

EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE SILICIO EN EL CRECIMIENTO DE PLANTAS DE TOMATE (*SOLANUM LYCOPERSICUM L.*) BAJO DIFERENTES CONCENTRACIONES SALINAS

Aldeir Ronaldo Silva¹, Laura Ximena Nuñez Rodriguez², Francynes da Conceição Oliveira Macedo³, Fabia Barbosa da Silva⁴, Diogo Capelin⁵, Ricardo Ferraz de Oliveira⁶, Gabriel Silva Daneluzzi⁷, Fausto Andrés Ortiz Morea⁸

RESUMEN:

En muchas áreas del mundo dedicadas a la agricultura la obtención de buenos rendimientos, así como la posibilidad de cultivar una amplia variedad de especies, cada vez es más limitada debido a la salinización de los suelos. De acuerdo a lo anterior, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar el efecto de la aplicación de silicio en el crecimiento de plantas de tomate irrigadas con agua salina. El experimento fue realizado en ambiente protegido. El diseño experimental fue completamente al azar con un esquema factorial de 2x3 que se refiere a dos dosis de silicio (0 y 500 mg L⁻¹) y tres niveles de salinidad (0.0; 2.5; 4, 0 dS m⁻³). Fueron evaluados los siguientes parámetros: Altura da planta (cm), Diámetro del tallo (mm), y número de hojas (NH). El silicio influyó de manera positiva los parámetros de altura de la planta y diámetro de tallo, Además de promover una menor reducción en el número de hojas.

PALABRAS CLAVE: Nutrición, elemento benéfico, estrés, salinidad

INTRODUCCION:

El área afectada por la salinidad en el mundo es de aproximadamente 1125 millones de hectáreas, de las cuales 76 millones están afectadas por la salinización y la sodificación inducidas por el hombre (Hossain, 2019). La salinización, causa detención del crecimiento de los cultivos, lo cual puede considerarse una estrategia de las plantas para conservar carbohidratos, un metabolismo sostenido y un apropiado suministro de energía bajo estas condiciones (Patade et al., 2011).

Investigaciones recientes han demostrado que el silicio (Si), aun no siendo considerado un elemento esencial, cuando se pone a disposición de las plantas contribuye a su crecimiento, aprovechamiento de nutrientes e inducción de resistencia a las enfermedades fúngicas y a los insectos-plaga (Carvalho et al., 1999). Adicionalmente es reportado que el Si, aumenta la resistencia de la planta contra una serie de estreses abióticos, que incluyen sequía, salinidad, calor, frío, toxicidad por metales, alojamiento y desequilibrio de nutrientes, (Ma y Yamaji, 2015; Pereira et al., 2009; Souza, 2018). En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar el efecto de la aplicación de silicio en el crecimiento de plantas de tomate irrigadas con agua salina.

MATERIALES Y MÉTODOS:

El experimento se realizó en ambiente protegido en la Escuela de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidad de São Paulo, ubicada en la ciudad de Piracicaba-SP. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar, con factorial 2 x 3 que se refiere a dos dosis de silicio (0 y 500 mg L⁻¹) y tres niveles de salinidad (0.0; 2.5; 4, 0 dS m⁻³), cada tratamiento tiene 6 repeticiones, totalizando 36 unidades experimentales. La variedad utilizada fue Tomate IPA 06. La siembra se realizó en bandejas con 90 celdas y después de 15 días se trasplantaron, donde se colocaron tres plántulas por maceta con una capacidad de 5 litros conteniendo sustrato compuesto por vermiculita, expandida. El riego fue una solución nutritiva que se aplicó diariamente. La formulación utilizada será la solución de Hoagland y Arnon (1950), de acuerdo con los valores mencionados en la tabla 1.

Tabla1. Fuente de nutrientes y composición química del fertilizante Miracle-Gro®, empleado en la formulación de la solución nutritiva de Hoagland & Arnon (1950)

Fuente	Cantidad
Fertilizante Miracle-Gro®	0,46 g L ⁻¹
Cloruro de potasio (KCl)	0,1 g L ⁻¹
Cloruro de calcio (CaCl ₂)	0,26g L ⁻¹
Cloruro de magnesio	0,1 g L ⁻¹
Hierro- EDTA	0,1 ml L ⁻¹
Composición química del producto Miracle-Gro®	
Nutriente	Cantidad (%)
Nitrógeno total	24
Fosforo (P)	8
Potasio (K)	16
Boro (B)	0,02
Cobre (Cu)	0,07
Hierro (Fe)	0,15
Manganeso (Mn)	0,05
Molibdeno (Mo)	0,0005
Zinc (Zn)	0,06

