



**UTMACH**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**CARRERA DE AGRONOMÍA**

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

**LAZO SALINAS IRENE BERSAVE  
INGENIERA AGRONOMA**

**MACHALA  
2023**



**UTMACH**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**CARRERA DE AGRONOMÍA**

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

**LAZO SALINAS IRENE BERSAVE  
INGENIERA AGRONOMA**

**MACHALA  
2023**



**UTMACH**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**CARRERA DE AGRONOMÍA**

**ENSAYOS O ARTÍCULOS ACADÉMICOS**

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

**LAZO SALINAS IRENE BERSAVE  
INGENIERA AGRONOMA**

**VILLASEÑOR ORTIZ DIEGO RICARDO**

**MACHALA  
2023**



Río Cuarto, 21 de noviembre de 2023

A quien corresponda

S \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ D

De mi mayor consideración

El Comité Editorial de la Revista Científica de la Facultad de Agronomía y Veterinaria, *Ab intus* (ISSN on-line 2618-2734) se dirige a Ud. a fin de comunicarle que la Srta. **IRENE BERSAVE LAZO SALINAS**, de la Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Granja Experimental Santa Inés, Av. Panamericana km 5 1/2 Vía a Pasaje/Machala, Ecuador, ha enviado el manuscrito titulado **Efectos de la aplicación de diferentes fuentes de Silicio foliar en el cultivo de pimiento, Var: Yolo Wonder**.

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

Pablo J. Tamiozzo  
Editor responsable  
Revista *Ab intus*

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

La que suscribe, LAZO SALINAS IRENE BERSAVE, en calidad de autora del siguiente trabajo escrito titulado Efectos de la aplicación de diferentes fuentes de Silicio foliar en el cultivo de pimiento, Var: Yolo Wonder, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

La autora declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

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

La autora como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

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



LAZO SALINAS IRENE BERSAVE

0706398757



1 **Efectos de la aplicación de diferentes fuentes de Silicio foliar en el cultivo de**  
2 **pimiento, Var: Yolo Wonder**

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

5 Irene Bersave Lazo Salinas<sup>1,2</sup>, Diego Ricardo Villaseñor Ortiz<sup>1,2</sup>, Ángel Eduardo Luna  
6 Romero<sup>1,2</sup>, Irán Rodríguez Delgado<sup>1,2</sup>, Jorge Vicente Cun Carrión<sup>1</sup>.

7  
8 1 Universidad Técnica de Machala, facultad de Ciencias Agropecuarias, Granja  
9 Experimental Santa Inés, Av. Panamericana km 5 1/2 Vía a Pasaje/Machala, Ecuador.

10 2 Semillero de Investigación en Fitotecnia (SINFIT), Ecuador.

11  
12 **RESUMEN**

13  
14 En la actualidad, uno de los elementos que ha cobrado protagonismo en la optimización  
15 de cultivos es el Silicio (Si) un mineral que tradicionalmente ha sido subestimado, sin  
16 embargo, juega un papel vital en el bienestar de las plantas. El objetivo de este estudio  
17 fue evaluar el efecto de diferentes fuentes y dosis foliares de Si sobre el desarrollo y  
18 asimilación de nutrientes en el cultivo de pimiento. El diseño experimental corresponde  
19 a un DCA. Los resultados arrojaron que no hubo diferencias significativas en las variables  
20 biométricas, como la altura de la planta, el diámetro del tallo y el número de hojas, flores  
21 y frutos, entre los tratamientos de fuentes y dosis de Si. Esto sugiere que las dosis de Si  
22 evaluadas no tuvieron un efecto sustancial en el crecimiento general de las plantas de  
23 pimiento. Sin embargo, se observaron efectos significativos del Si en la química foliar de  
24 las plantas. Los tratamientos con Si mostraron concentraciones más bajas de nitrato y  
25 potasio en comparación con el grupo de control. Además, se registraron concentraciones  
26 más altas de sodio en algunos tratamientos con Si, y los valores de pH tanto en el área  
27 foliar como en tejidos vegetales se disminuyeron en los tratamientos con Si 1000 y  
28  $K_4(SiO_4)$ . Estos hallazgos indican que el Si puede influir en la química foliar de las plantas  
29 de pimiento. En cuanto a la salinidad y la CE, se encontraron diferencias estadísticas en  
30 los valores de los extractos de hojas y de tallo más peciolo, aunque estas diferencias no  
31 parecen tener un impacto práctico significativo en el crecimiento y desarrollo de las  
32 plantas.

33  
34 **Palabras clave:** silicio, plantas de pimiento, química foliar, impacto en el crecimiento.

35  
36 **ABSTRACT**

37  
38 Currently, one of the elements that has gained prominence in crop optimization is Silicon  
39 (Si), a mineral that has traditionally been underestimated, however, it plays a vital role in  
40 the well-being of plants. The objective of this study was to evaluate the effect of different  
41 sources and foliar doses of Si on the development and assimilation of nutrients in the  
42 pepper crop. The experimental design corresponds to a DCA. The results showed that  
43 there were no significant differences in the biometric variables, such as plant height, stem  
44 diameter and the number of leaves, flowers and fruits, between the Si source and dose

45 treatments. This suggests that the Si doses evaluated did not have a substantial effect on  
46 the overall growth of pepper plants. However, significant effects of Si were observed on  
47 the foliar chemistry of the plants. Si treatments showed lower concentrations of nitrate  
48 and potassium compared to the control group. In addition, higher sodium concentrations  
49 were recorded in some Si treatments, and pH values in both the leaf area and plant tissues  
50 were decreased in the Si 1000 and  $K_4(SiO_4)$  treatments. These findings indicate that Si  
51 can influence the foliar chemistry of pepper plants. Regarding salinity and EC, statistical  
52 differences were found in the values of the extracts of leaves and stem plus petiole, but  
53 these differences do not seem to have a significant practical impact on the growth and  
54 development of the plants.

55

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

57

## 58 INTRODUCCIÓN

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

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

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

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

87 Otro beneficio interesante sobre el efecto del Si, está ligado en la mejora de la asimilación  
88 de nutrientes y el desarrollo de las plantas (De Mello, 2023). En este sentido, numerosos  
89 estudios han demostrado que la aplicación de Si en cultivos puede tener un impacto  
90 significativo en el crecimiento y desarrollo de las plantas. El Si actúa como un elemento  
91 beneficioso que fortalece la estructura celular de las plantas, haciéndolas más resistentes  
92 a diversas tensiones, como enfermedades y estrés abiótico (Luyckx et al., 2017; Liu et al.,  
93 2019). Además, el Si también juega un papel crucial en la mejora de la absorción de  
94 nutrientes esenciales, como el P y el K, lo que ha facilitado su transporte y asimilación en  
95 las plantas. Este efecto beneficioso del Si en el desarrollo y la nutrición de las plantas ha  
96 despertado un creciente interés en su aplicación en la agricultura, con el objetivo de  
97 mejorar la productividad y la calidad de los cultivos (Kamenidou et al., 2009; Bhat et al.,  
98 2019).

