

EFECTO DE LOS ELEMENTOS BENÉFICOS Al, Co, Se Y Si EN LA NUTRICIÓN DE HELICONIAS (*Heliconia* sp.)

EFFECT OF THE BENEFICIAL ELEMENTS Al, Co, Se AND Si ON HELICONIA (*Heliconia* sp.) NUTRITION

Cuacua-Temiz, C.¹, Trejo-Téllez, L.I.², Velasco-Velasco, J.¹; Gómez-Merino, F.C.^{1*}

¹Campus Córdoba. Colegio de Postgraduados. Carretera Córdoba-Veracruz km 348, Amatlán de los Reyes, Veracruz. C. P. 94946. México. ²Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco km 36.5 Montecillo, Estado de México. C. P. 56230. México.

*Autor de correspondencia: fernandg@colpos.mx

RESUMEN

Se han identificado 10 elementos benéficos que sin ser esenciales para la fisiología de la planta, pueden mejorar indicadores de crecimiento, desarrollo, respuestas a estímulos ambientales y aprovechamiento de nutrimentos para la planta. En este estudio se encontró que los elementos benéficos aluminio, cobalto, selenio y silicio, no afectan el crecimiento de *Heliconia* cv. Golden Torch Adrian, en tanto que si mejoran las concentraciones de nutrimentos esenciales como P, Fe, Cu, Ca y Mn. Con estos resultados, se recomienda su uso para mejorar el estado nutrimental de heliconias, con el objetivo de mejorar la producción y calidad de las inflorescencias.

Palabras clave: Flores tropicales, nutrimentos, Heliconiaceae.

ABSTRACT

Ten beneficial elements have been identified which, without being essential for the physiology of the plant, can improve indicators of growth, development, response to environmental stimuli, and nutrient uptake of the plant. In this study it was found that the beneficial elements aluminum, cobalt, selenium and silicon do not affect the growth of *Heliconia* cv. Golden Torch Adrian, while the concentrations of essential nutrients such as P, Fe, Cu, Ca and Mn do improve. With these results, their use is recommended to improve the nutritional state of *Heliconia* plants, with the objective of improving production and the quality of inflorescences.

Keywords: Tropical flowers, nutrients, Heliconiaceae.

Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 3, marzo, 2017, pp: 62-68.

Recibido: Noviembre, 2015. **Aceptado:** Febrero, 2017.



INTRODUCCIÓN

El buen desarrollo de una planta depende de varios factores, y dentro de éstos la disposición de nutrimentos juega un papel preponderante. La nutrición de las plantas está basada en 17 elementos esenciales, mismos que son necesarios para que una determinada especie de planta complete su ciclo de vida adecuadamente. Estos elementos se clasifican como macronutrimentos y micronutrimentos, dependiendo de las cantidades en que la planta los absorbe y requiere. El primer grupo está representado por elementos que son absorbidos en cantidades más altas ($>1000 \text{ mg kg}^{-1}$), conformado por carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), azufre (S), calcio (Ca) y magnesio (Mg). Por su parte, los micronutrimentos están representados por cloro (Cl), boro (B), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), níquel (Ni), y zinc (Zn), los cuales son requeridos por la planta en proporciones más bajas ($<100 \text{ mg kg}^{-1}$) (Pilon-Smits *et al.*, 2009). Por otro lado, hay elementos que no son considerados esenciales para las plantas, pero mejoran ciertas respuestas, y son conocidos como elementos benéficos. Al ser suministrados, los elementos benéficos pueden favorecer procesos de crecimiento y desarrollo vegetal, y también pueden estimular mecanismos de resistencia a factores de estrés biótico y abiótico, o favorecer el aprovechamiento de otros nutrimentos (Trejo-Téllez *et al.*, 2007). En consecuencia, se ha comprobado que los elementos benéficos pueden compensar o remediar los efectos tóxicos de otros elementos, y también, en algunos casos, pueden suplir algunas funciones específicas de los nutrimentos esenciales, tales como el mantenimiento de la presión osmótica (Trejo-Téllez y Gómez-Merino, 2012), o las respuestas de las plantas a fenómenos ambientales adversos (Pilon-Smits *et al.*, 2009). Hasta ahora, los elementos benéficos que se han propuesto incluyen aluminio (Al), cerio (Ce), cobalto (Co), yodo (I), lantano (La), sodio (Na), selenio (Se), silicio (Si), titanio (Ti) y vanadio (V), y se ha postulado que plata (Ag), cromo (Cr), flúor (F) y tungsteno o wolframio (W) también puedan tener efectos benéficos en la fisiología de las plantas. En este trabajo se indagó el efecto de cuatro elementos benéficos:

