

NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE ZINC y ÓXIDO DE ZINC/GRAFENO EMPLEADAS EN SOLUCIONES FLORERO DURANTE LA VIDA POSCOSECHA DE LISIANTHUS (*Eustoma grandiflorum*)

ZINC OXIDE AND ZINC OXIDE/GRAPHENE NANOPARTICLES USED IN VASE SOLUTIONS ON LISIANTHUS (*Eustoma grandiflorum*) POSTHARVEST LIFE

Soriano Melgar, L. A. A.^{1,2*}; López-Guerrero, A. G.²; Cortéz-Mazatan, G.³; Mendoza-Mendoza, E.^{1,4}; Peralta-Rodríguez, R. D.^{3*}

Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), ¹Cátedras-CONACyT. ²Departamento de Plásticos en la Agricultura. ³Departamento de Procesos de Polimerización. Blvd. Enrique Reyna Hermosillo 140, San José de los Cerritos, Saltillo, Coahuila, México. ⁴Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ciencias Químicas. Dr. Manuel Nava 6, San Luis Potosí, S. L. P., México.

*Autor de correspondencia: alexandra.soriano@ciqa.edu.mx

ABSTRACT

Recently, an ornamental flower known as lisianthus (*Eustoma grandiflorum*), with a vase life of up to 21 days, has been introduced into the Mexican market. In general, to extend the postharvest life of flowers, different vase solutions are used. The application of NPs of zinc oxide (ZnO) and zinc oxide/graphene (ZnO/G) on the postharvest life of lisianthus flowers was investigated, and different physiological and quality parameters were evaluated. The results show that the NPs of ZnO and ZnO/G allow maintaining the quality of the floral stem and the leaves during 16 days, by means of greater water absorption and weight gain, generating greater turgor in the leaves, firmness of the pedicel and stimulating the opening of the flowers, as well as more green coloration in leaves in comparison with conventional treatments. These results indicate that the tested NPs can be an alternative to extend the useful life of lisianthus in its application in vase solutions.

Keywords: Cut flowers, lisianthus, nanoparticles, vase solution, vase life.

RESUMEN

Recientemente, se ha introducido al mercado nacional una flor ornamental conocida como lisianthus (*Eustoma grandiflorum*), la cual presenta una vida de florero de hasta 21 días. En general, para mantener las flores poscosecha por más tiempo, se emplean diferentes soluciones florero. Se estudió la aplicación de NPs de óxido de zinc (ZnO) y óxido de zinc/grafeno (ZnO/G) sobre la vida poscosecha de flores de lisianthus, en donde se evaluaron diferentes parámetros fisiológicos y de calidad. Los resultados muestran que las NPs de ZnO y ZnO/G permiten mantener la calidad del tallo floral y las hojas durante 16 días, mediante una mayor absorción de agua y ganancia de peso. Esto, genera mayor turgencia en las hojas, firmeza del pedicelo, estimula la apertura de las flores y una coloración más verde en hojas en comparación con tratamientos convencionales, indicando que las NPs pueden ser una alternativa para prolongar la vida útil de lisianthus en su aplicación en soluciones florero.

Palabras claves: Flores de corte, lisianthus, nanopartículas, soluciones florero, vida de florero.

Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 8, agosto. 2018, pp: 137-144.

Recibido: febrero, 2018. **Aceptado:** julio, 2018.



INTRODUCCIÓN

La floricultura y ornamentales tienen un alto potencial económico debido a que ha crecido el interés en adquirir flores de corte (Asghari *et al.*, 2014). Sin embargo, en general, su vida de florero es aún muy corta, por lo que se tienen grandes pérdidas en la producción durante el tiempo de transporte (Senapati *et al.*, 2016), las cuales se calculan en hasta 20% de la producción total (Asghari *et al.*, 2014). En México, no se lleva a cabo un manejo adecuado que permita mantener la calidad de las flores poscosecha. Éstas son atadas, depositadas en cajas y trasladadas en malas condiciones. Incluso, llegan a ser almacenadas sin refrigeración y sin cuidados poscosecha; lo que repercute en su vida de anaquel (SAGARPA, 2017) y provoca el marchitamiento acelerado de las flores, reduciendo la calidad y la vida de florero (Ferrante *et al.*, 2015).

Las flores, al ser cortadas y separadas de la planta madre, pierden el aporte de agua y minerales por parte de las raíces, acelerando su senescencia (Mishra y Dwivedi, 2015). Por lo anterior, la flor requiere una gran cantidad de agua y azúcares para seguir con su metabolismo activo y mantenerse "viva". Las soluciones más empleadas para tratar de prolongar la vida poscosecha de las flores son conocidas como soluciones pulso y/o florero, las cuales proporcionan al tallo floral agua y azúcares (Asif *et al.*, 2016; Mehraj *et al.*, 2016). Adicionalmente, se añaden fitorreguladores o agentes germicidas que ayudan a que las flores permanezcan en buen estado por más tiempo (Asrar, 2012; Asghari *et al.*, 2014). El desarrollo de microorganismos es el principal problema de las soluciones florero, ya que bloquean los haces vasculares del tallo floral interrumpiendo el paso del agua hacia el resto de la flor, desencadenando su marchitamiento (Asghari *et al.*, 2014).