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

106

## 107 **MATERIALES Y MÉTODOS**

108

### 109 **Delimitación del área de estudio**

110

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

123

124



125 **Tabla 1.** Propiedades físicas y químicas (profundidad 0-30 cm) del suelo experimental  
 126 del estudio niveles críticos de nitrógeno y potasio y rangos de suficiencia para el cultivo  
 127 de banano en Ecuador, realizado en la Granja experimental del campus Santa Inés en la  
 128 Universidad Técnica de Machala.  
 129

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

130 CIC = Capacidad de intercambio catiónico, CE = Conductividad eléctrica, <sup>1</sup>Resultados considerados  
 131 adecuados, adaptado de (Villaseñor et al., 2022).  
 132

133 Para la siembra se utilizaron fundas de vivero con medidas de 20 x 30 cm con perforación  
 134 inferior para drenaje, el llenado se efectuó con una mezcla de suelo, se optó por dejar un  
 135 borde superior libre de aproximadamente 2,5 cm. Se sembraron tres semillas distribuidas  
 136 en el centro de la funda a una profundidad de un cm en el suelo, se cubrió con una capa  
 137 ligera del mismo suelo y se realizó riego de agua para proporcionar humedad al suelo y  
 138 garantizar la germinación de las semillas y emergencias de las plantas.  
 139

### 140 **Diseño experimental**

141  
 142 El ensayo fue conducido mediante un diseño completamente al azar (DCA), con siete  
 143 tratamientos y cinco repeticiones, 35 unidades experimentales (UE). Dentro de cada UE,  
 144 se evaluaron cinco plantas, esto se llevó a cabo en el contexto de una población de estudio  
 145 compuesta por 175 plantas de pimiento.  
 146

147 **Tratamientos**

148

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

154

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

158

| Tratamientos                                 | Dosis de aplicación $\text{cm}^3 \text{ha}^{-1}$ |
|--|--|
| Control                                      | 0  |
| Ácido monosilícico $\text{Si}(\text{OH})_4$  | 250  |
| Ácido monosilícico $\text{Si}(\text{OH})_4$  | 500  |
| Ácido monosilícico $\text{Si}(\text{OH})_4$  | 750  |
| Ácido monosilícico $\text{Si}(\text{OH})_4$  | 1000   |
| Silicato de K - $\text{K}_4(\text{SiO}_4)$   | 1000   |
| Silicato de Ca - $\text{Ca}_2(\text{SiO}_4)$ | 1000   |

159

160 **Manejo del ensayo**

161

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

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

172 El proceso de aplicación de los tratamientos se inició el 21 de junio de 2023, cuando las  
173 plantas contaban con 17 días después de la siembra (DDS). Se eligió este momento  
174 específico para asegurar que las plántulas hubieran desarrollado un follaje adecuado las  
175 cuales contaron con aproximadamente de dos a tres hojas verdaderas para que puedan  
176 recibir las aplicaciones foliares de manera eficiente. Se empleó un equipo rociador, con  
177 capacidad de  $750 \text{ cm}^3$  específico para cada tratamiento, se aseguró la precisión y  
178 uniformidad en la aplicación. La frecuencia de aplicación de tratamientos fue cada 15  
179 días mediante la técnica de aspersión foliar y teniendo en cuenta que el suelo de la funda  
180 debía estar a capacidad de campo (CC).

181 En la primera aplicación, cuando las plantas tenían un follaje menos abundante se  
182 aplicaron tres rociadas en toda la superficie foliar, a medida que las plantas desarrollaron

183 más follaje, las aplicaciones posteriores consistieron en cinco, siete, nueve y 11 rociadas  
 184 respectivamente. Esto se realizó con el fin de adaptar la dosis de aplicación a la cantidad  
 185 de hojas presentes en cada planta y garantizar una distribución efectiva del tratamiento.  
 186 Adicionalmente a los tratamientos, se incluyeron como parte del manejo del experimento  
 187 aplicaciones de un programa de enraizamiento a base de algas marinas del tipo  
 188 *Ascophyllum nodosum* a dosis de 400 g/200 l de agua (40 g/20 l) cada 15 días, además se  
 189 llevó a cabo un programa de fertilización básica que consistió en las fórmulas; 13-40-13  
 190 en fase de inicial, 35-6-10 en desarrollo y 20-6-30 para engrose del fruto, se realizó la  
 191 dosificación final de 1000 g/200 l de agua - (100 g/20 l) con aplicación en drench.

192

### 193 **Variables estudiadas**

194

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

198

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

203

| 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                  | $\mu\text{g cm}^{-2}$ | SPAD                    | Konica Minolta -<br>502 PLUS |
| LR                  | cm                    | Flexómetro              | -                            |

204

205

206

207

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.

208 **Tabla 4.** Descripción de las variables de nutrientes en extracto de savia en hojas y tallo +  
 209 peciolo del experimento aplicación de fuentes y dosis de Si foliar en el cultivo de  
 210 pimiento, desarrollado en el área experimental de la Granja Santa Inés de la Universidad  
 211 Técnica de Machala.  
 212

| Datos para recolectar        | Unidades            | Instrumento de medición                    | Marca y modelo   |
|------------------------------|---------------------|--|------------------|
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | mg L <sup>-1</sup>  | Medidor portátil de savia con sensor plano | HORIBA-LAQUAtwin |
| K <sup>+</sup>               | mg L <sup>-1</sup>  |  |                  |
| Ca <sup>2+</sup>             | mg L <sup>-1</sup>  |  |                  |
| Na <sup>+</sup>              | mg L <sup>-1</sup>  |  |                  |
| pH                           | -                   |  |                  |
| Salinidad                    | %                   |  |                  |
| CE                           | mS cm <sup>-1</sup> |  |                  |

213 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>= Nitrato, K<sup>+</sup>= Potasio, Ca<sup>2+</sup>= Calcio, Na<sup>+</sup>= Sodio, pH= Potencial de hidrógeno, CE= Conductividad  
 214 Eléctrica.  
 215

#### 216 **Recolección de datos**

217

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

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

236 La toma de datos en las variables de nutrientes tanto en hojas y peciolo más tallo se realizó  
 237 de la siguiente manera; se procedió a triturar el material vegetal se colocó en una prensa  
 238 para extraer la savia y con ello tomar una pequeña muestra de cinco ml del tejido foliar  
 239 para ser disuelta en 15 ml de agua destilada, mientras que para el extracto de savia del  
 240 tallo más peciolo se tomó cinco ml para disolver en 25 ml de agua con estas soluciones

241 se procedió a colocar en cada uno de los equipos medidores portátiles LAQUAtwin de la  
242 marca HORIBA, dichos equipos poseen un sensor plano que permite la medición de  
243 micro volumen, siguen el mismo principio de medición que un electrodo de vidrio  
244 tradicional, este equipo portátil brindó una información en tiempo real del estado  
245 nutricional de la planta es importante que se realice la calibración de los medidores antes  
246 de la toma de datos y después de cada 20 lecturas.

247

#### 248 **Procedimiento estadístico**

249

250 Primeramente, se realizó la verificación de los supuestos de normalidad de datos y  
251 homocedasticidad de varianzas. Cuando se cumplieron ambos supuestos en las variables  
252 estudiadas se aplicó el Análisis de Varianza (ANOVA) de un factor intergrupos para  
253 determinar si existen diferencias estadísticas o no entre las fuentes y dosis de Si foliar. En  
254 caso de presentarse diferencias estadísticas se utilizó la prueba de rangos y comparaciones  
255 múltiples de Tukey (Post hoc). En las variables que se incumplió al menos con un  
256 supuesto se utilizó la prueba no paramétrica ANOVA de Kruskal-Wallis.

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

259

#### 260 **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

261

262 Los resultados presentados en la tabla 5, corresponden a un proceso de datos  
263 paramétricos, en la tabla 6, se da a conocer el proceso de los datos no paramétricos, en  
264 general ambos estudios no demuestran diferencias significativas en las variables  
265 biométricas (AP, DT, NDH, NDFA, NDB, NDFr, IC y el LR) en relación con los  
266 diferentes tratamientos de dosis de Si foliar en el estudio. Estos resultados sugieren que  
267 la variación en la cantidad de Si aplicado no tuvo un impacto estadísticamente  
268 significativo en el desarrollo de las plantas, según lo indicado por el análisis de varianza  
269 F y p-valor por lo que no se considera a un tratamiento mejor o con mayores beneficios  
270 en el desarrollo de las plantas, aunque se ha demostrado en otros cultivos su eficiencia en  
271 las condiciones utilizadas no se encontraron diferencias, En este sentido, Liu et al. (2019),  
272 mencionan que los resultados de los ensayos pueden diferir por el mecanismo de  
273 aplicaciones, para este caso se realizó vía foliar y no edáfica, además, de existir  
274 influencias del ambiente.

