor Ortiz^{1,2} , Ángel Eduardo Luna Romero^{1,2} ,
Irán Rodríguez Delgado^{1,2} , Jorge Vicente Cun Carrión¹ 

1- Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Machala (UTMACH), Ecuador

2- Semillero de Investigación en Fitotecnia (SINFIT), UTMACH – FCA, Ecuador

Resumen. En la actualidad, uno de los elementos que ha cobrado protagonismo en la optimización de cultivos es el Silicio (Si), un mineral que tradicionalmente ha sido subestimado, sin embargo, juega un papel vital en el bienestar de las plantas. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de diferentes fuentes y dosis foliares de Si sobre el desarrollo y asimilación de nutrientes en el cultivo de pimienta. El diseño experimental corresponde a un DCA. Los resultados arrojaron que no hubo diferencias significativas en las variables biométricas, como la altura de la planta, el diámetro del tallo y el número de hojas, flores y frutos, entre los tratamientos de fuentes y dosis de Si. Esto sugiere que las dosis de Si evaluadas no tuvieron un efecto sustancial en el crecimiento general de las plantas de pimienta. Sin embargo, se observaron efectos significativos del Si en la química foliar de las plantas. Los tratamientos con Si mostraron concentraciones más bajas de nitrato y potasio en comparación con el grupo de control. Además, se registraron concentraciones más altas de sodio en algunos tratamientos con Si y los valores de pH tanto en el área foliar como en tejidos vegetales se disminuyeron en los tratamientos con Si 1000 y $K_4(SiO_4)$. Estos hallazgos indican que el Si puede influir en la química foliar de las plantas de pimienta. En cuanto a la salinidad y la CE, se encontraron diferencias estadísticas en los valores de los extractos de hojas y de tallo más peciolo.

Palabras clave: silicio, plantas de pimienta, química foliar, impacto en el crecimiento.

Abstract. Currently, one of the elements that has gained prominence in crop optimization is Silicon (Si), a mineral that has traditionally been underestimated, however, it plays a vital role in the well-being of plants. The objective of this study was to evaluate the effect of different sources and foliar doses of Si on the development and assimilation of nutrients in the pepper crop. The experimental design corresponds to a DCA. The results showed that there were no significant differences in the biometric variables, such as plant height, stem diameter and the number of leaves, flowers and fruits, between the Si source and dose treatments. This suggests that the Si doses evaluated did not have a substantial effect on the overall growth of pepper plants. However, significant effects of Si were observed on the foliar chemistry of the plants. Si treatments showed lower concentrations of nitrate and potassium compared to the control group. In addition, higher sodium concentrations were recorded in some Si treatments, and pH values in both the leaf area and plant tissues were decreased in the Si 1000 and $K_4(SiO_4)$ treatments. These findings indicate that Si can influence the foliar chemistry of pepper plants. Regarding salinity and EC, statistical differences were found in the values of the extracts of leaves and stem plus petiole.

Keywords: silicon, pepper plants, foliar chemistry, growth impact.

Artículo recibido: 10/10/2023. Artículo aceptado: 10/4/2024

***Autora para correspondencia:** Irene Bersave Lazo Salinas, - 070650 Cantón El Guabo, El Oro, Ecuador, ilazo1@utmachala.edu.ec

Financiamiento: Universidad Técnica de Machala

Esta obra está bajo licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es_AR

INTRODUCCIÓN

El pimiento (*Capsicum annuum* L.) se destaca como un pilar fundamental en la agricultura mundial, no sólo por su versatilidad culinaria, sino también por su relevancia en la seguridad alimentaria (Rodríguez et al., 2020). En el ámbito nacional, su producción ha cobrado gran relevancia, estableciéndose como una fuente de ingresos para numerosas comunidades (Rodríguez et al., 2020; Hassan et al., 2021). En términos de superficie plantada y niveles de productividad, el pimiento se ha consolidado como un cultivo estratégico en la agricultura, aprovechando las condiciones climáticas propicias para su desarrollo (Mancinelli et al., 2019; Hassan et al., 2021).

El pimiento, al igual que otras plantas, requiere una serie de nutrientes para crecer saludablemente. Entre los principales elementos se encuentran nutrientes como el nitrógeno (N), el fósforo (P), el potasio (K), entre otros. Estos nutrientes desempeñan un papel fundamental en el crecimiento, la floración y la producción de frutos del pimiento (Matarín y Morales, 2018).

Uno de los elementos que ha cobrado interés en la optimización de cultivos es el Silicio (Si), un mineral que tradicionalmente ha sido subestimado, pero que juega un papel vital en el bienestar de las plantas (Higuera y Rodríguez, 2015). El Si es un elemento esencial que fortalece la estructura celular, que contribuye a la rigidez y resistencia de los tejidos vegetales (Rajput et al., 2021a, 2021b). Además, se ha observado que el Si tiene la capacidad de mejorar la resistencia de las plantas a diversas tensiones bióticas y abióticas, como patógenos y estrés por sequía (Debona et al., 2017; Rajput et al., 2021b).

En este contexto, la búsqueda de técnicas que mejoren la calidad y productividad del cultivo se vuelve esencial. Es por ello que la aplicación foliar de Si ha demostrado ser una estrategia prometedora en la mejora del rendimiento y la resistencia de diversos cultivos (Kaushik y Saini, 2019), además el Si es absorbido directamente por las hojas, lo que puede resultar en beneficios notables para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Kablan et al., 2012; Kaushik y Saini, 2019). Esta práctica se ha estudiado en diferentes cultivos con resultados alentadores, lo que sugiere que podría tener un efecto positivo similar en el cultivo en mención.

Otro beneficio interesante sobre el efecto del Si, está ligado en la mejora de la asimilación de nutrientes y el desarrollo de las plantas (De Mello, 2023). En

este sentido, numerosos estudios han demostrado que la aplicación de Si en cultivos puede tener un impacto significativo en el crecimiento y desarrollo de las plantas. El Si actúa como un elemento beneficioso que fortalece la estructura celular de las plantas, haciéndolas más resistentes a diversas tensiones, como enfermedades y estrés abiótico (Luyckx et al., 2017; Liu et al., 2019). Además, el Si también juega un papel crucial en la mejora de la absorción de nutrientes esenciales, como el P y el K, lo que ha facilitado su transporte y asimilación en las plantas. Este efecto beneficioso del Si en el desarrollo y la nutrición de las plantas ha despertado un creciente interés en su aplicación en la agricultura, con el objetivo de mejorar la productividad y la calidad de los cultivos (Kamenidou et al., 2009; Bhat et al., 2019).

Esta investigación tiene el fin de aportar con información acerca de la aplicación del Si en los cultivos hortícolas, un aspecto aún poco explorado en la zona sur del Ecuador, esta región se destaca por su producción agrícola, sin conocer los beneficios que el Si ofrece en términos de resistencia a enfermedades, tolerancia a factores de estrés y su influencia en la química foliar y del suelo. Por tanto, el objetivo del estudio fue evaluar el efecto de diferentes fuentes y dosis foliares de Si sobre el desarrollo y asimilación de nutrientes en el cultivo de pimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Delimitación del área de estudio

El experimento se llevó a cabo desde junio hasta agosto de 2023 en la Granja experimental Santa Inés de la Universidad Técnica de Machala, en la provincia de El Oro, Ecuador ubicada geográficamente en las coordenadas 3°15'52,29" S, 79°57'4,3" W. El suelo de la zona de acuerdo a Villaseñor et al., (2015) pertenece a la orden Inceptisol, y según datos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), 2014 pertenece al subgrupo Aquic Dystrustepts, con una clase textural arcillo-arenoso-arcilloso, formado por sedimentos aluviales (Espinoza et al., 2018). El material edafológico que se utilizó como sustrato del experimento y cuyos atributos químicos para fines de fertilidad se presentan en la tabla 1, según los datos de la investigación de Villaseñor et al., (2022). El clima de la zona según Köppen-Geiger (1884), es un AW (Tropical), con temporada seca de mayo a diciembre y temporada de lluvias de enero a abril. Las temperaturas promedio anuales están entre 25 y 30 °C (Pourrut et al., 1995).

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas (profundidad 0-30 cm) del suelo experimental del estudio niveles críticos de nitrógeno y potasio y rangos de suficiencia para el cultivo de banano en Ecuador, realizado en la Granja experimental del campus Santa Inés en la Universidad Técnica de Machala.

Parámetros (unidades)	Rangos encontrados en el área de estudio	Nivel adecuado ¹
Densidad aparente (g cm ⁻³)	1,35	1,3–1,6
Clase textural (USDA)	Franco–Franco arcilloso arenoso	Franco limoso–Franco arenoso
CIC (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)	39,8	>15
CE (V 1:2) (mS m ⁻¹)	0,38	0,3–0,6
pH (H ₂ O) (V 1:2)	7,8	6,0–6,5
pH (KCl) (V 1:2)	6,6	5,5–7,0
Materia orgánica (%)	1,8	3,0–12,0
N Total (mg kg ⁻¹)	4,4	35–60
P (mg kg ⁻¹)	35,9	25–40
K (mg kg ⁻¹)	110	125–320
Mg (mg kg ⁻¹)	172	45–135
Ca (mg kg ⁻¹)	910	600–1200
S (mg kg ⁻¹)	21,6	15–25
Fe (mg kg ⁻¹)	48,4	20–50
Mn (mg kg ⁻¹)	19	6–30
Cu (mg kg ⁻¹)	4,6	1,1–4,0
Zn (mg kg ⁻¹)	2,4	1,2–6,0
B (mg kg ⁻¹)	0,35	0,15–0,60
Cl (mg kg ⁻¹)	47,7	<210
Na (mg kg ⁻¹)	65,6	<140

CIC = Capacidad de intercambio catiónico, CE = Conductividad eléctrica, ¹Resultados considerados adecuados, adaptado de (Villaseñor et al., 2022).

