

Soluciones hidratantes en dos cultivares de nardo (*Polianthes tuberosa*): respuestas físicas, fisiológicas y bioquímicas

Hydrating solutions in two tuberose (*Polianthes tuberosa*) cultivars: physical, physiological and biochemical responses

Sandy Lizbeth Fernando-Santos¹, Gloria Alicia Pérez-Arias^{1*}, Iran Alia-Tejagal¹, Clara Pelayo Zaldívar², Víctor López-Martínez², Porfirio Juárez-López², Dagoberto Sánchez-Guillén¹

¹ Facultad de Ciencias Agropecuarias, ³Escuela de Estudios Superiores de Xalostoc, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Av. Universidad, Núm. 1001, Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos. C. P. 62209.

² Departamento de Ciencias de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana, México, Av. San Rafael Atlixco 186, Col. Vicentina. 09340. Iztapalapa, Distrito Federal, México.

RESUMEN

Espigas de nardo (*Polianthes tuberosa*) 'Mexicano' y 'Perla' con 5 ó 1 flores basales abiertas, se trataron con soluciones hidratantes (SH) conteniendo ácido gibbélico (AG₃), benciladenina (BA), ácido amino-oxiácético (AOA), ácido cítrico (AC), sacarosa (Sac) o hidroxiquinoleina citrato (HQC) con el objetivo de evaluar los cambios físicos, químicos y fisiológicos durante poscosecha, para posteriormente desarrollar tecnologías que incrementen la vida útil de esta especie ornamental. Se utilizó un experimento completamente al azar, la unidad experimental fue una espiga con seis a ocho repeticiones. Los resultados indican que el peso fresco relativo, consumo de agua y número de flores abiertas se incrementó; la respiración y azúcares totales disminuyeron en ambas variedades, cuando se aplicaron SH con AC o BA. La apariencia fue buena por cinco días en 'Mexicano' en las espigas hidratadas con AC o BA+ Sac y en 'Perla' por siete días en todos los tratamientos donde se aplicó SH. La actividad de peroxidasa, catalasa y superóxido dismutasa fue mayor en las espigas testigo y menor cuando se aplicaron las SH con BA + Sac o AC. En conclusión, la hidratación con AC ó BA mejoran el metabolismo y calidad de las espigas de nardo 'Mexicano' y 'Perla' en poscosecha.

Palabras clave: Nardo; peroxidasa; catalasa; superóxido dismutasa; respiración.

ABSTRACT

Tuberose (*Polianthes tuberosa*) 'Mexicano' and 'Perla' spikes, were harvested with 5 or 1 open basal flowers, and then treated with hydrating solutions containing gibberellic acid, benzyladenine, amino oxyacetic acid, citric acid, sucrose or hydroxyquinoline citrate, to evaluate postharvest physical, chemical and physiological changes, for a later technological development to increase the useful life of this ornamental plant. We used a randomized experimental design, with a spike as the experimental unit and six or eight repetitions. Our results indicate that in both varieties, the relative fresh weight and water consumption and the number of open flowers increased, while respiration and total sugars decreased, when treated with HS containing AC or BA. The appearance

was good for five days in 'Mexicano' spikes hydrated with AC or BA + Sac, while in 'Perla', for seven days in all HS-applied treatments. Peroxidase, catalase and superoxide dismutase enzymatic activities were high in control spikes and low when hydrated with AC or BA. In conclusion, hydration with AC or BA improves the metabolism and quality of 'Mexicano' and 'Perla' spikes.

Key words: Tuberose, peroxidase, catalase, superoxide dismutase, respiration.

INTRODUCCIÓN

El nardo es una planta ornamental originaria de México (Trueblood, 1973), que fue dispersada alrededor del mundo en el siglo XVI (Barba *et al.*, 2012). En México y Cuba, actualmente se utiliza mayoritariamente como flor de corte para adornar diferentes eventos sociales, en arreglos florales y apreciada por su peculiar aroma (González, 2016). En la República Mexicana la mayor parte de la producción se concentra en los estados de Morelos, Oaxaca, Guerrero, Veracruz y Puebla donde se cultivan 306.15 hectáreas de esta especie y que generan 61.9 millones de pesos en ventas anuales, en el estado de Morelos el nardo se ubica entre los principales cultivos de flores de corte (SIAP, 2020). En los sistemas de producción de nardo en Morelos, la variedad con flores sencillas se le llama 'Mexicano' y a las de flores dobles se le conoce como 'Perla' (Vázquez, 2004).

En poscosecha las flores de corte son colocados en agua, soluciones pulso o soluciones hidratantes para mantener por más tiempo su vida en florero. Las soluciones pulso de acondicionamiento se refieren a diferentes tratamientos postcosecha de saturación de los tejidos, en los que se aplican soluciones de azúcar, ácidos orgánicos, inhibidores de la síntesis o acción del etileno y/o bactericidas, inmediatamente después de la cosecha o después del almacenamiento en temperatura baja de flores o follajes de corte; el tratamiento de acondicionamiento es de corta duración alcanzando un máximo de 48 horas (Días *et al.*, 2005). Las soluciones hidratantes, por otra parte, mejoran el consumo de agua al disminuir drásticamente el pH (entre 3 y 3.5) y trabajan mejor sin adicionarle azúcares (Maree y Van-Wyck, 2010).

*Autor para correspondencia: Gloria Alicia Pérez-Arias
Correo electrónico: yoyaly@hotmail.com

Recibido: 14 de junio de 2020
Aceptado: 11 de agosto de 2020

Diversos investigadores indican que la aplicación de soluciones pulso de 10 ó 20 % de sacarosa (Sac) por 6 a 24 h, incrementan la vida poscosecha de las espigas de nardo (Pérez *et al.*, 2019) debido a que la sacarosa ayuda a mantener el balance hídrico y ayuda a mantener la integridad de la membrana plasmática y de la mitocondria (Hutchinson *et al.*, 2003). La aplicación de soluciones hidratantes con ácido gibérelico (AG₃; 40 mg L⁻¹) por 24 h retrasa la senescencia de flores e incrementa la vida poscosecha de nardo (Abbasi y Hassanpour, 2011). La benciladenina (BA; 10-50 mM) combinada con solución pulso de 20 % de sacarosa incrementó la vida útil de flores de nardo (Uthairatanakij *et al.*, 2007). El ácido cítrico (AC), se utiliza ampliamente en soluciones preservadoras, debido a que mejora el balance y reduce la obstrucción del tallo, al disminuir el pH disminuye el crecimiento de bacterias (Arief, 2016). El ácido amino-oxiacético (AOA) se adiciona como un inhibidor de la síntesis de etileno (Arief, 2016).