La vida de florero depende de la temperatura de almacenamiento, los tratamientos pre- y poscosecha, y el potencial genético de la variedad de la flor (In *et al.*, 2016). Sobre esto, recientemente se han buscado alternativas de flores con una mayor vida de anaquel y con mayor potencial comerciable. Así, una variedad nativa de México, que se ha introducido a la floricultura es *lisianthus* (*Eustoma grandiflorum*), la cual ha mostrado buena aceptación internacional (Namesny,

2005). En tallos florales de *lisianthus* se han probado soluciones pulso para prolongar su vida de florero. Cruz-Crespo *et al.* (2006) evaluaron el efecto de tratamientos a base de un agente germicida (8-HQC), sacarosa y giberelinas, observando que el tratamiento con 8-HQC y sacarosa incrementó la apertura de los botones florales, la intensidad del color y el contenido de antocianinas de la flor. Kuang y Wen (2006) emplearon soluciones pulso con citoquininas y sacarosa incrementando la vida de *lisianthus*.

Por otro lado, en los últimos años se ha incursionado en la aplicación de nanopartículas (NPs) en áreas de investigación como la agricultura, en donde generan efectos, tales como: promotores del crecimiento de las plantas a nivel precosecha (Arruda *et al.*, 2015) o como nanofertilizantes empleando NPs de óxido de cobre y de zinc (Sabir *et al.*, 2014), ya que éstos son nutrimentos minerales importantes para el crecimiento y el metabolismo de la planta y el estudio de su efecto en flores de corte podría generar nuevas aplicaciones en poscosecha. Recientemente, se han comenzado a emplear NPs en soluciones florero, como los iones de plata. El fin de su uso es disminuir el crecimiento de microorganismos, ya que estos iones son tóxicos para los agentes fitopatógenicos (Safa *et al.*, 2012). Sin embargo, se desconoce el efecto de NPs como ZnO y ZnO/G, las cuales también poseen efectos biocidas o antibacteriales (Hu *et al.*, 2010). Así, el objetivo de este estudio fue determinar el efecto de las NPs de ZnO y ZnO/G aplicadas en soluciones florero sobre la calidad y vida de anaquel de flores de *lisianthus*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención del material vegetativo

Se adquirieron plántulas de *lisianthus* (*Eustoma grandiflorum*) de la variedad 'Mariachi blue' en la empresa Plántulas de Tetela S. de R.L. de C.V. (Cuernavaca, Morelos, México). Las flores se desarrollaron en las instalaciones del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), en un invernadero de mediana tecnología con cubierta plástica, malla sombra, sistema de riego automatizado, fertilización y control ambiental (22 ± 5 °C), durante los meses de octubre de 2017 a marzo de 2018 (Figura 1).



Figura 1. Desarrollo de plantas de *lisianthus* bajo condiciones de invernadero.

Una vez desarrollados los botones florales y cuando se encontraban abiertas al menos dos flores, se cortaron los tallos florales a partir de un centímetro (cm) por arriba de la segunda hoja desarrollada en la base del tallo. Una vez cortados, los tallos florales se colocaron en soluciones en floreros de 10 litros (L) de capacidad, conteniendo 7 L de la solución florero y contando con un máximo de 15 tallos florales por recipiente. La unidad experimental consistió en 6 tallos florales por cada tratamiento y día de muestreo, empleando el número total de tallos florales obtenidos.

Síntesis de nanopartículas de ZnO y ZnO/G

Se sintetizaron NPs de ZnO con morfología esférica y tamaños inferiores a 30 nm, las cuales fueron obtenidas a 350 °C siguiendo una metodología innovadora y de química verde que usa sales fundidas como medios de reacción inorgánicos (Miranda-Hernández, 2016). Las NPs de ZnO/G fueron sintetizadas a la misma temperatura empleando una etapa adicional de pre-exfoliación mecánica de grafeno, seguido a un tratamiento térmico en $\text{LiNO}_3/\text{NaNO}_3$ que dio lugar a la exfoliación total de grafeno y la precipitación simultánea de ZnO (Tea-Rodríguez, 2017). Las NPs de ZnO/G observadas por TEM evidenciaron la deposición de las NPs de ZnO sobre la superficie de las láminas de grafeno.

Aplicación de tratamientos

Los tratamientos fueron los siguientes: 1) control negativo, sólo agua; 2) control positivo, solución con sacarosa al 4%; 3) solución con 10 mg/L (10 ppm) de NPs-ZnO; 4) solución con 10 mg/L (10 ppm) de NPs-ZnO/G. Las NPs no son solubles, por lo que las dispersiones se sonicaron en un baño ultrasónico (Branson, model 5800 serie CPXH, EUA) con pulsos de 30 s hasta que las NPs estuvieran totalmente dispersas. Las soluciones y las dispersiones se ajustaron a pH 5.8 y se mantuvieron a temperatura ambiente. Los tallos florales cortados fueron lavados con agua para eliminar impurezas, se eliminaron las hojas de la zona basal, se co-

locaron dentro de cada uno de los tratamientos y, con unas tijeras para cortar flores, previamente tratadas con etanol (96%, v/v), se cortó alrededor de 1.5 cm del tallo para evitar la embolia aérea. Todos los tratamientos fueron almacenados a temperatura ambiente (25 ± 2 °C) con humedad relativa del $60 \pm 5\%$. Se tomaron muestras de hojas y flores al día cero y cada 4 días hasta por 16 días de vida de florero.