Tabla 2. Descripción de los tratamientos, fuentes y dosis de Si foliar aplicados en el cultivo de pimiento, realizado en el área experimental de la Granja Santa Inés, Universidad Técnica de Machala, para el periodo junio – agosto de 2023.

Tratamientos	Dosis de aplicación cm ³ ha ⁻¹
Control	0
Ácido monosilícico Si(OH) ₄	250
Ácido monosilícico Si(OH) ₄	500
Ácido monosilícico Si(OH) ₄	750
Ácido monosilícico Si(OH) ₄	1000
Silicato de K - K ₄ (SiO ₄)	1000
Silicato de Ca - Ca ₂ (SiO ₄)	1000

Diseño experimental

El ensayo fue conducido mediante un diseño completamente al azar (DCA), con siete tratamientos y cinco repeticiones, 35 unidades experimentales (UE). Dentro de cada UE, se evaluaron cinco plantas, esto se llevó a cabo en el contexto de una población de estudio compuesta por 175 plantas de pimiento.

Tratamientos

Las fuentes de Si foliar seleccionadas para este estudio se presentan en diferentes concentraciones, y cada una de ellas mantiene características únicas que podría tener un efecto sobre el cultivo de manera específica. En la tabla 2 se encuentran las dosis de las diferentes fuentes de Si foliar, las cuales se calcularon para una solución en presentación de un litro, se realizó el ajuste de las dosis por motivo del tamaño del experimento.

Manejo del ensayo

El cultivar utilizado fue Yolo Wonder la cual es una planta vigorosa, precoz, bien ramificada y muy productiva, sus frutos de cuatro cascotes son gruesos y muy carnosos, de color verde intenso, al momento de la maduración toman un color rojo son de carne dulce y consistente.

Para la siembra se utilizaron fundas de vivero (20 x 30 cm) con perforación inferior para drenaje, antes del rellenar las fundas se extrajo suelo del área experimental de la Granja Santa Inés, este material fue homogeneizado para garantizar uniformidad y proporcionar estructura adecuada, se optó por dejar un borde libre de aproximadamente 2,5 cm. Se sembraron tres semillas distribuidas en el centro de la funda a una profundidad de 1 cm en el suelo, se cubrió con una capa ligera del mismo suelo y se proporcionó riego para asegurar la germinación de las semillas.

El proceso de aplicación de los tratamientos se inició el 21 de junio de 2023, cuando las plantas contaban con 17 días después de la siembra (DDS). Se eligió este momento específico para asegurar que las plántulas hubieran desarrollado un follaje adecuado, las cuales contaron con aproximadamente de dos a tres hojas verdaderas para que puedan recibir las aplicaciones foliares de manera eficiente. Se empleó un equipo rociador, con capacidad de 750 cm³ específico para cada tratamiento, se aseguró la precisión y uniformidad en la aplicación. La frecuencia de aplicación de tratamientos se realizó

cada 15 días mediante la técnica de aspersión foliar y teniendo en cuenta que el suelo de la funda debía estar a capacidad de campo (CC).

En la primera aplicación, cuando las plantas tenían un follaje menos abundante se aplicaron tres rociadas en toda la superficie foliar, a medida que las plantas desarrollaron más follaje, las aplicaciones posteriores consistieron en cinco, siete, nueve y 11 rociadas respectivamente. Esto se realizó con el fin de adaptar la dosis de aplicación a la cantidad de hojas presentes en cada planta y garantizar una distribución efectiva del tratamiento.

Adicionalmente a los tratamientos, se incluyeron como parte del manejo del experimento aplicaciones de un programa de enraizamiento a base de algas marinas del tipo *Ascophyllum nodosum* a dosis de 400 g/200 L de agua (40 g/20 L) cada 15 días, además se llevó a cabo un programa de fertilización básica que consistió en las fórmulas; 13-40-13 en fase de inicial, 35-6-10 en desarrollo y 20-6-30 para engrose del fruto, se realizó la dosificación final de 1000 g/200 L de agua - (100 g/20 L) con aplicación en drench.

Variables estudiadas

Las variables dependientes evaluadas fueron las descritas en la tabla 3 correspondientes a las variables biométricas. En la tabla 4 se describe las variables evaluadas de nutrientes en hojas y tallo más peciolo.

Tabla 3. Descripción de las variables biométricas, unidades, instrumentos, marca y modelo de equipos de medición, en el estudio de aplicación de fuentes y dosis de Si foliar en el cultivo de pimiento realizado en el área experimental de la Granja Santa Inés de la Universidad Técnica de Machala, Ecuador.

Variables evaluadas	Unidades	Instrumento de medición	Marca y modelo
AP	cm	Flexómetro	-
DT	cm	Pie de rey	-
NDH	-	Conteo	-
NDFA	-	Conteo	-
NDB	-	Conteo	-
NDFr	-	Conteo	-
IC	µg cm ⁻²	SPAD	Konica Minolta - 502 PLUS
LR	cm	Flexómetro	-

AP= Altura de la planta, DT= Diámetro del tallo, NDH= Número de hojas, NDFA= Número de flores abiertas, NDB= Número de botones florales, NDFr= Número de frutos, IC= Índice de intensidad de clorofila, LR= Longitud de raíz.

Tabla 4. Descripción de las variables de nutrientes en extracto de savia en hojas y tallo + peciolo del experimento aplicación de fuentes y dosis de Si foliar en el cultivo de pimiento, desarrollado en el área experimental de la Granja Santa Inés de la Universidad Técnica de Machala.

Datos para recolectar	Unidades	Instrumento de medición	Marca y modelo
NO_3^-	mg L^{-1}	Medidor portátil de savia con sensor plano	HORIBA-LAQUAtwin
K^+	mg L^{-1}		
Ca^{2+}	mg L^{-1}		
Na^+	mg L^{-1}		
pH	-		
Salinidad	%		
CE	mS cm^{-1}		

NO_3^- = Nitrato, K^+ = Potasio, Ca^{2+} = Calcio, Na^+ = Sodio, pH= Potencial de hidrógeno, CE= Conductividad Eléctrica.

Recolección de datos

Se realizó una sola toma de datos llevada a cabo el día 17 de agosto de 2023, a los 72 DDS, se empezó evaluando las características biométricas, descritas en la Tabla 3. Para medición de la AP se utilizó un flexómetro siguiendo el tallo principal hasta llegar al punto más alto de la planta, para la toma del DT se empleó un Calibrador Vernier, el instrumento se colocó a 1 cm por encima de la cicatriz del cotiledón, dichas lecturas se registraron en cm. Para las variables NDH, NDFA, NDB y NDFr, se efectuó un conteo manual de las unidades correspondientes en la planta, no se utilizó un instrumento de medición físico para estas variables.

Para la lectura del IC se usó el equipo SPAD modelo 502 PLUS, marca Konica Minolta, se tomaron hojas representativas del tercio basal de la planta, evitando las que presentaban daños, signos de enfermedad o estrés, para esta operación fue necesario mantener un riego constante días antes de la recolección de datos y de esta manera lograr la turgencia de la planta, se seleccionaron aproximadamente 8 hojas funcionales en las cuales se realizó una toma de datos por cada lamina foliar, dichos valores se promediaron en el equipo. Mientras que para la LR se extrajo la planta separando la parte aérea y las raíces, cuidadosamente se separó la raíz del suelo de las fundas y se lavó para eliminar el exceso de suelo, luego se procedió a un secado al ambiente y finalmente se colocó en una cartulina negra para etiquetar y medir la longitud.

La toma de datos en las variables de nutrientes tanto en hojas y peciolo más tallo se realizó de la siguiente manera; se procedió a triturar el material vegetal se colocó en una prensa para extraer la savia y con ello tomar una pequeña muestra de cinco ml del tejido foliar para ser disuelta en 15 ml de agua destilada, mientras que para el extracto de savia del tallo más peciolo se tomó cinco ml para disolver en 25 ml de agua con estas soluciones se procedió a colocar en cada uno de los equipos medidores portátiles LAQUAtwin de la marca HORIBA, dichos equipos poseen un sensor plano que permite la medición de micro volumen, siguen el mismo principio de medición que un electrodo de vidrio tradicional, este equipo portátil brindó una información en tiempo real del estado nutricional de la planta, es importante que se realice la calibración de los medidores antes de la toma de datos y después de cada 20 lecturas.

Procedimiento estadístico

Primeramente, se realizó la verificación de los supuestos de normalidad de datos y homocedasticidad de varianzas. Cuando se cumplieron ambos supuestos en las variables estudiadas se aplicó el Análisis de Varianza (ANOVA) de un factor intergrupos para determinar si existen diferencias estadísticas o no entre las fuentes y dosis de Si foliar. En caso de presentarse diferencias estadísticas se utilizó la prueba de rangos y comparaciones múltiples de Tukey (Post hoc). En las variables que se incumplió

al menos con un supuesto se utilizó la prueba no paramétrica ANOVA de Kruskal-Wallis.

Para procesar los datos obtenidos en la investigación se utilizaron los softwares estadísticos AgroEstat e InfoStat, con una confiabilidad en la estimación del 95%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados presentados en la tabla 5, corresponden a un proceso de datos paramétricos, en la tabla 6, se da a conocer el proceso de los datos no paramétricos, en general ambos estudios no demuestran diferencias significativas en las variables biométricas (AP, DT, NDH, NDFA, NDB, NDFr, IC y el LR) en

relación con los diferentes tratamientos de dosis de Si foliar en el estudio. Estos resultados sugieren que la variación en la cantidad de Si aplicado no tuvo un impacto estadísticamente significativo en el desarrollo de las plantas, según lo indicado por el análisis de varianza F y p-valor por lo que no se considera a un tratamiento mejor o con mayores beneficios en el desarrollo de las plantas, aunque se ha demostrado en otros cultivos su eficiencia en las condiciones utilizadas, no se encontraron diferencias. En este sentido, Liu et al. (2019), mencionan que los resultados de los ensayos pueden diferir por el mecanismo de aplicación, para este caso se realizó vía foliar y no edáfica, además, de existir influencias del ambiente.