Al, Co, Se y Si, en especies ornamentales, con especial énfasis en la modulación de la absorción de elementos esenciales en *Heliconia psittacorum* L.F. X *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian.

Aluminio

El Al es el metal más abundante en la superficie terrestre, pues comprende alrededor del 7% de su masa y su solubilidad aumenta a medida que disminuye el pH del suelo (Dong *et al.*, 2002). Si bien el Al puede ser un elemento benéfico y en ocasiones esencial para el buen desarrollo de las plantas, en suelos ácidos (pH menor a 5) inhibe el crecimiento de raíces y muestra efectos tóxicos (Gallardo *et al.*, 2005). Uno de los ejemplos más conocidos del efecto benéfico del Al es observado en hortensias (*Hydrangea macrophylla*), ya que cuando absorben diferentes concentraciones de Al, se tornan de color rosa (50 mg kg^{-1} de biomasa seca) a azul (4000 mg kg^{-1}), lo cual se atribuye a la formación de un complejo coloidal o a la combinación del Al con un pigmento llamado delfinidina (Trejo-Téllez *et al.*, 2007), antocianina responsable de los pigmentos que se hallan en las células epidermales o subepidermales de la planta. Watanabe *et al.* (2005) reportaron que cuando se combinan los nutrientes con el Al, se mejora el desarrollo de raíz y el crecimiento de *Melastoma malabathricum*. El Al también retarda la senescencia en flor de corte, como en la rosa cv. 'Cherry Brandy', que al ser tratadas con $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ aumenta significativamente la vida de florero y mejora la calidad postcosecha, ya que mantiene el peso fresco de la flor y se aumenta el contenido de la clorofila en las hojas (Jowkar *et al.*, 2012). Seyf *et al.* (2012), demostraron que la aplicación de 150 y 300 mg L^{-1} de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ en rosas Boeing, permitió aumentar la vida de florero de 9 a 12 y 12.3 días respectivamente, y aumentaron el diámetro de la flor comparado con plantas testigo. Por otra parte, la aplicación de 150 mg L^{-1} de sulfato de aluminio a flores de *Eustoma grandiflorum* prolongó la vida en florero de 8 a 15 días, además de que el peso fresco siguió aumentando hasta 8 días después del inicio del ensayo (Li-Jen *et al.*, 2000). Mohammadi *et al.* (2012a) reportaron que a concentraciones de 50 y 100 mg L^{-1} de sulfato de aluminio, incrementa la vida de florero de tuberosa (*Polianthes tuberosa* cv. 'Single') a 11.5 y 12 días, respectivamente.





La aplicación de sulfato de aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ y sacarosa al 8%, incrementan la calidad y la durabilidad de tallos de rosa (*Rosa hybrida*) cv. Maroussia en postcosecha (Teyebe *et al.*, 2013). Así mismo, De la Cruz-Guzmán *et al.* (2007), indican que el tratamiento con $0.6 \text{ g Al}_2(\text{SO}_4)_3 \text{ L}^{-1}$, en rosa cv. Royalty, reduce la pérdida de peso fresco en vida de florero. Derivado de lo anterior se concluye que el Al tiene un gran potencial como retardante de la senescencia en flor de corte y además otorga calidad a las mismas.