275

276 **Tabla 5.** Resultados de pruebas paramétricas en variables de desarrollo vegetativo del  
 277 cultivo de pimiento variedad Yolo Wonder, con distintas fuentes y dosis de Si foliar.  
 278

| Tratamientos<br>(cm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) | AP<br>(cm)         | NDH               | LR<br>(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 <sup>NS</sup> | 0,5 <sup>NS</sup> | 0,84 <sup>NS</sup> |
| CV%:  | 12,2               | 23,0              | 54,4               |

279 Si 250-500-750-1000= dosis de la fuente de Si(OH)<sub>4</sub>, SiK 1000= dosis de K<sub>4</sub>(SiO<sub>4</sub>), SiCa 1000= dosis de  
 280 Ca<sub>2</sub>(SiO<sub>4</sub>), AP= Altura de la planta, NDH= Número de hojas, LR= Longitud de raíz, F= media de  
 281 variabilidad, CV%= Coeficiente de variación.  
 282

283 **Tabla 6.** Resultados de pruebas no paramétricas en variables de desarrollo vegetativo del  
 284 cultivo de pimiento variedad Yolo Wonder, con distintas fuentes y dosis de Si foliar.  
 285

| Tratamientos<br>(cm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) | DT<br>(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 <sup>NS</sup> | 0,8672 <sup>NS</sup> | 0,4249 <sup>NS</sup> | 0,8463 <sup>NS</sup> | 0,6056 <sup>NS</sup> |

286 DT= Diámetro del tallo, NDFa= Número de flores abiertas, NDB= Número de botones florales, NDFr=  
 287 Número de frutos, IC= Índice de intensidad de clorofila, Si 250, 500, 750, 1000= Dosis de la fuente de  
 288 Si(OH)<sub>4</sub>, SiK 1000= dosis de K<sub>4</sub>(SiO<sub>4</sub>), SiCa 1000= dosis de Ca<sub>2</sub>(SiO<sub>4</sub>), p-valor= nivel de significancia.  
 289

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

298 En términos generales, estos resultados respaldan los resultados antes mencionados ya  
 299 que no es necesario aplicar una dosis alta de Si. Estos hallazgos concuerdan con la idea  
 300 de que el aumento de la dosis de Si no parece tener un impacto significativo en el

301 crecimiento y desarrollo de las plantas en este estudio específico (Tubana et al., 2016;  
302 Bhat et al., 2019).

303 Los datos correspondientes a las variables de nutrientes en tejido foliar y CE en tejido  
304 vegetal que cumplieron el supuesto de normalidad por lo cual se procesó con la prueba  
305 paramétrica presentados en la tabla 7, corroboran que el  $\text{NO}_3^-$  no presentó diferencias  
306 significativas por lo que se puede asumir que las fuentes y dosis de Si no influyen en la  
307 asimilación de este elemento. La variable  $\text{Na}^+$  en hojas, tallo más peciolo y su efecto en  
308 la aplicación de Si tiene un impacto significativo en la concentración de este elemento,  
309 presentan grupos estadísticamente similares en los cuales podemos notar que los  
310 tratamientos (Si 250, Si 500  $\text{cm}^3 \text{ ha}^{-1}$  y grupo control) representados por la letra “b”  
311 demuestran que no hubo diferencia entre las dosis suministradas llegando a tener un  
312 resultado muy similar sin la aplicación de Si, el grupo “a” difiere del grupo antes  
313 mencionado y está formado por los tratamientos Si 750, Si 1000,  $\text{K}_4(\text{SiO}_4)$  1000 y  
314  $\text{Ca}_2(\text{SiO}_4)$  1000  $\text{cm}^3 \text{ ha}^{-1}$ ). La CE también se ve afectada significativamente por estos  
315 tratamientos en el tejido vegetal específicamente en tallo más peciolo, el CV% es  
316 moderado, las letras asignadas “a” y “b” indican diferencias significativas entre los  
317 tratamientos, el comportamiento en las variables se pueden comprender tomando en  
318 cuenta la ley de máximos y mínimos, una cantidad excesiva de Si no favorece al cultivo,  
319 se convierte en un gasto innecesario de insumos, por ello es necesario aplicar la dosis  
320 necesaria en función del cultivo y los requerimientos (Kaushik y Saini, 2019).

321

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

326

| Tratamientos<br>( $\text{cm}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) | Hojas              |               | Tallo + Peciolo |        |
|---|--------------------|---------------|-----------------|--------|
|   | $\text{NO}_3^-$    | $\text{Na}^+$ | $\text{Na}^+$   | 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 <sup>NS</sup> | 11,07**       | 13,20**         | 3,52** |
| CV%:  | 20,5               | 35,9          | 32,8            | 13,2   |

327  $\text{NO}_3^-$  = Nitrato,  $\text{Na}^+$  = Sodio, CE = Conductividad Eléctrica, Si 250, 500, 750, 1000 = Dosis de la fuente de  
328  $\text{Si}(\text{OH})_4$ , 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 =  
329 dosis de  $\text{Ca}_2(\text{SiO}_4)$ , F = media de variabilidad, CV% = Coeficiente de variación, \*\* significancia al 99%, \*  
330 significancia al 95%, NS = No existe significancia.

331

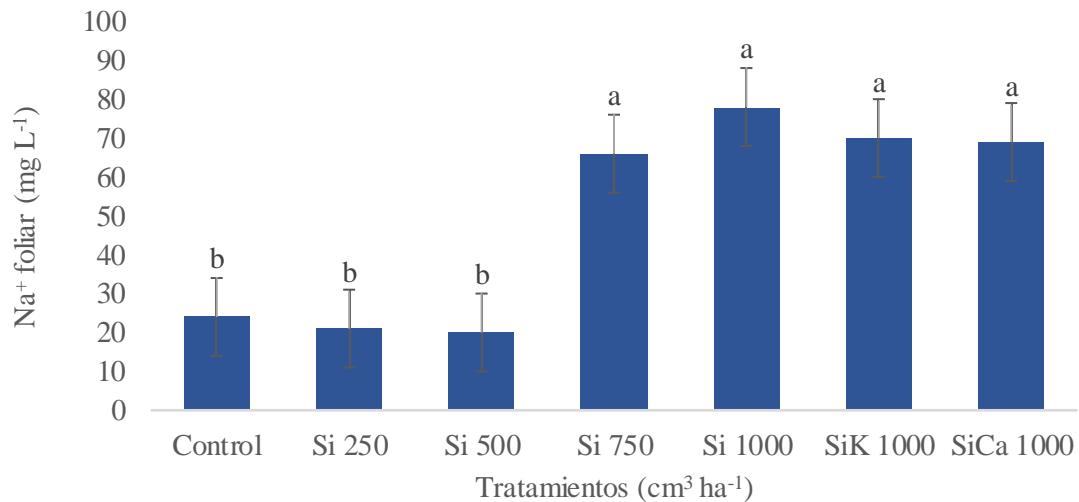
332 Además, en la figura 1, destaca el tratamiento Si 1000  $\text{cm}^3 \text{ ha}^{-1}$  al mostrar una  
333 concentración ligeramente superior de  $\text{Na}^+$  en comparación con los otros tratamientos, el  
334 contenido de  $\text{Na}^+$  aplicado por vía foliar ha demostrado que aumenta el contenido de  $\text{Ca}^{2+}$   
335 y  $\text{K}^+$  y la disminución de  $\text{Na}^+$  como lo reporta (Miranda et al., 2002) en plantas de

336 moringa. Es interesante notar que dentro de los tratamientos con Si también se registra  
337 una variabilidad sustancial en las concentraciones de Na<sup>+</sup>, estos resultados se asemejan  
338 con (Li et al., 2015; Tubana et al., 2016), quienes indican en una revisión bibliográfica  
339 que no solo disminuyen los contenidos de Na<sup>+</sup> sino también de Cl en las raíces, tallo y  
340 hojas además aumente el contenido de antioxidantes.

341

342 **Figura 1.** Parámetros de Na<sup>+</sup> en extracto foliar de las muestras en el cultivo de pimienta  
343 variedad Yolo Wonder, con diferentes fuentes y dosis de Si foliar.