Tabla 5. Resultados de pruebas paramétricas en variables de desarrollo vegetativo del cultivo de pimienta variedad Yolo Wonder, con distintas fuentes y dosis de Si foliar.

Tratamientos (cm ³ ha ⁻¹)	AP (cm)	NDH	LR (cm)
Control	57a	55a	9,9a
Si 250	58a	51a	11,4a
Si 500	59a	57a	15,7a
Si 750	63a	55a	15,6a
Si 1000	57a	55a	9,6a
SiK 1000	58a	63a	9,6a
SiCa 1000	55a	51a	11,8a
F:	0,71 ^{NS}	0,5 ^{NS}	0,84 ^{NS}
CV%:	12,2	23,0	54,4

Si 250-500-750-1000= dosis de la fuente de Si(OH)₄, SiK 1000= dosis de K₄(SiO₄), SiCa 1000= dosis de Ca₂(SiO₄), AP= Altura de la planta, NDH= Número de hojas, LR= Longitud de raíz, F= media de variabilidad, CV%= Coeficiente de variación.

Tabla 6. Resultados de pruebas no paramétricas en variables de desarrollo vegetativo del cultivo de pimienta variedad Yolo Wonder, con distintas fuentes y dosis de Si foliar.

Tratamientos (cm ³ ha ⁻¹)	DT (cm)	NDFA	NDB	NDFr	IC
Control	0,82a	2a	9,2a	4,0a	56,1a
Si 250	0,84a	1a	10,8a	3,6a	55,2a
Si 500	0,84a	3a	11,0a	5,6a	58,4a
Si 750	0,74a	2a	6,6a	4,4a	55,7a
Si 1000	0,74a	2a	6,6a	4,6a	56,2a
SiK 1000	0,72a	2a	8,0a	3,4a	52,7a
SiCa 1000	0,74a	2a	8,4a	4,6a	57,7a
p-valor:	0,5020	0,8672	0,4249	0,8463	0,6056

DT= Diámetro del tallo, NDFA= Número de flores abiertas, NDB= Número de botones florales, NDFr= Número de frutos, IC= Índice de intensidad de clorofila, Si 250, 500, 750, 1000= Dosis de la fuente de Si(OH)₄, SiK 1000= dosis de K₄(SiO₄), SiCa 1000= dosis de Ca₂(SiO₄), p-valor= nivel de significancia.

Los valores de estas variables marcados con “a” fueron bastante similares entre los diferentes tratamientos de fuentes y dosis de Si, lo que sugiere una uniformidad en el desarrollo de las plantas independientemente de la cantidad de Si suministrado. El porcentaje del coeficiente de variación CV% indica que hay una variabilidad moderada a alta en las mediciones realizadas entre las variables estudiadas, lo que indica que fueron más susceptibles de forma positiva que otras en respuesta a los diferentes tratamientos de Si. Esto puede sugerir que dependiendo de la etapa o días del cultivo este es más sensible a los cambios en la dosis de Si que otras.

En términos generales, estos resultados respaldan los resultados antes mencionados ya que no es necesario aplicar una dosis alta de Si. Estos hallazgos concuerdan con la idea de que el aumento de la dosis de Si no parece tener un impacto significativo en el crecimiento y desarrollo de las plantas en este estudio específico (Tubana et al., 2016; Bhat et al., 2019).

Los datos correspondientes a las variables de nutrientes en tejido foliar y CE en tejido vegetal que cumplieron el supuesto de normalidad por lo cual se procesó con la prueba paramétrica presentados en la tabla 7, corroboran que el NO_3^- no presentó diferencias significativas por lo que se puede asumir que las fuentes y dosis de Si no influyen en la asimilación de este elemento. La variable Na^+ en hojas, tallo más peciolo y su efecto en la aplicación de Si tiene un impacto significativo en la concentración de este elemento, presentan grupos estadísticamente similares en los cuales podemos notar que

los tratamientos (Si 250, Si 500 $\text{cm}^3 \text{ ha}^{-1}$ y grupo control) representados por la letra “b” demuestran que no hubo diferencia entre las dosis suministradas llegando a tener un resultado muy similar sin la aplicación de Si, el grupo “a” difiere del grupo antes mencionado y está formado por los tratamientos Si 750, Si 1000, $\text{K}_4(\text{SiO}_4)$ 1000 y $\text{Ca}_2(\text{SiO}_4)$ 1000 $\text{cm}^3 \text{ ha}^{-1}$). La CE también se ve afectada significativamente por estos tratamientos en el tejido vegetal específicamente en tallo más peciolo, el CV% es moderado, las letras asignadas “a” y “b” indican diferencias significativas entre los tratamientos, el comportamiento en las variables se pueden comprender tomando en cuenta la ley de máximos y mínimos, una cantidad excesiva de Si no favorece al cultivo, se convierte en un gasto innecesario de insumos, por ello es necesario aplicar la dosis necesaria en función del cultivo y los requerimientos (Kaushik y Saini, 2019).

Además, en la figura 1, destaca el tratamiento Si 1000 $\text{cm}^3 \text{ ha}^{-1}$ al mostrar una concentración ligeramente superior de Na^+ en comparación con los otros tratamientos, el contenido de Na^+ aplicado por vía foliar ha demostrado que aumenta el contenido de Ca^{2+} y K^+ y la disminución de Na^+ como lo reporta (Miranda et al., 2002) en plantas de moringa. Es interesante notar que dentro de los tratamientos con Si también se registra una variabilidad sustancial en las concentraciones de Na^+ , estos resultados se asemejan con (Li et al., 2015; Tubana et al., 2016), quienes indican en una revisión bibliográfica que no solo disminuyen los contenidos de Na^+ sino también de Cl en las raíces, tallo y hojas además aumenta el contenido de antioxidantes.

Tabla 7. Resultados de pruebas paramétricas en variables de nutrientes y características de conductividad eléctrica, evaluados en savia extraída del área foliar y de tejido vegetal tallo más peciolo en muestras del cultivo de pimiento variedad Yolo Wonder, con distintas fuentes y dosis de Si foliar.

Tratamientos ($\text{cm}^3 \text{ ha}^{-1}$)	Hojas		Tallo + Peciolo	
	NO_3^-	Na^+	Na^+	CE
Control	8147a	24b	21b	3,45ab
Si 250	6920a	21b	17b	3,81ab
Si 500	7828a	20b	16b	2,96b
Si 750	6313a	66a	54a	4,03a
Si 1000	6793a	78a	63a	4,11a
SiK 1000	7987a	70a	61a	3,66ab
SiCa 1000	6087a	69a	57a	4,05a
F:	1,61 ^{NS}	11,07**	13,20**	3,52**
CV%:	20,5	35,9	32,8	13,2

NO_3^- = Nitrato, Na^+ = Sodio, CE = Conductividad Eléctrica, Si 250, 500, 750, 1000 = Dosis de la fuente de $\text{Si}(\text{OH})_4$, Si 250, 500, 750, 1000 = Dosis de la fuente de $\text{Si}(\text{OH})_4$, SiK 1000 = dosis de $\text{K}_4(\text{SiO}_4)$, SiCa 1000 = dosis de $\text{Ca}_2(\text{SiO}_4)$, F = media de variabilidad, CV% = Coeficiente de variación, ** significancia al 99%, * significancia al 95%, NS = No existe significancia.

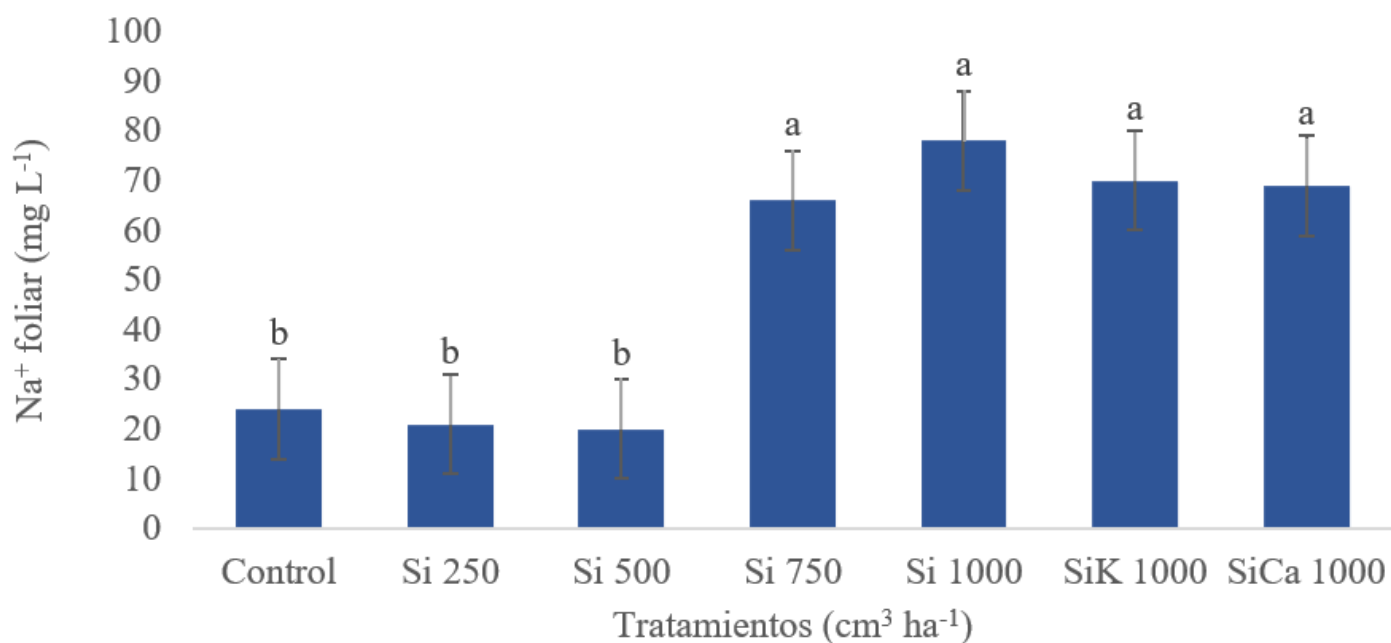


Figura 1. Parámetros de Na^+ en extracto foliar de las muestras en el cultivo de pimienta variedad Yolo Wonder, con diferentes fuentes y dosis de Si foliar.

