



iniap

21 y 22 de
septiembre de 2017

**Sexto Congreso Internacional de Investigación en
Ciencias Básicas y Agronómicas**

MICRONUTRIENTES EN LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

Cadmio en el rendimiento de dos variedades de chile (*Capsicum annuum* L.)

María de la Luz Buendía-Valverde¹, Sara Monzerrat Ramírez-Olvera², Víctor Hugo Carbajal-Vázquez², Gabriela Abigail Guzmán-Báez², Nadia Issaí Torres Flores¹, Tarcisicio Corona-Torres¹, Fernando Carlos Gómez-Merino³, Libia Iris Trejo-Téllez^{1*}

¹Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Estado de México. C. P. 56230. Correos-e: luzmaria_buendia@hotmail.com; nadia.torres@colpos.mx; tcoronat@colpos; aheber@colpos.mx; tlibia@colpos.mx. ²Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Cuajimalpa. Avenida Vasco de Quiroga 4871, Col. Santa Fe Cuajimalpa, Delegación Cuajimalpa de Morelos, Ciudad de México. C. P. 05348. Correo-e: gaguzman.95@outlook.com. ³Colegio de Postgraduados Campus Córdoba. Carretera Federal Córdoba-Veracruz km 348, Congregación Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz. C. P. 94946. Correos-e: ingvictorcarbajal.ufm@gmail.com; ramirez.sara@colpos.mx; fernandg@colpos.mx

*tlibia@colpos.mx

Abstract

We evaluated the effect of cadmium (Cd) at three concentrations (0, 5 and 10 μ M) on yield indicators: number of fruits per plant, yield per plant, average fruit length and average fruit width in Jalapeño and Serrano varieties. The main effects of the study factors were observed in the number of fruits per plant and the yield, concluding that the Cd produces reduction in the number of fruits per plant and the yield of fruit in the variety Jalapeño. Furthermore, Cd significantly alters the length of fruits in the variety Serrano.

Key words: *Capsicum annuum* L., cadmium, heavy metals, performance components

Introducción

El cadmio (Cd) es un elemento químico clasificado en el grupo de los metales pesados debido a su alta densidad y toxicidad para los organismos. Aunque se encuentra en la naturaleza en bajas concentraciones, forma parte de la lista de contaminantes ambientales (WHO, 1992; U. S. EPA, 1999). Actualmente, la dispersión de gases tóxicos, el uso de combustibles fósiles, el desgaste mineral, y el riego con aguas residuales están provocando altas concentraciones de este elemento en los suelos utilizados para la siembra y cultivo de hortalizas (Pernía *et al.*, 2008).

La toxicidad por Cd ha sido estudiada en diversas plantas, y se ha comprobado que este elemento tiende a acumularse dentro de los organismos, permanecer dentro de ellos hasta por años y ser transportado a otros organismos por medio de la cadena trófica (Di Toppi y Gabbrielli, 1999). Se ha reportado que la principal ruta de absorción del Cd en plantas superiores es a través de la raíz, la cual puede ser afectada por la disponibilidad y la concentración de Cd presente en el suelo, además de otras propiedades como es la materia orgánica, el pH, el potencial redox y la capacidad de intercambio catiónico (Nazar *et al.*, 2012).

Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

Las consecuencias que se pueden producir por la exposición de Cd en las plantas han sido reportadas por diversos autores, y aunque los mecanismos moleculares responsables aun no son bien definidos, éstos dependen básicamente de la concentración de Cd presente en el suelo y del tiempo de exposición de la planta (Benavides *et al.*, 2005; Oancea *et al.*, 2005). De forma general el Cd puede alterar entrada, transporte y distribución de elementos esenciales como el Ca, Mg, P y K, lo que lleva a la planta a un desequilibrio nutrimental. Además, las plantas que crecen en suelos con niveles tóxicos de Cd presentan acumulación de Cd en sus tejidos, alteraciones bioquímicas y fisiológicas que provocan plantas más pequeñas, reducción en el rendimiento y calidad de fruto y clorosis (Benavides *et al.*, 2005; Nazar *et al.*, 2012).

El chile (*Capsicum annuum*) es una de las hortalizas más importantes a nivel mundial. Aproximadamente el 89% de éste se cultiva en Asia (India, China, Corea, Tailandia, Vietnam e Indonesia), mientras que la segunda región más importante donde se produce es en Estados Unidos y México con un 7% aproximadamente de la producción global, y con un 4% en áreas de Europa, África y Medio oriente (Do Rêgo *et al.*, 2016).

Gracias a que México es centro de domesticación del chile, esta especie es parte de la dieta nacional, no solo por su sabor sino también ser fuente de vitaminas. La producción anual es de aproximadamente 2.2 millones de toneladas de chile fresco, seco y en preparaciones las cuales se exportan principalmente a Canadá, Japón, Alemania y Gran Bretaña (SAGARPA, 2015). Actualmente se cuenta con más de cien variedades de chile clasificadas en 22 grupos verdes y 12 grupos seco, entre los que destacan el Jalapeño, Poblano y Serrano (SIAP, 2010).

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del Cd en tres concentraciones (0, 5 y 10 μM) en variables de rendimiento de dos variedades híbridas de chile Jalapeño y Serrano, durante un ciclo de producción de cultivo.

Metodología

Se utilizaron semillas híbridas de chile (*Capsicum annuum* L.) de las siguientes variedades: Jalapeño “Emperador” NUN 70030.

Serrano “Coloso” proporcionado por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Las Huastecas-CIRNE del Lote 2015-1.

Ubicación del experimento

El estudio se realizó en el ciclo de cultivo 2016-2017, en un invernadero de estructura metálica y cubierta de polietileno, dentro del Colegio de Posgraduados Campus Montecillo, ubicado en el municipio de Texcoco, Estado de México, a una altitud de 2250 m, 19° 29' LN y 98° 54' LO.

Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

Desinfección de semillas

Antes de llevar a cabo la siembra y con el objetivo de eliminar la presencia de patógenos, se remojaron las semillas en solución de hipoclorito de sodio al 2% durante 15 min, posteriormente se hicieron seis enjuagues con agua destilada estéril.

Producción de plantas

Se obtuvieron a partir de plántulas sanas de entre 15 y 20 cm de longitud, las cuales fueron germinadas en charolas de unicel de 200 cavidades con turba como sustrato, en el que se aplicaron riegos ligeros de agua cada tercer día. Se realizó el trasplante en bolsas de plástico negro (7 L de capacidad), las cuales se colocaron a 60 cm entre hileras y a 42 cm entre macetas, usando tezontle rojo como sustrato con tamaño medio de partícula de 0.5 mm, el cual fue previamente desinfectado con solución de hipoclorito de sodio al 6%. Se estableció un sistema de riego por goteo por medio de tanques de plástico de 200 L (para cada uno de los tratamientos), los cuales contenían la solución nutritiva Steiner (Steiner 1984), misma que fue completada con la solución de Cd correspondiente.

Diseño de tratamientos y experimental

Se realizaron dos experimentos independientes, uno para cada una de las dos variedades de chile evaluadas (Jalapeño y Serrano), donde se probaron los efectos de tres concentraciones de Cd (0, 5 y 10 μM), suministradas a partir de cloruro de cadmio (CdCl_2 marca Sigma Aldrich). Las unidades experimentales fueron las bolsas con capacidad de 7 L conteniendo una planta, mismas que fueron distribuidas en un diseño completamente al azar, con seis repeticiones cada una.

Variables evaluadas

Después de 80 días de tratamientos y de cuatro cortes de fruto realizados, se midieron las variables respuesta de los componentes del rendimiento:

1. Número de frutos por planta. Se contabilizaron los frutos de cada variedad por corte; los frutos de los cuatro cortes fueron sumados.
2. Rendimiento por planta. Se consideró el peso de los frutos por planta cosechados en cada corte de cada tratamiento; los pesos de cada corte por planta fueron sumados.
3. Longitud media de fruto. Se evaluó midiendo desde la base hasta el ápice de frutos al momento del corte.
4. Ancho medio de fruto. En cada corte de fruto se midió a un tercio de la base del fruto.

Análisis estadístico

Con los resultados obtenidos se realizaron análisis de varianza y pruebas de comparación de medias con la prueba LSD ($P \leq 0.05$), para variedad evaluada, usando el software SAS (SAS, 2011).

Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

Resultados

En este trabajo se evaluaron los efectos de la exposición de 0, 5 y 10 μM de Cd en el rendimiento de chile Jalapeño y Serrano. El número de frutos cosechados por planta de las variedades Jalapeño y Serrano, muestran que el Cd reduce de manera significativa el número de frutos en Jalapeño, presentando decrementos del orden del 43.4% respecto al testigo. En la variedad Serrano, si bien el Cd reduce el número de frutos, éstas reducciones no son estadísticamente significativas (Tabla 1). Esto concuerda con lo reportado por Mozafaruyan *et al.* (2014), quienes observaron una reducción en el número de frutos con 0.5 mM Cd (500 μM), ocasionada por el incremento en la abscisión floral causada por el Cd. Por su parte, Singh (2013), reporta que el Cd^{2+} , tiene efectos adversos en la producción de número de vainas y semillas en el gandul (*Cajanus cajan*). En este caso, la reducción podría deberse al efecto adverso del Cd en diversos procesos fisiológicos y metabólicos como fotosíntesis, fijación de nitrógeno y distribución del carbono y nitrógeno en la planta.

Tabla 1. Frutos totales por planta en las variedades de chile Jalapeño y Serrano tratadas con Cd en la solución nutritiva bajo condiciones de invernadero.

Cd (μM)	Jalapeño	Serrano
0	20.33 \pm 2.04 a	90.50 \pm 12.76 a
5	11.50 \pm 1.60 b	83.67 \pm 8.12 a
10	11.50 \pm 3.24 b	78.50 \pm 15.97 a

Medias \pm DE en cada columna con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (LSD, $P \leq 0.05$).

El rendimiento por planta en respuesta a Cd no tuvo un efecto significativo en la variedad Serrano; por el contrario, en Jalapeño existen diferencias significativas en 5 y 10 μM de Cd comparado con el testigo, encontrándose una disminución del rendimiento de 51 y 60% respectivamente, en comparación con el testigo (Tabla 2). Este mismo efecto se ha observado al comparar el rendimiento de fibra de tres genotipos de algodón expuestos a 1 μM Cd, donde se presentan reducciones significativas con respecto al control (Wu *et al.*, 2004).

Tabla 2. Rendimiento por planta (g) después de cuatro cortes, en plantas de chile Jalapeño y Serrano tratadas con Cd en la solución nutritiva bajo condiciones de invernadero

Cd (μM)	Jalapeño	Serrano
0	540.86 \pm 94.88 a	592.06 \pm 75.66 a
5	275.90 \pm 46.49 b	523.57 \pm 51.67 a
10	326.88 \pm 60.39 b	547.20 \pm 96.74 a

Medias \pm DE en cada columna con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (LSD, $P \leq 0.05$).

Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

El promedio del ancho de frutos para las variedades Jalapeño y Serrano en los tratamientos con Cd no muestra diferencias significativas respecto al testigo. No obstante, en la variedad Serrano tratada con 10 μM Cd se aprecia un incremento tres veces mayor con respecto al testigo, aunque éste no fue significativo (Tabla 3).

Tabla 3. Ancho promedio de frutos (mm) de las variedades de chile Jalapeño y Serrano tratadas con Cd en la solución nutritiva bajo condiciones de invernadero

Cd (μM)	Jalapeño	Serrano
0	28.49 \pm 1.76 a	12.70 \pm 0.82 a
5	24.27 \pm 1.74 a	13.37 \pm 0.21 a
10	26.80 \pm 2.28 a	42.96 \pm 36.80 a

Medias \pm DE en cada columna con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (LSD, $P \leq 0.05$).

El tratamiento con ambas concentraciones de Cd redujo significativamente la longitud de frutos de la variedad Jalapeño, con reducciones medias de 21.3% respecto al control. En Serrano, solo la concentración de 5 μM Cd tuvo efectos negativos en esta variable (Tabla 4).

No existen reportes específicos acerca del efecto del Cd en el ancho y longitud de frutos de chile. En leguminosas se reporta que el Cd ocasiona disminución del número de vainas por planta, menor número de semillas por vaina, mayor proporción de vainas vacías y menor peso de la semilla (Singh, 2013).

Tabla 4. Longitud promedio de frutos (cm) de las variedades de chile Jalapeño y Serrano tratadas con Cd en la solución nutritiva bajo condiciones de invernadero

Cd (μM)	Jalapeño	Serrano
0	7.83 \pm 0.64 a	7.01 \pm 0.36 ab
5	5.87 \pm 0.43 b	6.78 \pm 0.13 b
10	6.45 \pm 0.57 b	7.50 \pm 0.14 a

Medias \pm DE en cada columna con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (LSD, $P \leq 0.05$).

Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

Conclusiones

El Cd reduce el número de frutos por planta y el rendimiento de fruto en la variedad Jalapeño; asimismo, este metal pesado altera de manera significativa la longitud de frutos en la variedad Serrano.

Agradecimientos

A los Programas de Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Genética y de Edafología-Nutrición Vegetal del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo por los apoyos para la realización de esta investigación.

Referencias

- Benavides, M. P., Gallego, M., and Tomaro, M. L. (2005). Cadmium toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17(1), 21-34.
- Di Toppi, L. S. and Gabbrielli, R. (1999). Response to cadmium in higher plants. *Environmental and Experimental Botany*, 41(2), 105-130.
- Do Rêgo, E. R., Do Rêgo, M. M., and Finger, F. L. (2016). *Production and breeding of chilli peppers (Capsicum spp.)*. Cham, Switzerland. Springer.
- Mozafariyan, M., Shekari, L., Hawrylak-Nowak, B., and Kamelmanesh, M. M. (2014). Protective role of selenium on pepper exposed to cadmium stress during reproductive stage. *Biological Trace Element Research*, 160, 97-107. doi: 10.1007/s12011-014-0028-2
- Nazar, R., Iqbal, N., Masood, A., Khan, M. I. R., Syeed, S., and Khan, N. A. (2012). Cadmium toxicity in plants and role of mineral nutrients in its alleviation. *American Journal of Plant Sciences*, 3, 1476-1489. doi: 10.4236/ajps.2012.310178
- Oancea, S., Foca, N., and Airinei, A. (2005). Effects of heavy metals on plant growth and photosynthetic activity. *Analele Științifice Ale Universității "Al. I. Cuza"*, 1, 107-110.
- Pernía, B., De Sousa, A., Reyes, R. y Castrillo, R. (2008). Biomarcadores de contaminación por cadmio en plantas. *Interciencia*, 32(2), 112-119.
- SAGARPA, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2015) *Producción de chile mexicano*. Recuperado el 25 de febrero de 2016, de <http://www.gob.mx/sagarpa/articulos/produccion-del-chile-mexicano>

Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

SAS Institute Inc. (2011). *SAS/STAT Users Guide*. Version 9.3. SAS Institute Inc., Cary, N. C., USA.