Parámetros fisiológicos y de calidad poscosecha

Altura y diámetro del tallo. Se llevó a cabo la medición de la altura y el diámetro de tallo floral para tener las muestras en condiciones similares antes de la aplicación de los tratamientos. La altura del tallo floral se realizó con la ayuda de una cinta métrica y el diámetro de tallo empleando un vernier digital (Caliper Accuracy, China).

Calidad del tallo floral, hojas y flores. Para evaluar el efecto de los tratamientos se midieron diferentes parámetros de calidad en el tallo, la turgencia de las hojas y la calidad de la flor mediante escalas (Figuras 2-4): (5) corresponde a la mejor calidad, (3) al límite comercial y (1) a la calidad no comerciable.

Curvatura del pedicelo. Se midió con un transportador, considerando como 0° a la flor totalmente erguida.

Número de botones, porcentaje y apertura floral. Se cuantificó el número de botones florales abiertos (BFA)



Figura 2. Escala empleada para valorar la calidad del tallo floral.



Figura 3. Escala empleada para valorar la turgencia de las hojas.

y se calculó el porcentaje de acuerdo al número total de botones presentes en el tallo floral mediante la ecuación (1). Dónde: B_A es igual a botones abiertos durante los días de evaluación y B_T es igual a los botones totales.

$$BFA (\%) = (B_A / B_T) * 100 \quad (1)$$

Adicionalmente, para determinar si los tratamientos estimulan la apertura de la flor, se empleó la escala mostrada en la Figura 5. Dónde: (1) corresponde a botones que comienzan a abrir, (5) a flores totalmente abiertas y (6) a flores senescentes.

Diámetro de la flor. Se midió con un vernier digital (Caliper Accuracy, China).

Color. Se midió en flores y hojas mediante un colorímetro manual (Hunterlab miniscan, MSEZ-4500L, EUA), en la escala CIE Lab*. Las mediciones se realizaron en la tercera, cuarta y quinta hoja con tres repeticiones en diferentes segmentos de la misma hoja; considerando la primera hoja aquella que se encuentra en la región más apical de la planta. En flores, se tomó la zona intermedia de los pétalos.

Clorofilas y antocianinas. Se empleó la técnica de Lichtenthaler y Wellburn, (1983), en 1 g de muestra (hojas), el cual se homogeneizó con una solución de metanol al 80% en frío y se centrifugó para eliminar los restos de tejido vegetal. Se midió la absorbancia a 666 y 653 nm. El contenido de clorofilas se expresó en $\mu\text{g/g}$ de peso fresco (PF) mediante las ecuaciones (2) y (3). Dónde: C_a corresponde a la clorofila a, C_b a la clorofila b y A a la absorbancia en diferentes longitudes de onda.

$$C_a = 15.65 A_{666} - 7.34 A_{653} \quad (2)$$

$$C_b = 27.05 A_{653} - 11.21 A_{666} \quad (3)$$

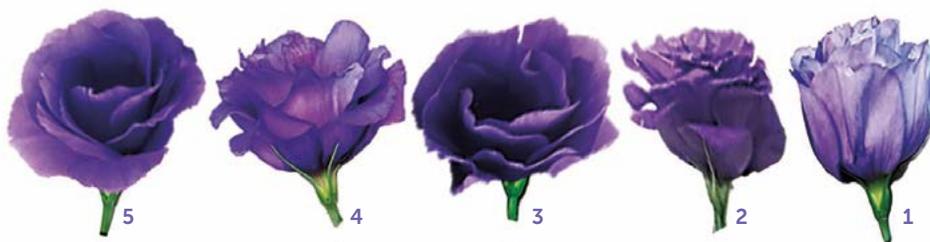


Figura 4. Escala empleada para valorar la calidad de las flores.

El contenido de antocianinas se realizó mediante el método de pH diferencial con un buffer de cloruro de potasio (pH 1) y buffer de acetato de sodio (pH 4.5), estos se mezclaron con la muestra y se midió la absorbancia de ambas soluciones a 520 nm y a 720 nm (Giusti y Wrolstad, 2001). Se calculó la concentración de antocianinas totales ($\mu\text{g/g}$ PF) con las ecuaciones (4) y (5):

$$\text{Absorbancia (A)} = (A_{520 \text{ pH}1} - A_{700 \text{ pH}1}) - (A_{520 \text{ pH}4.5} - A_{700 \text{ pH}4.5}) \quad (4)$$

$$\text{Antocianinas totales} = (A / 26900) (1 \text{ g}) / (\text{PM de antocianina}) (100 \text{ mL}) \quad (5)$$

Porcentaje de peso. En muestras independientes, se llevó a cabo la medición del porcentaje de peso mediante una balanza analítica (OHAUS modelo PA3102, China). Se tomó como 100%, el peso inicial al momento del corte de cada uno de los tallos florales y estos fueron pesados cada día de evaluación. Se observó la pérdida o ganancia de peso durante la vida de florero bajo los diferentes tratamientos.