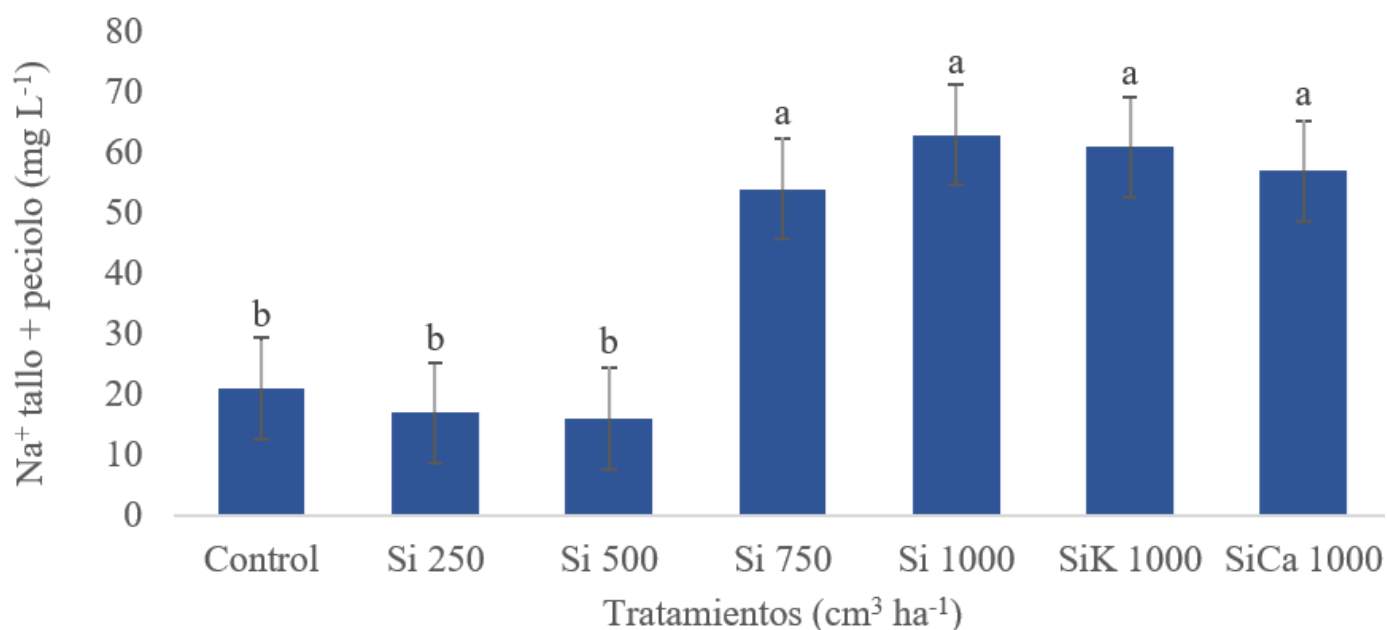


Figura 2. Parámetros de Na^+ en el tejido vegetal tallo + peciolo en muestras del cultivo de pimienta variedad Yolo Wonder, con distintas fuentes y dosis de Si foliar.

En particular, los tratamientos evaluados figura 2, exhiben concentraciones de Na^+ significativamente más bajas en comparación con el grupo de control, Si 250 y Si 500 $\text{cm}^3 \text{ ha}^{-1}$. Esto sugiere que la aplicación de Si en estas fuentes y dosis específicas podría haber contribuido a un aumento en la baja acumulación de sodio en las plantas. Los análisis estadísticos respaldan la relevancia de estas diferencias, ya que el valor de

F, indica que las variaciones en las concentraciones de Na^+ entre los tratamientos son estadísticamente significativas al nivel del 99%, similares resultados se han mencionado en savia según (Soundararajan et al., 2014), donde se disminuía el contenido de estrés y la reducción de la asimilación de Ca^{2+} .

Es esencial tener en cuenta que, a pesar de estas diferencias significativas, aún existe cierta variabilidad

dentro de cada tratamiento, como lo sugiere el coeficiente de variación (CV%) del 32,8%, esto podría deberse a otros factores no considerados en el estudio que influyen en la acumulación de Na^+ . Estos resultados denotan que la aplicación de Si tuvo un impacto significativo en las concentraciones de Na^+ en las plantas, y se observaron concentraciones más altas en ciertos tratamientos en comparación con el grupo de control (Hebsur, 2019; Liu et al., 2020). Sin embargo, la variabilidad entre los tratamientos con Si sugiere que la fuente y dosis de Si desempeñan un papel en la acumulación de Na^+ en las plantas. A su vez, el Si desempeña una función en la inducción de sistemas de tolerancia al estrés salino y otros tipos de tensiones en la planta, podría tener un impacto en la concentración de solutos compatibles o iones particulares en el tejido, lo que a su vez podría afectar la conductividad eléctrica (Kaushik y Saini, 2019).

Los tratamientos aplicados demostraron una variación en la CE en relación con la aplicación de Si en diferentes concentraciones, así como en combinaciones con otros nutrientes (figura 3), el tratamiento Si 1000 muestra el nivel más alto de CE, seguido por el $\text{Ca}_2(\text{SiO}_4)$ 1000 y Si 750 $\text{cm}^3 \text{ ha}^{-1}$ no son significativamente diferentes entre sí, mientras que el tratamiento Si 500 $\text{cm}^3 \text{ ha}^{-1}$ es estadísticamente diferente al grupo anteriormente descrito, los tratamientos Si 250, $\text{K}_4(\text{SiO}_4)$ 1000 $\text{cm}^3 \text{ ha}^{-1}$ y control no son significativamente diferentes entre sí, pero son diferentes de los otros tratamientos.

Estos resultados proporcionan información importante sobre cómo se comparan los diferentes tratamientos en función de los valores medios obtenidos en el experimento, y ayudan a identificar grupos de tratamientos que no son estadísticamente diferentes entre sí.

En cuanto a los resultados de la conductividad eléctrica CE, se observa una variación significativa en los

valores entre los diferentes tratamientos con Si y el grupo control, además, se nota una variabilidad en los valores de CE entre los tratamientos con Si. El análisis estadístico respalda estas diferencias, ya que el valor de F es de 3,52 con dos asteriscos (**), lo que indica que las variaciones en los valores de CE entre los tratamientos son estadísticamente significativas al 99%. Esto confirma que la aplicación de Si tuvo un efecto real en los niveles de CE en las plantas.

Sin embargo, es importante destacar que existe cierta variabilidad en los valores de CE dentro de cada tratamiento, como lo indica el coeficiente de variación (CV%) del 13,2%, con diferencias notables en comparación con el grupo de control en algunos tratamientos (Liu et al., 2019). A pesar de estas diferencias, la variabilidad dentro de los tratamientos con Si sugiere que otros factores también pueden influir en los valores de CE observados (Debona et al., 2017).

De la misma manera, los resultados de la prueba no paramétrica y su influencia en las variables de nutrientes y características como pH, salinidad y CE en el extracto de savia de hojas presentados en la tabla 8, indican que no se observaron diferencias significativas en la concentración de nutrientes específicos como K^+ , Ca^+ y la salinidad en hojas en relación con los diferentes tratamientos de Si. Estos hallazgos sugieren que las dosis y fuentes de Si utilizadas en el estudio no tuvieron un impacto significativo en la acumulación de estos nutrientes en las hojas de las plantas. Estos resultados concuerdan con lo reportado por (Freitas et al., 2017; Luyckx et al., 2017), donde relacionaron el uso de Si sobre los efectos de Si en hojas y la respuesta ante el patógeno, donde la dosis influyó directamente en la concentración del nutrimento en las hojas.