Cobalto

La concentración de Co en plantas normalmente oscila entre 0.1 y 10 ppm de peso en base seca, aunque las plantas hiperacumuladoras de las familias Lamiaceae, Scrophulariaceae, Asteraceae y Fabaceae pueden acumular más de 1000 ppm de este elemento en hojas. En plantas superiores, el Co se adhiere fuertemente a las raíces y es absorbido de la solución del suelo a través de transporte pasivo. Dado que el Co muestra similitud química con el níquel (Ni), es posible que los dos elementos entren a la célula a través de los mismos tipos de acarreadores de membrana (Chen *et al.*, 2009). En especies ornamentales como lily (*Lilium* sp.), tallos florales tratados con soluciones preservantes que incluyeron Co, presentaron un incremento de la longevidad floral del cv. 'Star Fighter' de 61.1 y 44 % con 0.1 y 0.2 mM de Co, respectivamente, mientras que para el cv. 'Star Gazer' la concentración que favoreció el incremento de 19.7 % fue 0.1 mM de Co (Mandujano-Piña *et al.*, 2012). En tuberosa (*Polygonum tuberosum*), la aplicación de 300 mg L^{-1} de cloruro de cobalto favoreció la vida de florero (10.66 días), la absorción de agua (1.53 mL g^{-1} en peso

fresco) y la reducción de la pérdida de peso en fresco (19.99 g); la aplicación de 400 mg L^{-1} aumentó el contenido de carotenoides en pétalos (0.40 g) y proteínas (31.10%) (Mohammadi *et al.*, 2012b). En flores de corte de margarita (*Argyranthemum* sp.), la aplicación de 1 y 2 mM de Co aumentó 5 días más la vida de florero, comparado con el testigo que solo contenía agua destilada (Kazemi, 2012). Co y Ni ($2.5 \text{ mM Co} + 2 \text{ mM Ni} + 2 \text{ mM de ácido salicílico con } 2.5\% \text{ de sacarosa}$) aumentan la vida en florero de lily cv. 'Prato' debido a una mejora de la estabilidad de la membrana y la reducción de los daños de estrés oxidativo durante la senescencia de la flor. Además, estos elementos disminuyen la pérdida de antocianinas (Kazemi y Ameri, 2012). En clavel (*Dianthus caryophyllus*), el Co retarda la senescencia, ya que reduce la producción de etileno, efecto muy similar al que muestra la aplicación de Ni en esta especie (Babak y Majid, 2011).

Selenio

En zonas seleníferas la mayoría de las especies vegetales contienen entre 1 y 10 ppm de selenio, en tanto que las llamadas plantas hiperacumuladoras (como los géneros *Stanleya* y *Astragalus*) pueden acumular de 1000 a 15000 ppm (0.1-1.5% Se) (Pilon-Smits *et al.*, 2009). La aplicación de Se a bajas concentraciones puede aumentar la tolerancia al estrés oxidativo inducido por radiación UV, retrasar la senescencia, y promover el crecimiento (Hawrylak-Nowak, 2008; Hawrylak-Nowak, 2013; Hajiboland y Keivanfar, 2012). Además, el selenio puede regular el contenido de agua bajo condiciones de sequía (Germ *et al.*, 2007). También se ha reportado que el Se activa mecanismos antioxidantes y reduce los procesos de senescencia (Hartikainen *et al.*, 2000). Adicionalmente este elemento puede aumentar el rendimiento de semilla, y contribuye también a la mejora nutricional (Hajiboland y Keivanfar, 2012). En condiciones de estrés salino, el selenio puede mejorar el crecimiento y detonar mecanismos antioxidantes (KeLing *et al.*, 2013). Aunque para este elemento benéfico no se describen efectos en plantas ornamentales, al actuar como un antioxidante podría mejorar la calidad postcosecha de algunas especies.

Silicio

El Si puede contrarrestar los efectos tóxicos de elementos como Al y Mn, conferir resistencia contra plagas y enfermedades, e incluso permitir la formación de nanoestructuras utilizando como catalizadores compuestos orgánicos, enzimas u organismos (Raya y Aguirre, 2009). El Si es absorbido en un rango de pH de 2 hasta 9, siendo tomado por las raíces en la solución como ácido monosilícico ($\text{Si}(\text{OH})_4$) para ser acumulado en las células epidérmicas (Borda *et al.*, 2007). Ma y Yamaji (2006) mencionan que los efectos beneficiosos de Si se asocian a su alta deposición en los tejidos vegetales, mejorando su resistencia y rigidez. También es posible que el Si desempeñe un papel activo en la resistencia a enfermedades de las plantas mediante la estimulación de los mecanismos de defensa. El Si puede desempeñar un papel importante en la resistencia a factores de estrés abiótico tales como toxicidad por metales pesados, salinidad y sequía, y puede reducir la generación de especies reactivas de oxígeno, debido al aumento de enzimas antioxidantes (Balakhnina y Borkowska, 2013). Borda *et al.* (2007), reportaron que el Si puede aumentar altura y producción de materia seca, como consecuencia