Análisis estadístico. El diseño experimental fue completamente al azar. Se evaluaron los supuestos de normalidad y homocedasticidad. El análisis de las variables se realizó mediante un análisis de varianza y una prueba poshoc de Tukey ($P \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

No hubo diferencias significativas ($P=0.529$) en la altura ni en el diámetro ($P=0.081$) de los tallos florales empleados en los diferentes tratamientos, por lo que los trata-

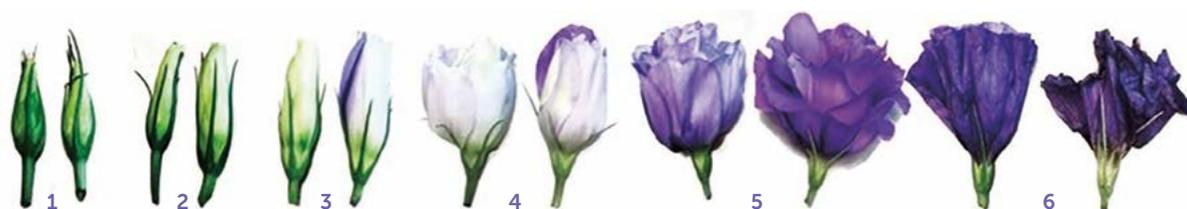


Figura 5. Escala modificada de Cruz-Crespo et al. (2006) para evaluar la apertura floral de lisianthus.

mientos parten de condiciones similares. La calidad del tallo floral (Figura 6A), no presentó diferencias ($P=0.454$) entre tratamientos, incluso durante el día 16 ($P=0.052$). Por lo que todos los tratamientos, incluyendo al control negativo, permitieron que la flor de lisianthus mantuviera por 16 días una buena calidad dentro del límite comercial indicado en la escala. La turgencia de la hoja (Figura 6B), es importante para la aceptación visual del ramo completo, por lo que se evaluó de manera independiente. Los resultados muestran diferencias significativas ($P\leq 0.05$) entre tratamientos, donde el control positivo (sacarosa al 4%) generó pérdida de la turgencia, mientras que la aplicación de agua y de las diferentes NPs ZnO y ZnO/G, permitieron mantener mayor turgencia de las hojas, incluso durante el día 16 ($P\leq 0.05$). La calidad de la flor (Figura 6C) también mostró diferencias entre tratamientos ($P=0.008$), donde los controles (negativo y positivo) presentan una mejor apariencia general de la flor, en comparación con los tratamientos con NPs ZnO y ZnO/G. Así, la calidad de la hoja y su turgencia representan los principales atractivos para decidir si las flores presentan o no buena calidad.

Otra característica particular de las flores de lisianthus es la curvatura del pedicelo, ya que esta flor es sensible a la luz y se mueve a favor del estímulo. Sin embargo, se pudo observar que con una curvatura mayor a 45° , el

pedicelo ya no cuenta con fuerza para poder soportar a la flor. Ante esto, se consideró este parámetro para evaluar la calidad de las flores, encontrando que existe diferencia significativa entre los tratamientos ($P=0.046$), siendo el control negativo quien presenta una mayor curvatura del pedicelo, seguido por el control positivo. Por otro lado, los tratamientos con NPs ZnO y ZnO/G permiten mantener por más tiempo la firmeza de la flor (Figura 6D).

Para determinar si los tratamientos estimulaban la apertura de la flor, se consideró el número de botones abiertos, el diámetro de la flor, el porcentaje de botones abiertos y la escala de apertura de los botones florales en diferentes etapas de desarrollo (Figura 7). No hubo diferencias significativas en el número de botones abiertos (Figura 7A), entre tratamientos ($P=0.517$) ni entre los diferentes días ($P=0.132$). Tampoco en el diámetro de la flor ($P=0.305$ y $P=0.623$, respectivamente. Figura 7B), aunque la tendencia es a ser mayor el diámetro en las flores tratadas con NPs ZnO y ZnO/G en comparación con solo agua (control negativo) o sacarosa (control positivo). Una característica importante de la lisianthus es su flor grande, por lo que esto representa un parámetro de calidad importante. Además, el diámetro de la flor en el día 16 (Figura 7B), alcanza valores similares a las de las flores recién cortadas.