El objetivo del presente trabajo fue determinar respuestas físicas, químicas y fisiológicas de variedades de nardo nativas mexicanas: 'Mexicano' y 'Perla' en poscosecha, previa aplicación de soluciones hidratantes conteniendo AC, AG₃, BA o AOA; esta información puede ser utilizada para posteriormente ofrecer alternativas para incrementar la vida útil en esta especie nativa de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se cosecharon aproximadamente 300 espigas de cada una de las variedades 'Mexicano' y 'Perla' a las 8:00 a.m. en una huerta comercial de nardo en Cuahuchichinola, Mazatepec, Morelos, México (18°38'54", 99°22'56", 996 m) y se trasladaron en seco al laboratorio de Producción Agrícola de la Facultad de Ciencias Agropecuarias en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos donde se seleccionaron espigas que no presentaran daños mecánicos visibles. La variedad 'Mexicano' tuvo en promedio 5 flores basales abiertas, en tanto que la variedad 'Perla' tenían aproximadamente 1 flor basal abierta. Las espigas fueron recortadas a 80 cm y se formaron seis lotes con 50 inflorescencias para cada tratamiento (tabla 1). Se realizaron experimentos individuales en cada variedad de nardo.

Tabla 1. Soluciones hidratantes evaluadas en nardo 'Mexicano' y 'Perla'.
Table 1. Hydrating solutions tested in 'Mexicano' and 'Perla' tuberose.

Tratamiento	Tiempo (h)	Sacarosa (%)	AG ₃ (mg L ⁻¹)	BA (mg L ⁻¹)	AOA (mM)	HQC (mg L ⁻¹)	Ácido cítrico (%)
I	12	0	0	0	0	0	4
II	12	0	20	0	0	200	0
III	12	10	0	25	0	0	0
IV	12	2	0	0	0	200	4
V	12	0	20	10	5	0	0
Control (VI)	0	0	0	0	0	0	0

AG : Ácido gibérelico; BA: Benciladenina; AOA: Ácido amino-oxiacético; HQC: 8- citrato de hidroxiquinoleína.
AG₃: Gibberelic acid; BA (Benzyladenine), AOA: Aminoxyacetic acid; HQC: 8-hydroxyquinoline citrate.

Los tratamientos consistieron en colocar los 50 tallos de cada tratamiento en soluciones hidratantes que contenían diferentes concentraciones de Sac, AG₃, BA, AOA, HQC y AC durante 12 h (Cuadro 1). Adicionalmente se utilizó un grupo de 50 espigas de nardo como testigo las cuales se mantuvieron en agua destilada (Cuadro 1). Posteriormente se colocaron en probetas de vidrio de 1000 mL para evaluar su vida poscosecha algunas variables físicas, químicas y fisiológicas. En cada cultivar se utilizaron ocho tallos para medir variables no destructivas y seis tallos para variables destructivas efectuándose las mediciones cada dos días. El diseño experimental fue completamente al azar.

El número de flores abiertas y senescentes acumuladas se determinaron a partir del día en que las espigas fueron colocadas en probetas, el conteo se realizó de la parte basal hasta el ápice. El consumo de agua se determinó cada dos días, para esto se colocaron individualmente espigas de nardo en probetas de 1000 mL, donde se adicionó un volumen conocido de agua corriente de la llave. Después de evaluar el consumo de agua se realizó un cambio de agua. El peso fresco relativo se calculó al medir el peso de la espiga cada dos días y hasta que se consideró terminada su vida en florero, es decir cuando 50 % de las flores de la espiga estaban marchitas; el peso inicial de la espiga se determinó como el 100 %. La apariencia se evaluó con ayuda de una escala hedónica donde 5 fue excelente: las espigas tenían todas las flores turgentes y sin presencia de daños mecánicos visibles, 4 buena: la espigas presentaban un par de flores basales con inicios de marchitez y sin daños mecánicos, 3 regular: las flores basales presentaban marchitez y se observaban daños mecánicos en otras flores, 2 mala: más de dos pares de flores basales marchitas y más síntomas de daño mecánico y 1 se consideró senescente: cuando 50 % de las flores de la espiga presentaban marchitez y mayores síntomas de daños mecánicos. Los parámetros de color luminosidad (L*), ángulo matiz ($h = \arctan^{-1} b^*/a^*$) y cromaticidad ($C^* = (a^2 + b^2)^{1/2}$) fueron evaluados en cuatro flores por espiga con un espectrofotómetro manual (X-Rite 3290°, USA) (Neguerula, 2012).

La respiración se cuantificó mediante un sistema estático (Pérez *et al.*, 2015). Los azúcares totales se determinaron por la metodología de Antrona (Whitam *et al.*, 1971).

La determinación de la actividad enzimática de peroxidasa (EC 1.11.1.7; POD), catalasa (EC 1.11.1.6; CAT) y superóxido dismutasa (EC. 1.15.1.1; SOD) se realizó a partir de polvo de acetona, el cual se preparó al homogenizar pétalos frescos y se molieron con acetona fría (4 °C) en un Ultraturrax (IKA®, EUA) y el homogenizado se filtraba al vacío en un embudo Buchner, el residuo vegetal que se retenía en el papel filtro se utilizó para determinar la actividad enzimática. La extracción y cuantificación POD y CAT se determinó como lo indica Pérez *et al.* (2014) y de SOD como lo indican Beyer y Fridovich (1987). La actividad de las enzimas se reporta por mg de proteína, por lo que la determinación de proteína soluble fue necesaria y se realizó con el método de Bradford (1976). Estas variables fueron destructivas y se evaluaron en seis espigas, cada dos días después de aplicar las soluciones hidratantes.