de una mejor absorción nutrimental, además de estimular la elongación y la turgencia celular y mejorar la conversión de asimilados. En condiciones de estrés salino (50 mM NaCl), la aplicación de concentraciones crecientes de Si (1 a 5 mM) aumentó la tasa y el índice de germinación, la vitalidad de las plántulas, y la actividad de las enzimas antioxidantes SOD, POD y CAT (Wang *et al.*, 2010). Al adicionar hasta 200 mg L⁻¹ de silicato de potasio (K₂SiO₃) las flores de clavel cv. 'Harlem' aumentaron la vida de florero a consecuencia de una reducción significativa en la producción de etileno (Babak y Majid, 2011). La aplicación de Si incrementa la cantidad de O₂ en hojas y tallos, alcanzando la raíz, lo que provoca que la rizosfera se oxide. Así, los elementos Fe y Mn se oxidan, lo que evita una excesiva toma de estos elementos por la planta. Además, el Si induce una excelente resistencia contra enfermedades ocasionadas por *Rhizoctonia*, *Pyricularia*, *Helminthosporium*, *Rynchosporium* y *Sarocladium*, entre otros (Furcal-Beriguete y Herrera-Barrantes, 2013). En la especie ornamental *Borago officinalis*, el Si juega un papel detoxificante ante el estrés de Al ya que estimula la síntesis de compuestos fenólicos y de prolina (Shahnaz *et al.*, 2011). La aplicación de 2.5 mM de Si junto con ácido acetilsalicílico 3 mM, reduce el porcentaje de marchitamiento en la flor de corte clavel, retarda la degradación de clorofilas y de carbohidratos, y reduce la actividad de enzimas oxidadas (*i.e.* ACC-oxidasa) (Kazemi *et al.*, 2012).

Los efectos de Al, Co, Se y Si en la absorción de macro y micronutrientes en *Heliconia* cv. Golden Torch Adrian

Para evaluar el efecto de los elementos benéficos en la absorción y contenido nutrimental de macro y micronutrientes, se utilizaron rizomas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian recolectados de las plantaciones del Campus Córdoba del Colegio de Postgraduados, ubicado a 650 m de altitud, 18° 50' latitud norte 96° 51' longitud oeste, 18.4 °C de temperatura media anual y 78% de HR. Una vez que los rizomas se extrajeron de los terrenos de cultivo, se lavaron con suficiente agua corriente para quitarles el exceso de tierra, después se desinfectaron con agua esterilizada, cloro al 2%, y se sumergieron en una solución fungicida sistémica (2 mL L⁻¹ de agua) Lannate® (Ingrediente activo: Metomilo: S-Metil-N metilcarbamoil oxi tioacetamidato). Como sustrato se utilizó tezontle rojo, el cual se cernió, se lavó y se esterilizó en un autoclave a 1.2 libras, a 120

°C durante 15 minutos en bolsas de polietileno. La unidad experimental consistió en bolsas de polietileno de 20x25 cm, y se sembraron 2 tallos por bolsa y se regaron cada tercer día con agua esterilizada durante 12 semanas. Las plantas se trasladaron a un invernadero del área de Nutrición Vegetal del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, en el km 36.5 de la Carretera México-Texcoco, localizado a 19° 29' latitud norte, 98° 53' longitud oeste y una altura de 2250 sobre el nivel del mar. Se utilizó la solución nutritiva universal de Steiner a niveles crecientes (10, 20 y 50 %). El pH se ajustó a un rango de 5.0 a 5.8 con ácido sulfúrico (H₂SO₄) al 10%. Se regaron por las mañanas a cada planta 200~300 mL de solución junto con el elemento benéfico. El diseño experimental consistió en un experimento completamente al azar con 4 tratamientos y 7-8 repeticiones. Los tratamientos fueron: Al (10, 30 y 50 μM), Co (0.75, 1.5 y 2.25 μM), Se (5, 15 y 25 μM) y Si (0.5, 1 y 1.5 μM). Las plantas se cosecharon a los 76 días de experimentación con los elementos benéficos en la solución nutritiva en hidroponía. En diferentes fechas se tomaron las variables de crecimiento. Al finalizar el experimento las plantas fueron extraídas del tezontle (Figura 1; subfiguras A, B, C y D), se lavaron, se seccionaron por órgano y se pesaron, y se estimó el área foliar de las hojas.