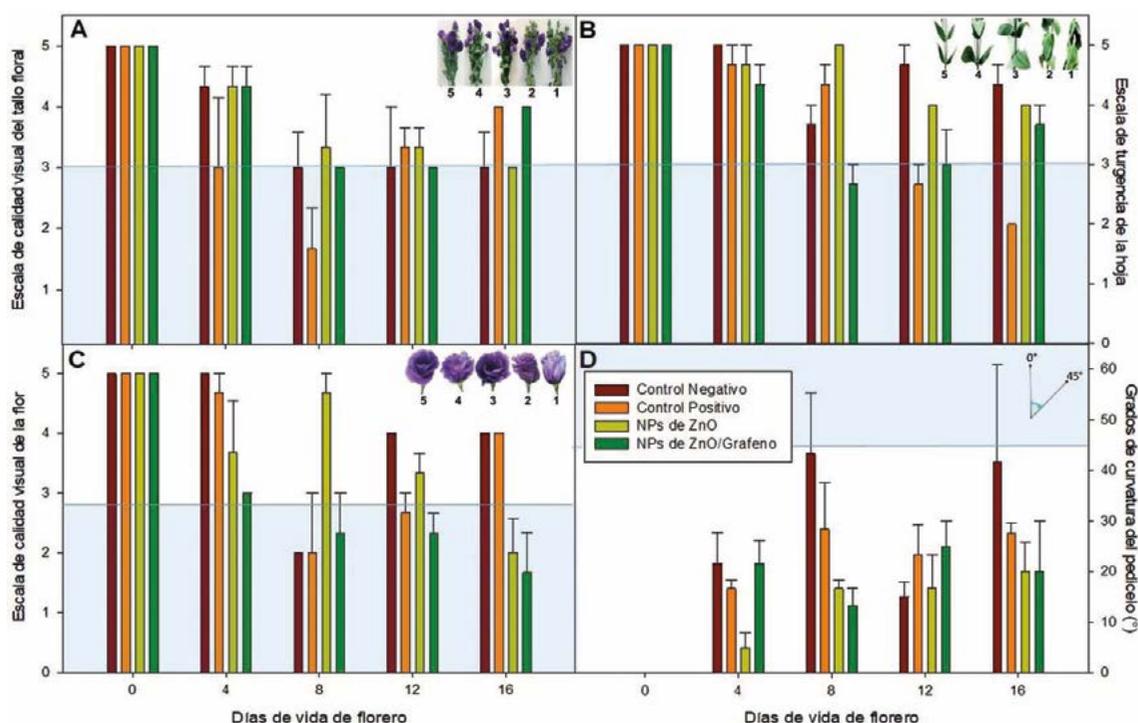


Figura 6. Calidad del tallo floral (A), turgencia de la hoja (B), calidad de la flor (C) y curvatura de pedicelo (D). Las barras muestran el promedio \pm desviación estándar.

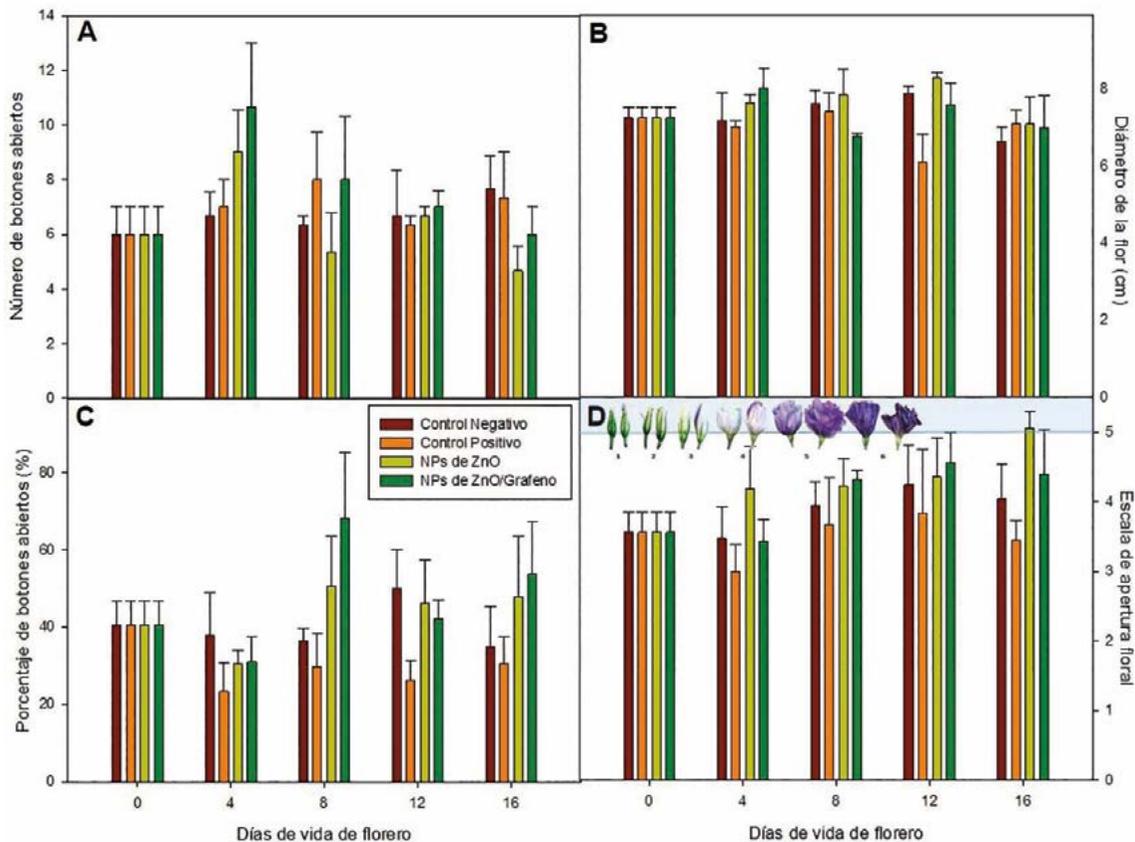


Figura 7. Número de botones florales (A), diámetro de la flor (B), porcentaje de botones abiertos (C) y apertura floral (D). Las barras muestran el promedio \pm desviación estándar. La zona sombreada representa la tendencia del tallo floral a tener más flores marchitas.