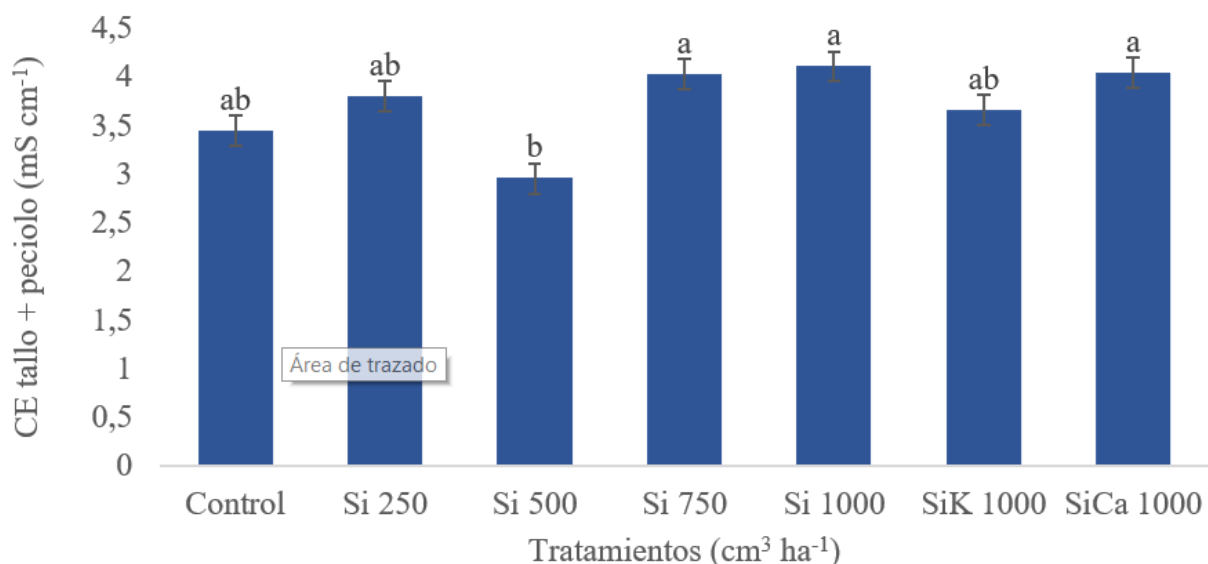


Figura 3. Parámetros de CE en el tejido vegetal tallo + peciolo en muestras del cultivo de pimiento variedad Yolo Wonder, con distintas fuentes y dosis de Si foliar.

Tabla 8. Resultados de pruebas no paramétricas en variables de nutrientes y características de pH, salinidad y conductividad eléctrica evaluados en extracto foliar en muestras del cultivo de pimiento variedad Yolo Wonder, con distintas fuentes y dosis de Si foliar.

Tratamientos (cm ³ ha ⁻¹)	Hojas				
	K ⁺	Ca ²⁺	pH	Salinidad	CE
Control	1706,8a	11,2a	6,36c	2,20a	3,78ab
Si 250	1910,6a	18,2a	6,08bc	1,92a	3,43a
Si 500	1716,6a	21,6a	6,18bc	2,12a	3,70ab
Si 750	1613,6a	5,6a	5,70ab	2,22a	4,67bc
Si 1000	1593,6a	6,8a	5,56a	2,76a	5,22c
SiK 1000	1473,4a	6,0a	5,64a	2,92a	4,71bc
SiCa 1000	1669,6a	5,6a	5,86ab	2,16a	4,82c
p-valor:	0,0884	0,8601	0,0078	0,3728	0,0019

K⁺= Potasio, Ca²⁺= Calcio, pH= Potencial de hidrógeno, CE= Conductividad Eléctrica, Si 250, 500, 750, 1000= Dosis de la fuente de Si(OH)₄, SiK 1000= dosis de K₄(SiO₄), SiCa 1000= dosis de Ca₂(SiO₄), p-valor= nivel de significancia.

En relación a la lectura de pH, se observaron diferencias significativas entre los tratamientos con Si(OH)₄, (Si 750, Si 1000 cm³ ha⁻¹) y K₄(SiO₄) (SiK 1000 cm³ ha⁻¹) mostraron valores de pH significativamente diferentes en comparación con el grupo control, como se puede observar en la figura 4. En contraste, los tratamientos Si 250, Si 500 y Ca₂(SiO₄) 1000 no difirieron significativamente del grupo control.

Además, el grupo control presentó el pH más alto, se distinguió por ser significativamente diferente de los otros tratamientos. El (*p-valor*= 0,0078) demuestra que estos tratamientos tienen una diferencia estadísticamente significativa. En cuanto al pH debido al mecanismo de aplicación no presentó un impacto significativo sobre esta variable (Kablan et al., 2012).

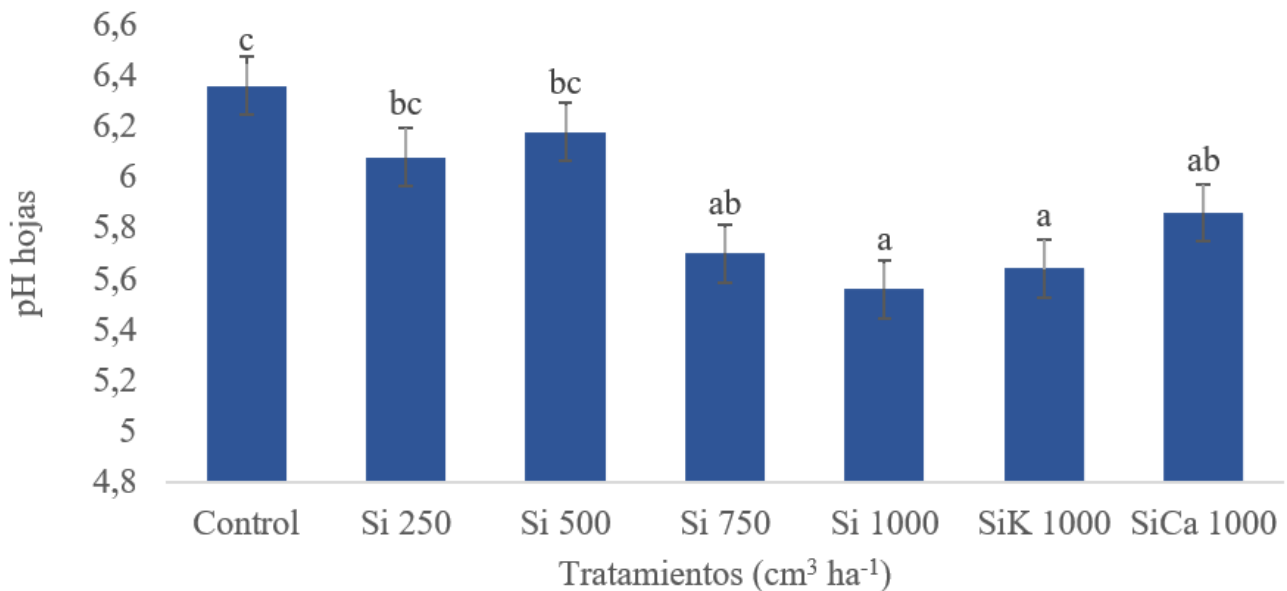


Figura 4. Parámetros de pH en extracto foliar de las muestras del cultivo de pimiento variedad Yolo Wonder, con distintas fuentes y dosis de Si foliar.

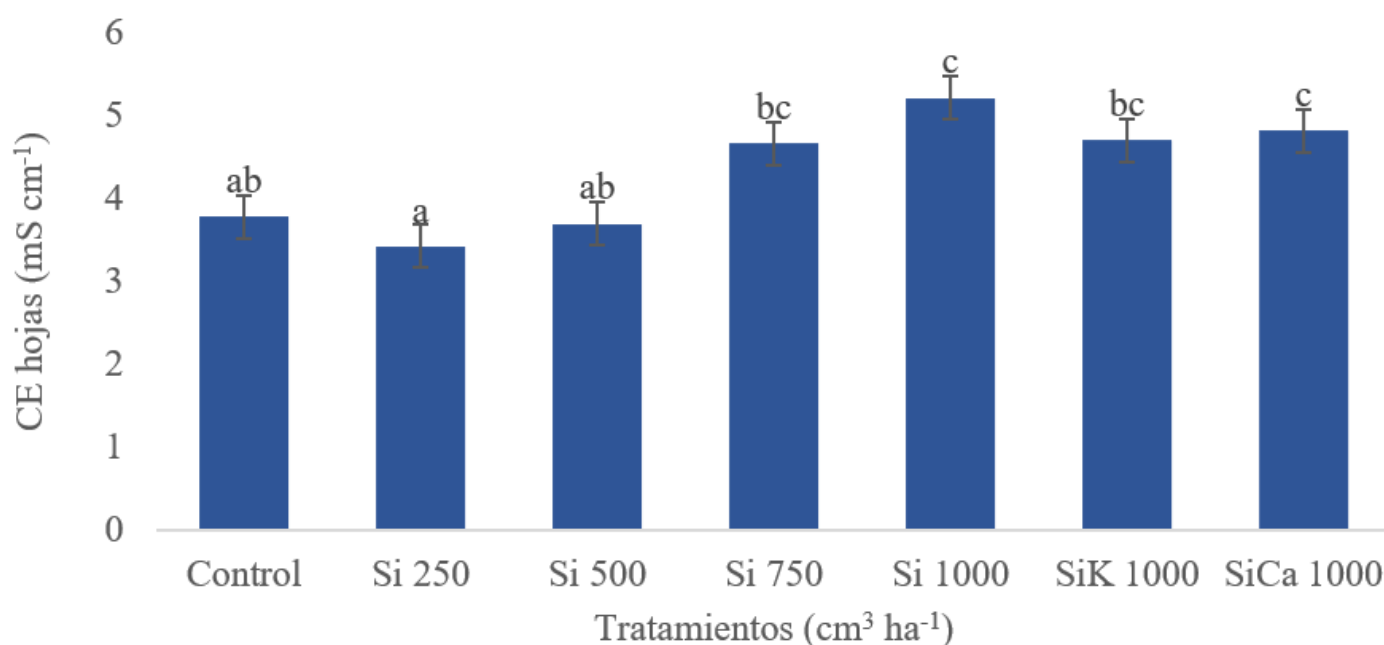


Figura 5. Parámetros de CE en extracto foliar de las muestras del cultivo de pimiento variedad Yolo Wonder, con distintas fuentes y dosis de Si foliar.