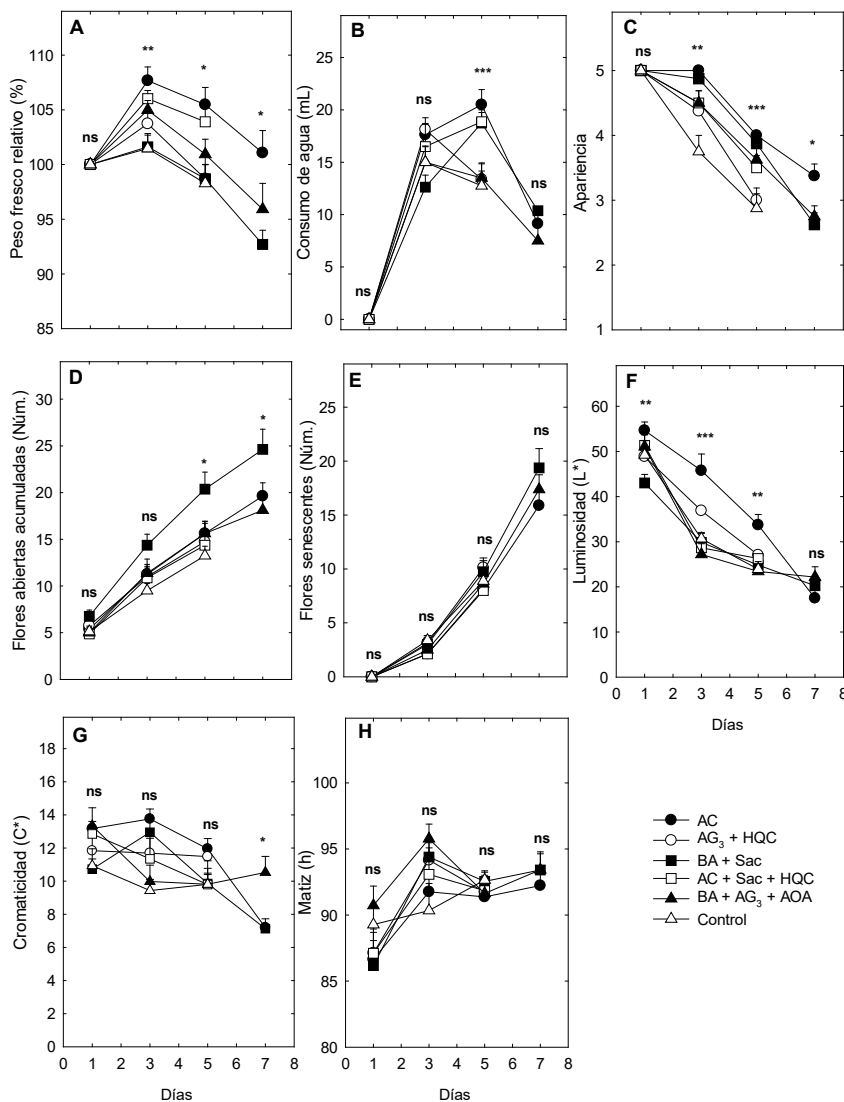
Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza y comparación de medias de acuerdo con la prueba de Tukey con un 5% de probabilidad. Se utilizó el paquete estadístico SAS para los análisis de datos utilizando los comandos GLM, MEANS y CORR (Castillo, 2011).

RESULTADOS

'Mexicano'

El peso fresco relativo se incrementó significativamente al tercer día de evaluación, en las espigas donde se aplicó solución hidratante con AC, AC + Sac + HQC y BA + AG₃ + AOA se incrementó entre 5 y 8 %, mientras que el resto de los tratamientos entre 1 y 3 % (Figura 1 A). Entre el tercer y séptimo día, el peso fresco relativo disminuyó constantemente hasta valores cercanos al inicio del experimento, a excepción de las espigas hidratadas con AC, quienes mantuvieron un incremento de 2.0 % (Figura 1 A). El consumo de agua mayor se determinó al quinto día, donde las espigas pulsadas con AC, AC + Sac + HQC y BA + Sac absorbieron entre 18 y 20 mL espiga⁻¹, el resto de los tratamientos absorbieron significativamente menos agua, entre 12 y 14 mL espiga⁻¹ (Figura 1 B). Posteriormente el consumo de agua disminuyó significativamente en todos los tratamientos a 7 y 10 mL espiga⁻¹ (Figura 1 B).

La apariencia de las espigas de nardo fue buena durante cinco días cuando se hidrataron con AC o BA +



Sac, después de siete días, solo las espigas pulsadas con AC mantuvieron una apariencia cercana a buena (Figura 1 C). Las espigas testigo alcanzaron una calidad regular al quinto día de evaluación (Figura 1 C).

Al inicio del experimento las espigas de nardo en todos los tratamientos tuvieron en promedio 5.4 flores abiertas, alcanzado hasta 24.6 flores en promedio abiertas en las espigas hidratadas con BA + Sac después de siete días; y entre 18.1 y 19.6 flores abiertas en las espigas donde se aplicó la solución hidratante con AC o BA + AG₃ + AOA (Figura 1 D). Las espigas hidratadas con AG₃ + HQC ó AC + Sac +HQC, y testigo alcanzaron a abrir entre 15 y 16 flores por espiga al quinto día de evaluación (Figura 1 D). No se observaron diferencias significativas entre tratamientos en el número de flores senescentes (Figura 1 E). Así al quinto día de evaluación se tenían entre 8 y 10 flores senescentes, y en séptimo días hasta 16 y 19 flores senescentes en las espigas pulsadas con AC, BA + Sac, y BA + AG₃ + AOA (Figura 1 E).

En los parámetros de color, la luminosidad fue el único parámetro donde se determinaron diferencias entre los tra-

tamientos evaluados, en general la luminosidad disminuyó en todos los tratamientos de valores entre L*= 43 y L*= 54 a valores entre L*= 17.5 y L*= 22.1 después de siete días (Figura 1 F). Las espigas hidratadas con AC mostraron significativamente menor velocidad en la disminución de la luminosidad (Figura 1 F). La cromaticidad mostró poco cambio durante la poscosecha y no se detectaron diferencias entre tratamientos, a excepción del último día de evaluación donde las espigas hidratadas con BA + AG₃ + HQC fueron menos opacas (Figura 1 G). El matiz se incrementó durante el periodo de evaluación, sin observarse diferencias significativas entre tratamientos (Figura 1 H).