La aplicación de silicio se realizó a los 28, 45 y 55 días después de la siembra, donde se agregaron 200 ml de solución de silicio a una concentración de 500 mg L⁻¹, la fuente de

silicio utilizada fue el fertilizante de nanopartículas de Si, soluble en agua, de MKnano®, con granulometría de 20 a 30 nm, presentando 99.5% de pureza. Las dosis salinas fueron seleccionadas de acuerdo a los valores de límite de tolerancia establecido por Grieve, Grattan, & Maas,(2012). La solución salina fue aplicada diariamente mediante la adición de cloruro de sodio disuelto en agua destilada. Las variables de crecimiento evaluadas fueron: diámetro del tallo (DL) medido a un nivel de 2 cm por encima de la base del tallo de la planta expresado en mm, utilizando un calibrador digital modelo 0-150 MM; La altura de la planta (LA) se midió con la ayuda de una regla graduada, midiendo desde el sustrato, hasta la yema apical de la planta, con valores expresados en cm; El número de hojas (NH) se realizó contando las hojas completamente expandidas. El análisis de los datos se realizó por medio de un análisis de varianza y comparación de medias mediante la prueba LSD de Fisher ($p < 0.05$) después de verificar la distribución normal de residuos y homogeneidad de los datos, utilizando el software InfoStat (Di Rienzo et al., 2016).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

De acuerdo con los resultados presentados en la tabla 2, las plantas sometidas a condiciones de estrés salino y con aplicaciones de silicio presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, para las variables altura, diámetro del tallo y número de hojas a los 35, 42, 49 y 56 dds. Los datos a los 28 dds no difieren estadísticamente entre sí para ninguna de las tres variables. Los valores obtenidos para la variable altura de la planta oscilan entre 13,18 a 25,57 cm a los 56 dds. La aplicación de silicio promovió un aumento en bajo altos niveles de salinidad, en comparación con las plantas irrigadas con agua salina sin aplicación de silicio. Los valores mas altos se encuentran en el tratamiento control (T1), seguido del tratamiento solo con silicio (T4), encontrándose en el nivel más bajo aquellos con agua salina sin aplicaciones de silicio (T2 y T3).

A los 56 dds (ver tabla 2), el T3 correspondiente a las plantas irrigadas con 40 mM de NaCl (4 dS m^{-1}) sin aplicación de silicio, presentan una reducción del 46,22 % en su altura. En contraste plantas bajo este mismo nivel de salinidad con aplicación de silicio (T6) presentan una reducción solo del 26,78% comparada con el tratamiento control (T1). La disminución del crecimiento para los tratamientos con agua salina sin aplicación de silicio, puede deberse a que las sales que están en el exterior de la planta (en el suelo) reducen el potencial hídrico, así como la acumulación de sales en el interior de la planta que pueden contribuir a la reducción del crecimiento (Da silva, 2009). Adicional a eso, estudios recientes han demostrado que la salinidad causa un desbalance en los niveles de macronutrientes y micronutrientes que puede disminuir su disponibilidad (Rios et al., 2017). Los resultados obtenidos concuerdan con estudios realizados por Oliveira et al. (2018), quienes demostraron que plantas de tomate sometidas a estrés salino, pero no fertilizadas con Si, presentaron una altura promedio más baja que aquellos que recibieron fertilización. En condiciones de estrés las plantas con silicio tienden a promover una estabilización más rápida de la membrana mejorando la absorción de potasio y reduciendo la absorción de sodio (Imtiaz et al., 2016).

La toxicidad por sal y el déficit de agua inducen la peroxidación de lípidos por ROS en las plantas (Debona et al., 2017) y el silicio tiene una tendencia a contribuir con el aumento de

la actividad de las enzimas de defensa antioxidantes clave, como superóxido dismutasa (SOD), peroxidasa (POD), catalasa (CAT), así como actividades de glutatión reductasa (GR) en plantas estresadas por sal (Coskun et al., 2016). Eso indica que este elemento fue beneficioso una vez que proporcionó a las plantas mayor crecimiento, aún bajo salinidad, actuando posiblemente como un atenuador de sus efectos.