SIAP. (2010). *Un panorama del cultivo*. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Recuperado el 7 de julio de 2017, de <http://infosiap.siap.gob.mx/images/stories/infogramas/100705-monografia-chile.pdf>

Singh, A. (2013). Effect of Heavy Metal Cadmium on Growth and Yield of Pigeonpea. *International Journal for Scientific Research and Development*, 1(10): 2306-2314.

Steiner, A. (1984). *The universal nutrient solution*. In: Proc. 6th International Congress on Soilless Culture. Secretariat of ISOSC (ed). Lunteren 29 April-5 May. Int. Soc. Soilless Culture. Wageningen, The Netherlands. pp: 633-649.

U.S. EPA, Environmental Protection Agency. (1999). *Toxicological review of cadmium and compounds*. Washington, D. C. 85 p.

WHO. (1992). *Environmental Health Criteria 134. 1992. Cadmium*. World Health Organization. International Programme on Chemical Safety. Geneva, Switzerland.

Wu, F., Wu, H., Zhang, G., and Bachir, D. M. (2004). Differences in growth and yield in response to cadmium toxicity in cotton genotypes. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 167(1), 85-90. doi: 10.1002/jpln.200320320

Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

La aplicación foliar de silicio en variables de crecimiento de plantas de tomate crecidas bajo estrés salino

Víctor H. Carbajal-Vázquez¹, Sara M. Ramírez-Olvera¹, María de la Luz Buendía-Valverde²,
Gabriela A. Guzmán-Báez³, Héctor Emmanuel Sentíes-Herrera¹, Fernando C. Gómez-Merino¹,
Libia I. Trejo-Téllez^{2*}

Abstract

In this study, we evaluated the main effects of sodium chloride (NaCl) and silicon (Si) and their corresponding interactions on the growth variables of hydroponically grown tomato plants. Foliar applications of Si were carried out at ten day intervals and the variables plant height (AP) and stem diameter were measured. Key words: *Solanum lycopersicum*, salinity, hydroponics, beneficial elements (DT) were measured. The NaCl reduced growth parameters while the Si could mitigate the negative effects of NaCl.

Key words: *Solanum lycopersicum*, salinity, hydroponics, beneficial elements

Introducción

A nivel mundial, aproximadamente el 30% del total de la superficie irrigada tiene problemas de salinidad (Aceves, 2011). En México la salinización del suelo y la intrusión de agua salobre a los mantos freáticos es un problema que ha empeorado a raíz del cambio climático, lo que ha generado incertidumbre en el sector agroalimentario del país, ya que se afecta directamente la producción de alimentos inocuos tanto en cantidad como en calidad. Bajas precipitaciones, altos índices de evaporación y de radiación son factores que han contribuido a la formación de los suelos salinos y la presencia de aguas salobres en 31 acuíferos en Baja California y el Altiplano, además de los 15 acuíferos costeros con intrusión marina detectados a nivel nacional (CONAGUA, 2016).

La problemática se acrecienta debido al uso de este tipo de aguas salobres consideradas en la agricultura como “aguas de mala calidad”, lo que genera incrementos de sodio en el suelo y el

¹Colegio de Postgraduados Campus Córdoba. Carretera Federal Córdoba-Veracruz km 348, Congregación Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz. C. P. 94946. Correos-e: ingvictorcarbajal.ufm@gmail.com; ramirez.sara@colpos.mx; fernandg@colpos.mx

²Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Estado de México. C. P. 56230. Correos-e: luzmaria_buendia@hotmail.com; hector.senties@colpos.mx; tlibia@colpos.mx

³ Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Cuajimalpa. Avenida Vasco de Quiroga 4871, Col. Santa Fe Cuajimalpa, Delegación Cuajimalpa de Morelos, Ciudad de México. C. P. 05348. Correo-e: gaguzman.95@outlook.com

*tlibia@colpos.mx

Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

consecuente estrés por sales que afectan el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Estas afectaciones se pueden dividir en tres: a) estrés osmótico que disminuye el potencial del agua en el suelo; b) reducción en la concentración de cationes como K^+ y Ca^{2+} iniciando un desbalance iónico a nivel celular en la plantas; y c) toxicidad por absorción de Na^+ y Cl^- ; todo lo cual conlleva a que, en los cultivos se presente desde baja productividad hasta la muerte de las plantas (Pisinaras *et al.*, 2010; González *et al.*, 2016; Tavakkoli *et al.*, 2011; Munns y Tester, 2008).

Por otra parte, existen elementos que ayudan a los cultivos a mitigar los efectos de estrés biótico o abiótico llamados benéficos (Gómez-Merino *et al.*, 2015), entre los que destaca el silicio (Si), elemento que promueve resistencia a enfermedades y a factores de estrés abiótico, además de estimular el crecimiento de raíz y de la parte aérea en distintos cultivos. Específicamente en tomate, diversos estudios muestran efectos del Si en diferentes órganos de la planta. Por ejemplo, Marodin *et al.* (2014) reportan incrementos del 25% en peso de biomasa seca en hojas; Xue *et al.* (2012) obtuvieron incrementos en la acidez titulable; mientras que, Liu (1997) concluyó que el Si incrementa la resistencia del tomate a enfermedades.

La importancia económica del tomate reside en que es un producto de primera necesidad y de gran valor nutricional, además del valor económico que genera a quien lo produce. En 2015, México ocupó el primer lugar en exportación y décimo en producción, generando cerca de 350 mil plazas laborales y 100 millones de jornales (SIAP, 2015; SIAP, 2016).

Metodología

Material vegetal y solución nutritiva

Para el experimento se usaron semillas de tomate híbrido F-1 Rio Supremo de porte determinado, con un porcentaje de germinación de 85%. Para obtener las plántulas, primeramente se desinfectó una charola de 200 cavidades con hipoclorito de sodio al 5%. En seguida cada cavidad fue llenada con turba para después hacer la siembra de la semilla. El experimento se realizó en condiciones hidropónicas empleando la solución nutritiva universal de Steiner (Steiner, 1984).

Sustrato y trasplante

Como sustrato se utilizó tezontle con tamaño medio de partícula de 5 a 6 mm. Para la obtención de este tamaño se cribó con una malla de 7 mm y posteriormente con una malla de 4 mm. Una vez obtenido el tamaño adecuado se llenaron las bolsas de 30 x 30 cm, calibre 400, especial para vivero. Previo al trasplante en cada bolsa se aplicó una lámina pesada de riego con el fin de mantener la humedad en el sustrato. El trasplante se realizó a los 32 días después de la siembra, cuando las plántulas contaban con cinco hojas verdaderas. Se trasplantó una plántula por bolsa.

Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

Tratamientos y diseño experimental

Una vez realizado el trasplante, durante 14 días se regaron las unidades experimentales con solución nutritiva de Steiner con una concentración del 50%. En esta etapa los riegos se dividieron en tres aplicaciones de 100 mL por día. Del día 15 al 29 después del trasplante (intervalo de 14 días) se aplicó solución nutritiva de Steiner al 75% con cuatro dosificaciones de 100 mL por día; la solución nutritiva al 100% se utilizó a los 29 días después del trasplante (DDT) hasta el levantamiento del experimento el cual se realizó a los 108 DDT. En esta última etapa se aumentaron a 5 y a 8 riegos de 100 mL por día según lo fue requiriendo el cultivo. El pH de la solución nutritiva aplicada a distintos porcentajes de su fuerza iónica (50, 75 y 100%) siempre fue ajustado a 5.5.

Las aspersiones foliares de Si comenzaron a realizarse a los 31 DDT. Éstas se hicieron en ocho ocasiones a intervalos de diez días, a las seis de la mañana, asperjando las plantas hasta punto de goteo, con un volumen promedio por planta de 50 mL. Para ayudar a que la solución asperjada se adhiriera a la lámina foliar se agregó surfactante Tween™ 20 a una concentración de 0.5 g L⁻¹. Desde la aplicación de tratamientos foliares hasta el levantamiento del experimento transcurrieron 77 días.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con un arreglo factorial. El primer factor fue la concentración de cloruro de sodio (NaCl), evaluado a los niveles 0, 50 y 100 mM. El segundo factor fue la aplicación foliar de silicio en tres concentraciones (0, 75 y 100 mg L⁻¹, a partir de dióxido de silicio, SiO₂), resultando nueve tratamientos por experimento. Cada tratamiento tuvo nueve repeticiones. La unidad experimental consistió en una planta sembrada en una bolsa a una distancia de 0.3 m de separación entre plantas y 0.8 m entre hileras.

Variables evaluadas

Altura de planta: se midió desde el sustrato hasta el ápice de crecimiento usando un flexómetro (Stanley Tylon).

Diámetro de tallo: se midió con un vernier digital (Truper), el punto de referencia fue a los 10 cm de altura, partiendo del nivel del sustrato.

Análisis estadístico

Con los resultados obtenidos se efectuaron análisis de varianza de acuerdo a un diseño de tratamientos con arreglo factorial y pruebas de comparación de medias por Tukey ($P \leq 0.05$). En estos análisis se usó el software SAS (SAS, 2011).

Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

Resultados

Efecto principal del NaCl

La adición de NaCl a la solución nutritiva presentó efectos diferenciales en la altura de planta y diámetro de tallo en las plantas de tomate. A partir de los 50 días después de la aplicación de los tratamientos (DDAT), la adición de NaCl tanto a dosis de 50 como de 100 mM, redujo de manera significativa la altura de planta. En promedio, a los 75 DDAT la altura de planta fue menor en 13.3 y 22% en comparación con el testigo cuando se trataron las plantas con 50 y 100 mM NaCl. En lo que respecta a la variable diámetro de tallo, ésta solo fue reducida de manera significativa con la dosis alta de NaCl evaluada (100 mM), con reducciones del 14, 18.5 y 12% a los 25, 50 y 75 DDAT, respectivamente, en comparación con las plantas no tratadas con NaCl en cada fecha de muestreo (Tabla 1).

Tabla 1. Efecto principal del factor de estudio NaCl, en variables de crecimiento de plantas de tomate con 25, 50 y 75 días después de la aplicación de los tratamientos

NaCl (mM)	Altura de planta (cm)			Diámetro de tallo (mm)		
	Días después de la aplicación de los tratamientos					
	25	50	75	25	50	75
0	67.20 ± 2.81 a	74.57 ± 2.59 a	84.11 ± 4.39 a	9.51 ± 0.51 a	10.62 ± 0.50 a	11.22 ± 0.48 a
50	63.31 ± 2.76 ab	68.28 ± 2.78 b	72.91 ± 4.74 b	9.20 ± 0.43 a	10.15 ± 0.46 a	11.47 ± 0.80 a
100	57.71 ± 2.05 b	61.38 ± 2.14 c	65.57 ± 2.70 b	8.18 ± 0.28 b	8.66 ± 0.45 b	9.86 ± 0.36 b
DMS	5.82	5.54	6.42	0.86	1.03	0.83
CV	7.71	6.76	7.13	8.06	8.79	6.37

Medias ± DE en cada columna con letras distintas indican diferencias estadísticas significativa (Tukey, $P \leq 0.05$). DMS = Diferencia mínima significativa, CV = Coeficiente de variación.

El tomate es una especie moderadamente sensible a la salinidad; la mayoría de sus cultivares comerciales reducen su producción de manera significativa con niveles salinos superiores a 2.5 dS m^{-1} (Singh *et al.*, 2012); en este estudio dos de las CE de las soluciones nutritivas evaluadas, fueron superiores a tal nivel de referencia (7 y 12 dS m^{-1} correspondiendo a niveles de 50 y 100 mM, respectivamente). En estudios con tomate Cherry, también se han observado estos efectos negativos del NaCl, ya que la altura de planta se redujo en más del 50% en plantas tratadas con dosis de 50 mM NaCl y superiores, respecto al testigo (Hassan *et al.*, 2015). De la misma manera, en especies muy distintas al tomate, como el arbusto espinoso *Ziziphus spina-christi* (L.) Willd., el tratamiento con 80 y 60 mM NaCl redujo la altura de planta en más del 50% (Sohail *et al.*, 2009).

Efecto principal del silicio

El efecto principal del Si en la altura de planta solo fue significativo 75 DDAT, donde la concentración baja de este elemento (75 mg L^{-1}) redujo esta variable en 16.5% en comparación con el testigo. En los tres muestreos realizados, la media más alta en diámetro de tallo se tuvo con el

Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

tratamiento de Si a dosis de 150 mg L^{-1} , pero ésta no fue estadísticamente diferente a la altura del testigo. Asimismo, la aplicación foliar de 75 mg Si L^{-1} redujo tanto altura de planta y diámetro de tallo, aunque la diferencia no fue significativa respecto al testigo (Tabla 2). Por el contrario, Xue *et al.* (2012) reportaron que aplicaciones foliares de Si en tomate incrementaron de manera significativa el diámetro de tallo. En Chile, la aplicación de Si tanto vía foliar como radical no tuvo influencia en el crecimiento de la planta (Jayawardana *et al.*, 2014). En la fruta de la pasión (*Passiflora edulis*), se observa una respuesta bifásica al tratamiento con Si en el diámetro de tallo; es decir, el tratamiento con dosis de 0.21 g Si por maceta lo incrementa de manera significativa, mientras que dosis superiores lo reducen. Esta misma respuesta se tuvo en la altura de planta, siendo la mejor dosis de Si 0.28 g por maceta (Souza *et al.*, 2016).