La velocidad de respiración fue significativamente mayor al quinto día de evaluación en las espigas hidratadas con BA + Sac y testigo (Figura 2 A). Las espigas hidratadas con AC mostraron significativamente la menor respiración durante el periodo de evaluación (Figura 2 A). Los azúcares totales en las flores de las espigas tratadas con AC, fueron bajos durante todo el periodo de senescencia, entre 18 y 24 mg g⁻¹ de peso fresco (Figura 2 B). Las espigas testigo e hidratadas con BA +

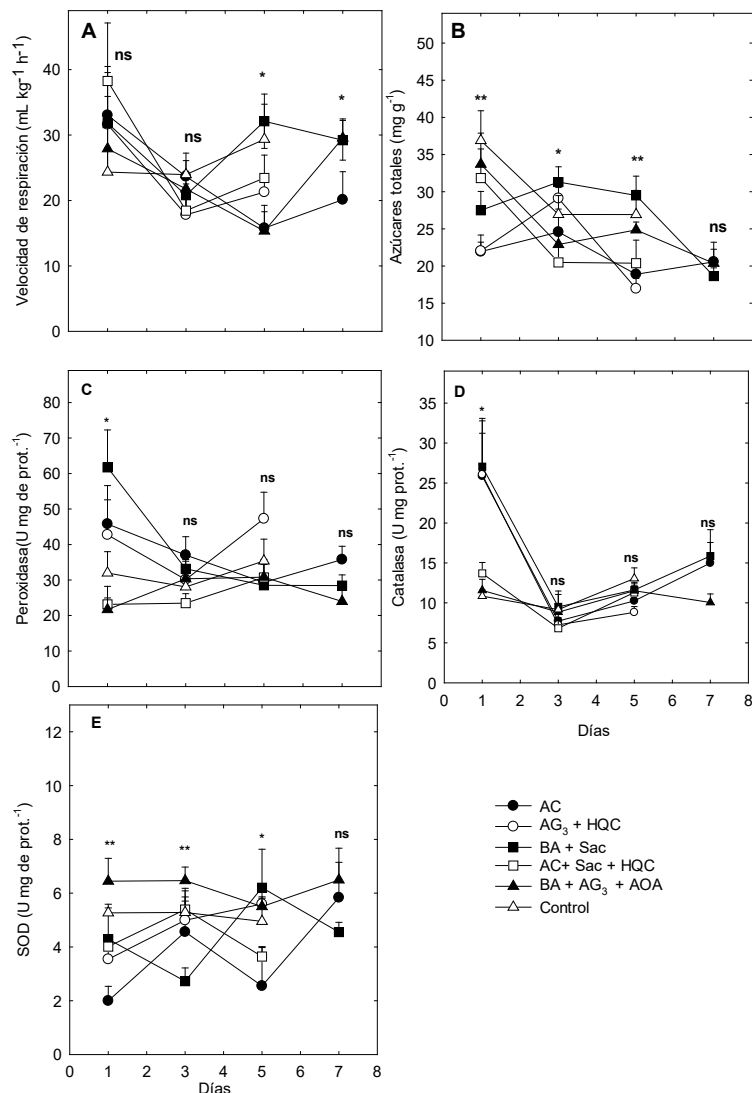


Figura 2. Comportamiento de algunas variables fisiológicas y bioquímicas en inflorescencias de nardo: 'Mexicano' con diferentes soluciones hidratantes durante poscosecha. Cada punto representa la media de seis observaciones y su error estándar. ns, *, ** y ***: no significativo, significativo al 0.05, 0.01 y <0.0001.

Figure 2. Behavior of some physiological and biochemical parameters in *Polianthes* spikes: 'Mexicano' with different hydrating solutions during postharvest. Each point represent the mean of six observations and standar error. ns, *, ** y ***, not significant, significant at 0.05, 0.01 and <0.0001.

AG₃ + AOA, AC+ Sac +HQC disminuyeron la concentración de azúcares de entre 31.8 y 39.5 mg g⁻¹ de peso fresco al inicio del experimento hasta entre 20.5 y 26.9 mg g⁻¹ de peso fresco después de 5 ó 7 días (Figura 2 B). Los tratamientos donde se mantuvo la concentración de azúcares totales entre 27.5 y 31.9 mg g⁻¹ de peso fresco en las espigas fue aquellas donde se aplicó BA + Sac y testigo (Figura 2 B).

La actividad específica de POD fue significativamente mayor al inicio del experimento (entre 42.7 y 61.7 U mg prot.⁻¹) en las espigas tratadas con BA + Sac, AC y AG₃ + HQC (Figura 2 C). No así, en las espigas testigo y las hidratadas con BA + AG₃ + AOA y AC + Sac + HQC donde la actividad específica se mantuvo entre 21.8 y 31.9 U g⁻¹ mg prot.⁻¹ (Figura 2 C). En los días posteriores la actividad específica de POD fue similar en todos los tratamientos manteniendo la tendencia a disminuir conforme avanza la senescencia (Figura 2 C). La actividad de CAT fue significativamente mayor al inicio del experimento en las espigas hidratadas con BA + Sac, AG₃ + HQC y AC, entre 25.38 y 27.6 U g⁻¹ de p.f, comparado con las espigas control, AC + Sac + HQC y BA + AG₃ + AOA (Figura 2 D). Posteriormente la actividad de CAT fue similar en todos los tratamientos, entre 7.2 y 14.9 U g⁻¹ de p.f, manteniendo una actividad constante durante la evaluación (Figura 2 D).

La actividad de SOD fue significativamente mayor en las espigas hidratadas con BA + AG₃ + AOA durante cinco días, similares tendencias mostraron las espigas testigo (Figura 2 E). El resto de los tratamientos mostraron de baja a mediana actividad durante los primeros cinco días, a excepción de las espigas hidratadas con BA + Sac quienes alcanzaron su máxima actividad en ese muestreo (Figura 2 E). Las espigas hidratadas con AC mostraron su mayor actividad en el séptimo día de muestreo (Figura 2 E).