Mientras que en los datos correspondiente a CE en hojas figura 5 se confirmó que existe una diferencia significativa entre al menos dos de los tratamientos según el ($p\text{-valor} = 0,0019$) a pesar de ser bajo marca una significancia estadística. Con lo cual se demuestra que en el tratamiento Si 1000 y SiCa 1000 cm³ ha⁻¹ alcanzaron los valores de media más altos y se representa por la letra “c” y es estadísticamente diferente a los tratamientos representados por las letras “a y ab” los cuales son similares entre sí, pero diferentes entre los tratamientos. El tratamiento con Si(OH)₄ en dosis de 250 cm³ ha⁻¹, obtuvo la CE más en relación a los otros tratamientos. La aplicación foliar de Si y su impacto en los niveles de pH y CE en el tejido foliar pueden ser el resultado de diversas interacciones y procesos en la planta. Cuando aplican Si directamente en las hojas, este puede interactuar con varios elementos que se encuentran en la superficie foliar. Estas interacciones pueden dar lugar a la liberación de iones que perturban el equilibrio iónico, lo que, a su vez, podría tener un efecto en el pH y la CE del tejido (Kamenidou et al., 2009; Luyckx et al., 2017).

Los resultados sugieren que la aplicación de diferentes dosis y fuentes de Si generaron un efecto limitado en la concentración de ciertos nutrientes en las hojas, sin embargo, mostraron efectos notables en pH y CE. Estos hallazgos proporcionan información

valiosa sobre cómo la aplicación de Si puede influir en la química foliar y, posiblemente en la salud y el desarrollo de las plantas. No obstante, es esencial considerar las circunstancias específicas del estudio y las implicaciones prácticas de estos resultados en el contexto de la agricultura o la horticultura, ya que se contrasta estos resultados donde se menciona que la aplicación de Si reduce las afectaciones de patógenos, estrés abiótico en monocotiledóneas y dicotiledóneas de donde se han encontrado reportes como en la asimilación de nutrientes (Debona et al., 2017; Amin et al., 2018).

Los tratamientos con Si parecen tener un efecto significativo en las concentraciones de NO₃⁻ y K⁺ presentes en el extracto de tejidos vegetales correspondiente a tallo más peciolo presentados en la tabla 9, en contraste, nutrientes como Ca²⁺ no parecen desempeñar un rol muy significativo, una revisión sistemática de la respuesta de los cultivos en plantas mono y dicotiledóneas han reportado la eficiencia y el aumento de estos nutrimentos en las hojas debido a las aplicaciones de Si de manera foliar (Miranda et al., 2002; Debona et al., 2017). Además, se observa variaciones en pH en relación con los distintos tratamientos, aunque se observaron diferencias estadísticas, estas diferencias son mínimas en términos prácticos y es poco probable que tengan un impacto significativo en los procesos de

crecimiento y desarrollo de las plantas (Calero Hurtado et al., 2019).

En relación a los resultados de salinidad, se puede observar que los valores se mantienen en un rango relativamente constante en todos los tratamientos, incluido el grupo de control. Esto sugiere que la aplicación de Si en diferentes dosis y fuentes no produjo un impacto significativo en los niveles de salinidad en el sustrato o en la solución de riego (Amin et al., 2018).

La concentración de NO_3^- presente en el tejido vegetal de cada tratamiento se puede observar en la figura 6, donde los diferentes tratamientos con Si presentaron valores más bajos de NO_3^- en comparación con el control, con una disminución significativa en el tratamiento Si 1000 $\text{cm}^3 \text{ha}^{-1}$. La concentración mayor de NO_3^- , adicionándole K^+ se contrasta con los resultados, por el contrario, el grupo control obtuvo el valor más alto, estos resultados se contraponen a lo expresado por (Ávila et al., 2010) en el cultivo de arroz donde incrementaron estas concentraciones del elemento en hoja y raíces.

Tabla 9. Resultados de pruebas no paramétricas en variables de nutrientes y características de pH y salinidad evaluados en extracto del tejido vegetal tallo más peciolo en muestras del cultivo de pimiento variedad Yolo Wonder, con distintas fuentes y dosis de Si foliar.

Tratamientos ($\text{cm}^3 \text{ha}^{-1}$)	Tallo + Peciolo				
	NO_3^-	K^+	Ca^{2+}	pH	Salinidad
Control	8133,2c	1606,6c	191,2a	6,14c	2,12a
Si 250	7040,0abc	1926,8c	337,4a	6,02bc	2,06a
Si 500	8093,4bc	1520,0bc	369,4a	6,16c	1,92a
Si 750	6420,0ab	1326,0ab	101,4a	5,68ab	1,82a
Si 1000	5370,0a	1318,0ab	162,0a	5,56a	2,10a
SiK 1000	8266,6c	1163,2a	141,6a	5,62a	2,56a
SiCa 1000	6679,8abc	1294,6ab	119,4a	5,70ab	1,58a
p-valor:	0,0209	0,0012	0,2723	0,0009	0,0628

NO_3^- = Nitrato, K^+ = Potasio, Ca^{2+} = Calcio, pH= Potencial de hidrógeno, Si 250, 500, 750, 1000= Dosis de la fuente de $\text{Si}(\text{OH})_4$, SiK 1000= dosis de $\text{K}_4(\text{SiO}_4)$, SiCa 1000= dosis de $\text{Ca}_2(\text{SiO}_4)$, p-valor= nivel de significancia.

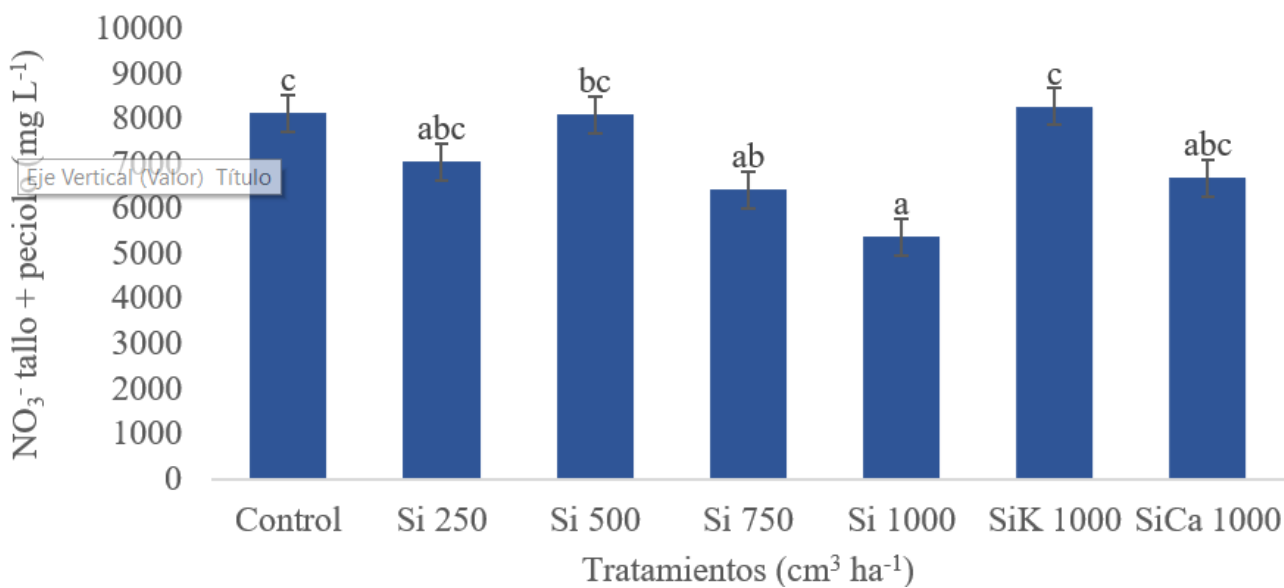


Figura 6. Parámetros de NO_3^- en extracto tallo + peciolo de las muestras del cultivo de pimiento variedad Yolo Wonder, con distintas fuentes y dosis de Si foliar.

Los datos presentados indican las concentraciones de NO_3^- en los diferentes tratamientos con Si y el grupo de control. A partir de estos resultados, se pueden extraer varias observaciones importantes:

En primer lugar, se observa que los tratamientos con Si, mostraron efectos variados en la concentración de NO_3^- en el extracto del tejido vegetal. En particular, las concentraciones de NO_3^- se dividieron en varios grupos de letras en el caso de las que guardan la etiqueta “a - ab” mostraron la disminución más significativa de NO_3^- difiriendo de los otros tratamientos, el comportamiento de los tratamientos Si 500 y $\text{K}_4(\text{SiO}_4)$ 1000 $\text{cm}^3 \text{ha}^{-1}$ son muy similares al grupo control, mientras que el grupo “abc” sugiere que no existe una diferencia significativa entre los tratamientos Si 250 y $\text{Ca}_2(\text{SiO}_4)$ 1000 $\text{cm}^3 \text{ha}^{-1}$.

Esto sugiere que la aplicación de Si influyó en la acumulación de NO_3^- en las plantas, según resultados expuesto por Abdelaal et al., (2020), reportados en el cultivo de pimiento. Una observación relevante es que las concentraciones de NO_3^- en los tratamientos con Si son generalmente más bajas que en el grupo de control, esta variabilidad podría atribuirse a factores inherentes a las condiciones de cultivo o a la variabilidad natural en las mediciones de nutrientes como en el caso de la zinnia reportada por (Kamenidou et al., 2009) y la asimilación de nutrientes en el cultivo.