Tabla 2. Efecto principal del factor de estudio Si, en variables de crecimiento de plantas de tomate con 25, 50 y 75 días después de la aplicación de los tratamientos

Si (mg L^{-1})	Altura de planta (cm)			Diámetro de tallo (mm)		
	Días después de la aplicación de los tratamientos					
	25	50	75	25	50	75
0	$62.46 \pm 3.22 \text{ a}$	$67.73 \pm 3.94 \text{ a}$	$79.96 \pm 4.75 \text{ a}$	$8.99 \pm 0.58 \text{ ab}$	$9.60 \pm 0.73 \text{ ab}$	$10.74 \pm 0.53 \text{ ab}$
75	$62.24 \pm 3.67 \text{ a}$	$66.13 \pm 3.91 \text{ a}$	$66.76 \pm 4.03 \text{ b}$	$8.37 \pm .35 \text{ b}$	$9.31 \pm 0.50 \text{ b}$	$10.35 \pm 0.38 \text{ b}$
150	$63.51 \pm 2.91 \text{ a}$	$70.38 \pm 3.17 \text{ a}$	$77.86 \pm 4.69 \text{ a}$	$9.53 \pm 0.35 \text{ a}$	$10.53 \pm 0.48 \text{ a}$	$11.36 \pm 0.55 \text{ a}$
DMS	5.82	5.54	6.42	0.86	1.03	0.83
CV	7.71	6.76	7.13	8.06	8.79	6.37

Medias \pm DE en cada columna con letras distintas indican diferencias estadísticas significativa (Tukey, $P \leq 0.05$). DMS = Diferencia mínima significativa, CV = Coeficiente de variación.

Interacción del NaCl x Si

La interacción de los factores de estudio tuvo influencia significativa en la altura de planta y diámetro de tallo. De manera general, los tratamientos con 100 mM NaCl sin suministro de Si y con la aplicación de este elemento a dosis de 75 mg L^{-1} mostraron la menor altura de planta en los tres muestreos. Es importante destacar que la altura de planta, en el tratamiento con 100 mM NaCl con la dosis alta de Si (150 mg L^{-1}) en las tres fechas de evaluación no fue estadísticamente diferente al testigo; estos resultados indican un efecto positivo del Si, al reducir el efecto adverso que tiene el NaCl en el crecimiento de la planta. Las mismas tendencias observadas en altura de planta se tuvieron en el diámetro de tallo (Tabla 3).

Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

Tabla 3. Efectos interactivos de los factores de estudio NaCl y Si, en variables de crecimiento de plantas de tomate con 25, 50 y 75 días después de la aplicación de los tratamientos

NaCl (mM) – Si (mg L ⁻¹)	Altura de planta (cm)			Diámetro de tallo (mm)		
	Días de aplicación de los tratamientos					
	25	50	75	25	50	75
0-0	68.16 ± 2.53 ab	76.26 ± 2.80 a	90.10 ± 2.99 a	9.91 ± 0.55 a	10.50 ± 0.71 abc	11.10 ± 0.45 abc
0-75	69.83 ± 0.63 a	73.96 ± 0.88 ab	74.66 ± 3.15 bcd	8.51 ± 0.36 ab	10.02 ± 0.39 abc	10.45 ± 0.27 abc
0-150	63.60 ± 4.12 ab	73.00 ± 3.59 ab	87.56 ± 2.59 ab	10.11 ± 0.23 a	11.34 ± 0.16 a	12.11 ± 0.34 a
50-0	59.76 ± 3.15 ab	64.66 ± 1.04 abc	78.56 ± 3.45 abc	8.99 ± 0.61 ab	10.05 ± 0.71 abc	11.63 ± 0.23 ab
50-75	62.33 ± 2.75 ab	66.26 ± 3.39 abc	61.73 ± 1.38 d	8.90 ± 0.25 ab	9.78 ± 0.10 abc	10.98 ± 0.30 abc
50-150	67.83 ± 0.49 ab	73.93 ± 0.20 ab	78.43 ± 2.42 abc	9.71 ± 0.40 ab	10.62 ± 0.46 ab	11.80 ± 0.26 a
100-0	59.46 ± 2.63 ab	61.76 ± 2.38 bc	71.23 ± 1.18 cd	8.07 ± 0.20 ab	8.25 ± 0.29 bc	9.79 ± 0.44 bc
100-75	54.56 ± 1.45 b	58.18 ± 1.46 c	63.90 ± 4.16 cd	7.70 ± 0.11 b	8.12 ± 0.23 c	9.63 ± 0.26 b
100-150	59.10 ± 1.50 ab	64.23 ± 1.87 abc	67.60 ± 0.58 cd	8.77 ± 0.21 ab	9.62 ± 0.38 abc	10.16 ± 0.46 abc
DMS	13.85	13.18	15.28	2.06	2.46	1.98
CV	7.71	6.79	7.13	8.06	8.79	6.37

Medias ± DE en cada columna con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $P \leq 0.05$). DMS = Diferencia mínima significativa, CV = Coeficiente de variación.

De acuerdo con Romero-Aranda *et al.* (2006), en plantas de tomate tratadas con NaCl, el Si mitiga los efectos negativos de la salinidad, dado que la biomasa seca y el área foliar se reducen solo en 31 y 22%, respectivamente, en comparación con el testigo; mientras que, cuando no se aplica Si, estos decrementos son del orden de 55 y 58%, respectivamente. En este estudio se advierten efectos positivos en algunos parámetros de crecimiento, particularmente en la condición salina más alta (100 mM NaCl), ya que el diámetro de tallo evaluado a los 50 y 75 DDAT, fue significativamente mayor con el tratamiento con 150 mg Si L⁻¹, al de plantas testigo; así también esta dosis de Si incrementó significativamente la altura de planta a los 50 DDAT.

Conclusiones

El tratamiento con NaCl a niveles de 50 y 100 mM reduce parámetros de crecimiento en plantas de tomate cv. Rio Grande. El Si aplicado vía foliar puede contribuir a mejorar el crecimiento de plantas de tomate que se desarrollan en presencia de NaCl.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca de posgrado otorgada a Víctor Hugo Carbajal Vázquez y a la LGAC Nutrición Vegetal del Postgrado en Edafología del

Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados por las facilidades brindadas para el desarrollo de esta investigación.

Referencias

Aceves, N. E. (2011). *El ensalitramiento de los suelos bajo riego*. Segunda edición. Biblioteca Básica de Agricultura. Publicado por Colegio de Postgraduados. p. 2.

CONAGUA, Comisión Nacional del Agua. (2016). *Estadísticas del Agua en México. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales*. Edición 2015. Recuperado el 17 de diciembre de 2016, de http://www.agua.unam.mx/assets/pdfs/novedades/EstadisticasdelAguaMexico2016_CONAGUA.pdf

Gómez-Merino, F. C., Trejo-Téllez, L. I., Cuacua-Temiz, C., Jácome-Chacón M. A. y Senties-Herrera. H. E. (2015). Los elementos benéficos: potencial para innovarla producción agrícola. *Agroentorno*, 166(18), 19-20.

González T. G.E., Trejo T. L. I., Gómez M. F. C., García M. S., Ruíz B. A., Cotlame G. G. y Ladewig P. (2016). *La aplicación foliar del silicio y calcio modifica diferencialmente color y firmeza de frutos de pepino crecido en suelo sódico*. In: Memorias del Quinto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, Estado de México, México. pp. 167- 176.

Hassan A. M., Martínez F. M., Ramos S. F. J., Vicente O., and Boscaiu M. (2015). Effects of salt and water stress on plant growth and on accumulation of osmolytes and antioxidant compounds in cherry tomato. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanice*. 43: 1-11. doi: 10.15835/nbha4319793

Jayawardana, H. A. R.K., Weerahewa, H. L. D., and Saparamadu, M. D. J. S. (2014). Effect of root or foliar application of soluble silicon on plant growth fruit quality and anthracnose development of *Capsicum*. *Tropical Agricultural Research*, 26(1), 74-81.

Liu, H. Y. (1997). Preliminary report on effect of Si fertilizer on tomato growth. *Journal of Guizhou Agricultural College*, 16, 76-77 (In Chinese).

Marodin, J. C., Resende, J. T. V., Morales, R. G. F., Silva, M. L. S., Galvão, A. G., and Zanin, D. S. (2014). Yield of tomato fruits in relation to silicon sources and rates. *Horticultura Brasileira*, 32, 220-224.

Munns, R. and Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651-681.

Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

Pisinaras, V., Tsihrintzis, V. A., Petalas, C., and Ouzounis, K. (2010). Soil salinization in the agricultural lands of Rhodope District, northeastern Greece. *Environmental Monitoring and Assessment*, 166, 79-94.

Romero-Aranda, M. R., Jurado, O., and Cuartero, J. (2006). Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. *Journal of Plant Physiology*, 163, 847-855.

SAS Institute Inc. (2011). *Base SAS® 9.3 Procedures Guide: Statistical Procedures*. Cary, NC, USA. 536 p.

SIAP. (2015). *Se consolida México como primer exportador mundial de tomate*. Boletín de la Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Recuperado el 13 de febrero de 2017, de <http://www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa/2012/Paginas/2015B466.aspx>

SIAP. (2016). *Exportaciones de tomate aumentan 22.7 por ciento en cinco meses*. Comunicado de prensa de la SAGARPA. Recuperado el 3 de octubre de 2016, de <http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/bajacaliforniasur/boletines/2016/agosto/Documents/2016BS345.pdf>

Singh, J., Divakar-Sastry, E. V., and Sing, V. (2012). Effect of salinity on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) during seed germination stage. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 18, 45-50.

Sohail, M., Saied, A. S., Gebauer, J., and Buerkert, A. (2009). Effect of NaCl Salinity on Growth and Mineral Composition of *Ziziphus spina-christi* (L.) Willd. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, 110(2), 107-114.

Souza, C. B. N., Gomes, D. G. D. M., Silva, C. I. D. J., De Assis, F. A., Da Silveira, F. A., and Pasqual, M. (2016). Effects of silicon on the growth and genetic stability of passion fruit. *Acta Scientiarum Agronomy*, 38(4), 503-511.

Steiner, A. (1984). *The universal nutrient solution*. In: Proc. 6th International Congress on Soilless Culture. Secretariat of ISOSC (ed). Lunteren 29 April -5 May. Int. Soc. Soilless Culture. Wageningen, The Netherlands. pp: 633-649.

Tavakkoli, E., Fatehi, F., Coventry, S., Rengasamy, P., and McDonald, G. K. (2011). Additive effects of Na⁺ and Cl⁻ ions on barley growth under salinity stress. *Journal of Experimental Botany*, 62(6), 2189-2203.



inirap

21 y 22 de
septiembre de 2017

Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

Xue, G., Zhang, G., Sun, Y., Liao, S., and Chen, Y. (2012). Influences of spraying two different forms of silicon on plant growth and quality of tomato in solar greenhouse. *Chinese Agriculture Science Bulletin*, 28(16), 272-276.

Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

Cerio promueve el crecimiento inicial de plantas de arroz

Sara Monzerrat Ramírez-Olvera¹, Víctor Hugo Carbajal-Vázquez¹, María de la Luz Buendía-Valverde², Gabriela Abigail Guzmán-Báez³, Robert Vilchiz-Zimuta¹, Libia Iris Trejo-Tellez², Fernando Carlos Gómez-Merino^{1*}

Abstract

Cerium (Ce) is a rare earth metal. Though this element is not considered essential for plants, its application has shown to improve growth and some physiological responses. The objective of this research was to evaluate the effect of Ce in the early growth of rice (*Oryza sativa* L.) cv. Morelos A-98. Plants were treated with 0, 4, 8 and 12 μM CeCl_3 from seed germination to seedling development for 10 d. The results showed that the application of Ce in initial stages of rice promotes the relative growth of shoots and roots, as well as the relative weight of fresh and dry biomass of shoots and roots.

Keywords: *Oryza sativa*, beneficial elements, relative growth, biomass relative weight

Introducción

El arroz es uno de los cultivos más importantes para la población mundial; es el segundo cereal más producido en el mundo, solo después del maíz y actualmente se cultiva en más de 100 países. El arroz proporciona 20% de las calorías consumidas en el mundo y es el alimento básico en la dieta de diversos países de Asia, América Latina y África (Fageria, 2007; Borresen y Ryan, 2014; FAO, 2016). Sin embargo, ante el creciente aumento de la población, se estima que para el año 2025, más de 4.6 mil millones de personas dependerán del arroz para su alimentación diaria, demandando 60% más de arroz del que se produce actualmente, lo que implica que será necesario producir 800 millones de toneladas más de este cereal para satisfacer la demanda de la población en crecimiento (Kubo y Purevdorj, 2004; Fageria, 2007). Para lograr esta meta es necesario buscar alternativas para aumentar el rendimiento y mejorar las características de la planta, siendo el manejo de la nutrición del cultivo una de las estrategias que pudieran resultar más eficientes. Dado que las etapas iniciales de desarrollo son de suma importancia en la producción de los cultivos, un adecuado desarrollo de plántulas se verá reflejado en plantas vigorosas que podrán alcanzar el máximo rendimiento (Coraspe-León *et al.*, 2009; Doria, 2010).

Actualmente 17 elementos son considerados esenciales para las plantas superiores, al ser requeridos para completar su ciclo de vida, pero existen otros elementos que son útiles para algunas plantas, pero no son esenciales para todo el reino vegetal, los cuales son llamados elementos benéficos; se ha reportado que estos elementos mejoran el crecimiento y le permiten a la planta tolerar factores de estrés biótico y abiótico. Dentro del grupo de los elementos benéficos se encuentra el cerio (Ce) (Pilon-Smits *et al.*, 2009; Trejo-Téllez *et al.*, 2016).

Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

El Ce es un metal del grupo de las tierras raras, grupo que también está integrado por 17 elementos con características fisicoquímicas similares: lantano (La), cerio (Ce), praseodimio (Pr), neodimio (Nd), prometio (Pm), samario (Sm), europio (Eu), gadolinio (Gd), terbio (Tb), disprosio (Dy), holmio (Ho), erbio (Er), tulio (Tm), iterbio (Yb), lutecio (Sc) e Itrio (Y). Este grupo es caracterizado por su difícil separación y por compartir propiedades químicas muy similares (Alguacil y Rodríguez, 1997; Ramos *et al.*, 2016). De este grupo, el Ce es considerado el más abundante de las tierras raras, en la naturaleza representa el 0.0043% de la corteza terrestre (Hu *et al.*, 2004; d' Aquino *et al.*, 2009) y se encuentra en los suelos en concentraciones similares a las del Cu y el Zn (Shtangeeva y Ayrault, 2007; Liu *et al.*, 2012). Su aplicación a plantas ha mostrado tener efectos positivos, en la germinación (Shtangeeva y Ayrault, 2007; Espindola *et al.*, 2013; Ramos *et al.*, 2016), en el crecimiento de las plantas (Diatloff *et al.*, 2008; Wang *et al.*, 2010; Zhang *et al.*, 2013) y en el rendimiento (Ma *et al.*, 2014).

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de Ce en el crecimiento inicial de arroz Morelos A-98.

Metodología

Material vegetal

Se utilizaron semillas del cultivar arroz Morelos A-98 (*Oryza sativa* L. ssp. *indica*) obtenidas del Banco de Germoplasma del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Zacatepec, Morelos, México.

Desinfección de semillas

Las semillas se sumergieron en etanol al 70% por 10 min, después se enjugaron tres veces con agua destilada estéril y se colocaron en hipoclorito de sodio (NaClO) al 5% por 1 h, al cual se le adicionó una gota de Tween™ 20, inmediatamente después las semillas se lavaron 5 veces con agua destilada estéril y se secaron sobre papel filtro.

Tratamientos y condiciones experimentales

Una vez secas las semillas, se depositaron en contenedores de plástico con tapa (12 x 11 x 7 cm) desinfectados superficialmente con etanol al 70%, dentro de los cuales se colocó papel previamente desinfectado, y se adicionaron 15 mL de cada tratamiento, los cuales consistieron 4, 8 y 12 μM Ce a partir de $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y de un testigo que consistió en agua destilada estéril, además se adicionó 0.2% % (p/v) de metil 1-(butilcarbamoil) bencimidazol-2-il carbamato a todos los tratamientos, para evitar posible contaminación por hongos en la semillas. Después se colocaron 25 semillas por caja, dejando espacio suficiente entre ellas para permitir el crecimiento de las raíces, después se taparon las cajas y se colocaron en oscuridad a 28 °C por tres días. Posteriormente se colocaron a la luz directa. A los diez días después de la siembra se registró altura de plántula, longitud de raíz, peso

Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

de la biomasa fresca y seca de vástago y raíz y se estimó el crecimiento relativo de vástago y de raíz y el peso relativo de biomasa fresca y seca de vástago y de raíz.

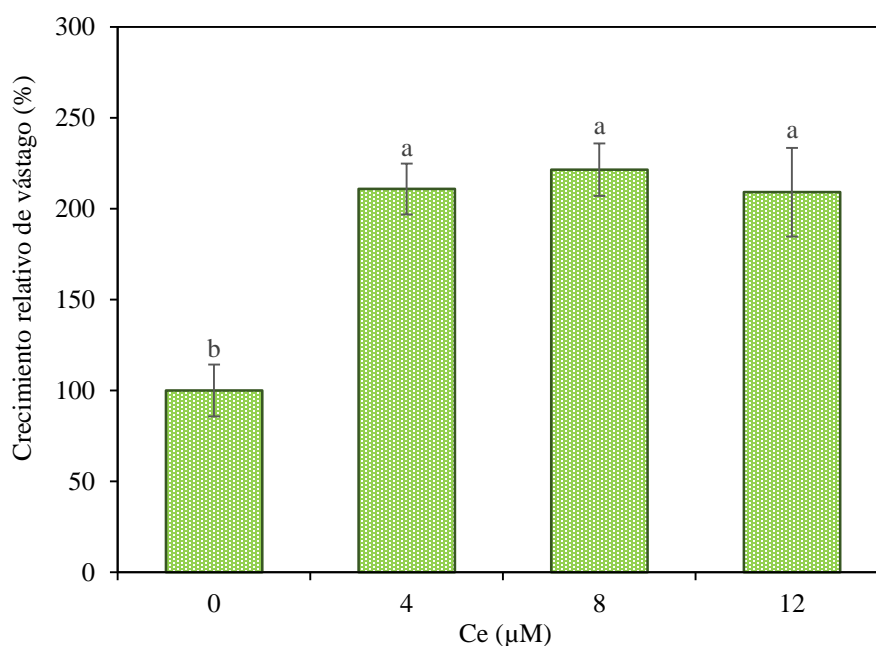
Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones, las cuales consistieron en tres contenedores. Se realizó análisis de varianza y prueba de comparación de medias con la prueba de Tukey. En las pruebas estadísticas aplicadas se utilizó un nivel de significancia de $\alpha=0.05$, y los análisis se hicieron con el paquete estadístico SAS 9.3 (SAS, 2011).

Resultados

El crecimiento relativo de vástago incrementó significativamente después de la aplicación de 4, 8 y 12 μM Ce. Tal incremento fue superior en más del 100% al del testigo. Entre concentraciones de Ce no se observaron diferencias estadísticas significativas en esta variable (Gráfico 1). Estos resultados son coincidentes con los reportados por He y Loh (2008), quienes indican que la aplicación de 0.5 μM $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ a plantas de *Arabidopsis thaliana*, aumentó la altura de planta en 60.8%.

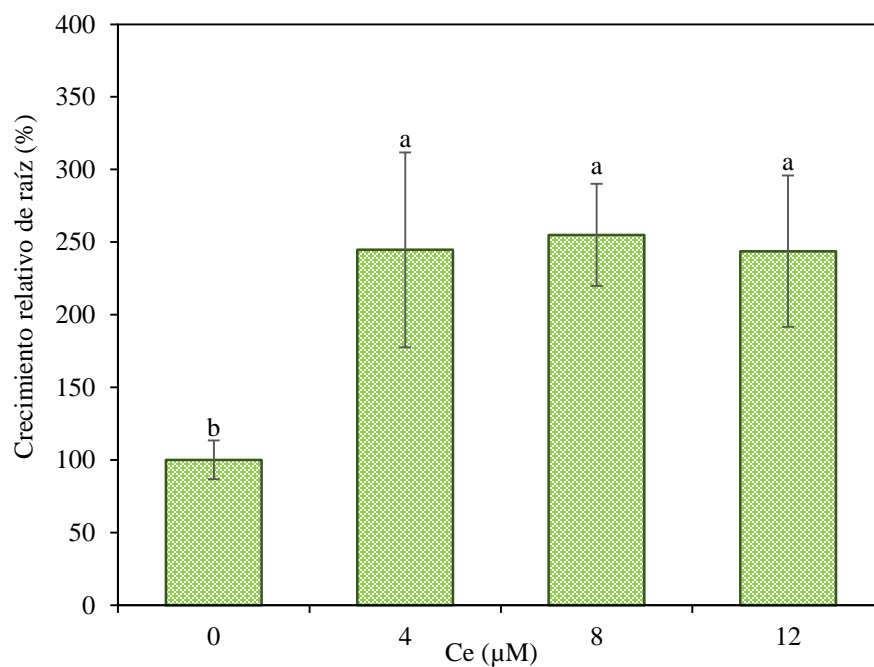
Gráfico 1. Crecimiento relativo de vástago de plantas de arroz tratadas con Ce a partir de $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Medias \pm DE con letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).



Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

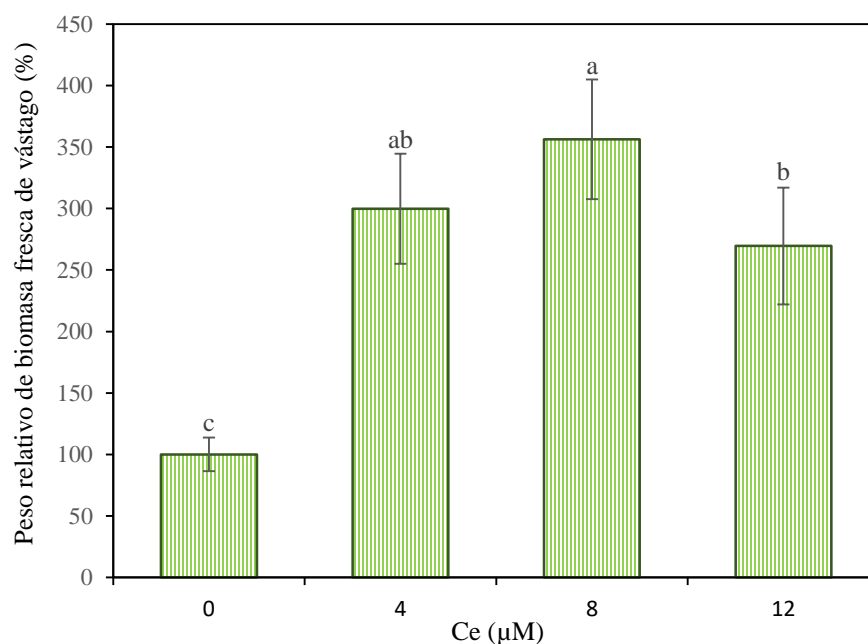
De igual manera el crecimiento relativo de raíz incrementó significativamente en los tratamientos con Ce (Gráfico 2). Estos resultados están en consonancia con lo reportado por Zhang *et al.* (2013), quienes indican que las tierras raras participan en la formación de raíces adventicias, diferenciación celular y morfogénesis de la raíz; así también He y Loh (2008), reportan que la aplicación de Ce incrementa la longitud de raíz; en *A. thaliana* la aplicación de 10 μM $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ incrementó 39.2% la longitud de raíz.

Gráfico 2. Crecimiento relativo de raíz de plantas de arroz tratadas con Ce a partir de $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Medias \pm DE con letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).



Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

Gráfico 3. Peso relativo de biomasa fresca de vástago de plantas de arroz tratadas con Ce a partir de $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Medias \pm DE con letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).

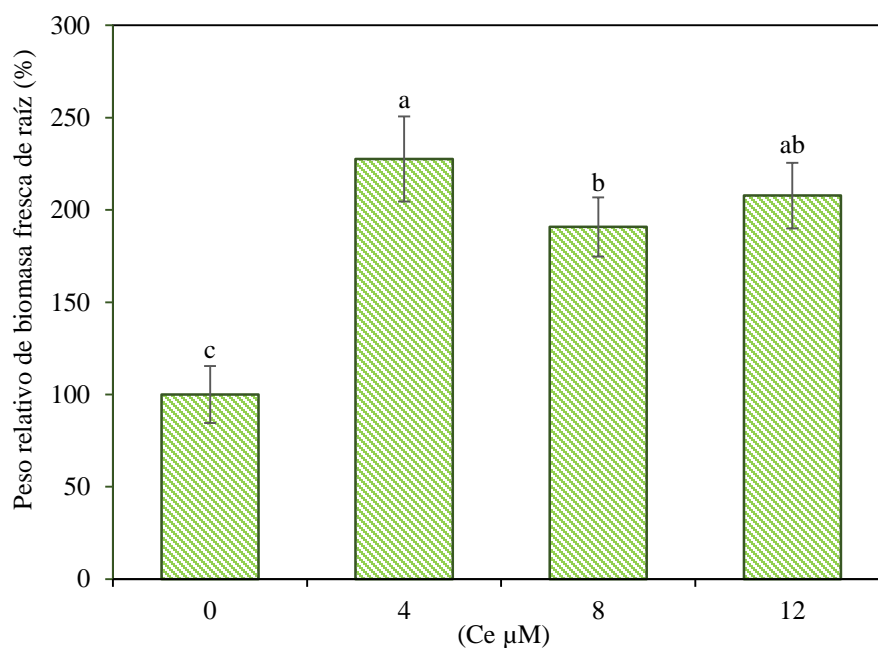


El peso relativo de biomasa fresca de vástago después de la aplicación de 4, 8 y 12 μM Ce, aumentó significativamente respecto al testigo, donde el mayor incremento en el peso de biomasa se obtuvo a las concentraciones 4 y 8 μM Ce (Gráfico 3). El aumento en el peso de biomasa, podría estar relacionado con un incremento en los procesos fotosintéticos ocasionado por el Ce, que se refleja en una mayor producción de biomasa (Shan *et al.*, 2003; Zhou *et al.*, 2011).

El peso relativo de biomasa fresca de raíz incrementó significativamente con la aplicación de 4, 8 y 12 μM Ce, respecto al testigo (Gráfico 4). En contraste se ha reportado que la aplicación de CePO_4 a dosis entre 2 y 25 mg L^{-1} (8.5 a 106.3 μM Ce), por 16 d en plantas de trigo, disminuye el peso de biomasa fresca de raíz en 21.1% (Hu *et al.*, 2002).

Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

Gráfico 4. Peso relativo de raíz de plantas de arroz tratadas con Ce a partir de $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Medias \pm DE con letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).



De la misma manera, el peso de biomasa seca de vástago incrementó significativamente con la adición de 4, 8 y 12 μM de Ce, en comparación con el testigo. Fashui (2002) reporta que la aplicación de 2.5, 5, 10, 15, y 20 $\mu\text{g mL}^{-1}$ de $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ a semillas de arroz, incrementa significativamente la biomasa seca de plántula en 19.23, 46.15, 57.69, 50 y 57.69%, respectivamente, en comparación con el testigo.

La aplicación de Ce a 4, 8 y 12 μM incrementó significativamente el peso relativo de biomasa seca de la raíz de plantas de arroz. También se ha reportado que concentraciones crecientes de $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ (50 a 300 mg L^{-1}) (153.3 a 919.9 μM Ce), aumentaron el peso de la biomasa seca tanto en vástago como en raíz de plantas de pak choi (*Brassica rapa*) (Hu *et al.*, 2015).

Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

Gráfico 5. Peso de biomasa seca de vástago de plantas de arroz tratadas con Ce a partir de $CeCl_3 \cdot 7H_2O$. Medias \pm DE con letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).