El porcentaje de botones abiertos muestra que existen diferencias significativas entre tratamientos ($P=0.045$), en donde se observó un mayor porcentaje de botones abiertos en los tratamientos con NPs, principalmente con NPs-ZnO/G, seguido de NPs-ZnO (Figura 7C). En los resultados de la apertura floral (Figura 7D), los datos no permiten ver diferencias significativas ($P=0.078$). Sin embargo, la tendencia es que los tratamientos de NPs-ZnO y NPs-ZnO/G presenten mayor apertura floral, incluso con tendencia a que las flores estén senescentes. Lo anterior, coincide con los datos de calidad de la flor (Figura 6C), donde durante el día 16, las flores de los tratamientos con NPs presentaban un mayor marchitamiento. Esto indicaría que las NPs están estimulando/estresando a las flores, induciendo una mayor apertura y senescencia. Al respecto, Laware y Raskar (2014) reportaron que en plantas de ajo tratadas con 20 ppm de NPs-ZnO se incrementa y acelera la floración, lo que indica su efecto elicitor.

Los resultados del peso de la flor, indican que esta gana agua durante los primeros días, principalmente con los tratamientos de NPs-ZnO y NPs-ZnO/G ($P\leq 0.05$, Figura

8), cuya ganancia se mantuvo durante los 16 días de almacenamiento en el tratamiento de NPs-ZnO/G. Mientras que en la solución de sacarosa al 4% (control positivo), el peso se reduce de manera considerable (hasta 30%), lo cual se relaciona con la pérdida de la turgencia de las hojas (Figura 6B). Cruz-Crespo *et al.*, (2006)

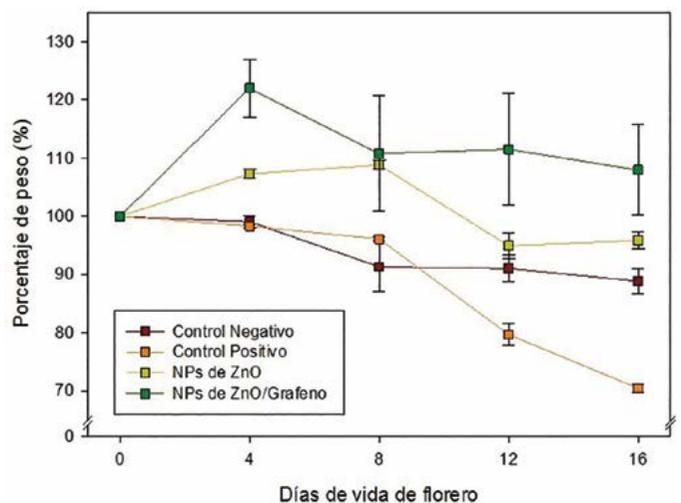


Figura 8. Porcentaje de peso a lo largo de la vida de florero de *lilanthus* bajo diferentes tratamientos. Las líneas muestran el promedio \pm desviación estándar.

observaron el aumento del peso relativo en flores de *lisianthus* durante los primeros días de su vida en florero. Probablemente, el alto contenido de sacarosa esté incrementando el contenido de microorganismos en la solución florero, lo que impide el paso del agua. Aunque, existen diferentes reportes donde los tratamientos con sacarosa en soluciones florero generan una menor ganancia de peso en las flores en comparación con otros tratamientos (Asrar, 2012; Asif et al., 2016). Además, la ganancia de peso por parte de los tratamientos con NPs se debe tanto a la presencia del ZnO como a la del grafeno.

En los resultados del color de la flor, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos en los diferentes parámetros evaluados: L ($P=0.070$), a^* ($P=0.618$), b^* ($P=0.438$) y antocianinas ($P=0.086$; Cuadro 1). En hojas, los resultados no muestran diferencias significativas entre tratamientos en el contenido de clorofila a ($P=0.051$) y clorofila b ($P=0.072$; Cuadro 1). Sin embargo, el color expresado en L ($P\leq 0.05$), a^* ($P\leq 0.05$) y b^* ($P\leq 0.05$), se observó que la L es mayor en el control positivo y control negativo; mientras que los valores de a^* y b^* indican que el control positivo tiende hacia el color amarillo, mientras que un color verde más intenso se presenta en el tratamiento de NPs-ZnO/G, seguido por NPs-ZnO y control negativo (Cuadro 1).

CONCLUSIÓN

Las NPs de ZnO y ZnO/G permiten mantener la calidad del tallo floral y las hojas durante 16 días, mediante una mayor absorción de agua y ganancia de peso, lo que genera una mayor turgencia en las hojas y firmeza del pedicelo. Además, estimulan la apertura de las flores y una coloración más verde en hojas en comparación con tratamientos convencionales. Lo que indica que las NPs pueden ser una alternativa para prolongar la vida útil de *lisianthus* en su aplicación en soluciones florero.

AGRADECIMIENTOS

Al Laboratorio Nacional de Materiales Gráficos, al Laboratorio Nacional de Micro y Nano Fluidica y al CIQA (6309) por el financiamiento de la presente investigación.