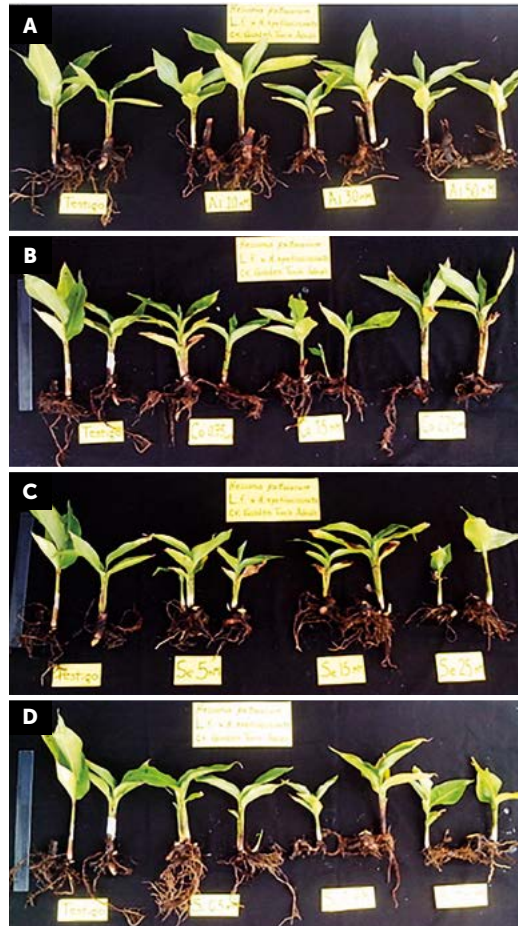


Figura 1. Plantas de heliconia cv. Golden Torch Adrian a los 76 días de experimentación en hidroponía con Al, Co, Se y Si.

°C durante 15 minutos en bolsas de polietileno. La unidad experimental consistió en bolsas de polietileno de 20x25 cm, y se sembraron 2 tallos por bolsa y se regaron cada tercer día con agua esterilizada durante 12 semanas. Las plantas se trasladaron a un invernadero del área de Nutrición Vegetal del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, en el km 36.5 de la Carretera México-Texcoco, localizado a 19° 29' latitud norte, 98° 53' longitud oeste y una altura de 2250 sobre el nivel del mar. Se utilizó la solución nutritiva universal de Steiner a niveles crecientes (10, 20 y 50 %). El pH se ajustó a un rango de 5.0 a 5.8 con ácido sulfúrico (H₂SO₄) al 10%. Se regaron por las mañanas a cada planta 200~300 mL de solución junto con el elemento benéfico. El diseño experimental consistió en un experimento completamente al azar con 4 tratamientos y 7-8 repeticiones. Los tratamientos fueron: Al (10, 30 y 50 μM), Co (0.75, 1.5 y 2.25 μM), Se (5, 15 y 25 μM) y Si (0.5, 1 y 1.5 μM). Las plantas se cosecharon a los 76 días de experimentación con los elementos benéficos en la solución nutritiva en hidroponía. En diferentes fechas se tomaron las variables de crecimiento. Al finalizar el experimento las plantas fueron extraídas del tezontle (Figura 1; subfiguras A, B, C y D), se lavaron, se seccionaron por órgano y se pesaron, y se estimó el área foliar de las hojas.