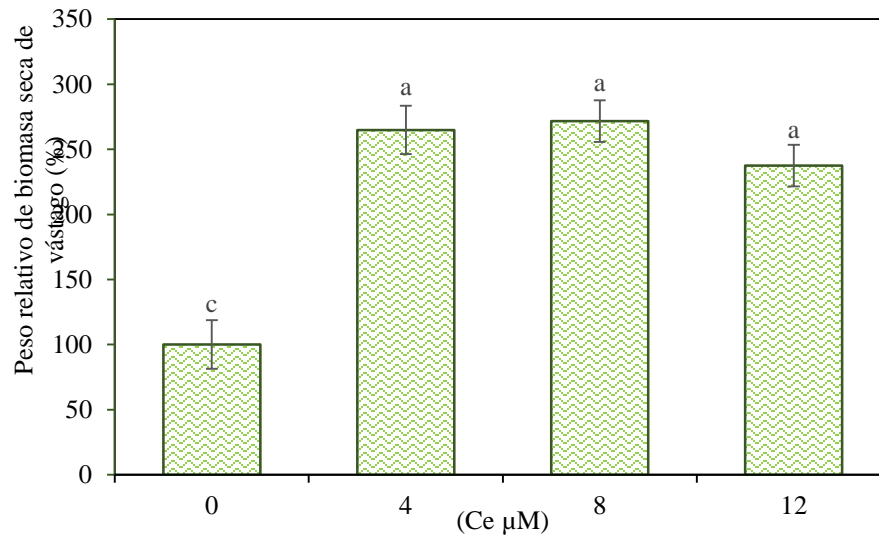
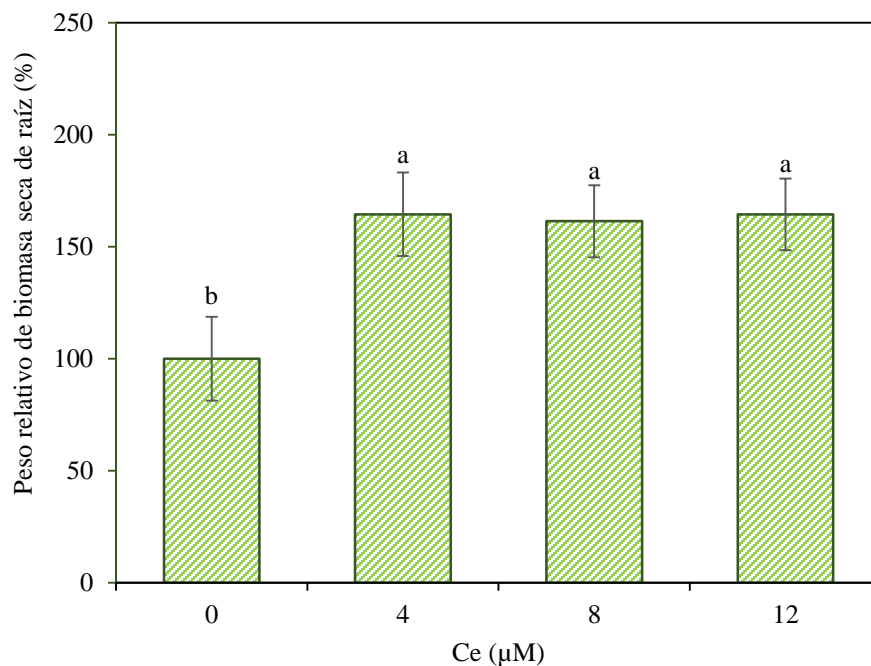


Gráfico 6. Peso relativo de biomasa seca raíz de plantas de arroz tratadas con Ce a partir de $CeCl_3 \cdot 7H_2O$. Medias \pm DE con letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).



Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

Conclusiones

La aplicación de Ce entre 4 y 12 μM , incrementa el crecimiento relativo de vástago y de raíz, así como el peso relativo de biomasa fresca y seca de vástago y de raíz de plantas de arroz. Estos resultados permiten afirmar que el Ce es un elemento benéfico en la fase de inicial de arroz cv. Morelos A98.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca de posgrado otorgada a Sara Monzerrat Ramírez Olvera; a la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento 1 en Eficiencia y Sustentabilidad en la Producción Primaria en Sistemas Agroalimentarios del Programa de Maestría en Ciencias en Innovación Agroalimentaria Sustentable del Campus Córdoba del Colegio de Postgraduados por los apoyos para la realización de esta investigación. Al Laboratorio de Nutrición Vegetal del Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados por las facilidades en el establecimiento del experimento.

Referencias

Alguacil, F. J. and Rodríguez, F. (1997). Procesos de separación de las tierras raras. *Revista de Metalurgia*, 33(3), 187-196.

Borresen, E. C. and Ryan, E. P. (2014). *Rice bran: A food ingredient with global public health opportunities*. In: *Wheat and Rice in Disease Prevention and Health*. Watson, R. R., Preedy, V. R., and Zibadi, S. (eds.). San Diego, Estados Unidos: Ed. Elsevier. pp. 301-310.

Coraspe-León, H. M., Muraoka, T., Ide, F. V., De Stefano, P. S. M., and Prado, G. N. (2009). Absorción de macronutrientes por plantas de papa (*Solanum tuberosum* L.) en la producción de tubérculo-semilla. *Interciencia*, 34, 57-63.

d' Aquino, L., de Pinto, M. C., Nardi, L., Morgana, M., and Tommasi, F. (2009). Effect of some light rare earth elements on seed germination, seedling growth and antioxidant metabolism in *Triticum durum*. *Chemosphere*, 75(7), 900-905. doi: 10.1016/j.chemosphere.2009.01.026

Diatloff, E., Smith, F. W., and Asher, C. J. (2008). Effects of lanthanum and cerium on the growth and mineral nutrition of corn and mungbean. *Annals of Botany*, 101(7), 971-982. doi: 10.1093/aob/mcn021

Doria, J. (2010). Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales*, 31, 74-85.

Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

Espindola, M. C. G., de Menezes, N. L., and Barbieri, A. P. P. (2013). Efeito do cério na qualidade fisiológica de sementes de milho e no desempenho agrônômico das plantas. *Bioscience Journal*, 29(5), 501-1507.

Fageria, N. K. (2007). Yield physiology of rice. *Journal of Plant Nutrition*, 30(6), 843-879.

FAO. (2016). *Record cereal production to lift global inventories to an all-time high*. FAO Cereal Supply and Demand Brief. Recuperado el 8 de diciembre de 2016, de <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/en/>

Fashui, H. (2002). Study on the mechanism of cerium nitrate effects on germination of aged rice seed. *Biological Trace Element Research*, 87, 191-200.

He, Y. and Loh, C. (2000). Cerium and lanthanum promote floral initiation and reproductive growth of *Arabidopsis thaliana*. *Plant Science*, 159(1), 117-124.

Hu, X., Ding, Z., Chen, Y., Wang, X., and Dai, L. (2002). Bioaccumulation of lanthanum and cerium and their effects on the growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. *Chemosphere*, 48(6), 621-629.

Hu, Z., Richter, H., Sparovek, G., and Schnug, E. (2004). Physiological and biochemical effects of rare earth elements on plants and their agricultural significance: a review. *Journal Plant Nutrition*, 27(1), 183-220. doi: 10.1081/PLN-120027555

Hu, Y. F., Yuan, C. M., Jiang, S. L., Ma, K. Y., Peng, J. J., Pu, Q., and Yuan, S. (2015). Direct applications of cerium and yttrium on vegetable pak choi. *Fresenius Environmental Bulletin*, 24, 4173-4178.

Liu, D., Wang, X., Lin, Y., Chen, Z., Xu, H., and Wang, L. (2012). The effects of cerium on the growth and some antioxidant metabolisms in rice seedlings. *Environmental Science and Pollution Research*, 19(8), 3282-3291. doi: 10.1007/s11356-012-0844-x

Kubo, M. and Purevdorj, M. (2004). The future of rice production and consumption. *Journal of Food Distribution Research*, 35(1), 128-142.

Ma, J. J., Ren, Y. J., and Yan, L. Y. (2014). Effects of spray application of lanthanum and cerium on yield and quality of Chinese cabbage (*Brassica chinensis* L.) based on different seasons. *Biological Trace Element Research*, 160(3), 427-432. doi: 10.1007/s12011-014-0062-0

Pilon-Smits, E. A., Quinn, C. F., Tapken, W., Malagoli, M., and Schiavon, M. (2009). Physiological functions of beneficial elements. *Current Opinion in Plant Biology*, 12(3), 267-274.

Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

Ramos, S. J., Dinali, G. S., Oliveira, C., Martins, G. C., Moreira, C. G., Siqueira, J. O., and Guilherme, L. R. G. (2016). Rare earth elements in the soil environment. *Current Pollution Reports*, 2(1), 28-50. doi: 10.1007/s40726-016-0026-4

SAS. (2011). Institute. *Statistical Analysis System version 9.3. User's Guide*. Cary, NC.

Shan, X., Wang, H., Zhang, S., Zhou, H., Zheng, Y., Yu, H., and Wen, B. (2003). Accumulation and uptake of light rare earth elements in a hyperaccumulator *Dicropiteris dichotoma*. *Plant Science*, 165(6), 1343-1353. doi:10.1016/S0168-9452(03)00361-3

Shtangeeva, I. and Ayrault, S. (2007). Effects of Eu and Ca on yield and mineral nutrition of wheat (*Triticum aestivum*) seedlings. *Environmental and Experimental Botany* 59(1), 49-58. doi: 10.1016/j.envexpbot.2005.10.011

Trejo-Téllez, L. I., Gómez-Merino, F. C., and Alcántar-González, G. (2016). *Elementos benéficos: potencialidades y limitaciones*. In: Nutrición de Cultivos. Segunda Edición. Alcántar-González, G., Trejo-Téllez, L. I., and Gómez-Merino, F. C. (eds.). Montecillo: Ed. Colegio de Postgraduados. pp. 59-101.

Wang, J. N., Sha, S., Li, Y. Z., Xu, Z. L., and Wu, G. R. (2010). Effect of $Ce(NO_3)_3$ on callus growth and adventitious root of stem from *Dioscorea zingiberensis*. *Journal of Nanjing Normal University*, 33, 94-97.

Zhang, C., Li, Q., Zhang, M., Zhang, N., and Li, M. (2013). Effects of rare earth elements on growth and metabolism of medicinal plants. *Acta Pharmaceutica Sinica B*, 3(1), 20-24. doi: 10.1016/j.apsb.2012.12.005

Zhou, M., Gong, X., Wang, Y., Liu, C., Hong, M., Wang, L., and Hong, F. (2011). Improvement of cerium of photosynthesis functions of maize under magnesium deficiency. *Biological Trace Element Research*, 142(3), 760-772. doi: 10.1007/s12011-010-8769-z

Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

Talio en la concentración foliar de macronutrientes de tres variedades de chile

María de la Luz Buendía-Valverde¹, Víctor Hugo Carbajal-Vázquez², Sara Monzerrat Ramírez-Olvera², Gabriela Abigail Guzmán-Báez³, Nadia Issaí Torres-Flores¹, Tarcisio Corona-Torres¹, Víctor Heber Aguilar-Rincón¹, Fernando Carlos Gómez-Merino², Libia Iris Trejo-Téllez^{1*}

Abstract

The effect of thallium (Tl) treatment supplied in the nutrient solution during the productive cycle at three concentrations (0, 5.5 and 11 nM), on the N, P and K leaf concentration of three varieties of pepper (Jalapeño, Poblano and Serrano) was evaluated. It is concluded that Tl had no influence on the concentration of N in the varieties Jalapeño and Serrano; on the contrary, in doses of 11 nM Tl, the foliar concentration of N in the Poblano variety increases significantly with respect to the control. Tl treatments had no effects on P concentrations in any of the varieties evaluated. The K leaf concentration in the Jalapeño variety was lower than the control in the treatment with 5.5 nM Tl.

Key words: *Capsicum annuum* L., heavy metals, phytotoxicity, foliar concentration

Introducción

El talio (Tl) es un elemento no esencial cuya densidad es 11.85 g cm^{-3} y presenta dos estados de oxidación: Tl^+ y Tl^{3+} . Fue usado como principal componente de veneno para ratas, insecticidas y plaguicidas; sin embargo, hoy en día su uso está prohibido o limitado a muy pequeñas cantidades (Léonard y Gerber, 1997; Repetto y Del Peso, 1998). A causa de que el Tl no tiene ninguna función biológica es considerado un elemento tóxico acumulativo capaz de afectar negativamente el metabolismo en diversos organismos (Rodríguez-Mercado y Altamirano-Lozano, 2013).

La principal vía de exposición al Tl para animales y seres humanos es la ingestión de plantas cultivadas en suelos contaminados por este metal, ya que cuando el Tl está presente en los suelos puede ser fácilmente absorbido por las plantas (Madejón *et al.*, 2007). Sin embargo, la absorción de este elemento depende directamente de la especie que se exponga, y algunas hortalizas como brócoli, nabo y col, pueden acumular concentraciones de Tl hasta por 20 mg kg^{-1} de peso seco (Pavličková *et al.*, 2005), lo que implica que este tipo de plantas presenta un riesgo potencial en la cadena trófica (Madejón *et al.*, 2007). La entrada de Tl a la planta ocurre principalmente por medio de en la raíz mediante difusión, donde puede quedar en la rizósfera o moverse a través del xilema a otros órganos de la planta (Ferronato *et al.*, 2016).

Por otra parte, el chile es un fruto originario de Mesoamérica, forma parte de la cocina mexicana e internacional principalmente por su sabor y por ser fuente de vitaminas. Existen cinco especies domesticadas: *Capsicum annuum*, *C. frutescens*, *C. baccatum*, *C. pubescens*, y *C. chinense*., siendo

Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

C. annuum, la más ampliamente conocida y la de mayor importancia económica (Aguilar-Meléndez *et al.*, 2009).

En México, el cultivo de chile es importante debido a su diversidad morfológica y genética, la producción anual de chile en el 2015 fue de 2.2 millones de toneladas de fruto fresco, de las cuales se exportan cerca de 900 mil toneladas de chiles frescos, secos y en preparaciones a Canadá, Japón, Estados Unidos, Alemania y Gran Bretaña. El cultivo de esta especie tiene lugar principalmente en Chihuahua, Sinaloa y Zacatecas con una producción de 562, 556 y 348 mil toneladas por año respectivamente (SAGARPA, 2015).