'Perla'

El peso fresco relativo se incrementó posterior a la aplicación de los tratamientos evaluados, así en el séptimo día las espigas colocadas en solución hidratante de AC, AC + Sac + HQC alcanzaron un máximo de entre 22 y 23 % con respecto a los valores iniciales (Figura 3 A), las espigas tratadas con BA + AG₃ + AOA alcanzaron un máximo de 21 % después de cinco días (Figura 3 A), finalmente las espigas testigo o tratadas con BA + Sac alcanzaron un máximo de entre 12 y 14 % después de siete días (Figura 3 A). A pesar de estas diferencias numéricas el análisis de varianza no detectó diferencias significativas (Figura 3 A). El máximo consumo de agua fue significativamente mayor al tercer día de evaluación

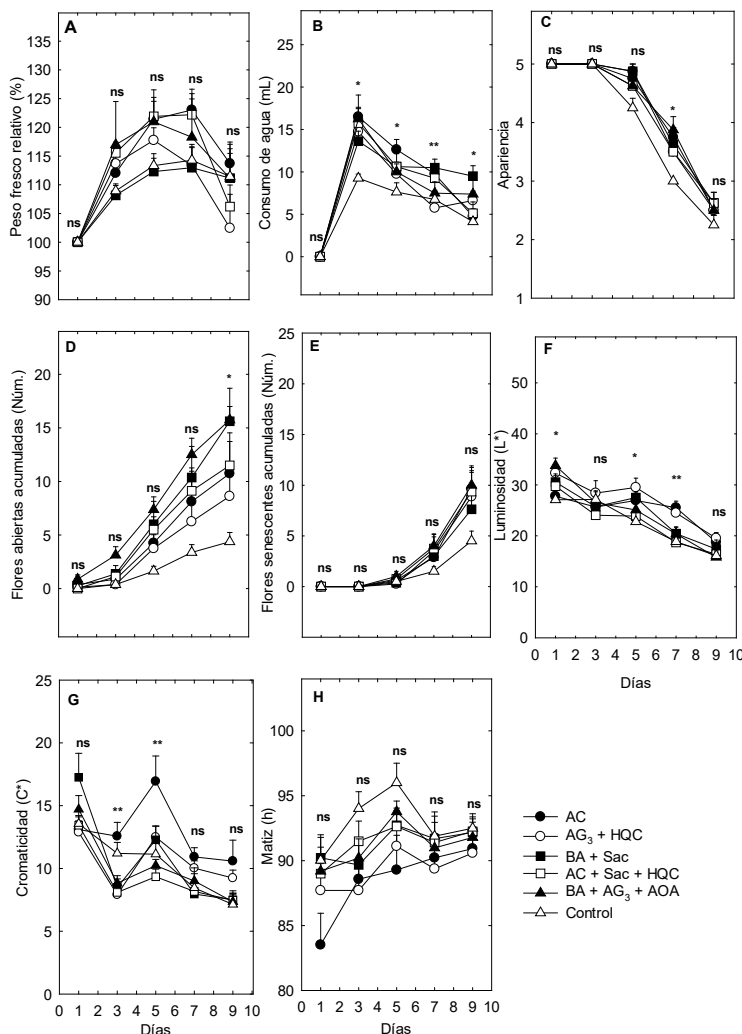


Figura 3. Comportamiento de las relaciones hídricas y calidad en inflorescencias de nardo: 'Perla' con diferentes soluciones hidratantes durante poscosecha. Cada punto representa la media de ocho observaciones y su error estándar. ns, *, ** y ***: no significativo, significativo al 0.05, 0.01 y <0.0001. **Figure 3.** Behavior some variables of water relations and quality of tuberose spikes: 'Perla' with different hydrating solutions during postharvest. Each point represents the mean of eight observations and standar error. ns, *, ** and ***: not significant, significant at 0.05, 0.01 and <0.0001.

en las espigas donde se aplicaron las soluciones hidratantes conteniendo AC, BA, AG₃, Sac o AOA, entre 13.6 y 16.5 mL; no así en las espigas control donde el consumo no superó los 9.2 mL (Figura 3 B). En los días posteriores de evaluación, entre 5 y 9 días, las espigas tratadas con BA + Sac mantuvieron un consumo mayor de agua entre 9 y 10 mL (Figura 3 B).

La apariencia fue buena al séptimo día de evaluación en las espigas donde se aplicó solución hidratante con AC, BA, AG₃, Sac o AOA, mientras que las espigas testigo su calidad fue regular (Figura 3 C)

Las espigas testigo abrieron 4.3 flores en promedio durante los nueve días, en tanto que las espigas colocadas en BA + AG₃ + AOA ó BA + Sac, abrieron significativamente más flores, en promedio 15.6 flores; y las espigas pulsadas con AC, AC + Sac + HQC ó AG₃ + HQC abrieron entre 8.6 y 11.4 flores (Figura 3 D). El número de flores senescentes en las espigas donde se aplicó solución hidratante fue entre 7.6 y 10; mientras en las espigas testigo alcanzaron la senescencia en promedio 4.5; sin embargo, no se determinaron diferencias significativas (Figura 3 E).

La luminosidad de las flores de nardo disminuyó durante la poscosecha de entre L* =27 y L* = 33.3 al inicio del

experimento a entre L* = 15.8 y L* = 19.4, después de nueve días (Figura 3 F). Las espigas hidratadas con AG₃ + HQC ó AC mantuvieron por más tiempo los valores de L* (Figura 3 F). La cromaticidad disminuyó drásticamente del inicio al tercer día, posteriormente la cromaticidad mostró un incremento significativo y las espigas tratadas con AC mantuvieron el color más vivido (Figura 3 G). Finalmente, el matiz se incrementó durante poscosecha de valores entre h = 90 al inicio del experimento hasta h=96 en las espigas testigo (Figura 3 H). El resto de los tratamientos mostró un comportamiento similar y no se detectaron diferencias entre tratamientos (Figura 3 H).