Los órganos de las plantas se secaron por separado en una estufa de aire forzado marca Riossa Mod. HCF-125D durante 72 horas a una temperatura de 70° C para obtener los pesos de biomásas secas. Una vez secas se trituraron para realizar los análisis correspondientes. Nitrógeno total. La concentración de N total se determinó mediante la técnica Semimicro-Kjeldahl (Chapman y Pratt, 1973). Análisis de macronutrientes y micronutrientes. Se determinó mediante espectroscopia de emisión óptica de inducción por plasma acoplado (ICP-OES 725), siguiendo la metodología descrita por Alcántar y Sandoval (1999). Los resultados tanto de indicadores de crecimiento como de análisis nutrimental se analizaron estadísticamente utilizando la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) con el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado de esta investigación se obtuvo que las variables de crecimiento no fueron afectadas significativamente por los elementos benéficos suministrados. En cuanto a las concentraciones nutrimentales en tejido vegetal, se observó que el suministro de Al y Si incrementan la concentración de Fe y Cu en hojas, en tanto que

el Co aumentó la concentración de Cu y el Se estimula la absorción de K y Mn (Cuadro 1).

Por su parte, de los elementos benéficos evaluados, fueron el selenio y el silicio los que aumentaron las concentraciones de Mn y Fe, respectivamente, en tallos (Cuadro 2).

Respecto a la concentración de nutrientes en raíz, el aluminio afectó positivamente la absorción y concentración de P, Cu y Mn. Por su parte, el cobalto indujo una mayor concentración de Ca, Fe y Mn, mientras que el silicio aumentó la concentración de Fe en este tejido de la planta. En estas condiciones experimentales, la aplicación de selenio no afectó la concentración de ninguno de los nutrientes evaluados en raíz (Cuadro 3).

Si bien las aplicaciones de aluminio, cobalto, selenio y silicio no afectaron indicadores de crecimiento en las plantas de heliconia evaluadas, es evidente que éstos elementos benéficos pueden modular la absorción y concentración de algunos nutrientes en tejido vegetal. Sin embargo, el corto periodo de evaluación (76 días) que abarcó este estudio, hizo posible la observación de

Cuadro 1. Efecto de los elementos benéficos Al, Co, Se y Si en la concentración de nutrientes en hojas de heliconia cv. Golden Torch Adrian.

Elemento benéfico	Macronutrientes					Micronutrientes				
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	B
Al	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	↑	↑	⊗	↓	↑
Co	⊗	⊗	⊗	⊗	↓	⊗	↑	⊗	↓	⊗
Se	⊗	↓	↑	↓	↓	⊗	↓	⊗	↑	⊗
Si	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	↑	↑	⊗	↓	⊗

↑=Incremento, ↓=Decremento, ⊗ Sin efecto.

Cuadro 2. Efecto de los elementos benéficos Al, Co, Se y Si en la concentración de nutrientes en tallo de heliconia cv. Golden Torch Adrian.

Elemento benéfico	Macronutrientes					Micronutrientes				
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	B
Al	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	↓	↓	↓	↓
Co	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	↓	↓	↓	⊗
Se	⊗	↓	⊗	⊗	⊗	↓	↓	↓	↑	⊗
Si	⊗	↓	⊗	⊗	⊗	↑	↓	↓	↓	⊗

↑=Incremento, ↓=Decremento, ⊗ Sin efecto.

Cuadro 3. Efecto de los elementos benéficos Al, Co, Se y Si en la concentración de nutrientes en raíz de heliconia cv. Golden Torch Adrian.

Elemento benéfico	Macronutrientes					Micronutrientes				
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	B
Al	✗	↑	↓	✗	↓	↓	↑	↓	↑	✗
Co	✗	✗	✗	↑	✗	↑	↓	↓	↑	✗
Se	✗	✗	✗	✗	↓	↓	↓	✗	✗	✗
Si	✗	✗	✗	✗	✗	↑	✗	✗	↓	✗

↑=Incremento, ↓=Decremento, ✗ Sin efecto.

solo algunos efectos en algunos nutrientes. Este hallazgo da evidencia de que a lo largo de las diferentes etapas fenológicas de las heliconias, los elementos benéficos pudieran modular de manera más evidente las concentraciones nutricionales de más elementos esenciales, y en última instancia, afectar el crecimiento y la vida de florero de las inflorescencias que emerjan de estas plantas.