En el contexto anterior, esta investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de los tratamientos con tallo (TI) bajo condiciones de invernadero, en la concentración foliar de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) de tres materiales genéticos híbridos de chile de importancia nacional: Jalapeño, Poblano y Serrano.

Metodología

Se utilizaron semillas híbridas de chile (*Capsicum annuum* L.) de las siguientes tres variedades: Jalapeño “Emperador” NUN 70030.

Poblano “Capulín”, proporcionado por el Dr. Higinio López Sánchez del Colegio de Postgraduados Campus Puebla, México.

Serrano “Coloso” proporcionado por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Las Huastecas-CIRNE del Lote 2015-1.

Ubicación del experimento

Este estudio se realizó en el ciclo de cultivo 2016-2017, en un invernadero de estructura metálica y cubierta de polietileno, dentro del Colegio de Posgraduados Campus Montecillo, ubicado en el municipio de Texcoco, Estado de México, a una altitud de 2250 m, 19° 29' LN y 98° 54' LO.

Desinfección de semillas

Antes de llevar a cabo la siembra y con el objetivo de eliminar la presencia de patógenos, se remojaron las semillas en solución de hipoclorito de sodio al 2% (0.33 mL L⁻¹) durante 15 min, posteriormente se hicieron seis enjuagues con agua destilada estéril.

Producción de plántulas

Se obtuvieron a partir de semillas de las tres variedades de chile sembradas en charolas de unicel con turba como sustrato, en donde se aplicaron riegos ligeros de agua cada tercer día hasta obtener plántulas sanas de entre 15 y 20 cm de longitud.

Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

Trasplante y riego

Se realizó en bolsas de plástico negro, usando tezontle rojo como sustrato con tamaño medio de partícula de 0.5 mm, el cual fue previamente desinfectado con solución de hipoclorito de sodio al 6%. Se estableció un sistema de riego por goteo con la solución nutritiva Steiner con un pH de 5.5 (Steiner, 1984).

Diseño de tratamientos y experimental

Se evaluó de manera independiente cada variedad de chile tratada con tres concentraciones de TI (0, 5.5 y 11 nM) suministradas a partir de acetato de talio (CH_3COOTl , Sigma Aldrich) y adicionada a la solución nutritiva de Steiner empleada para el riego durante el ciclo de producción. Las unidades experimentales fueron las bolsas con capacidad de 7 L conteniendo una planta, mismas que fueron distribuidas en un diseño completamente al azar. Cada tratamiento por variedad tuvo seis repeticiones.

Concentración foliar de N, P y K

Después de 80 días de tratamientos, se realizó el análisis de concentración de N, P y K en la totalidad de hojas por planta, mismas que fueron secadas durante 48 h a 72 °C en una estufa de aire forzado (Riossa modelo HCF-125D; Monterrey, N. L., México). Después del secado, las muestras se molieron en un molino tipo Wiley.

La concentración de nitrógeno (N) se determinó empleando el método Semi-micro Kjeldhal (Bremner, 1965). El extracto resultante de la digestión mezcla de ácido sulfúrico-salicílico se destiló y se tituló con H_2SO_4 0.05 N.

Las concentraciones de fósforo (P) y potasio (K) se determinaron en el extracto producto de la digestión con ácido perclórico y ácido nítrico de material vegetal seco y molido, siguiendo la metodología descrita por Alcántar y Sandoval (1999), usando equipo de espectroscopía de emisión atómica de inducción por plasma acoplado (ICP-Varian 725-ES).

Análisis estadístico

Con los resultados obtenidos se realizaron análisis de varianza y pruebas de comparación de medias (LSD, $P \leq 0.05$), independientes para cada variedad, usando el software SAS (SAS, 2011).

Resultados

Concentración foliar de N

La concentración foliar de N en chile Serrano “Tampiqueño”, después de 80 d del trasplante, reportadas por Cruz-Crespo *et al.* (2014) oscilaron entre 37.8 y 45.7 g kg^{-1} de materia seca. En este intervalo se encuentran las concentraciones para chile Serrano registradas en este estudio, independiente de la concentración de TI. Por otro lado, el intervalo de suficiencia para N en hojas reportado por Mills y Jones (1996), oscila de 35 a 50 g kg^{-1} de materia seca. Dentro de este intervalo se ubican las concentraciones foliares de N en las tres variedades evaluadas tratadas con las

Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

diferentes concentraciones de TI. En la Tabla 1 se observa que los tratamientos con TI no afectaron las concentraciones foliares de N en las tres variedades de chile estudiadas; por el contrario, en el chile Poblano, se incrementó significativamente con la dosis de 11 nM, respecto al testigo.

Tabla 1. Concentración foliar de N (g kg^{-1} de materia seca), en plantas de tres variedades de chile tratadas durante el ciclo de producción con TI en la solución nutritiva bajo condiciones de invernadero

TI (nM)	Variedades		
	Jalapeño	Poblano	Serrano
0.0	39.49 \pm 1.09 a	38.97 \pm 1.26 b	41.94 \pm 1.16 a
5.5	39.20 \pm 1.17 a	40.13 \pm 0.59 ab	41.59 \pm 0.73 a
11.0	39.96 \pm 1.33 a	43.11 \pm 2.10 a	40.72 \pm 1.01 a
DMS	2.95	3.57	2.41

Medias \pm DE en cada columna con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (LSD, $P \leq 0.05$).

Concentración foliar de P

El rango de suficiencia para P en hojas de chile de plantas en fructificación va de 2.2 a 7 g kg^{-1} de materia seca (Mills y Jones, 1996), intervalo en que se encuentran los resultados obtenidos en este estudio las variedades Jalapeño y Poblano, en todos los tratamientos evaluados; por el contrario, la variedad Serrano tuvo valores de concentración de P menores a los reportados por Mills y Jones (1996), pero éstos no fueron influenciados por la concentración de TI en la solución nutritiva.

Tabla 2. Concentración foliar de P (g kg^{-1} de materia seca), en plantas de tres variedades de chile tratada durante el ciclo de producción con TI en la solución nutritiva bajo condiciones de invernadero

TI (nM)	Variedades		
	Jalapeño	Poblano	Serrano
0.0	2.63 \pm 0.23 a	2.54 \pm 0.16 a	1.62 \pm 0.14 a
5.5	2.72 \pm 0.22 a	2.39 \pm 0.17 a	1.92 \pm 0.18 a
11.0	2.65 \pm 0.13 a	2.52 \pm 0.10 a	1.69 \pm 0.13 a
DMS	0.48	0.35	0.37

Medias \pm DE en cada columna con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (LSD, $P \leq 0.05$).

Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

Concentración foliar de K

El rango de concentración de suficiencia para K en hojas de plantas de chile en etapa reproductiva oscila de 35 a 45 g kg⁻¹ de materia seca (Mill y Jones, 1996). Las concentraciones de K en hojas de plantas de la variedad Jalapeño aquí obtenidas son superiores a este intervalo, en los tratamientos testigo y 11 nM TI. Los resultados en Poblano y Serrano, de manera general, se encuentran dentro del rango de suficiencia. Las concentraciones de K en hoja no presentan diferencias significativas en las variedades Poblano y Serrano con los tratamientos con TI. En la variedad Jalapeño se incrementa la concentración de K con la concentración de 11 nM TI, en comparación con el testigo (Tabla 3).

Tabla 3. Concentración foliar de K (g kg⁻¹ de materia seca), en plantas de tres variedades de chile tratada durante el ciclo de producción con TI en la solución nutritiva bajo condiciones de invernadero

TI (nM)	Variedades		
	Jalapeño	Poblano	Serrano
0.0	52.84 ± 2.29 a	39.42 ± 2.18 a	45.02 ± 1.63 a
5.5	43.69 ± 2.22 b	35.21 ± 4.78 a	38.80 ± 3.94 a
11.0	49.13 ± 1.23 a	37.91 ± 1.46 a	43.98 ± 1.45 a
DMS	4.85	7.75	6.40

Medias ± DE en cada columna con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (LSD, $P \leq 0.05$).

Conclusiones

La aplicación de 11 nM TI aumentó la concentración de N en hoja en la variedad Poblano. La concentración foliar de P en las tres variedades de chile estudiadas no fue afectada por los tratamientos con TI. Respecto al K, la baja dosis de TI (5.5 nM) redujo de manera significativa la concentración foliar de este elemento en la variedad Jalapeño, respecto al testigo.

Agradecimientos

A los Programas de Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Genética y en Edafología-Nutrición Vegetal del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo por los apoyos para la realización de esta investigación.

Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

Referencias

- Aguilar-Meléndez, A., Morrell, P. L., Roose, M. L., and Kim, S. C. (2009). Genetic diversity and structure in semi wild and domesticated chiles (*Capsicum annuum*; Solanaceae) from Mexico. *American Journal of Botany*, 96(6): 1190-1202. doi:10.3732/ajb.0800155
- Alcántar, G. G. y Sandoval, V. M. (1999). *Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal*. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C. Publicación especial No. 10. Chapingo, México.
- Bremner, J. M. (1965). *Total nitrogen*. Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy 9. American Society of agronomy. Madison, Wisconsin.
- Cruz-Crespo, E., Can-Chulim, A., Bugarín-Montoya, R., Pineda-Pineda, J., Flores-Canales, R., Juárez-López, P. y Alejo-Santiago, G. (2014). Concentración nutrimental foliar y crecimiento de chile serrano en función de la solución nutritiva y el sustrato. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(3), 289-295.
- Ferronato, C., Carbone, S., Vianello, G., and Vittori AL. (2016). Thallium toxicity in mediterranean horticultural crops (*Fragaria vesca* L., *Mentha pulegium* L., *Ocimum basilicum* L.). *Water, Air and Soil Pollution*, 227(10), 1-10.
- Léonard, A. and Gerber, G. B. (1997). Mutagenicity, carcinogenicity and teratogenicity of thallium compounds. *Mutation Research*, 387(1), 47-53.
- Madejón, P., Murillo, J. M., Marañón, T., and Lepp, N. W. (2007). Factors affecting accumulation of thallium and other trace elements in two wild Brassicaceae spontaneously growing on soils contaminated by tailings dam waste. *Chemosphere*, 67, 20-28.
- Mills, H. A. and Jones, J. B. Jr. (1996). *Plant Analysis Handbook II*. MicroMacro Publishing, Inc. Athens, Georgia, USA.
- Pavličková, J., Zbiral, J., Smatanová, M., Houserová, P., Cizmárová, E., Havlíková, S., and Kubán, V. (2005). Uptake of thallium from artificially and naturally contaminated soils into rape (*Brassica napus* L.). *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 53, 2867-2871.
- Repetto, G. and Del Peso, A. (1998). *Human thallium toxicity*. In: Nriagu JO (ed.) Thallium in the environment. Vol. 29. EUA: John Wiley and Sons, Inc. EUA. pp. 167-199.
- Rodríguez-Mercado, J. J. and Altamirano-Lozano, M. A. (2013). Genetic toxicology of thallium: a review. *Drug and Chemical Toxicology*, 36, 369-383.



iniap

21 y 22 de
septiembre de 2017

Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

SAGARPA, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2015) *Producción de chile mexicano*. Recuperado el 25 de febrero de 2016, de <http://www.gob.mx/sagarpa/articulos/produccion-del-chile-mexicano>

SAS Institute Inc. (2011). *SAS/STAT Users Guide*. Version 9.3. SAS Institute Inc., Cary, N. C., USA.

Steiner, A. (1984). *The universal nutrient solution*. In: Proc. 6th International Congress on Soilless Culture. Secretariat of ISOSC (ed). Lunteren 29 April-5 May. Int. Soc. Soilless Culture. Wageningen, The Netherlands. pp: 633-649.

Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

La aplicación foliar de titanio (Ti) afecta variables de crecimiento en plantas de tomate crecidas bajo estrés salino

Víctor H. Carbajal-Vázquez², María de la Luz Buendía-Valverde², Sara M. Ramírez-Olvera¹, Gabriela A. Guzmán-Báez³, Héctor Emmanuel Sentíes-Herrera¹, Libia I. Trejo-Téllez², Fernando C. Gómez-Merino^{1*}

Abstract

In this study, we evaluated the main effects of NaCl in the nutrient solution and foliar application of Ti on the growth variables of hydroponically grown tomato plants, as well as their interactions. The variables plant height (AP) and stem diameter (DT) were measured. The application of NaCl reduced growth parameters in tomato plants, while the Ti did not cause effects on the measured variables. Furthermore, the application of Ti did not mitigate the negative impacts of salinity on plants.

Key words: *Solanum lycopersicum*, salinity, hydroponics, beneficial element

Introducción

La salinidad del suelo y aguas es un fenómeno natural que se ha agravado debido al cambio climático. De acuerdo con Munns y Tester (2008) cerca del 6% de la superficie total del planeta tierra tiene problemas de salinidad, lo cual comprende a más de 800 millones de hectáreas. En México la CONAGUA (2016) reportó que para el 2014 de los 653 acuíferos sobrexplotados en el país, 15 se encontraron con intrusión marina y 31 bajo el fenómeno de salinización de suelos y aguas subterráneas salobres, situación que ha propiciado la utilización de aguas de mala calidad en los cultivos.

Por otro lado, el titanio es un metal de transición que en la naturaleza se puede encontrar en las arenas no silicatadas, forma parte de la corteza terrestre en un 0.33% y se estima que es el noveno elemento más abundante en la Tierra. Diversos estudios han posicionado al Ti como un elemento benéfico ya que estimula el crecimiento y rendimiento, además de que potencia la acumulación de nutrimentos en las plantas (Gómez-Merino *et al.*, 2015). Kleiber y Markiewicz (2013) reportaron que el Ti bioestimuló el rendimiento comercial y el crecimiento en tomate; de igual manera, Nasir

²Colegio de Postgraduados Campus Córdoba. Carretera Federal Córdoba-Veracruz km 348, Congregación Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz. C. P. 94946. Correos-e: carbajal.victor@colpos.mx; ramirez.sara@colpos.mx; fernandg@colpos.mx

²Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Estado de México. C. P. 56230. Correos-e: luzmaria_buendia@hotmail.com; senties.hector@colpos.mx; tlibia@colpos.mx

³Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Cuajimalpa. Avenida Vasco de Quiroga 4871, Col. Santa Fe Cuajimalpa. Delegación Cuajimalpa de Morelos. Ciudad de México. C. P. 05348. Correo-e: gaguzman.95@outlook.com

*fernandg@colpos.mx

Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

(2016) encontró que el Ti promueve la resistencia a sales y activa enzimas y osmolitos como la prolina.