La respiración de las espigas de nardo se incrementó en poscosecha en todos los tratamientos evaluados (Figura 4 A). Las espigas testigo alcanzaron los valores máximos después de cinco días, mientras que en el resto de los tratamientos se alcanzó su máxima producción después de siete días (Figura 4 A). Las espigas hidratadas con AG₃ + HQC y testigo mostraron significativamente la mayor velocidad de respiración, y las espigas pulsadas con BA + AG₃ + AOA, BA + Sac ó AC tuvieron la menor velocidad de respiración (Figura 4 A). Los azúcares totales en las flores de nardo perla disminuyeron durante la poscosecha, durante los primeros cinco días no se determinaron diferencias significativas entre los tratamientos y el control; en los días posteriores, las espigas donde se aplicó AC tuvieron los valores menores de azúcares totales (Figura 4 B).

Las espigas testigo mostraron la mayor actividad de peroxidasa durante el periodo de evaluación (Figura 4 C). En tanto que las espigas hidratadas con AC, AG₃ + HQC y BA + Sac tuvieron menor actividad y constante durante el periodo de evaluación (Figura 4 C). La actividad de catalasa en las espigas de nardo 'Perla' un día después de aplicar la solución pulso mostró un gradiente: control, BA + AG₃ + AOA > BA + Sac y AC + Sac + HQC > AC y AG₃ + HQC, posteriormente a pesar de no detectarse diferencias entre tratamientos las espigas hidratadas con AC tuvieron la menor actividad con un ligero incremento al final de las evaluaciones (Figura 4 D). La actividad de SOD tuvo máximos de actividad durante el periodo de evaluación; así las espigas hidratadas con BA + AG₃ + AOA alcanzaron su máxima actividad después de tres días, en tanto que las espigas control, AC, AC + Sac + HQC alcanzaron su mayor actividad después de cinco días, y las espigas hidratadas con AG₃ + HQC alcanzaron la máxima actividad después de siete días, y notablemente las espigas hidratadas con BA + sacarosa, no mostraron ningún máximo (Figura 4 E).

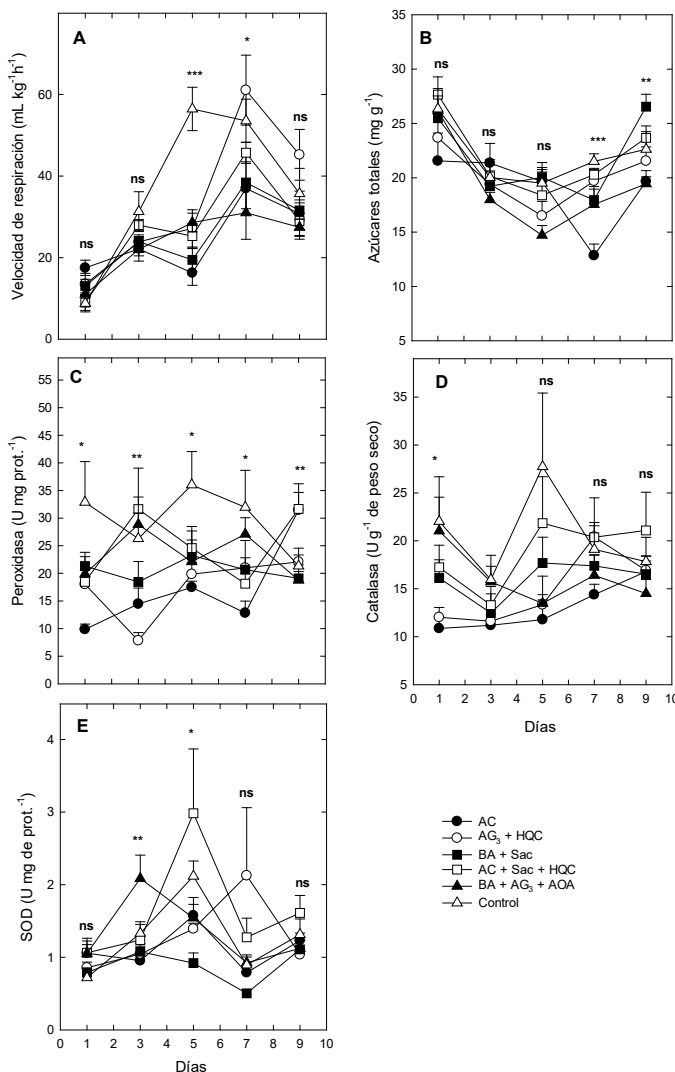


Figura 4. Comportamiento de algunas variables fisiológicas y bioquímicas en inflorescencias de nardo: 'Perla' con diferentes soluciones hidratantes durante poscosecha. Cada punto representa la media de seis observaciones y su error estándar. ns, *, ** y ***: no significativo, significativo al 0.05, 0.01 y <0.0001.

Figure 4. Behavior of some physiological and biochemical variables *Polianthes* spikes: 'Perla' with different hydrating solutions during postharvest. Each point represents the mean of six observations and standar error. ns, **, ***, not significant, significant at 0.05, 0.01 and <0.0001.

DISCUSIÓN

Reid (2009) indica que una vida larga en las flores de corte depende de forma casi absoluta de un constante suministro de agua, si esta se interrumpe se presenta un marchitamiento rápido de los pétalos y hojas. En el presente experimento la aplicación de solución hidratante conteniendo AC ó BA + Sac ó HQC incrementó el consumo de agua y el peso fresco relativo en ambas variedades (Figuras 1 A, B y 2 A, B). Choudhury y Barooah (2011) sugieren que el ácido cítrico ayuda a disminuir el crecimiento bacterial y previene el bloqueo vascular, por lo que ayuda a incrementar la vida en florero y mejora la turgencia de las espigas de nardo. Wawrzyncza y Goszczynska (2003) indican que la aplicación de BA en flores de corte mejora el consumo de agua. Longo *et al.* (1978) indican que la BA favorece el consumo de agua en cotiledones de melón, al incrementar los solutos y la plasticidad de la pared celular.