Para la variable diámetro del tallo (tabla 2), los tratamientos sin aplicaciones de silicio (T2 y T3) tuvieron valores inferiores para todos los muestreos, en contraste, los valores más altos se encuentran en el tratamiento control (T1) para todas las mediciones, seguido de los tratamientos con silicio más salinidad (T5 y T6) para los 35 y 42 dds, y sólo silicio (T4) para los 49 y 56 dds (Tabla 2). Para la última medición el T3 en la ausencia de silicio resultó en un diámetro del tallo de 6,32 mm con una reducción del 41,3% comparado con el tratamiento control (T1). Sin embargo, la aplicación de silicio bajo este mismo nivel de salinidad (T6) resultó en una reducción solo del 14,83%. Lo anterior podría deberse al efecto beneficioso de este elemento en condiciones de estrés, dando valores semejantes al tratamiento control. Los resultados obtenidos concuerdan por lo reportado por Nunes et al. (2018), los cuales encontraron que plantas de tomate mostraron resultados similares al control sometidas a estrés hídrico con aplicaciones de silicio. Albuquerque et al., (2011) afirman que la aplicación de silicio en el cultivo de maíz sobre estrés salino, atenuó el efecto negativo causado por la sal en el crecimiento de las plantas. Tal efecto del silicio posiblemente esté relacionado a la asociación de silicio con componentes de la pared celular como la celulosa y la hemicelulosa, importante en virtud del aumento de filamentos de celulosa y desintoxicación de elementos tóxicos para las plantas (Ma et al., 2015).

El número de hojas no presentó diferencias significativas a los 35 dds, sin embargo, a partir del tercer muestreo (49 dds), los tratamientos con dosis de silicio presentaron un mayor número de hojas comparadas a los tratamientos sin silicio, manteniéndose creciente hasta los 56 dds. Se evidencia que la aplicación de silicio repercutió positivamente para todas las mediciones. Los valores más altos se encuentran en el T1, seguido de los tratamientos con silicio y salinidad. Las aplicaciones de 40 mM de NaCl ($4,0 \text{ dS m}^{-1}$) a los 56 dds disminuye en un 54,64% el número de hojas en relación al control, sin embargo, este nivel de salinidad con aplicación de silicio presenta una reducción solo del 6,64%, lo que significa que puede disminuir los efectos negativos causados por la salinidad. Lo anterior concuerda con estudios realizados por Oliveira et al., (2018), donde fueron aplicadas diferentes dosis de silicato de potasio vía foliar en plantas de tomate bajo condiciones salinas, concluyeron, que dosis de 75 mL.L^{-1} de silicio favoreció el aumento en el número de hojas.

Tabla 2. Resultados del análisis de varianza para las variables altura (AL), diámetro del tallo (DT), y numero de hojas (NH) de plantas de tomate a los 28, 35, 42, 49, y 56 días después de la siembra (DDS)

Tratamiento	AL				
	28 DDS	35 DDS	42 DDS	49 DDS	56 DDS
T1	4,30 ±1,2a	8,62±1,5a	12,78±2,2a	18,45±2,0a	25,57±6,1a
T2	4,50±0,6a	5,28±0,5c	7,47±1,1c	10,3±1,0c	13,18±2,9d
T3	4,55±1,0a	5,97±1,0bc	7,78±1,5bc	11,37±0,9c	13,75±3,0cd
T4	4,27±0,5a	6,75±1,0bc	10,22±1,4ab	13,12±2,2b	22,02±4,5ab

T5	3,8±0,8a	7,28±1,3ab	12,60±2,9a	13,35±3,3b	15,15±4,9b
T6	4,13±0,8a	6,07±1,6bc	10,87±3,2ab	12,23±3,6bc	18,72±5,4bc
p-valor	0,7218	0,002	0,0005	<0,0001	0,0001
CV%	20,74	18,5	22,21	17,5	23,71
DT					
T1	2,3 ±0,7a	5,89±0,5a	7,72±1,1a	9,64±1,3a	10,85±1,6a
T2	2,15±0,8a	3,28±0,7d	4,58±1,0c	5,72±0,7c	7,06±0,7c
T3	2,49±0,4a	3,59±0,4cd	4,13±0,8bc	5,34±1,0c	6,37±0,8c
T4	2,19±0 a	4,28±0,7bc	5,4±0,6bc	8,55±1,1ab	9,58±0,6ab
T5	2,18±0,7a	4,96±0,5b	6,59±1,2ab	7,6±1,3b	8,64±0,9b
T6	2,32±0,4a	4,31±0,8bc	6,77±1,2a	7,99±1,3b	9,24±1,6b
p-valor	0,9452	<0,0001	0,0013	0,0001	0,0002
CV%	28,91	15,52	17,2	15,2	12,98
NH					
T1	1,33±0,4a	4,50±0,7c	8,00±0,7b	10,50±1,5d	12,50±3,7bc
T2	1,17±0,4a	3,33±0,5ab	4,33±1,2a	5,50±2,5ab	8,50±6,3ab
T3	1,17±0,4a	3,17±0,9a	4,23±0,8a	4,50±0,8a	5,67±2,8a
T4	1,00±0a	3,50±0,5ab	5,17±1,6a	7,17±1,6bc	12,83±4,6bc
T5	1,33±0,5a	4,17±1,1bc	7,17±1,4b	9,00±2,2cd	12,67±2,8c
T6	1,17±0,5a	3,83±0,5ab	4,83±1,7a	7,67±3,5bc	11,67±5,2bc
p-valor	0,7382	0,0508	<0,0001	0,0007	0,0178
CV%	34,74	21,13	24,08	30,13	40,62