344



345

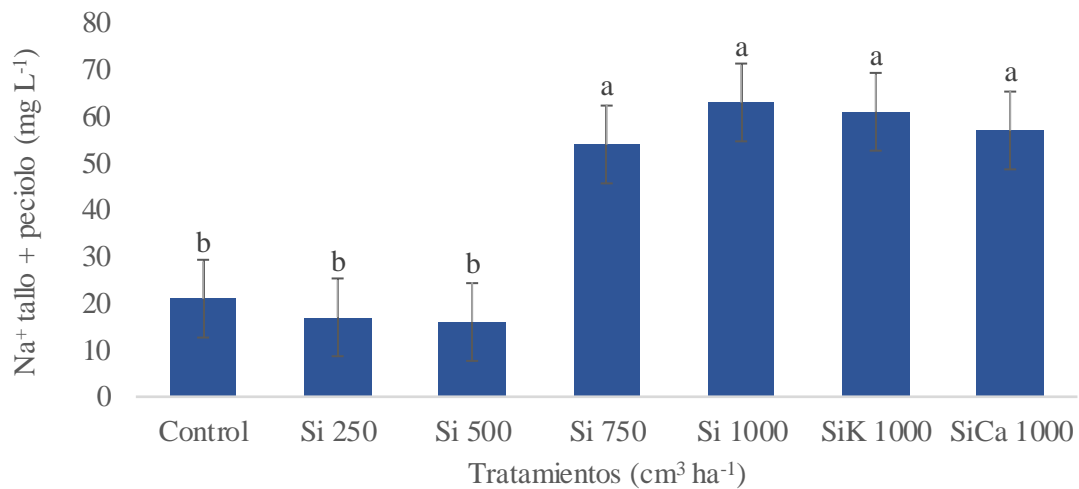
346

347 En particular, los tratamientos evaluados figura 2, exhiben concentraciones de Na<sup>+</sup>  
348 significativamente más bajas en comparación con el grupo de control, Si 250 y Si 500  
349 cm<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Esto sugiere que la aplicación de Si en estas fuentes y dosis específicas podría  
350 haber contribuido a un aumento en la baja acumulación de sodio en las plantas. Los  
351 análisis estadísticos respaldan la relevancia de estas diferencias, ya que el valor de F,  
352 indica que las variaciones en las concentraciones de Na<sup>+</sup> entre los tratamientos son  
353 estadísticamente significativas al nivel del 99%, similares resultados se han mencionados  
354 en savia según (Soundararajan et al., 2014), donde se disminuía el contenido de estrés y  
355 la reducción de la asimilación de Ca<sup>2+</sup>.

356

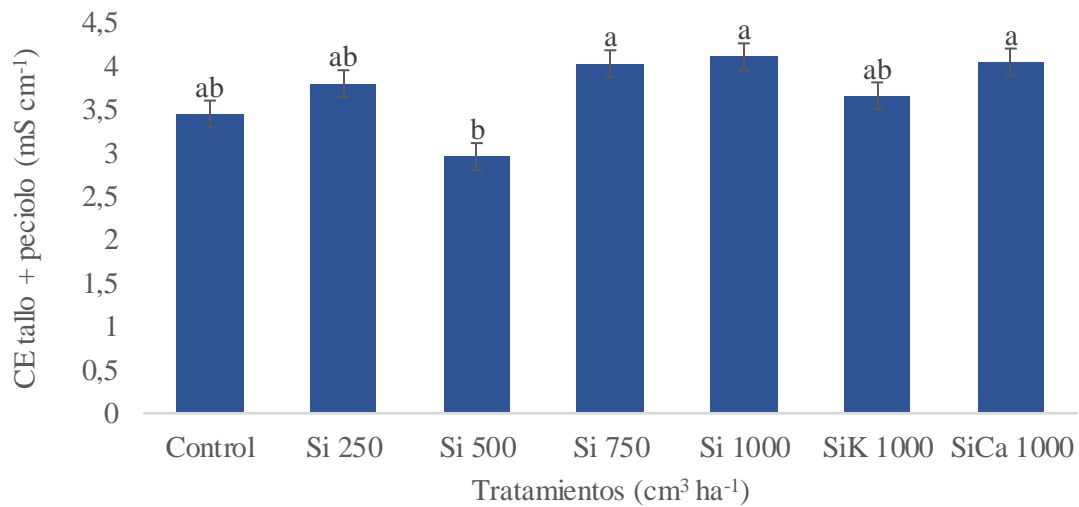


357 **Figura 2.** Parámetros de Na<sup>+</sup> en el tejido vegetal tallo + peciolo en muestras del cultivo  
358 de pimiento variedad Yolo Wonder, con distintas fuentes y dosis de Si foliar.  
359



360  
361  
362 Es esencial tener en cuenta que, a pesar de estas diferencias significativas, aún existe  
363 cierta variabilidad dentro de cada tratamiento, como lo sugiere el coeficiente de variación  
364 (CV%) del 32,8%, esto podría deberse a otros factores no considerados en el estudio que  
365 influyen en la acumulación de Na<sup>+</sup>. Estos resultados denotan que la aplicación de Si tuvo  
366 un impacto significativo en las concentraciones de Na<sup>+</sup> en las plantas, y se observaron  
367 concentraciones más altas en ciertos tratamientos en comparación con el grupo de control  
368 (Hebsur, 2019; Liu et al., 2020). Sin embargo, la variabilidad entre los tratamientos con  
369 Si sugiere que la fuente y dosis de Si desempeñan un papel en la acumulación de Na<sup>+</sup> en  
370 las plantas. A su vez, el Si desempeña una función en la inducción de sistemas de  
371 tolerancia al estrés salino y otros tipos de tensiones en la planta, podría tener un impacto  
372 en la concentración de solutos compatibles o iones particulares en el tejido, lo que a su  
373 vez podría afectar la conductividad eléctrica (Kaushik y Saini, 2019).  
374 Los tratamientos aplicados demostraron una variación en la CE en relación con la  
375 aplicación de Si en diferentes concentraciones, así como en combinaciones con otros  
376 nutrientes figura 3, el tratamiento Si 1000 muestra el nivel más alto de CE, seguido por  
377 el Ca<sub>2</sub>(SiO<sub>4</sub>) 1000 y Si 750 cm<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> no son significativamente diferentes entre, mientras  
378 que el tratamiento Si 500 cm<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> es estadísticamente diferente al grupo anteriormente  
379 descrito, los tratamientos Si 250, K<sub>4</sub>(SiO<sub>4</sub>) 1000 cm<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> y control no son  
380 significativamente diferentes entre sí, pero son diferentes de los otros tratamientos.  
381 Estos resultados proporcionan información importante sobre cómo se comparan los  
382 diferentes tratamientos en función de los valores medios obtenidos en el experimento, y  
383 ayudan a identificar grupos de tratamientos que no son estadísticamente diferentes entre  
384 sí.  
385

386 **Figura 3.** Parámetros de CE en el tejido vegetal tallo + peciolo en muestras del cultivo  
387 de pimiento variedad Yolo Wonder, con distintas fuentes y dosis de Si foliar.  
388



389  
390  
391 En cuanto a los resultados de la conductividad eléctrica CE, se observa una variación  
392 significativa en los valores entre los diferentes tratamientos con Si y el grupo control,  
393 además, se nota una variabilidad en los valores de CE entre los tratamientos con Si. El  
394 análisis estadístico respalda estas diferencias, ya que el valor de F es de 3,52 con dos  
395 asteriscos (\*\*), lo que indica que las variaciones en los valores de CE entre los  
396 tratamientos son estadísticamente significativas al 99%. Esto confirma que la aplicación  
397 de Si tuvo un efecto real en los niveles de CE en las plantas.