LITERATURA CITADA

- Arruda S.C.C., Silva A.L.D., Galazzi R.M., Azevedo R.A., Arruda M.A.Z. 2015. Nanoparticles applied to plant science: A review. *Talanta* 131: 693-705.
- Asghari R., Salari A., Gharehdaghi S. 2014. Effect of pulsing solution and packaging type under exogenous ethylene on physiological characteristics and post harvesting quality of cut roses (*Rosa hybrida*). *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences* 14: 329-335.
- Asif M., Ahmad I., Qasim M., Ahmad R. 2016. Effect of pulsing with various preservatives on postharvest performance of cut

Cuadro 1. Color, contenido de clorofilas y antocianinas en hoja y flor de *lisianthus*.

| Tratamiento | Día | Color de la hoja | | | Clorofila a ($\mu\text{g/g}$ PF) | Clorofila b ($\mu\text{g/g}$ PF) | Color de la flor | | | Antocianinas ($\mu\text{g/g}$ PF) |
|------------------|-----|------------------|--------------|-------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------|------------|-------------|------------------------------------|
| | | L | a^* | b^* | | | L | a^* | b^* | |
| Control negativo | 0 | 37.82±1.39b | -9.17±0.25b | 12.25±1.03b | 383.3±50.3 | 131.5±4.9 | 7.30±1.16 | 26.23±3.96 | -29.10±2.94 | 253.3±57.6 |
| | 4 | 38.31±0.49b | -9.21±0.21b | 15.81±0.88b | 200.4±32.1 | 71.5±12.0 | 19.84±1.06 | 19.14±2.05 | -24.31±2.59 | 406.5±54.6 |
| | 8 | 40.83±0.51b | -10.89±0.20b | 22.96±0.88b | 228.6±14.9 | 77.6±3.2 | 24.63±1.61 | 19.18±0.42 | -26.37±0.58 | 735.2±26.4 |
| | 12 | 42.77±0.50b | -10.16±0.19b | 18.38±0.61b | 282.8±3.80 | 106.8±8.1 | 7.97±0.54 | 33.00±1.30 | -31.95±4.33 | 503.8±56.4 |
| | 16 | 40.60±0.60b | -9.76±0.07b | 16.39±1.95b | 272.6±9.20 | 149.0±30.6 | 15.64±1.80 | 19.99±2.01 | -24.44±1.61 | 639.9±64.3 |
| Control positivo | 0 | 37.82±1.39a | -9.17±0.25c | 12.25±1.03a | 383.3±50.3 | 131.5±4.9 | 7.30±1.16 | 26.23±3.96 | -29.10±2.94 | 253.3±57.6 |
| | 4 | 40.24±1.10a | -9.52±0.14c | 16.86±0.71a | 240.4±21.0 | 114.8±2.4 | 5.80±1.12 | 32.66±2.31 | -34.44±2.30 | 496.9±10.2 |
| | 8 | 39.97±0.86a | -10.03±0.19c | 19.55±1.13a | 219.8±6.10 | 120.8±1.1 | 17.77±0.83 | 25.32±1.18 | -27.94±1.36 | 459.9±67.3 |
| | 12 | 43.33±0.57a | -9.66±0.15c | 19.66±0.78a | 212.8±19.0 | 103.3±7.0 | 19.81±1.72 | 19.44±1.85 | -24.17±2.79 | 509.3±45.9 |
| | 16 | 51.47±1.92a | -14.12±0.27c | 32.24±2.06a | 239.6±23.7 | 151.6±31.0 | 26.15±0.56 | 19.91±1.41 | -24.83±1.60 | 295.7±74.3 |
| NPs de ZnO | 0 | 37.82±1.39b | -9.17±0.25b | 12.25±1.03b | 383.3±50.3 | 131.5±4.9 | 7.30±1.16 | 26.23±3.96 | -29.10±2.94 | 253.3±5.8 |
| | 4 | 36.85±0.57b | -10.03±0.22b | 18.24±0.84b | 300.5±11.4 | 114.5±17.7 | 21.81±1.76 | 22.86±0.43 | -26.71±0.79 | 591.3±4.8 |
| | 8 | 41.64±0.82b | -10.48±0.22b | 20.51±1.13b | 221.8±44.5 | 175.2±52.1 | 9.93±1.03 | 25.37±2.05 | -27.78±3.03 | 791.5±3.6 |
| | 12 | 40.78±0.75b | -10.11±0.25b | 19.44±1.07b | 259.0±16.7 | 118.8±11.3 | 20.03±1.48 | 22.19±1.34 | -28.72±2.20 | 601.7±12.2 |
| | 16 | 37.48±1.02b | -10.06±0.18b | 17.30±0.92b | 291.2±13.6 | 147.4±4.3 | 27.74±2.49 | 19.92±1.08 | -26.40±0.70 | 390.9±72.0 |
| NPs de ZnO/G | 0 | 37.82±1.39c | -9.17±0.25a | 12.25±1.03c | 383.3±50.3 | 131.5±4.9 | 7.30±1.16 | 26.23±3.96 | -29.10±2.94 | 253.3±57.6 |
| | 4 | 37.10±0.58c | -8.79±0.16a | 13.33±0.57c | 302.7±26.8 | 143.4±11.3 | 16.05±1.31 | 25.03±0.74 | -27.32±0.78 | 562.2±92.5 |
| | 8 | 33.99±0.58c | -8.18±0.32a | 11.72±0.88c | 145.9±9.50 | 137.3±13.2 | 18.88±0.47 | 22.99±3.42 | -27.01±2.88 | 423.8±133.1 |
| | 12 | 37.85±0.67c | -9.74±0.19a | 16.95±0.59c | 181.6±24.5 | 120.5±8.9 | 14.24±2.39 | 26.03±1.25 | -30.27±0.70 | 880.9±40.0 |
| | 16 | 35.33±0.58c | -9.38±0.27a | 15.48±1.00c | 185.8±9.20 | 116.1±3.4 | 24.50±1.85 | 24.01±0.47 | -29.66±1.37 | 559.8±89.8 |