Las medias seguidas por la misma letra dentro de la misma columna no difieren estadísticamente entre sí por el test de Fisher al nivel de 5% de probabilidad ($p < 0.005$). CV. Coeficiente de variación. ±. Desviación estándar

CONCLUSIONES:

La aplicación de silicio en la dosis de 500 mg.L⁻¹ y aplicada directamente en la solución nutritiva, atenúa los efectos negativos promovido por el NaCl en plantas de tomate cultivar IPA06 presentando mejores resultados para las variables altura de la planta (AL), diámetro del tallo (DT) número de hojas (NH) y área foliar (AF)

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- Albuquerque, M., de Castro, V. F., Batista, J., & Enéas, J. (2011). Aplicação de silício em milho e feijão de corda sob estresse salino. *Revista Ciencia Agronomica*, 42(2), 398–403.
- Carvalho, S., Morales, J., & Carvalho, J. (1999). Efeito do Silício na Resistência do Sorgo (*Sorghum bicolor*) ao Pulgão- Verde *Schizaphis graminum* (Rond.) (Homoptera : Aphididae). *An.Soc. Entomol.Brasil*, 28(3), 505–510
- Coskun, D., Britto, D. T., Huynh, W. Q., & Kronzucker, H. J. (2016). The Role of Silicon in Higher Plants under Salinity and Drought Stress. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1–7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01072>
- Da silva, B. (2009). *Efeitos fisiológicos e bioquímicos do estresse salino em Ananas porteanus. (e bioquímicos do estresse salino em Ananas porteanuernambuco, Brasil*
- Debona, D; Rodrigues, R y Datnoff, L. (2017). Silicon's Role in Abiotic and Biotic Plant Stresses. *Annu. Rev. Phytopathol*, 55(4), 1–4.23.

- Di Rienzo J., Casanoves F., Balzarini M., y Gonzalez L., Tablada M., Robledo C. (2016) InfoStat versión 2016. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Recuperado de <http://www.infostat.com.ar>
- Grieve, C., Grattan, S. R., & Maas, E. V. (2012). Plant Salt Tolerance. *Agricultural Salinity. Assessment and Management (2nd Edition)*, 13(71), 405–459.
- Hossain, S. (2019). Present Scenario of Global Salt Affected Soils , its Management and Importance of Salinity Research. *Int. Res. J. Biol. Sci*, 1(1), 1–3.
- Ma, J., & Yamaji, N. (2015). A cooperative system of silicon transport in plants. *Trends in Plant Science*, 20(7), 435–442. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2015.04.007>
- Nunes, A., Oliveira, A., Da Silva, M., Dos Santos, G., & Albuquerque, K. (2018). Efeito da adubação silicatada no cultivo de tomateiro sob estresse hídrico. *Irriga, Botucatu*, 1(2), 29–33
- Oliveira, A., Albuquerque, K., Nunez, L., & Nunes, A. (2018). Efeito da adubação silicatada no cultivo de tomateiro sob estresse salino. *Agropecuaria Científica No Semiárido*, 14(2), 141–148.
- Patade, V. Y., Bhargava, S., & Suprasanna, P. (2011). Salt and drought tolerance of sugarcane under iso-osmotic salt and water stress: Growth, osmolytes accumulation, and antioxidant defense. *Journal of Plant Interactions*, 6(4), 275–282. <https://doi.org/10.1080/17429145.2011.557513>
- Pereira, S. C., Rodrigues, F. A., Carré-Missio, V., Oliveira, M. G. A., & Zambolim, L. (2009). Efeito da aplicação foliar de silício na resistência à ferrugem e na potencialização da atividade de enzimas de defesa em cafeeiro. *Tropical Plant Pathology*, 34(4), 223–230. <https://doi.org/10.1590/s1982-56762009000400004>
- Rios, J. J., Martínez-Ballesta, M. C., Ruiz, J. M., Blasco, B., & Carvajal, M. (2017). Silicon-mediated Improvement in Plant Salinity Tolerance: The Role of Aquaporins. *Frontiers in Plant Science*, 8. doi:10.3389/fpls.2017.00948
- Souza, J. P. de. (2018). *Silício como mitigador de deficiência e toxicidade de boro na cultura do algodão cultivado em solução nutritiva* ((tesis de maestría).Universidad estadual paulista, Jaboticabal,Brasil