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

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

414

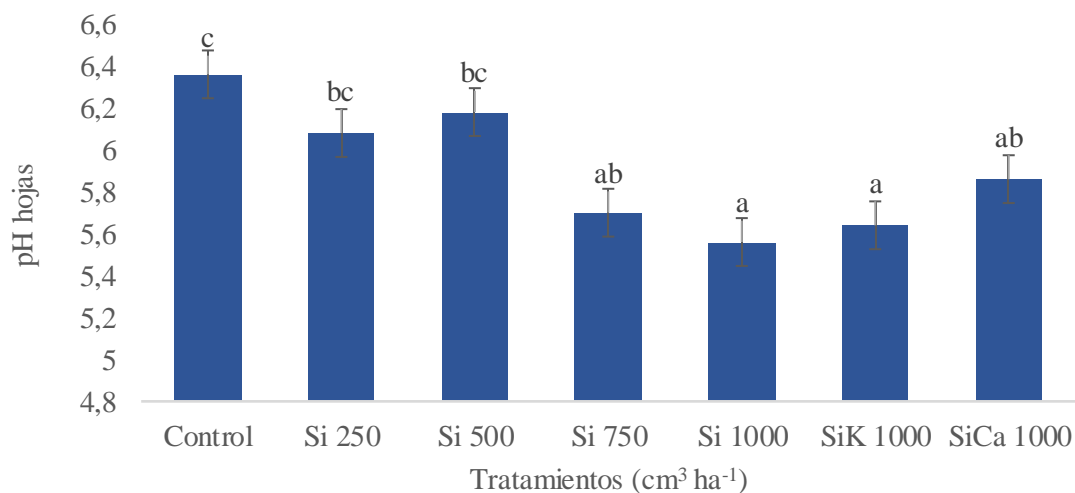
415 **Tabla 8.** Resultados de pruebas no paramétricas en variables de nutrientes y  
 416 características de pH, salinidad y conductividad eléctrica evaluados en extracto foliar en  
 417 muestras del cultivo de pimiento variedad Yolo Wonder, con distintas fuentes y dosis de  
 418 Si foliar.  
 419

| Tratamientos<br>(cm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) | Hojas                |                      |                      |                      |                      |
|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|   | K <sup>+</sup>       | Ca <sup>2+</sup>     | 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 <sup>NS</sup> | 0,8601 <sup>NS</sup> | 0,0078 <sup>NS</sup> | 0,3728 <sup>NS</sup> | 0,0019 <sup>NS</sup> |

420 K<sup>+</sup>= Potasio, Ca<sup>2+</sup>= Calcio, pH= Potencial de hidrógeno, CE= Conductividad Eléctrica, Si 250, 500, 750,  
 421 1000= Dosis de la fuente de Si(OH)<sub>4</sub>, SiK 1000= dosis de K<sub>4</sub>(SiO<sub>4</sub>), SiCa 1000= dosis de Ca<sub>2</sub>(SiO<sub>4</sub>), p-  
 422 valor= nivel de significancia.  
 423

424 En relación a la lectura de pH, se observaron diferencias significativas entre los  
 425 tratamientos con Si(OH)<sub>4</sub>, (Si 750, Si 1000 cm<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) y K<sub>4</sub>(SiO<sub>4</sub>) (SiK 1000 cm<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>)  
 426 mostraron valores de pH significativamente diferentes en comparación con el grupo  
 427 control, como se puede observar en la figura 4. En contraste, los tratamientos Si 250, Si  
 428 500 y Ca<sub>2</sub>(SiO<sub>4</sub>) 1000 no difirieron significativamente del grupo control. Además, el  
 429 grupo control presento el pH más alto, se distinguió por ser significativamente diferente  
 430 de los otros tratamientos. El (*p-valor*= 0,0078) demuestra que estos tratamientos tienen  
 431 una diferencia estadísticamente significativa. En cuanto al pH debido al mecanismo de  
 432 aplicación no presento un impacto significativo sobre esta variable (Kablan et al., 2012).  
 433

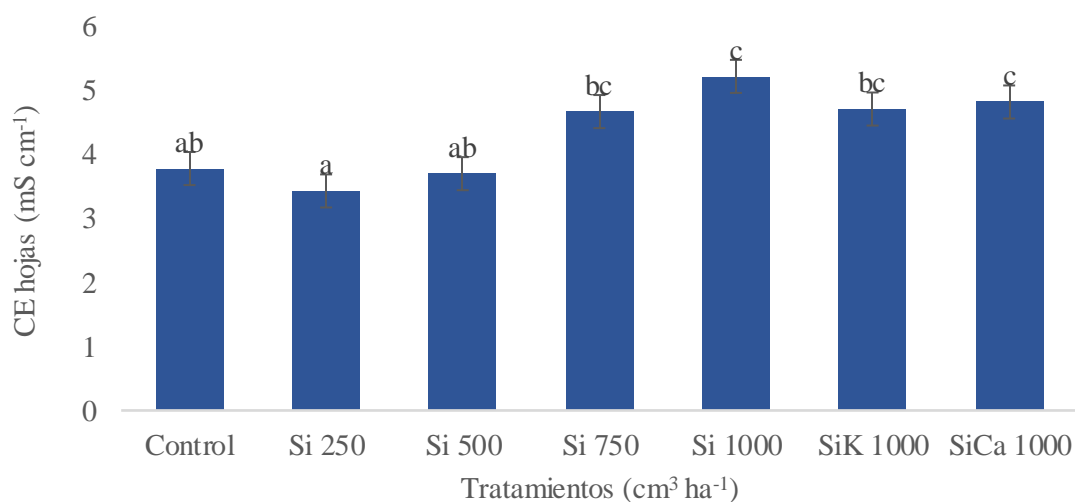
434 **Figura 4.** Parámetros de pH en extracto foliar de las muestras del cultivo de pimiento  
 435 variedad Yolo Wonder, con distintas fuentes y dosis de Si foliar.  
 436



437  
 438

439 Mientras que en los datos correspondiente a CE en hojas figura 5 se confirmó que existe  
 440 una diferencia significativa entre al menos dos de los tratamientos según el ( $p$ -valor=  
 441 0,0019) a pesar de ser bajo marca una significancia estadística. Con lo cual se demuestra  
 442 que en el tratamiento Si 1000 y SiCa 1000  $\text{cm}^3 \text{ha}^{-1}$  alcanzaron los valores de media más  
 443 altos y se representa por la letra “c” y es estadísticamente diferente a los tratamientos  
 444 representados por las letras “a y ab” los cuales son similares entre sí, pero diferentes entre  
 445 los tratamientos. El tratamiento con  $\text{Si}(\text{OH})_4$  en dosis de  $250 \text{ cm}^3 \text{ha}^{-1}$ , obtuvo la CE en  
 446 relación a los otros tratamientos. La aplicación foliar de Si y su impacto en los niveles de  
 447 pH y CE en el tejido foliar pueden ser el resultado de diversas interacciones y procesos  
 448 en la planta. Cuando aplican Si directamente en las hojas, este puede interactuar con  
 449 varios elementos que se encuentran en la superficie foliar. Estas interacciones pueden dar  
 450 lugar a la liberación de iones que perturban el equilibrio iónico, lo que, a su vez, podría  
 451 tener un efecto en el pH y la CE del tejido (Kamenidou et al., 2009; Luyckx et al., 2017).  
 452

453 **Figura 5.** Parámetros de CE en extracto foliar de las muestras del cultivo de pimienta  
 454 variedad Yolo Wonder, con distintas fuentes y dosis de Si foliar.  
 455



456  
 457  
 458 Los resultados sugieren que la aplicación de diferentes dosis y fuentes de Si generaron un  
 459 efecto limitado en la concentración de ciertos nutrientes en las hojas, sin embargo,  
 460 mostraron efectos notables en pH y CE. Estos hallazgos proporcionan información  
 461 valiosa sobre cómo la aplicación de Si puede influir en la química foliar y, posiblemente  
 462 en la salud y el desarrollo de las plantas. No obstante, es esencial considerar las  
 463 circunstancias específicas del estudio y las implicaciones prácticas de estos resultados en  
 464 el contexto de la agricultura o la horticultura, ya que se contrasta estos resultados donde  
 465 se menciona que la aplicación de Si reduce las afectaciones de patógenos, estrés abiótico  
 466 en monocotiledóneas y dicotiledóneas de donde se han encontrado reportes como en la  
 467 asimilación de nutrientes (Debona et al., 2017; Amin et al., 2018).  
 468 Los tratamientos con Si parecen tener un efecto significativo en las concentraciones de  
 469  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{K}^+$  presentes en el extracto de tejidos vegetales correspondiente a tallo más peciolo  
 470 presentados en la tabla 9, en contraste, nutrientes como  $\text{Ca}^{2+}$  no parecen desempeñar un  
 471 rol muy significativo una revisión sistemática de la respuesta de los cultivos en plantas

472 mono y dicotiledóneas han reportado la eficiencia y el aumento de estos nutrientes en  
 473 las hojas debido a las aplicaciones de Si de manera foliar (Miranda et al., 2002; Debona  
 474 et al., 2017). Además, se observa variaciones en pH en relación con los distintos  
 475 tratamientos, aunque se observaron diferencias estadísticas, estas diferencias son mínimas  
 476 en términos prácticos y es poco probable que tengan un impacto significativo en los  
 477 procesos de crecimiento y desarrollo de las plantas (Calero Hurtado et al., 2019).  
 478 En relación a los resultados de salinidad, se puede observar que los valores se mantienen  
 479 en un rango relativamente constante en todos los tratamientos, incluido el grupo de  
 480 control. Esto sugiere que la aplicación de Si en diferentes dosis y fuentes no produjo un  
 481 impacto significativo en los niveles de salinidad en el sustrato o en la solución de riego  
 482 (Amin et al., 2018).