Promedio±desviación estándar, n=6 por triplicado. Diferentes letras indican diferencias significativas entre tratamientos. NPs, nanoparticulas; G, grafeno; ZnO, óxido de zinc; PF, peso fresco.

- Polianthes tuberosa* L. 'single' spikes. Pakisyan Journal of Agricultural Science 53: 331-338.
- Asrar A.W.A. 2012. Effects of some solutions on vase life and keeping quality of snapdragon (*Antirrhinum majus* L.) cut flowers. Journal of the Saudi Society of Agricultural Science 11: 29-35.
- Cruz-Crespo E., Arévalo-Galarza L., Cano-Medrano R., Gaytán-Acuña E.A. 2006. Soluciones pulso en la calidad postcosecha de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* Raf.) cv. 'echo blue'. Agricultura Técnica en México 32: 191-200.
- Ferrante A., Trivellini A., Scuderi D., Vernieri P. 2015. Post-production physiology and handling of ornamental potted plants. Postharvest Biology and Technology 100: 99-108.
- Giusti M.M., Wrolstad R.E. 2001. Anthocyanins. Characterization and measurement with UV-Visible spectroscopy. In: Currents Protocols in Food Analytical Chemistry (Wrolstad RE ed.). John Wiley and Sons. New York, USA.
- Hu W., Peng C., Luo W., Lv M., Li X., Li D., Fan C. 2010. Graphene-based antibacterial paper. ACS Nano 4: 4317-4323.
- In B.C., Lee J.H., Lee A.K., Lim J. 2016. Conditions during export affect the potential vase life of cut roses (*Rosa hybrida* L.). Horticulture, Environment and Biotechnology 57: 504-510.
- Kuang L.H., Wen S.C. 2006. BA and sucrose increase vase life of cut Eustoma flowers. HortScience 37: 547-549.
- Laware S.L., Raskar S. 2014. Influence of Zinc Oxide nanoparticles on growth, flowering and seed productivity in onion. International Journal of Current Microbiological Science 3: 874-881.
- Lichtenthaler H., Wellburn A. 1983. Determinations of total carotenoids and chlorophyll a and b of leaf extracts in different solvents. Biochemical Society Transactions 11: 591-592.
- Mehraj H., Shiam I.H., Taufique T., Shamsuzzoha M., Jamal-Uddin A.F.M. 2016. Effects of floral preservative solutions for vase life evaluation of Gerbera. Journal of Bioscience and Agricultural Research 9: 804-811.
- Miranda-Hernández A.M. 2016. Síntesis verde, caracterización estructural y propiedades antimicrobianas de nanopartículas de óxidos de zinc y cobre. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Coahuila, México.
- Mishra V.I.G.Y.A., Dwivedi S.K. 2015. Postharvest Management of Fresh Cut Flowers. Postharvest Biology and Technology of Horticultural Crops. Principles and Practices for Quality Maintenance. Apple Academic Press and CRC Press Taylor and Francis Group. Waretown, NJ, USA. pp. 347-399.
- Namesny A. 2005. De Lisianthus a Capsicum: mejora genética en ornamentales. Horticultura Internacional 47: 34-37.
- Sabir S., Arshad M., Chaudhari S.K. 2014. Zinc oxide nanoparticles for revolutionizing agriculture: synthesis and applications. The Scientific World Journal 2014: 2-9. Article ID 925494.
- Safa Z., Hashemabadi D., Kaviani B. 2012. Improving the vase life of cut Gerbera (*Gerbera jamesonii* L. cv. 'Balance') flower with silver nano-particles. European Journal of Experimental Biology 2: 2489-2492.
- SAGARPA. 2017. Producción de rosas. <https://www.gob.mx/sagarpa/prensa/produccion-de-rosas-garantiza-abasto-en-dia-de-san-valentin>
- Senapati A.K., Raj D., Jain R., Patel N.L. 2016. Advances in Packaging and Storage of Flowers. Editors, N.L. Patel, S.L. Chawla and T.R. Ahlawat New India Publishing Agency, New Delhi, India. pp. 473-488.
- Tea-Ramírez L.A. 2017. Síntesis verde, caracterización estructural y determinación de la actividad fotocatalítica de grafeno y compositos grafeno/ZnO. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico de Saltillo, México.