CONCLUSIONES

Los elementos benéficos aluminio, cobalto, selenio y silicio adicionados a la solución nutritiva no presentaron efecto alguno en los indicadores de crecimiento. En cuanto a las concentraciones de elementos esenciales en tejido vegetal, se observaron aumentos en las concentraciones de P, Fe, Cu, Ca y Mn.

LITERATURA CITADA

- Alcántar G.G., Sandoval V.M. 1999. Manual para el análisis químico de tejido vegetal. Publicación Especial No. 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México.
- Babak J., Majid R. 2011. Carnation flowers senescence as influenced by nickel, cobalt and silicon. J. Biol. Environ. Sci. 5, 147-152.
- Balakhnina T., Borkowska A. 2013. Effects of silicon on plant resistance to environmental stresses: review. Int. Agrophys. 27, 225-232. doi: 10.2478/v10247-012-0089-4
- Borda O.A., Barón F.H., Gómez M.I. 2007. El silicio como elemento benéfico en avena forrajera (*Avena sativa* L.): Respuestas fisiológicas de crecimiento y manejo. Agron. Colomb. 25, 273-279.
- Chapman H.D., Pratt P.F. 1973. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. Trillas, México. 195 p.
- Chen Z., Watanabe T., Shinano T., Okazaki M., Shinano T. 2009. Rapid characterization of plant mutants with altered ion-profile: a case study using *Lotus japonicus*. New Phytol. 181, 795-801.
- De la Cruz-Guzmán G.H., Arriaga-Frías A., Mandujano-Piña M., Elias-Arias J.B. 2007. Efecto de tres preservadores de la longevidad sobre la vida postcosecha de Rosa cv. Royalty. Rev. Chapingo Ser. Hort. 13, 109-113.
- Dong B., Sang W.L., Jiang X., Zhou J.M., Kong F.X., Hu W., Wang L.S. 2002. Effects of aluminum on physiological metabolism and antioxidant system of wheat (*Triticum aestivum* L.). Chemosphere. 47, 87-92.
- Furcal-Beriguete P., Herrera-Barrantes A. 2013. Efecto del silicio y plaguicidas en la fertilidad del suelo y rendimiento del arroz. Agron. Mesoam. 24, 365-378.
- Gallardo A.F., Pino M.B., Alvear M.Z., Borie B.F. 2005. Efecto del aluminio en la producción de materia seca y en la actividad nitrato reductasa de dos variedades de trigo, creciendo en soluciones nutritivas. R.C. Suelo Nutr. Veg. 5, 30-36.
- Germ, M., Stibilj, V., Kreft I. 2007. Metabolic importance of selenium for plants. Eur. J. Plant Sci. Biotech. 1, 91-97.
- Hajiboland R., Keivanfar N. 2012. Selenium supplementation stimulates vegetative and reproductive growth in canola (*Brassica napus* L.) plants. Acta Agric. Slov. 9, 13-19. doi: 10.2478/v10014-012-0002-7
- Hartikainen H., Xue T., Piironen V. 2000. Selenium as an anti-oxidant and pro-oxidant in ryegrass. Plant Soil. 225, 193-200.
- Hawrylak-Nowak B. 2008. Effect of selenium on selected macronutrients in maize plants. J. Elementol. 13, 513-519.
- Hawrylak-Nowak B. 2013. Comparative effects of selenite and selenate on growth and selenium accumulation in lettuce plants under hydroponic conditions. Plant Growth Regul. 70, 149-157. doi: 10.1007/s10725-013-9788-5.
- Jowkar M.M., Kafi M., Khalighi A., Hasanzadeh N. 2012. Evaluation of aluminum sulfate as vase solution biocide on postharvest microbial and physiological properties of 'Cherry Brandy' rose. Ann. Biol. Res. 3, 1132-1144.
- Kazemi M., Ameri A. 2012. Effect of Ni, Co, SA and sucrose on extending the vase-life of lily Cut Flower. Iranica J. Energy Environ. 3, 162-166. doi: 10.5829/idosi.ijee.2012.03.02.0258
- Kazemi M., Holami G., Bahmanipour F. 2012. Effect of silicon and acetylsalicylic acid on antioxidant activity, membrane stability and ACC-oxidase activity in relation to vase life of carnation cut flowers. Biotechnol. 11, 87-90. doi: 10.3923/biotech.2012.87.90
- KeLing H., Ling Z., JiTao W., Yang Y. 2013. Influence of selenium on growth, lipid peroxidation and antioxidative enzyme activity in melon (*Cucumis melo* L.) seedlings under salt stress. Acta. Soc. Bot. Pol. 82, 193-197. doi: 10.5586/asbp.2013.023
- Li-Jen L., Yu-Han L., Kuang-Liang H., Wen-Shaw C. 2000. Vase life of *Eustoma grandiflorum*