Además, se aprecia cierta variabilidad entre los tratamientos con Si por ejemplo, Si 250, Si 750 y $\text{Ca}_2(\text{SiO}_4)$ 1000 $\text{cm}^3 \text{ha}^{-1}$ muestran valores intermedios, mientras que Si 1000 $\text{cm}^3 \text{ha}^{-1}$ tiene concentración **más baja. Esta variabilidad puede sugerir que** las fuentes o dosis de Si tienen efectos ligeramente diferentes en la acumulación de NO_3^- . El análisis estadístico no paramétrico confirma que las diferencias en las concentraciones de NO_3^- entre los tratamientos son estadísticamente significativas. Esto respalda la idea de que la aplicación de Si tuvo un impacto real en la concentración de NO_3^- en las plantas del cultivo de banano (Vijayan et al., 2021).

Los resultados obtenidos de la aplicación de tratamientos con Si en la concentración de K^+ en los tejidos vegetales (figura 7), demuestran una marcada diferencia en el tratamiento Si 250 $\text{cm}^3 \text{ha}^{-1}$ con un valor significativamente más alto seguido por el grupo control y Si 500. Los tratamientos con Si, específicamente Si 750, Si 1000, $\text{K}_4(\text{SiO}_4)$ 1000 y $\text{Ca}_2(\text{SiO}_4)$

1000 $\text{cm}^3 \text{ha}^{-1}$ no presentan diferencias y se demuestra en la baja acumulación de K^+ como lo reporta (Kaushik y Saini, 2019) en cultivo de hortalizas. El Si 250 $\text{cm}^3 \text{ha}^{-1}$ muestra una concentración de K^+ que difieren de manera significativa en comparación con el grupo control y los tratamientos. Esto indica que la aplicación de Si tuvo un impacto en la acumulación de potasio en las plantas de zinnia en invernadero (Kamenidou et al., 2009).

Esto sugiere que la elección de la dosis o fuente de Si puede influir en la acumulación de K^+ en las plantas, en el caso de (Liu et al., 2019) menciona que la mejoría en la asimilación de nutrientes se debe a la disminución del estrés en el cultivo lo que favorece la asimilación de nutrientes especialmente al disminuir las concentraciones de Na^+ . El análisis estadístico revela que las diferencias en las concentraciones de K^+ entre los tratamientos son estadísticamente significativas por su (*p*-valor = 0,0012), esto respalda la idea de que la aplicación de Si tuvo un efecto real en la concentración de K^+ en las plantas (Tubana et al., 2016).

Los tratamientos evaluados en función al rango de pH en el tejido vegetativo (figura 8), se encontraron diferencias significativas entre algunos tratamientos, como se indica por las letras diferentes asignadas, los tratamientos que comparten la misma letra no son significativamente diferentes en términos de pH.

Los valores de pH varían en función de los tratamientos, lo que indica que los diferentes tratamientos tienen un impacto en la acidez o alcalinidad del medio. Este fenómeno puede deberse a la interacción entre el tratamiento y la respuesta bioquímica de la planta. El tratamiento con mayor pH es Si 500, grupo control y Si 250 $\text{cm}^3 \text{ha}^{-1}$, indicando que el Si en estas dosis puede tener cierto efecto alcalinizante, mientras que a medida que la dosis de Si aumenta de Si 750 a $\text{Ca}_2(\text{SiO}_4)$ 1000 $\text{cm}^3 \text{ha}^{-1}$, se demuestra una tendencia a la disminución del pH. Esto sugiere que, a dosis más altas el Si puede estar interactuando de manera más pronunciada en el sistema que regula el pH, posiblemente alterando la disponibilidad de iones de hidrógeno en el medio. El análisis estadístico respalda estas diferencias, ya que el (*p*-valor= 0,0009) indica que las variaciones en los valores de pH entre los tratamientos son estadísticamente significativas.

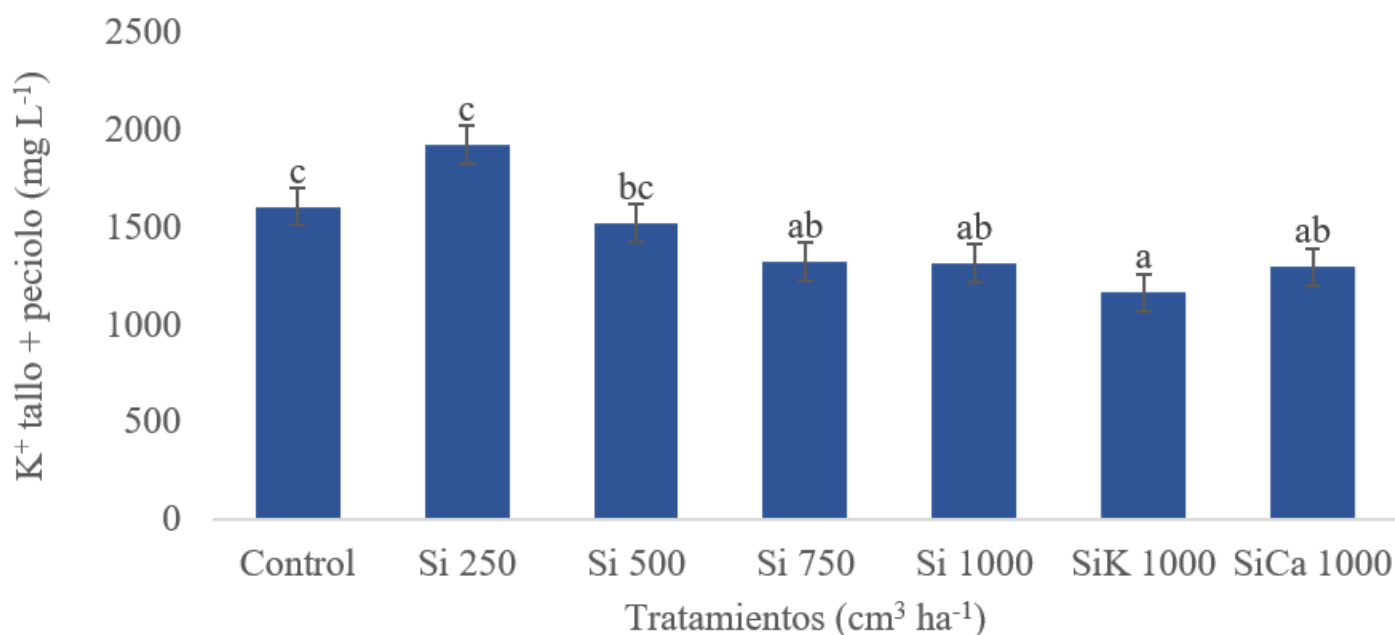


Figura 7. Parámetros de K^+ en extracto tallo más peciolo de las muestras del cultivo de pimienta variedad Yolo Wonder, con distintas fuentes y dosis de Si foliar.

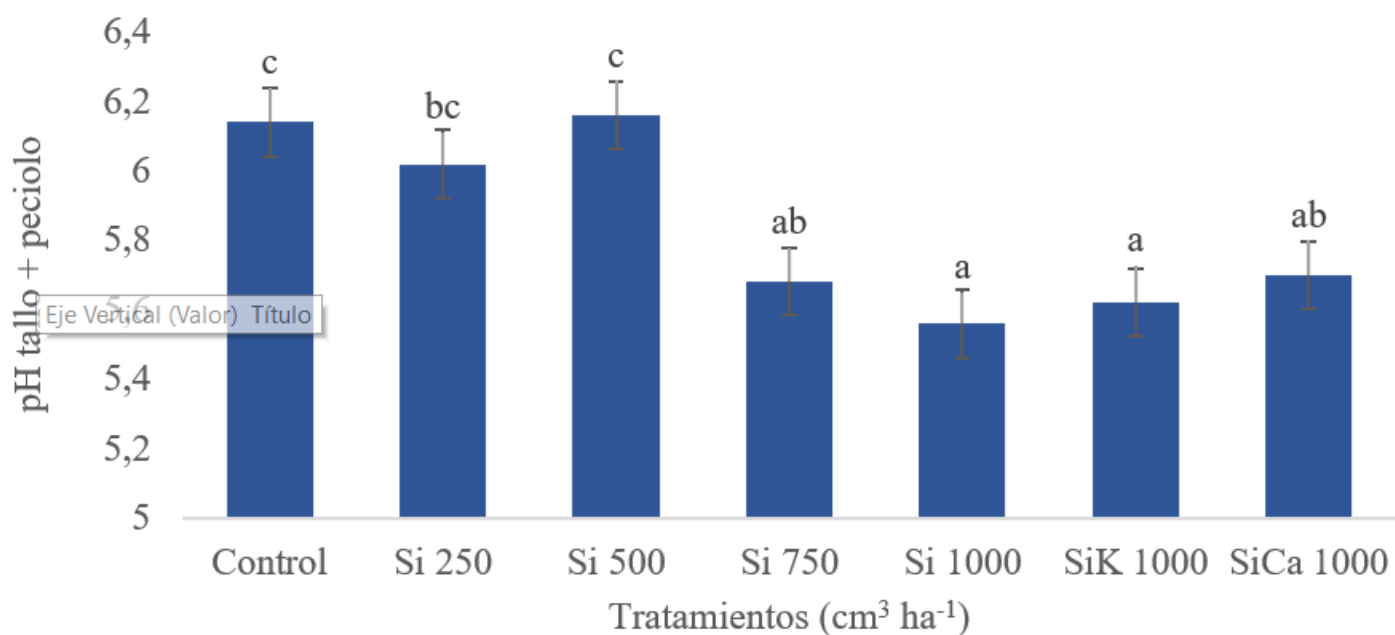


Figura 8. Parámetros de pH en extracto tallo + peciolo de las muestras del cultivo de pimienta variedad Yolo Wonder, con distintas fuentes y dosis de Si foliar.