483

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

488

| Tratamientos<br>(cm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) | Tallo + Peciolo              |                |                  |        |           |
|---|------------------------------|----------------|------------------|--------|-----------|
|   | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | K <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | 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    |

489

490

491

492

493

494

495

496

497

498

499

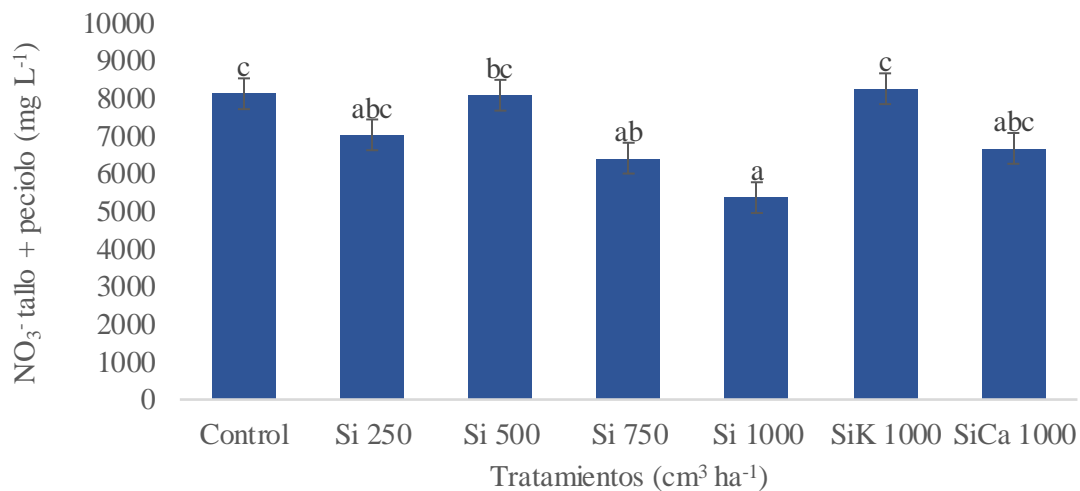
500

501

NO<sub>3</sub><sup>-</sup>= Nitrato, K<sup>+</sup>= Potasio, Ca<sup>2+</sup>= Calcio, pH= Potencial de hidrógeno, Si 250, 500, 750, 1000= Dosis de la fuente de Si(OH)<sub>4</sub>, SiK 1000= dosis de K<sub>4</sub>(SiO<sub>4</sub>), SiCa 1000= dosis de Ca<sub>2</sub>(SiO<sub>4</sub>), p-valor= nivel de significancia.

La concentración de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 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<sub>3</sub><sup>-</sup> en comparación con el control, con una disminución significativa en el tratamiento Si 1000 cm<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. La concentración mayor de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, adicionándole K<sup>+</sup> 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 la hoja y raíces.

502 **Figura 6.** Parámetros de  $\text{NO}_3^-$  en extracto tallo + peciolo de las muestras del cultivo de  
 503 pimiento variedad Yolo Wonder, con distintas fuentes y dosis de Si foliar.  
 504



505  
 506

507 Los datos presentados indican las concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  en los diferentes tratamientos  
 508 con Si y el grupo de control. A partir de estos resultados, se pueden extraer varias  
 509 observaciones importantes:

510 En primer lugar, se observa que los tratamientos con Si, mostraron efectos variados en la  
 511 concentración de  $\text{NO}_3^-$  en el extracto del tejido vegetal. En particular, las concentraciones  
 512 de  $\text{NO}_3^-$  se dividieron en varios grupos de letras en el caso de las que guardan la etiqueta  
 513 “a - ab” mostraron la disminución más significativa de  $\text{NO}_3^-$  difiriendo de los otros  
 514 tratamientos, el comportamiento de los tratamientos Si 500 y  $\text{K}_4(\text{SiO}_4)$   $1000 \text{ cm}^3 \text{ ha}^{-1}$  son  
 515 muy similares al grupo control, mientras que el grupo “abc” sugiere que no existe una  
 516 diferencia significativa entre los tratamientos Si 250 y  $\text{Ca}_2(\text{SiO}_4)$   $1000 \text{ cm}^3 \text{ ha}^{-1}$ .

517 Esto sugiere que la aplicación de Si influyó en la acumulación de  $\text{NO}_3^-$  en las plantas,  
 518 según resultados expuesto por Abdelal et al. (2020), reportados en el cultivo de  
 519 pimiento. Una observación relevante es que las concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  en los  
 520 tratamientos con Si son generalmente más bajas que en el grupo de control, esta  
 521 variabilidad podría atribuirse a factores inherentes a las condiciones de cultivo o a la  
 522 variabilidad natural en las mediciones de nutrientes como en el caso de la zinnia reportada  
 523 por Kamenidou et al. (2009) y la asimilación de nutrientes en el cultivo.

524 Además, se aprecia cierta variabilidad entre los tratamientos con Si por ejemplo, Si 250,  
 525 Si 750 y  $\text{Ca}_2(\text{SiO}_4)$   $1000 \text{ cm}^3 \text{ ha}^{-1}$  muestran valores intermedios, mientras que Si  $1000 \text{ cm}^3$   
 526  $\text{ha}^{-1}$  tiene concentración más bajas. Esta variabilidad puede sugerir que las fuentes o dosis  
 527 de Si tienen efectos ligeramente diferentes en la acumulación de  $\text{NO}_3^-$ . El análisis  
 528 estadístico no paramétrico confirma que las diferencias en las concentraciones de  $\text{NO}_3^-$   
 529 entre los tratamientos son estadísticamente significativas. Esto respalda la idea de que la  
 530 aplicación de Si tuvo un impacto real en la concentración de  $\text{NO}_3^-$  en las plantas del  
 531 cultivo de banano (Vijayan et al., 2021).