El tomate es una hortaliza con gran importancia económica, por lo que es demandado y cultivado por casi todo el mundo. En México el 70% del tomate que se genera procede del norte del país, donde Sinaloa es el mayor productor con un volumen de producción de 849, 342 ton, el 95% se exporta a Estados Unidos de América y su participación nacional en la producción de hortalizas es del 21.7% (SIAP, 2016).

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la aplicación foliar de titanio en variables de crecimiento en plantas de tomate cultivadas hidropónicamente, bajo un gradiente de salinidad.

Metodología

Material vegetal y solución nutritiva

Se utilizaron semillas de tomate híbrido F-1 Rio Supremo de porte determinado, con un porcentaje de germinación de 85%. Para obtener las plántulas, primeramente se desinfectó una charola de 200 cavidades con hipoclorito de sodio al 5%; la dosis utilizada fue 1 mL L⁻¹. En seguida cada cavidad de la charola se rellenó con turba para después hacer la siembra de la semilla. El experimento se realizó en condiciones hidropónicas empleando la solución nutritiva de Steiner (Steiner, 1984).

Sustrato y trasplante

Para el experimento hidropónico se utilizó tezontle como sustrato, con tamaño medio de partícula de 5 a 6 mm. Para la obtención de este tamaño el tezontle se cribó con una malla de 7 mm y posteriormente con una malla de 4 mm. Una vez obtenido el tamaño adecuado se llenaron las bolsas de 30 x 30 cm, calibre 400, especial para vivero. Previo al trasplante en cada bolsa se aplicó una lámina pesada de riego con el fin de mantener la humedad en el sustrato. El trasplante se realizó a los 32 días después de la siembra, cuando las plántulas contaban con cinco hojas verdaderas. Se trasplantó una plántula por bolsa.

Tratamientos y diseño experimental

Una vez realizado el trasplante, durante 14 días se regaron las unidades experimentales con solución nutritiva de Steiner con una concentración del 50%, en esta etapa los riegos se dividieron en tres aplicaciones de 100 mL por día. Del día 15 al 29 después del trasplante (intervalo de 14 días) se aplicó la solución nutritiva de Steiner al 75% con cuatro dosificaciones de 100 mL por día; la solución nutritiva al 100% se utilizó a los 29 días después del trasplante hasta el levantamiento del experimento, el cual se realizó a los 108 días después del trasplante (DDT). En esta etapa se aumentaron a 5 y a 8 riegos de 100 mL por día según, lo fue requiriendo el cultivo. El pH de la solución nutritiva aplicada a distintos porcentajes de su fuerza iónica (50, 75 y 100%) siempre fue ajustado a 5.5.

Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

Las aspersiones foliares se comenzaron a los 31 días después del trasplante, éstas se hicieron en ocho ocasiones a intervalos de diez días entre ellas. Las aplicaciones se realizaron a las seis de la mañana asperjando las plantas hasta punto de goteo, suministrando un volumen promedio por planta de 50 mL. Para ayudar a que la solución asperjada se adhiriera a la lámina foliar se le agregó surfactante Tween™ 20 con una concentración de 0.5 g L⁻¹.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con un arreglo factorial. El primer factor fue la concentración de cloruro de sodio (NaCl), evaluado a los niveles 0, 50 y 100 mM. El segundo factor fue la aplicación foliar de titanio en tres concentraciones (0, 75 y 100 mg L⁻¹ a partir de dióxido de titanio) resultando nueve tratamientos por experimento. Cada tratamiento tuvo nueve repeticiones. La unidad experimental consistió en una planta sembrada en una bolsa a una distancia de 0.3 m de separación entre plantas y 0.8 m entre hileras.

Variables evaluadas

Altura de planta: se midió desde el sustrato hasta el ápice de crecimiento usando un flexómetro (Stanley Tylon).

Diámetro de tallo: se midió con un vernier digital (Truper), el punto de referencia fue a los 10 cm de altura, partiendo del nivel del sustrato.

Análisis estadístico

Se realizaron con los resultados obtenidos, análisis de varianza de acuerdo a un diseño de tratamientos con arreglo factorial y pruebas de comparación de medias por Tukey ($P \leq 0.05$). En estos análisis se usó el software SAS (SAS, 2011).

Resultados

Variables de crecimiento

Efectos del NaCl

La adición de NaCl a la solución nutritiva presentó efectos diferenciales en las variables de crecimiento de plantas de tomate. El tratamiento con 100 mM NaCl redujo la altura de planta en 58.7, 15.2 y 19.3% a los 25, 50 y 75 días de aplicación de tratamientos, respectivamente, en comparación con el testigo. Por otra parte, el diámetro de tallo solo fue diferente en los muestreos realizados a los 25 y 75 días de aplicación de tratamientos; en ambos casos, el diámetro de tallo fue menor con el tratamiento con 100 mM NaCl, con reducciones del 19.1 y 12.6%, respectivamente, en comparación con el testigo (**Tabla 1**).

Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

Tabla 1. Efecto principal del factor de estudio NaCl, en variables de crecimiento de plantas de tomate con 25, 50 y 75 días después de la aplicación de los tratamientos

NaCl (mM)	Altura de planta (cm)			Diámetro de tallo (mm)		
	Días después de la aplicación de los tratamientos					
	25	50	75	25	50	75
0	64.72 ± 2.25 a	72.63 ± 2.62 a	85.78 ± 3.71 a	9.74 ± 0.44 a	10.34 ± 0.47 a	11.06 ± 0.43 a
50	63.17 ± 2.72 a	68.96 ± 2.02 a	79.41 ± 2.66 a	9.15 ± 0.46 a	10.10 ± 0.45 a	11.61 ± 0.29 a
100	27.32 ± 1.95 b	61.61 ± 1.58 b	69.21 ± 1.63 b	7.88 ± 0.24 b	8.45 ± 0.24 a	9.67 ± 0.31 b
DMS	5.27	4.28	6.96	0.97	1.05	0.92
CV	7.1	5.25	7.4	9.09	9.09	7.11

Medias ± DE en cada columna con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $P \leq 0.05$). DMS = Diferencia mínima significativa, CV = Coeficiente de variación.

Efectos del Ti

El efecto principal de la aspersión foliar de Ti no fue significativo en las variables de crecimiento de plantas de tomate como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2. Efecto principal del factor de estudio Ti, en variables de crecimiento de plantas de tomate con 25, 50 y 75 días después de la aplicación de los tratamientos

Ti (mg L ⁻¹)	Altura de planta (cm)			Diámetro de tallo (mm)		
	Días después de la aplicación de los tratamientos					
	25	50	75	25	50	75
0	62.46 ± 3.22 a	67.73 ± 3.94 a	79.96 ± 4.75 a	8.99 ± 0.58 a	9.60 ± 0.73 a	10.84 ± 0.53 a
75	61.50 ± 2.88 a	68.02 ± 2.62 a	76.90 ± 4.17 a	9.20 ± 0.63 a	9.85 ± 0.59 a	10.72 ± 0.68 a
150	61.25 ± 2.44 a	67.45 ± 2.95 a	77.54 ± 4.64 a	8.58 ± 0.42 a	9.45 ± 0.43 a	10.78 ± 0.42 a
DMS	5.27	4.28	6.96	0.97	1.05	0.92
CV	7.1	5.25	7.4	9.09	9.09	7.11

Medias ± DE en cada columna con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $P \leq 0.05$). DMS = Diferencia mínima significativa, CV = Coeficiente de variación.

Efectos de interacción del NaCl x Ti

En lo que respecta a la altura de planta obtenida por la interacción de los factores de estudio se observa que entre niveles de NaCl no existe diferencia atribuible a los niveles de Ti. En particular, a los 25 días de aplicación de tratamientos solo fueron estadísticamente distintas las alturas de plantas del testigo (0 mM NaCl y 0 mg Ti L⁻¹) y las del tratamiento con las dosis altas de NaCl y de Ti (100 mM NaCl y 150 mg Ti L⁻¹). De manera consistente, después de 50 y 75 días de aplicación de tratamientos, las plantas con menor crecimiento fueron aquellas tratadas con 150 mM NaCl, independientemente del tratamiento con Ti. El diámetro de tallo, solo fue afectado de manera

Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

significativa por los tratamientos en la evaluación realizada a 75 días de aplicación de tratamientos, donde el tratamiento con 50 mM NaCl sin aplicación foliar de Ti y con su suministro a dosis de 75 mg L⁻¹, tuvieron diámetros de tallo estadísticamente superiores al diámetro de tallo de las plantas tratadas con 100 mM NaCl y 75 mg L⁻¹ (Tabla 3).

Tabla 3. Efectos interactivos de los factores de estudio NaCl y Ti en variables de crecimiento de plantas de tomate con 25, 50 y 75 días después de la aplicación de los tratamientos

NaCl (mM) - Ti (mg L ⁻¹)	Altura de planta (cm)			Diámetro de tallo (mm)		
	Días después de la aplicación de los tratamientos					
	25	50	75	25	50	75
0-0	68.16 ± 2.53 a	76.76 ± 2.80 a	90.10 ± 2.99 a	9.91 ± 0.55 a	10.50 ± 0.71 a	11.10 ± 0.45 ab
0-75	60.83 ± 1.51 ab	68.76 ± 2.03 abc	81.76 ± 1.70 abc	9.88 ± 0.62 a	10.35 ± 0.56 a	10.94 ± 0.54 ab
0-150	65.16 ± 1.20 ab	72.36 ± 1.86 ab	85.50 ± 5.48 ab	9.45 ± 0.20 a	10.19 ± 0.22 a	11.14 ± 0.49 ab
50-0	59.76 ± 3.15 ab	64.66 ± 1.04 bc	78.56 ± 3.45 abc	8.99 ± 0.61 a	10.05 ± 0.71 a	11.63 ± 0.23 a
50-75	65.50 ± 3.31 ab	72.56 ± 1.79 ab	81.60 ± 2.95 abc	9.82 ± 0.40 a	10.60 ± 0.26 a	11.90 ± 0.43 a
50-150	63.26 ± 0.58 ab	69.66 ± 0.14 abc	78.06 ± 2.24 abc	8.64 ± 0.21 a	9.66 ± 0.29 a	11.30 ± 0.16 ab
100-0	59.46 ± 2.63 ab	61.76 ± 2.38 c	71.23 ± 1.18 bc	8.07 ± 0.20 a	8.25 ± 0.29 a	9.79 ± 0.44 ab
100-75	57.16 ± 1.84 ab	62.73 ± 1.29 bc	67.33 ± 2.52 c	7.92 ± 0.34 a	8.60 ± 0.31 a	9.32 ± 0.35 b
100-150	55.33 ± 1.28 b	60.33 ± 1.23 c	69.06 ± 0.30 bc	7.66 ± 0.20 a	8.50 ± 0.17 a	9.89 ± 0.04 ab
DMS	12.54	10.19	16.55	2.32	2.5	2.19
CV	7.1	5.25	7.4	9.09	9.09	7.11

Medias ± DE en cada columna con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $P \leq 0.05$). DMS = Diferencia mínima significativa, CV = Coeficiente de variación.

Conclusiones

El tratamiento con NaCl a niveles de 50 y 100 mM redujo parámetros de crecimiento en plantas de tomate cv. Rio Grande. El Ti aplicado vía foliar no causó efectos en el crecimiento de tomate ni mitigó el impacto negativo ocasionado por el NaCl.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca de posgrado otorgada a Víctor Hugo Carbajal Vázquez y a la LGAC Nutrición Vegetal del Postgrado en Edafología del Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados por las facilidades brindadas para el desarrollo de esta investigación.

Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

Referencias

CONAGUA, Comisión Nacional del Agua, (2016). Estadísticas del Agua en México. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Edición 2015. Recuperado en línea el 15 de septiembre de 2016, de http://www.agua.unam.mx/assets/pdfs/novedades/EstadisticasdelAguaMexico2016_CONAGUA.pdf

Gómez-Merino, F. C., Trejo-Téllez, L. I., Cuacua-Temiz, C., Jácome-Chacon, M. A. y Senties-Herrera, H. E. (2015). Los elementos benéficos: potencial para innovar la producción agrícola. *Agroentorno*, 166(18), 19-20.

Kleiber, T. and Markiewicz, B. (2013). Application of Tytanit in greenhouse tomato growing. *Acta Scientiarum Polonorum. Horturum Cultus*, 12(2013), 117-126.

Munns, R. and Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651-681.

Nasir, K. M. 2016. Nano-titanium dioxide (Nano-TiO₂) mitigates NaCl stress by enhancing antioxidative enzymes and accumulation of compatible solutes in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Journal of Plant Sciences*, 11(3-4), 1-11

SAS Institute Inc. (2011). *Base SAS® 9.3 Procedures Guide: Statistical Procedures*. Cary, NC, USA. 536 p.

SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, (2015). *Atlas agroalimentario 2015*. Recuperado el 22 de agosto de 2017, de http://nube.siap.gob.mx/publicaciones_siap/pag/2015/Atlas-Agroalimentario-2015

Steiner A. (1984). *The universal nutrient solution*. In: Proc. 6th International Congress on Soilless Culture. Secretariat of ISOSC (ed). Lunteren 29 April -5 May. Int. Soc. Soilless Culture. Wageningen, The Netherlands. pp: 633-649.

Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

Silicio mejora crecimiento de plantas de arroz bajo estrés osmótico inducido por polietilenglicol

Sara Monzerrat Ramírez-Olvera¹, Víctor Hugo Carbajal-Vázquez¹, María de la Luz Buendía-Valverde², Gabriela Abigail Guzmán-Báez³, Robert Vilchiz-Zimuta¹, Libia Iris Trejo-Tellez², Fernando Carlos Gómez-Merino^{1*}

Abstract

Osmotic stress is one of the most important factors decreasing yield of rice plants (*Oryza sativa* L.), so it is of paramount importance the search for alternatives that allow the plant to tolerate these conditions. The objective of this research was to evaluate the effect of Si on the growth of rice cv. Morelos A-98, exposed to osmotic stress. 28-day-old plants were subjected to osmotic stress with 10% PEG 8000 and treated with 1 and 2 mM SiO₂. The obtained results allow concluding that the Si application promotes the growth of rice plants under osmotic stress conditions.