La apariencia buena (entre 5 y 7 días) y el mayor número de flores abiertas en ambas variedades al aplicar las soluciones hidratantes con BA + Sac ó BA + AG₃ + AOA, son consecuencia de una mejor hidratación; en específico la apariencia mostró cierta asociación positiva y significativa con el consumo de agua $r = 0.60^{***} - 0.43^{***}$. Hutchinson *et al.* (2003) y Uthairatanakij *et al.* (2007) e indican que la aplicación de BA en dosis de 25 mg L⁻¹ o entre 10 y 20 mM en nardo, mejoran la apertura de flores en nardo debido a un mejor balance hídrico y un efecto protector de las citocininas en la turgencia celular probablemente asociado a una disminución de salida de iones. Pérez *et al.* (2015) reportan una apariencia regular después de 5 días en flores de nardo 'Perla', en el presente trabajo las soluciones hidratantes evaluadas alcanzaron buena apariencia hasta por siete días.

La luminosidad y la cromaticidad fueron los parámetros de color que mostraron diferencias entre tratamientos, por lo que se pueden considerar como variables para posteriormente determinar el efecto de tratamientos en la calidad de nardo. En ambas variedades la luminosidad y cromaticidad mostraron cierta asociación positiva significativa con la apariencia, $r = 0.47^{***} - 0.67^{***}$ en 'Mexicano' y $r = 0.20^{***} - 0.63^{***}$ en 'Perla'. Las espigas donde se aplicó AC mantuvieron el color con mayor tendencia al blanco y menos opaco en ambas variedades; como se ha mencionado anteriormente una mejor hidratación en las flores donde se aplicó AC ayuda a mantener estos parámetros de color de la luminosidad y cromaticidad.

La respiración puede utilizarse como un índice excelente para predecir la duración en florero en las flores de corte, ya que, si hay una velocidad de respiración alta, la disminución en calidad del producto será más rápida (Finger *et al.*, 2016). Los resultados indican que las soluciones hidratantes retrasaron la aparición del pico climatérico en dos días en 'Mexicano' y que el pulsado con BA + AG₃ + AOA o el AC reducen la velocidad de respiración en ambas variedades. Wawrzynczak y Goszczynska (2003) indican que la aplicación de citocininas en flores de corte reduce la velocidad de respiración. Sin embargo, no se reporta el mecanismo de acción

donde la BA o el AC reduzcan la velocidad de respiración. Aspecto, interesante es que las espigas que fueron hidratadas con AC, los azúcares totales se mantuvieron en los niveles menores y las espigas tratadas con BA + Sac, mostraron una mayor concentración de azúcares totales (Figura 2 B y 4 B). Lo anterior sugiere que en las espigas donde se aplicó AC, probablemente fue el sustrato utilizado para respiración y en el caso de las espigas donde se aplicó BA + Sac, el azúcar adicionado mantuvo por más tiempo los niveles de carbohidratos solubles en los pétalos. Es necesario en posteriores trabajos determinar los cambios de los azúcares en los pétalos y su traslocación con otros órganos de la planta, así como la relación con la velocidad de respiración.

Durante la senescencia de flores como *Gladiolus*, *Hemerocallis* y *Chrysanthemum* se han reportado altos niveles de radicales libres y H₂O₂ en los pétalos; y se indica que contribuyen en acelerar los procesos de senescencia (Ahmad y Tahir, 2016). Las enzimas SOD, CAT y POD están involucradas en el atrapamiento de radicales libres de las plantas (Gutiérrez-Martínez *et al.*, 2020). En el presente experimento en las espigas de 'Mexicano' la actividad específica de CAT y POD fueron altas al inicio del experimento y posteriormente disminuyeron drásticamente, en tanto que en 'Perla' la actividad específica de CAT y POD alcanzaron máximos días después de aplicar las soluciones hidratantes (Figura 4 C y D), esto se atribuye a que las flores de 'Mexicano' estaban en una etapa más avanzada de apertura floral que 'Perla'. En general, las espigas hidratadas con AC y BA mantuvieron la menor actividad en 'Perla', lo que sugiere que CAT y POD se mantuvieron en niveles bajos ya que los radicales libres no estaban en niveles que indujeran al estrés oxidativo. González-Fuentes *et al.* (2020) sugieren que el incremento en el contenido de H₂O₂ ocasiona una mayor síntesis de la enzima CAT para evitar el daño oxidativo.

Finalmente, la actividad de SOD en las espigas de 'Mexicano' y 'Perla' alcanzaron máximos de actividad; donde las espigas control mantuvieron los valores mayores y las espigas donde se aplicó la solución hidratante conteniendo AC ó BA mantuvieron los valores menores. En flores de corte, se reporta que la actividad específica de SOD disminuye constantemente en los pétalos, perdiendo la capacidad de defensa con radicales libres y se incrementan la degradación de membranas en los tejidos florales y eventualmente ocasiona el marchitamiento (Bailly *et al.*, 2001). En *Phaseolus vulgaris* el estrés por cadmio inhibe la actividad de SOD atribuido a un incremento en H₂O₂ (Gutiérrez-Martínez *et al.*, 2020). Singh *et al.* (2008) mencionan que varios autores han reportado que la BA incrementa la vida poscosecha de las flores al mejorar la estabilidad de la membrana, retrasar la peroxidación de lípidos de membrana y disminución de la fuga de iones; sin embargo, actualmente no se conocen los mecanismos de acción. No se tienen reportes de los efectos de AC sobre los procesos enzimáticos en senescencia, por lo que en trabajos posteriores es importante abordarlos con mayor profundidad.

CONCLUSIONES

Las soluciones hidratantes conteniendo ácido cítrico (4 %) o benciladenina + Sac (25 mg L⁻¹ + 10 %) favorecen los procesos físicos de consumo de agua, apariencia y componentes del color; fisiológicos como una mejor menor velocidad de respiración y bioquímicos con menor actividad de las enzimas antioxidativas de CAT, POD y SOD, por lo que pueden ser utilizados para incrementar la vida útil de nardo 'Mexicano' y 'Perla'.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor (SLFS) agradece al CONACYT por la beca para estudios de maestría, de donde se deriva este trabajo.