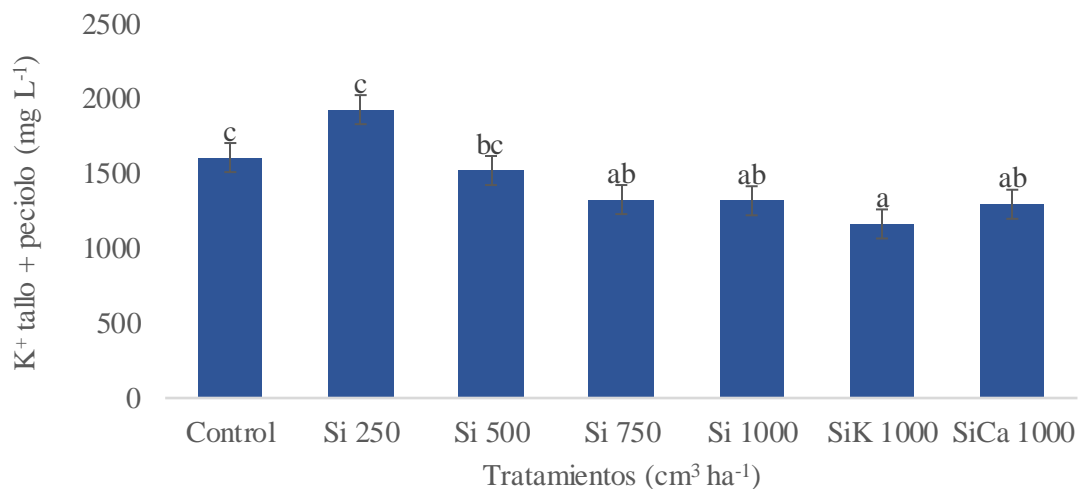
532 Los resultados obtenidos de la aplicación de tratamientos con Si en la concentración de  
 533  $\text{K}^+$  en los tejidos vegetales figura 7, demuestran una marcada diferencia en el tratamiento

534 Si 250 cm<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> con un valor significativamente más alto seguido por el grupo control y  
 535 Si 500. Los tratamientos con Si, específicamente Si 750, Si 1000, K<sub>4</sub>(SiO<sub>4</sub>) 1000 y  
 536 Ca<sub>2</sub>(SiO<sub>4</sub>) 1000 cm<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> no presentan diferencias y se demuestra en la baja acumulación  
 537 de K<sup>+</sup> como lo reporta (Kaushik y Saini, 2019) en cultivo de hortalizas. El Si 250 cm<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>  
 538 muestra una concentración de K<sup>+</sup> que difieren de manera significativa en comparación  
 539 con el grupo control y los tratamientos. Esto indica que la aplicación de Si tuvo un  
 540 impacto en la acumulación de potasio en las plantas de zinnia en invernadero (Kamenidou  
 541 et al., 2009).

542

543 **Figura 7.** Parámetros de K<sup>+</sup> en extracto tallo más peciolo de las muestras del cultivo de  
 544 pimiento variedad Yolo Wonder, con distintas fuentes y dosis de Si foliar.

545



546

547

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

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

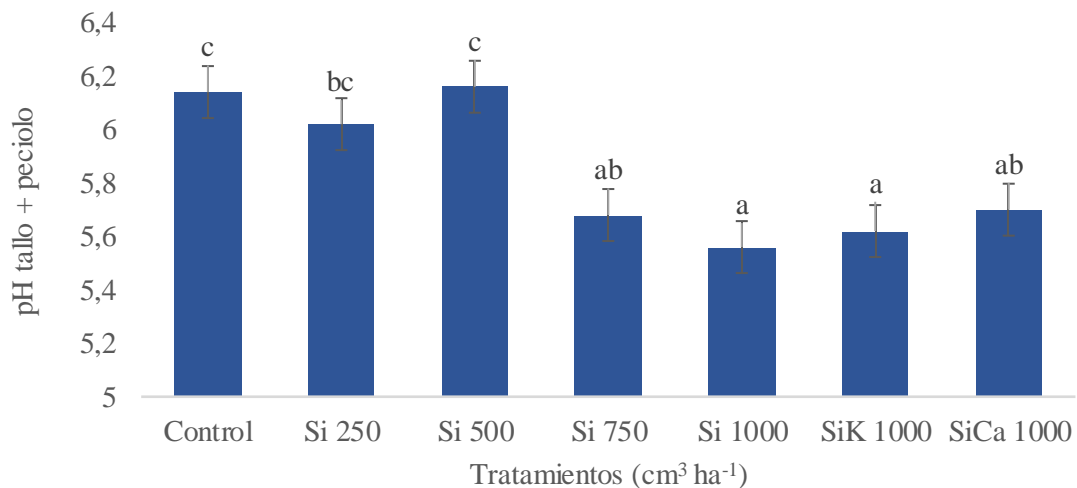
560 Los valores de pH varían en función de los tratamientos, lo que indica que los diferentes  
 561 tratamientos tienen un impacto en la acidez o alcalinidad del medio. Este fenómeno puede  
 562 deberse a la interacción entre el tratamiento y la respuesta bioquímica de la planta. El  
 563 tratamiento con mayor pH es Si 500, grupo control y Si 250 cm<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, indicando que el Si  
 564 en estas dosis puede tener cierto efecto alcalinizante, mientras que a medida que la dosis  
 565 de Si aumenta de Si 750 a Ca<sub>2</sub>(SiO<sub>4</sub>) 1000 cm<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, se demuestra una tendencia a la  
 566 disminución del pH. Esto sugiere que, a dosis más altas el Si puede estar interactuando

567 de manera más pronunciada en el sistema que regula el pH, posiblemente alterando la  
568 disponibilidad de iones de hidrógeno en el medio. El análisis estadístico respalda estas  
569 diferencias, ya que el ( $p\text{-valor}= 0,0009$ ) indica que las variaciones en los valores de pH  
570 entre los tratamientos son estadísticamente significativas.

571

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

574



575

576

577 Sin embargo, estos resultados sugieren que la aplicación de Si tuvo un impacto  
578 significativo en los niveles de pH en las plantas, reduciendo los valores en comparación  
579 con el grupo de control en algunos tratamientos, en este caso (Greger et al., 2018; Bhat et  
580 al., 2019) reportan que este comportamiento facilito la disponibilidad de nutriente como  
581 la interacción entre ellos, así como mejorar la tolerancia a metales pesados. No obstante,  
582 la variabilidad observada dentro de los tratamientos con Si indica que otros factores  
583 pueden estar contribuyendo a las diferencias en los valores de pH registrados (Tubana et  
584 al., 2016).

585

## 586 CONCLUSIONES

587

588 En este estudio, se evaluaron fuentes y dosis de Si en el cultivo de pimiento variedad Yolo  
589 Wonder donde los resultados mostraron que no hubo diferencias significativas en las  
590 variables biométricas, como la altura de la planta, el diámetro del tallo y el número de  
591 hojas, flores y frutos entre los diferentes tratamientos. Esto sugiere que la aplicación de  
592 Si en las dosis probadas no tuvo un impacto significativo en el desarrollo general de las  
593 plantas de pimiento.

594 La influencia del Si en la química foliar donde se observaron efectos significativos del Si  
595 en la química foliar de las plantas la aplicación de Si influyó en las concentraciones de  
596 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, K<sup>+</sup> y Na<sup>+</sup> en las plantas, con concentraciones más bajas de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y K<sup>+</sup> en los  
597 tratamientos con Si en comparación con el grupo de control. Además, se registraron  
598 concentraciones más altas de Na<sup>+</sup> en algunos tratamientos con Si. Los valores de pH



599 también disminuyeron en ciertos tratamientos con Si. Estos hallazgos indican que el Si  
600 puede tener un impacto en la química foliar de las plantas de pimiento.  
601 En cuanto a los parámetros de pH y CE, aunque se observaron diferencias estadísticas en  
602 la CE entre algunos tratamientos, estas diferencias no parecen tener un impacto  
603 significativo en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Además, las concentraciones  
604 de salinidad se mantuvieron en un rango relativamente igual en todos los tratamientos,  
605 incluido el grupo control, esto sugiere que la aplicación de Si en las fuentes y dosis  
606 evaluadas no alteró sustancialmente los niveles de salinidad en el sustrato o la solución  
607 de riego.