- as affected by aluminium sulfate. Bot. Bull. Acad. Sin. 42, 35-38.
- Ma J. F., Yamaji N. 2006. Silicon uptake and accumulation in higher plants. Trends Plant Sci. 11, 392-397.
- Mandujano-Piña M., Colinas-León Ma. T., Castillo-González A.M., Alía-Tejacal I., Valdez-Aguilar L.A. 2012. Cobalto como retardante de la senescencia de *Lilium* híbrido oriental en postcosecha. Rev. Chapingo Ser. Hortic. 18, 239-252. doi:10.5154/r.rchsh.2010.09.034
- Mohammadi M., Hashemabadi D., Kaviani B. 2012a. Improvement of vase life of cut tuberose (*Polianthes tuberosa* cv. 'Single') with aluminum sulfate. Ann. Biol. Res. 3, 5457-5461.
- Mohammadi M., Hashemabadi D., Kaviani B. 2012b. Effect of cobalt chloride on vase life and postharvest quality of cut tuberose (*Polianthes tuberosa* L.). Euro. J. Exp. Biol. 2, 2130-2133.
- Pilon-Smits E.A., Quinn C. F., Tapken W., Malagoli M., Schiavon M. 2009. Physiological functions of beneficial elements. Curr. Opin. Plant Biol. 12, 267-274. doi: 10.1016/j.pbi.2009.04.009
- Raya J.C.P., Aguirre C.L.M. 2009. Composición elemental de algunas especies de plantas silvestres mexicanas. Rev. Chapingo Ser. Cien. For. Ambient. 15, 95-99.
- Seyf M., Khalighi A., Mostofi Y., Naderi R. 2012. Study on the effect of aluminum sulfate treatment on postharvest life of the cut rose 'Boeing' (*Rosa hybrida* cv. Boeing). J. Hortic. Sci. 16, 128-132. doi: 10.5539/jas.v4n12p174
- Shahnaz G., Shekoofeh E., Kourosh D., Moohamadbagher B. 2011. Interactive effects of silicon and aluminum on the malondialdehyde (MDA), proline, protein and phenolic compounds in *Borago officinalis* L. J. Med. Plant Res. 5, 5818-5827.
- Teyebe B., Sakine F., Mohammad A.N., Mohammad H.A., 2013. The effect of chemical treatments on cut flower longevity of rosa hybrid cultivar Maroussia. Int. J. Agron. Plant Prod. 4, 450-453.
- Trejo-Téllez L.I., Gómez-Merino F.C., Alcántar-González G. 2007. Elementos benéficos. In: Nutrición de cultivos. G. Alcántar, L. I. Trejo-Téllez (eds.). México, D. F.: MundiPrensa y Colegio de Postgraduados. pp. 59-101.
- Trejo-Téllez L.I., Gómez-Merino F.C. 2012. "Nutrient solutions for hydroponic systems", in Hydroponics - A Standard Methodology for Plant Biological Researches, ed. T. Asao (Rijeka, Croatia: InTech), 1-22.
- Wang X.D., Ou-yang C., Fan Z.R., Gao S., Chen F., Tang L. 2010. Effects of exogenous silicon on seed germination and antioxidant enzyme activities of *Momordica charantia* under salt stress. J. Anim. Plant Sci. 6, 700-708.
- Watanabe T., Jansen S., Osaki M. 2005. The beneficial effect of aluminium and the role of citrate in Al accumulation in *Melastoma malabathricum*. New Phytol. 165, 773-80. doi: 10.1111/j.1469-8137.2004.01261.x