REFERENCIAS

- Abbasi, J. y M. A. Hassanpour. 2011. Study on prolonging the base life of tuberose cut flowers (*Polianthes tuberosa* L.). South West J. Horti. 2: 157-165.
- Ahmad, S. S. y Tahir, I. 2016. How and why of flower senescence: understanding from models to ornamentals. Indian Journal of Plant Physiology 21: 446-456.
- Arief, Z. M. 2016. Postharvest Physiology and Handling of cut Flowers. San Bernardino, Scholar's Press.
- Bailly, C., Corbineau, F. y Van Doorn, W. G. 2001. Free radical scavenging and senescence in *Iris* tepals. Plant Physiology and Biochemistry 39: 649-656.
- Barba R. G., Rodríguez, J. M. D., Castañeda, M. C. S., Rodríguez, A., Van Tuyl J. M. y Tapia, C. E. 2012. Mexican geophytes I. The genus *Polianthes*. Floriculture and Ornamental Biotechnology 6: 122-128.
- Beyer, F. W. y Fridovich, I. 1987. Assaying for superoxide activity: some large consequences of minor changes in conditions. Analytical Biochemistry 161: 559-566.
- Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry 72:248-254.
- Castillo, L. E. C. 2011. Introducción al SAS® para Windows. Chapingo, Universidad Autónoma Chapingo.
- Choudhury T. M. y Barooah L. 2011. Effect of Pulsing and Different Holding Solutions on Flowers quality and Vase life of Tuberose (*Polianthes tuberosa* Linn) cv. Calcutta Double. Indian Journal of Hill Farming 24(1): 31-33.
- Dias, T. G. M., Finger, F. L. y Barbosa, J.G. 2005. Fisiología poscolegita de flores de corte. Ornamental Horticulture 11(2): 89-99.
- Finger, F. L., Silva, T. P., Araujo, F. F. y Barbosa, J.G. 2016. Postharvest quality of ornamentals plants. En: Postharvest ripening physiology of crops. A. Pareek (Ed.), pp. 81-108. CRC Press, Boca Raton, USA.
- González, V. M. E. 2016. *Polianthes tuberosa* L.: Revisión de sus aspectos filogenéticos, morfológicos y de cultivo. Cultivos Tropicales 37: 120-136.
- González-Fuentes, J. A., Jiménez-López, D., Sandoval-Rangel, A., Hernández-Pérez, A., Medrano-Macía, J. y Preciado-Rangel, P. 2020. Efecto de las enmiendas minerales sobre el contenido mineral y antioxidantes en frutos de frambuesa. Biotecnia 22 (1): 48-55.
- Gutiérrez-Martínez, P.B., Torres-Móran, M. I., Romero-Puertas, M.C., Casas-Solís, J., Zarazúa-Villaseñor, P., Sandoval-Pinto, E. y Ramírez-Hernández, B. C. 2020. Assessment of antioxidant enzymes in leaves and roots of *Phaseolus vulgaris* plants under cadmium stress. Biotecnia 22(2): 110-118.
- Hutchinson, M. J., Chebet, D. K. y Emongor, V. E. 2003. Effect of Accel, sucrose and silver thiosulfate on the water relations and postharvest physiology of cut tuberose flowers. African Crop Science Journal 11:279-287.
- Longo, G. P., Longo, C. P., Rossi, G., Vitale, A. y Pedretti, M. 1978. Variations in carbohydrate and lipid content and in osmotic potential of watermelon cotyledons treated with benzyladenine. Plant Science Letters 12: 199-207.
- Maree, J. y Van-Wik, B. E. 2010. Cut flowers of the world. A Comprehensive reference for growers and florists. Timber Press, Oregon, USA.
- Neguerula, A. I. 2012. Is the color measured in food the color that we see? En: Color in food. Technological and psychophysical aspects. Caivano, J.L., Buera M. del P. (eds.) pp: 81-91. CRC Press, Buenos Aires, Argentina.
- Pérez, A.G.A., Alia, T. I., Valdez, L.A.A., Colinas M. T. L., López, V. M. y Sainz, M. de J. A. 2014. La refrigeración en húmedo y seco afecta la vida poscosecha de flores de corte de lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) 'ABC Blue Rim'. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 5(7): 1247-1260.
- Pérez, A.G.A., Alia, T. I., Colinas, L. M. T., Sainz, A. M. J. y Álvarez, V. J. E. 2015. Aplicación de 1-metilciclopropeno en inflorescencias de nardo (*Polianthes tuberosa* L.) en poscosecha. Acta Agrícola y Pecuaria 1(1): 29-36.
- Pérez, A. G. A., I. Alia T., Colinas M.T.L., Valdez L.A.V. y Pelayo C.Z. 2019. Postharvest physiology and technology of the tuberose (*Polianthes tuberosa* L.): an ornamental flower native to Mexico. Horticulture, Environment and Biotechnology 60: 281-293.
- Reid, M. S. 2009. Poscosecha y manejo de las flores de corte. HortiTecnia, Bogotá, Colombia.
- SIAP. 2020. Cierre de la producción agrícola por cultivo (1980 - 2018). [Consultado el 22 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.
- Singh, A., Kumar, J. y Kumar, P. 2008. Effects of plant growth regulators and sucrose on postharvest physiology, membrane stability and vase life of cut spikes of gladiolus. Plant Growth Regulators 55: 221-229.
- Trueblood, E.W. E. 1973. "Omioxochitl" – the Tuberose (*Polianthes tuberosa*). Economic Botany 27: 157-173.
- Uthairatanakij, A., Jeenbutung, J., Buanong y M., Kanlayanarat, S. 2007. Effect of thidiazuron pulsing on physiological changes of cut tuberose flower (*Polianthes tuberosa* L.). Acta Horticulturae 755: 477-480.
- Vázquez, G. L. M. 2004. Nardo (*Polianthes* spp.) y amolli (*Manfreda* spp.). Recursos fitogenéticos ornamentales de México. Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México.
- Whitam, F. F., Blaydes, D. F. y Devlin, R. M. 1971. Experiments in Plant Physiology. Van Nostrand Reinhold, New York, USA.
- Wawrynczak, A. y Goszczynka, D. 2003. Effect of pulse treatment with exogenous cytokinins on longevity and ethylene production in cut carnations (*Dianthus caryophyllus* L.). Journal of Fruit and Ornamental Plant Research 11: 77-88.