Sin embargo, estos resultados sugieren que la aplicación de Si tuvo un impacto significativo en los niveles de pH en las plantas, reduciendo los valores en comparación con el grupo de control en algunos tratamientos, en este caso (Greger et al., 2018; Bhat et al., 2019) reportan que este comportamiento facilitó la disponibilidad de nutriente como la interacción entre ellos, así como mejorar la tolerancia a metales pesados. No obstante, la variabilidad observada dentro de los tratamientos con Si indica que otros

factores pueden estar contribuyendo a las diferencias en los valores de pH registrados (Tubana et al., 2016).

CONCLUSIONES

En este estudio, se evaluaron fuentes y dosis de Si en el cultivo de pimienta variedad Yolo Wonder donde los resultados mostraron que no hubo diferencias significativas en las variables biométricas,

como la altura de la planta, el diámetro del tallo y el número de hojas, flores y frutos entre los diferentes tratamientos. Esto sugiere que la aplicación de Si en las dosis probadas no tuvo un impacto significativo en el desarrollo general de las plantas de pimiento.

No obstante, se observaron efectos significativos del Si en la química foliar de las plantas, la aplicación de Si influyó en las concentraciones de NO_3^- , K^+ y Na^+ , con concentraciones más bajas de NO_3^- y K^+ en los tratamientos con Si en comparación con el grupo de control. Además, se registraron concentraciones más altas de Na^+ en algunos tratamientos con Si. Los valores de pH también disminuyeron en ciertos tratamientos con Si. Estos hallazgos indican que el Si puede tener un impacto en la química foliar de las plantas de pimiento.

En cuanto a los parámetros de salinidad y CE, aunque se observaron diferencias estadísticas en la CE entre algunos tratamientos, estas diferencias no parecen tener un impacto significativo en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Además, las concentraciones de salinidad se mantuvieron en un rango relativamente constante en todos los tratamientos, incluido el grupo de control, esto sugiere que la aplicación de Si en las fuentes y dosis evaluadas no alteró sustancialmente los niveles de salinidad en el sustrato o la solución de riego.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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*, 9(6), 733. <https://doi.org/10.3390/plants9060733>
- 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>
- Bhat, J. A., Shivaraj, S. M., Singh, P., Navadagi, D. B., Tripathi, D. K., Dash, P. K., Solanke, A. U., Sonah, H., & Deshmukh, R. (2019). Role of Silicon in Mitigation of Heavy Metal Stresses in Crop Plants. *Plants*, 8(3), 71. <https://doi.org/10.3390/plants8030071>
- Calero Hurtado, A., Aparecida Chiconato, D., de Mello Prado, R., da Silveira Sousa Junior, G., & Felisberto, G. (2019). Silicon attenuates sodium toxicity by improving nutritional efficiency in sorghum and sunflower plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 142, 224–233. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.07.010>
- De Mello Prado, R. (2023). *Benefits of Silicon in the Nutrition of Plants*. Springer Nature.
- Debona, D., Rodrigues, F. A., & Datnoff, L. E. (2017). Silicon's Role in Abiotic and Biotic Plant Stresses. *Annual Review of Phytopathology*, 55(1), 85–107. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080516-035312>
- Espinosa, J., Moreno, J., & Bernal, G. (2018). *The Soils of Ecuador* (J. Espinosa, J. Moreno, & G. Bernal, Eds.). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-25319-0>
- Freitas, A. S., Pozza, E. A., Soares, M. G. O., Silva, H. R., Pérez, C. D. P., & Pozza, A. A. A. (2017). Severity of yellow Sigatoka in banana cultivated in silicon nutrient solution. *Australasian Plant Pathology*, 46(6), 515–520. <https://doi.org/10.1007/s13313-017-0521-0>
- Greger, M., Landberg, T., & Vaculík, M. (2018). Silicon Influences Soil Availability and Accumulation of Mineral Nutrients in Various Plant Species. *Plants*, 7(2), 41. <https://doi.org/10.3390/plants7020041>
- Hassan, S. M., El-Bebany, A. F., Salem, M. Z. M., & Komeil, D. A. (2021). Productivity and Post-Harvest Fungal Resistance of Hot Pepper as Affected by Potassium Silicate, Clove Extract Foliar Spray and Nitrogen Application. *Plants*, 10(4), 662. <https://doi.org/10.3390/plants10040662>
- Hebsur, N. S. (2019). Effect of silicon fertilization on growth and yield of soybean [Glycine max (L.) Merrill] in a vertisol. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(6), 1572–1575.
- Higuaita, F. E. R., & Rodríguez, J. A. C. (2015). Importancia agronómica del silicio y su impacto en la productividad de la caña de azúcar. *Suelos Ecuatoriales*, 45(1), 10–15.
- 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>
- Kamenidou, S., Cavins, T. J., & Marek, S. (2009). Evaluation of silicon as a nutritional supplement for greenhouse zinnia production. *Scientia Horticulturae*, 119(3), 297–301. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.08.012>
- Kaushik, P., & Saini, D. K. (2019). Silicon as a Vegeta-

- ble Crops Modulator—A Review. *Plants*, 8(6), 148. <https://doi.org/10.3390/plants8060148>
- Köppen, W., & Geiger, R. (1884). *Clasificación climática de Köppen*.
- Li, H., Zhu, Y., Hu, Y., Han, W., & Gong, H. (2015). Beneficial effects of silicon in alleviating salinity stress of tomato seedlings grown under sand culture. *Acta Physiologiae Plantarum*, 37(4), 71. <https://doi.org/10.1007/s11738-015-1818-7>
- Liang, Y. (2002). Influence of silicon on microdistribution of mineral ions in roots of salt-stressed barley as associated with salt tolerance in plants. *Science in China Series C*, 45(3), 298. <https://doi.org/10.1360/02yc9033>
- Liu, Soundararajan, & Manivannan. (2019). Mechanisms of Silicon-Mediated Amelioration of Salt Stress in Plants. *Plants*, 8(9), 307. <https://doi.org/10.3390/plants8090307>
- Liu, X., Yin, L., Deng, X., Gong, D., Du, S., Wang, S., & Zhang, Z. (2020). Combined application of silicon and nitric oxide jointly alleviated cadmium accumulation and toxicity in maize. *Journal of Hazardous Materials*, 395, 122679. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122679>
- Luyckx, M., Hausman, J.-F., Lutts, S., & Guerriero, G. (2017). Silicon and Plants: Current Knowledge and Technological Perspectives. *Frontiers in Plant Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00411>
- Mancinelli, R., Muleo, R., Marinari, S., & Radicetti, E. (2019). How Soil Ecological Intensification by Means of Cover Crops Affects Nitrogen Use Efficiency in Pepper Cultivation. *Agriculture*, 9(7), 145. <https://doi.org/10.3390/agriculture9070145>
- Matarín, A., & Morales, I. (2018). *Manual práctico para el cultivo del pimiento en agricultura protegida* (Mundi-Prensa).
- Mollericon, M., Tarqui, M., & Blanco, M. (2022). Trabajos de investigación realizados en la Estación Experimental Patatamaya, Facultad de Agronomía-UMSA: una sistematización y estudio bibliométrico. *Revista Apathi*, 8(3), 2443–2455. <https://doi.org/10.53287/rzku6959qa75n>
- Pourrut, P., Gomez, G., Bermeo, A., & Segovia, A. (1995). Factores condicionantes de los regímenes climáticos e hidrológicos. In *El agua en el Ecuador: clima, precipitaciones, escurrientia* (pp. 7–12). Corporación Editora Nacional; Colegio de Geógrafos del Ecuador; ORSTOM. <https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010014826>
- Rajput, V. D., Minkina, T., Feizi, M., Kumari, A., Khan, M., Mandzhieva, S., Sushkova, S., El-Ramady, H., Verma, K. K., Singh, A., Hullebusch, E. D. van, Singh, R. K., Jatav, H. S., & Choudhary, R. (2021a). Effects of Silicon and Silicon-Based Nanoparticles on Rhizosphere Microbiome, Plant Stress and Growth. *Biology*, 10(8), 791. <https://doi.org/10.3390/biology10080791>
- Rajput, V. D., Minkina, T., Feizi, M., Kumari, A., Khan, M., Mandzhieva, S., Sushkova, S., El-Ramady, H., Verma, K. K., Singh, A., Hullebusch, E. D. van, Singh, R. K., Jatav, H. S., & Choudhary, R. (2021b). Effects of Silicon and Silicon-Based Nanoparticles on Rhizosphere Microbiome, Plant Stress and Growth. *Biology*, 10(8), 791. <https://doi.org/10.3390/biology10080791>
- Rodríguez, A., Peña-Fleitas, M. T., Gallardo, M., de Souza, R., Padilla, F. M., & Thompson, R. B. (2020). Sweet pepper and nitrogen supply in greenhouse production: Critical nitrogen curve, agronomic responses and risk of nitrogen loss. *European Journal of Agronomy*, 117, 126046. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126046>
- Soundararajan, P., Sivanesan, I., Jana, S., & Jeong, B. R. (2014). Influence of silicon supplementation on the growth and tolerance to high temperature in *Salvia splendens*. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 55(4), 271–279. <https://doi.org/10.1007/s13580-014-0023-8>
- Tubana, B. S., Babu, T., & Datnoff, L. E. (2016). A Review of Silicon in Soils and Plants and Its Role in US Agriculture. *Soil Science*, 181(9/10), 393–411. <https://doi.org/10.1097/SS.0000000000000179>
- USDA (United States Department of Agriculture). (2014). *Handbook. Keys to Soil Taxonomy, Soil Survey Staff, fourth edition*. http://www.ascr.usda.gov/complaint_filing_file.html.
- Villaseñor, D., De Mello Prado, R., Luna, E., Jaramillo, E., & Agurto, L. (2022). Critical nitrogen and potassium levels and sufficiency ranges for banana cultivation in Ecuador. *Fruits*, 77(1). <https://doi.org/10.17660/th2022/002>