608

## 609 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 610 Abdelaal, K. A. A., Mazrou, Y. S. A., & Hafez, Y. M. (2020). Silicon Foliar  
611 Application Mitigates Salt Stress in Sweet Pepper Plants by Enhancing Water  
612 Status, Photosynthesis, Antioxidant Enzyme Activity and Fruit Yield. *Plants*, 9(6),  
613 733. <https://doi.org/10.3390/plants9060733>
- 614 Ávila, F. W., Baliza, D. P., Faquin, V., Araújo, J. L., & Ramos, S. J. (2010). Interação  
615 entre silício e nitrogênio em arroz cultivado sob solução nutritiva. *Revista Ciência  
616 Agrônômica*, 41(2), 184–190. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902010000200003>
- 617 Bhat, J. A., Shivaraj, S. M., Singh, P., Navadagi, D. B., Tripathi, D. K., Dash, P. K.,  
618 Solanke, A. U., Sonah, H., & Deshmukh, R. (2019). Role of Silicon in Mitigation  
619 of Heavy Metal Stresses in Crop Plants. *Plants*, 8(3), 71.  
620 <https://doi.org/10.3390/plants8030071>
- 621 De Mello Prado, R. (2023). *Benefits of Silicon in the Nutrition of Plants*. Springer  
622 Nature.
- 623 Debona, D., Rodrigues, F. A., & Datnoff, L. E. (2017). Silicon's Role in Abiotic and  
624 Biotic Plant Stresses. *Annual Review of Phytopathology*, 55(1), 85–107.  
625 <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080516-035312>
- 626 Espinosa, J., Moreno, J., & Bernal, G. (2018). *The Soils of Ecuador* (J. Espinosa, J.  
627 Moreno, & G. Bernal, Eds.). Springer International Publishing.  
628 <https://doi.org/10.1007/978-3-319-25319-0>
- 629 Freitas, A. S., Pozza, E. A., Soares, M. G. O., Silva, H. R., Pérez, C. D. P., & Pozza, A.  
630 A. A. (2017). Severity of yellow Sigatoka in banana cultivated in silicon nutrient  
631 solution. *Australasian Plant Pathology*, 46(6), 515–520.  
632 <https://doi.org/10.1007/s13313-017-0521-0>
- 633 Greger, M., Landberg, T., & Vaculík, M. (2018). Silicon Influences Soil Availability  
634 and Accumulation of Mineral Nutrients in Various Plant Species. *Plants*, 7(2), 41.  
635 <https://doi.org/10.3390/plants7020041>
- 636 Hassan, S. M., El-Bebany, A. F., Salem, M. Z. M., & Komeil, D. A. (2021).  
637 Productivity and Post-Harvest Fungal Resistance of Hot Pepper as Affected by  
638 Potassium Silicate, Clove Extract Foliar Spray and Nitrogen Application. *Plants*,  
639 10(4), 662. <https://doi.org/10.3390/plants10040662>
- 640 Higueta, F. E. R., & Rodríguez, J. A. C. (2015). Importancia agronómica del silicio y su  
641 impacto en la productividad de la caña de azúcar. *Suelos Ecuatoriales*, 45(1), 10–  
642 15.
- 643 Kablan, L., Lagauche, A., Delvaux, B., & Legrève, A. (2012). Silicon Reduces Black  
644 Sigatoka Development in Banana. *Plant Disease*, 96(2), 273–278.  
645 <https://doi.org/10.1094/PDIS-04-11-0274>

- 646 Kamenidou, S., Cavins, T. J., & Marek, S. (2009). Evaluation of silicon as a nutritional  
647 supplement for greenhouse zinnia production. *Scientia Horticulturae*, 119(3), 297–  
648 301. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.08.012>
- 649 Kaushik, P., & Saini, D. K. (2019). Silicon as a Vegetable Crops Modulator—A  
650 Review. *Plants*, 8(6), 148. <https://doi.org/10.3390/plants8060148>
- 651 Köppen, W., & Geiger, R. (1884). *Clasificación climática de Köppen*.
- 652 Liu, Soundararajan, & Manivannan. (2019). Mechanisms of Silicon-Mediated  
653 Amelioration of Salt Stress in Plants. *Plants*, 8(9), 307.  
654 <https://doi.org/10.3390/plants8090307>
- 655 Luyckx, M., Hausman, J.-F., Lutts, S., & Guerriero, G. (2017). Silicon and Plants:  
656 Current Knowledge and Technological Perspectives. *Frontiers in Plant Science*, 8.  
657 <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00411>
- 658 Mancinelli, R., Muleo, R., Marinari, S., & Radicetti, E. (2019). How Soil Ecological  
659 Intensification by Means of Cover Crops Affects Nitrogen Use Efficiency in  
660 Pepper Cultivation. *Agriculture*, 9(7), 145.  
661 <https://doi.org/10.3390/agriculture9070145>
- 662 Matarín, A., & Morales, I. (2018). *Manual práctico para el cultivo del pimiento en*  
663 *agricultura protegida* (Mundi-Prensa).
- 664 Miranda, J. R. P., Carvalho, J. G., Santos, D. R., Freire, A. L. O., Bertoni, J. C., Melo, J.  
665 R. M., & Caldas, A. L. (2002). Silício e cloreto de sódio na nutrição mineral e  
666 produção de matéria seca de plantas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.). *Revista*  
667 *Brasileira de Ciência Do Solo*, 26(4), 957–965. [https://doi.org/10.1590/S0100-](https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000400013)  
668 [06832002000400013](https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000400013)
- 669 Pourrut, P., Gomez, G., Bermeo, A., & Segovia, A. (1995). Factores condicionantes de  
670 los regímenes climáticos e hidrológicos. In *El agua en el Ecuador: clima,*  
671 *precipitaciones, escorrentia* (pp. 7–12). Corporacion Editora Nacional; Colegio de  
672 Geografos del Ecuador; ORSTOM.  
673 <https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010014826>
- 674 Rajput, V. D., Minkina, T., Feizi, M., Kumari, A., Khan, M., Mandzhieva, S.,  
675 Sushkova, S., El-Ramady, H., Verma, K. K., Singh, A., Hullebusch, E. D. van,  
676 Singh, R. K., Jatav, H. S., & Choudhary, R. (2021a). Effects of Silicon and Silicon-  
677 Based Nanoparticles on Rhizosphere Microbiome, Plant Stress and Growth.  
678 *Biology*, 10(8), 791. <https://doi.org/10.3390/biology10080791>
- 679 Rajput, V. D., Minkina, T., Feizi, M., Kumari, A., Khan, M., Mandzhieva, S.,  
680 Sushkova, S., El-Ramady, H., Verma, K. K., Singh, A., Hullebusch, E. D. van,  
681 Singh, R. K., Jatav, H. S., & Choudhary, R. (2021b). Effects of Silicon and  
682 Silicon-Based Nanoparticles on Rhizosphere Microbiome, Plant Stress and  
683 Growth. *Biology*, 10(8), 791. <https://doi.org/10.3390/biology10080791>
- 684 Rodríguez, A., Peña-Fleitas, M. T., Gallardo, M., de Souza, R., Padilla, F. M., &  
685 Thompson, R. B. (2020). Sweet pepper and nitrogen supply in greenhouse  
686 production: Critical nitrogen curve, agronomic responses and risk of nitrogen loss.  
687 *European Journal of Agronomy*, 117, 126046.  
688 <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126046>
- 689 Tubana, B. S., Babu, T., & Datnoff, L. E. (2016). A Review of Silicon in Soils and  
690 Plants and Its Role in US Agriculture. *Soil Science*, 181(9/10), 393–411.  
691 <https://doi.org/10.1097/SS.0000000000000179>
- 692 USDA (United States Department of Agriculture). (2014). *Handbook. Keys to Soil*  
693 *Taxonomy, Soil Survey Staff, fourth edition*.  
694 [http://www.ascr.usda.gov/complaint\\_filing\\_file.html](http://www.ascr.usda.gov/complaint_filing_file.html).

- 695 Vijayan, A., Sriramachandrasekharan, M. V., Manivannan, R., & Shakila, A. (2021).  
696 Effect of Silicon through Potassium Silicate on Yield, Nutrient Uptake and Quality  
697 of Grand Naine Banana. *Asian Journal of Agriculture and Food Sciences*, 9(3).  
698 <https://doi.org/10.24203/ajafs.v9i3.6639>
- 699 Villaseñor, D., Chabla, J., & Luna, E. (2015). Caracterización física y clasificación  
700 taxonómica de algunos suelos dedicados a la actividad agrícola de la provincia de  
701 El Oro. *CUMBRES*, 1, 28–34.
- 702 Villaseñor, D., De Mello Prado, R., Luna, E., Jaramillo, E., & Agurto, L. (2022).  
703 Critical nitrogen and potassium levels and sufficiency ranges for banana cultivation  
704 in Ecuador. *Fruits*, 77(1). <https://doi.org/10.17660/th2022/002>  
705  
706