Keywords: *Oryza sativa*, beneficial elements, relative growth, biomass relative weight

Introducción

El arroz es el segundo cereal más producido en el mundo y es el alimento básico en la dieta de más de la mitad de la población del planeta. Actualmente se cultiva en más de 100 países y proporciona el 20% de las calorías consumidas en el mundo (Fageria, 2007; Borresen y Ryan, 2014). Sin embargo, para el año 2025 la población aumentará y por tanto más de 4.6 mil millones de personas dependerán del arroz para su alimentación diaria. Lo anterior implica que será necesario producir 60% más de arroz del que se produce actualmente (Kubo y Purevdorj, 2004; Fageria, 2007). Así también de acuerdo a las proyecciones de Moyer (2010), para el año 2080, el mundo enfrentará los efectos más severos del cambio climático global, lo que en algunos países reducirá la producción agrícola.

El estrés osmótico es uno de los principales factores que afecta severamente el crecimiento y la productividad de plantas en el mundo, cuando éstas se someten a condiciones de sequía y salinidad (Upadhyaya *et al.*, 2013).

La sequía se agravará con el cambio climático, principalmente en regiones áridas y semiáridas, las cuales representan aproximadamente el 30% de la superficie terrestre del mundo (Farooq and Dietz, 2009).

El déficit hídrico afecta el metabolismo de la plantas, al reducir el potencial hídrico y turgencia de las células, disminuyendo el crecimiento e incrementando la acumulación de ácido abscísico, provocando marchitamiento. Además, la reducción en el contenido de agua afecta el cierre estomático, limita el intercambio gaseoso y reduce la transpiración y detiene la asimilación de carbono, lo que conduce a una disminución en el área foliar (Lisar *et al.*, 2012).

Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

Los elementos benéficos como el silicio (Si), no son considerados elementos esenciales para las plantas, aunque detonan mejoras en el metabolismo vegetal y pueden aportar múltiples beneficios, como el intercambio de gases, fotosíntesis, sistema antioxidante, además le confiere mejor arquitectura a la planta y mayor resistencia a factores de estrés (Ning *et al.*, 2014; Trejo-Téllez *et al.*, 2016).

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de Si en el crecimiento vegetativo de plantas de arroz cv. Morelos A-98, sometidas a estrés osmótico.

Metodología

Material vegetal, desinfección de semillas y tratamientos

Semillas de arroz Morelos A-98 (*Oryza sativa* L. ssp. *indica*) se germinaron en medio MS con 3% de sacarosa y solidificado con 0.8% de agar en frascos de vidrio de 500 mL de capacidad. Los frascos se colocaron en oscuridad a 28 °C por 3 días, después fueron expuestos a luz natural por 11 días. Posteriormente, las plántulas de arroz de 12 días de edad se transfirieron a un sistema hidropónico en recipientes de 14 L con solución nutritiva Magnavaca modificada y a los 7 días después del trasplante se reemplazó por solución Yoshida.

Catorce días después del trasplante, se aplicaron los tratamientos de Si junto con la solución nutritiva, consistiendo en 0, 1 y 2 mM de SiO₂. Después de 28 días del inicio de los tratamientos la mitad de las plantas de cada tratamiento se sometieron a estrés osmótico con la adición de PEG 8000 al 10% a la solución nutritiva, más la adición de Si. La otra mitad de las plantas se continuó tratando con Si (en ausencia de estrés osmótico).

La solución nutritiva se reemplazó completamente cada siete días y cada tercer día se repuso el agua consumida por la planta. El pH de la solución se ajustó a 5.5 utilizando H₂SO₄ o NaOH 1 N.

Siete días después del inicio del tratamiento con PEG, las plantas se retiraron de la solución nutritiva, se enjuagaron y se registró la altura de planta, longitud y peso de la biomasa fresca de planta.

Diseño experimental y análisis estadístico

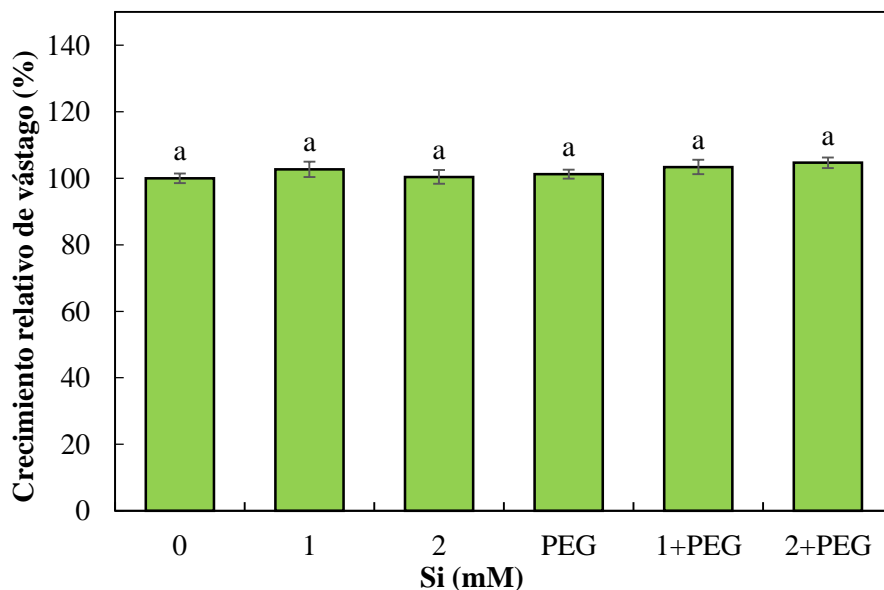
Se utilizó un diseño experimental completamente al azar y se realizó análisis de varianza y prueba de comparación de medias con la prueba de Tukey. En las pruebas estadísticas aplicadas se utilizó un nivel de significancia de $\alpha=0.05$, utilizando el paquete estadístico SAS 9.3 (SAS, 2011).

Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

Resultados

La aplicación de 1 y 2 mM Si en plantas sin estrés osmótico, no provocaron efectos significativos en la altura de planta. De la misma manera, el estrés inducido con la aplicación de PEG no afectó la altura de planta, ni la adición de Si en las plantas inducidas a estrés (Gráfico 1).

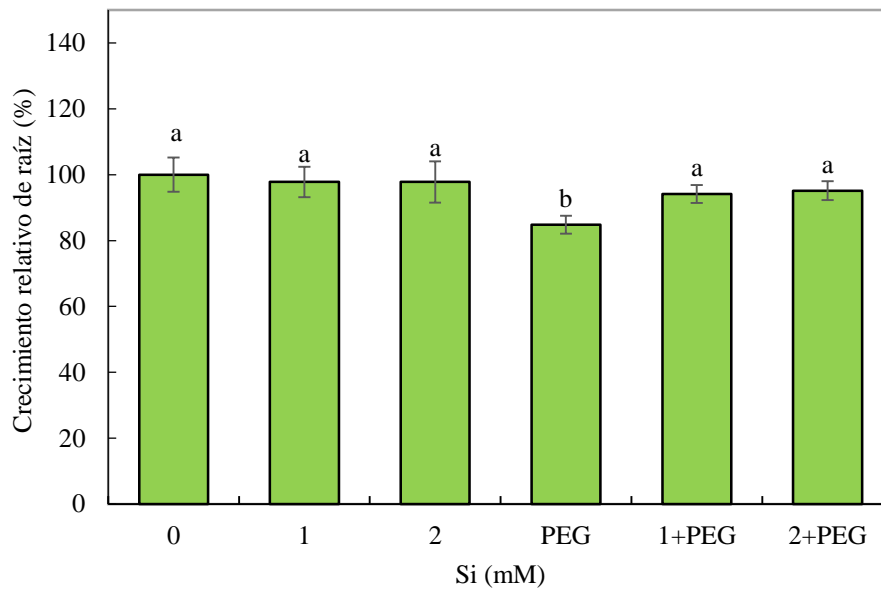
Gráfico 1. Crecimiento relativo de vástago de plantas de arroz tratadas con Si a partir de SiO₂. Medias ± DE con letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$)



La longitud de raíz no fue afectada de manera significativa por los tratamientos de Si (1 y 2 mM) en plantas sin estrés osmótico. Mientras que la adición de PEG disminuyó significativamente la longitud de raíz en 14.9%, respecto al testigo (sin PEG); por otro lado, la aplicación de 1 y 2 mM Si a las plantas bajo estrés osmótico ocasionó incrementos significativos del 11 y 12.1% la longitud de raíz, respecto a las plantas bajo estrés osmótico (Gráfico 2).

Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

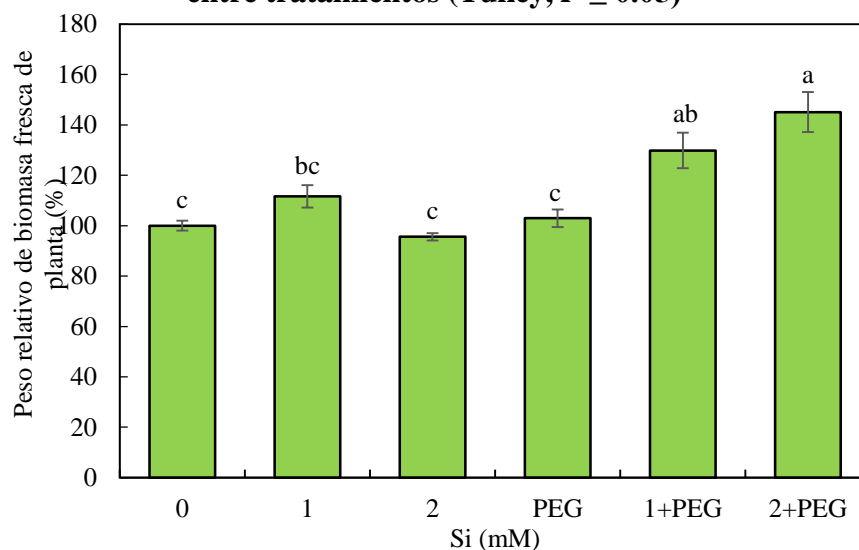
Gráfico 2. Crecimiento relativo de raíz de plantas de arroz tratadas con Si a partir de SiO₂. Medias ± DE con letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$)



El peso relativo de biomasa fresca de plantas, no incrementó significativamente con el tratamiento con Si en las plantas sin estrés osmótico. De igual manera, la adición de PEG no provocó efectos en el peso de biomasa. Sin embargo, la adición de 1 y 2 mM Si a plantas sometidas a estrés incrementó significativamente el peso de biomasa fresca (Gráfico 3). De manera coincidente con estos resultados, Ming *et al.* (2012), indican que la aplicación de Si mejora la producción de biomasa, bajo condiciones de estrés por sequía. Pei *et al.* (2010), indican que la adición de PEG a plantas de trigo reduce el peso de biomasa fresca en 63%, mientras que la aplicación de 1 mM Si a las plantas sometidas a estrés incrementa en 38% el peso de biomasa.

Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

Gráfico 3. Peso relativo de biomasa fresca de plantas de arroz tratadas con Si a partir de SiO₂. Medias ± DE con letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$)



Conclusiones

Durante el periodo de estudio que duró 7 días, ni el PEG ni el Si afectaron variables de crecimiento en plantas de arroz variedad Morelos A-98. Sin embargo, la adición de Si en plantas expuestas a estrés osmótico, mejoró el crecimiento vegetativo.

Referencias

Borresen, E. C. and Ryan, E. P. (2014). Rice bran: a food ingredient with global public health opportunities. In: *Wheat and Rice in Disease Prevention and Health*. Watson, R. R., Preedy, V. R., & Zibadi, S. (Eds.). San Diego, USA: Ed. Elsevier. pp. 301-310.

Fageria, N. K. (2007). Yield physiology of rice. *Journal of Plant Nutrition*, 30(6), 843-879.

Farooq, M. A. and Dietz, K. J. (2015). Silicon as versatile player in plant and human biology: overlooked and poorly understood. *Frontiers in Plant Science*, 6, 994.

Kubo, M. and Purevdorj, M. (2004). The future of rice production and consumption. *Journal of Food Distribution Research*, 35(1), 128-142.

Lisar, S. Y., Motafakkerzad, R., Hossain, M. M., and Rahman, I. M. (2012). *Water stress in plants: causes, effects and responses*. In: *Water Stress*. InTech.

Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

Ming, D. F., Pei, Z. F., Naeem, M. S., Gong, H. J., and Zhou, W. J. (2012). Silicon alleviates PEG-induced water-deficit stress in upland rice seedlings by enhancing osmotic adjustment. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 198(1), 14-26.

Moyer, M. (2010). How much is left? *Scientific American*, 303(3), 74-81.

Ning, D., Song, A., Fan, F., Li, Z., and Liang, Y. (2014). Effects of slag-based silicon fertilizer on rice growth and brown-spot resistance. *PlosOne*, 9(7), e102681.

Pei, Z. F., Ming, D. F., Liu, D., Wan, G. L., Geng, X. X., Gong, H. J., and Zhou, W. J. (2010). Silicon improves the tolerance to water-deficit stress induced by polyethylene glycol in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. *Journal of Plant Growth Regulation*, 29(1), 106-115.

SAS. 2011. *Institute. Statistical Analysis System version 9.3. User's Guide*. Cary, NC.

Trejo-Téllez, L. I., Gómez-Merino, F. C., and Alcántar-González, G. (2016). *Elementos benéficos: potencialidades y limitaciones*. In: *Nutrición de Cultivos*. Segunda Edición. Alcántar-González, G., Trejo-Téllez, L. I., and Gómez-Merino, F. C. (eds.). Montecillo: Ed. Colegio de Postgraduados. pp. 59-101.

Upadhyaya, H., Sahoo, L., and Panda, S. K. (2013). *Molecular physiology of osmotic stress in plants*. In: *Molecular Stress Physiology of Plants* (pp. 179-192). Springer.