

# Preservative postharvest solutions in two varieties of tuberose (*Polianthes tuberosa* L.) native to Mexico: 'Mexicano' and 'Perla'

## Soluciones conservadoras en poscosecha en dos variedades de nardo (*Polianthes tuberosa* L.) nativas de México: 'Mexicano' y 'Perla'

Sandy Lizbeth Fernando-Santos<sup>1</sup>; Gloria Alicia Pérez-Arias<sup>1\*</sup>; Irán Alia-Tejagal<sup>1</sup>; Clara Pelayo-Zaldívar<sup>2</sup>; Víctor López-Martínez<sup>1</sup>; Porfirio Juárez-López<sup>1</sup>; Dagoberto Sánchez-Guillén<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Facultad de Ciencias Agropecuarias.

Av. Universidad, núm. 1001, Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, C. P. 62209. MÉXICO.

<sup>2</sup>Universidad Autónoma Metropolitana, Departamento de Ciencias de la Salud. Av. San Rafael Atlixco, núm. 186, Col. Vicentina, Iztapalapa, Ciudad de México, C. P. 09340, MÉXICO.

\*Corresponding author: yoyaly@hotmail.com, tel. 01 777 134 54 02.

### Abstract

**Introduction:** 'Perla' and 'Mexicano' are varieties of tuberose grown in Mexico that have potential for commercialization and export; however, no preservative solutions have been evaluated to increase their shelf life.

**Objective:** To determine physical, physiological, and chemical changes that occur in postharvest tuberose when different preservative solutions are applied.

**Methodology:** Tuberose flower spikes of varieties 'Mexicano' and Perla, with two open basal flowers, were placed in preservative solutions (Crystal<sup>®</sup>, sucrose [Sac] + citric acid [CA] + hydroxyquinoline citrate [HQC] and ascorbic acid [AAsc]). A group of tuberose flower spikes was kept as control, and in all cases destructive and non-destructive variables were evaluated during postharvest.

**Results:** Relative fresh weight and water consumption increased with preservative solutions in both varieties. The appearance of the 'Perla' variety was excellent for 5 days with Crystal<sup>®</sup>. The 'Mexicano' variety had more open flowers with Crystal<sup>®</sup> and Sac + AC + HQC, while the 'Perla' variety had the same result with AAsc and Crystal<sup>®</sup>. Respiration in the 'Mexicano' variety was high with Sac + AC + HQC, and in the case of 'Perla' variety, respiration was low with AAsc. The highest specific superoxide dismutase activity was detected with AAsc and Crystal<sup>®</sup> for 'Perla' variety.

**Study limitations:** The results are valid without previous applications of pulse or hydrating solutions in tuberose varieties evaluated.

**Originality:** This is the first study where the postharvest behavior of two Mexican tuberose varieties is evaluated in preservative solutions.

**Conclusions:** 'Mexicano' and 'Perla' varieties can use Crystal<sup>®</sup> and AAsc solutions to maintain the quality for longer time in vase.

**Keywords:** water consumption, relative fresh weight, quality, respiration, superoxide dismutase.

### Resumen

**Introducción:** 'Perla' y 'Mexicano' son variedades de nardo cultivadas de México que presentan potencial para su comercialización y exportación; sin embargo, no se han evaluado soluciones conservadoras que incrementen su vida útil.

**Objetivo:** Determinar los cambios físicos, fisiológicos y químicos que ocurren en nardo en poscosecha cuando se aplican diferentes soluciones conservadoras.

**Metodología:** Espigas de nardo 'Mexicano' y 'Perla', con dos flores basales abiertas, se colocaron en soluciones conservadoras (Crystal<sup>®</sup>, sacarosa [Sac] + ácido cítrico [AC] + hidroxiquinoleína citrato [HQC] y ácido ascórbico [AAsc]). Se mantuvo un grupo de espigas como testigo, y en todos los casos se evaluaron variables destructivas y no destructivas en poscosecha.

**Resultados:** El peso fresco relativo y el consumo de agua aumentaron con las soluciones conservadoras en ambos cultivares. La apariencia en 'Perla' fue excelente por 5 días con Crystal<sup>®</sup>. En 'Mexicano' abrieron más flores con Crystal<sup>®</sup> y Sac + AC + HQC, mientras que en 'Perla' fue con AAsc y Crystal<sup>®</sup>. La respiración en 'Mexicano' fue alta con Sac + AC + HQC, y en 'Perla' fue baja con AAsc. En 'Perla', la mayor actividad específica de superóxido dismutasa se detectó con AAsc y Crystal<sup>®</sup>.

**Limitaciones del estudio:** Los resultados son válidos sin realizar aplicaciones previas de soluciones pulso o hidratantes en las variedades de nardo evaluadas.

**Originalidad:** Es el primer estudio donde se evalúa el comportamiento poscosecha de dos variedades de nardo mexicanas en soluciones conservadoras.

**Conclusiones:** En 'Mexicano' y 'Perla' se pueden utilizar las soluciones Crystal<sup>®</sup> y AAsc para mantener la calidad por mayor tiempo en florero.

**Palabras clave:** consumo de agua, peso fresco relativo, calidad, respiración, superóxido dismutasa.

Please cite this article as follows (APA 7): Fernando-Santos, S. L., Pérez-Arias, G. A., Alia-Tejagal, I., Pelayo-Zaldívar, C., López-Martínez, V., Juárez-López, P., & Sánchez-Guillén, D. (2021). Preservative postharvest solutions in two varieties of tuberose (*Polianthes tuberosa* L.) native to Mexico: 'Mexicano' and 'Perla'. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 13(1), 3-15. <http://dx.doi.org/10.5154/r.inagbi.2020.04.025>

Received: April 4, 2020 / Accepted: November 11, 2020



Ingeniería Agrícola  
y Biosistemas

[www.chapingo.mx/revistas/inagbi](http://www.chapingo.mx/revistas/inagbi)

## Introduction

Tuberose (*Polianthes tuberosa* L.) is a tuberous, herbaceous and perennial plant commonly known in Mexico as *nardo*, *amole*, *tuberosa blanca*, *amiga de noche*, *Azucena* and *vara de San José* (González-Vega, 2016). It is an ornamental plant native to Mexico that was dispersed around the world in the 16th century (Barba-González et al., 2012). Tuberose is a species that occupies an important position among ornamental bulbs because it is commercially used as a cut flower and ornamental potted plant, and essential oils are extracted from the flowers, which are highly valued (Kameswari et al., 2014). In Mexico, Cuba, India, New Zealand, and Japan, the tuberose is used as a cut flower in social events and for floral arrangements due to its appreciated aroma (Barba-González et al., 2012; González-Vega, 2016).

In Mexico, especially in Morelos, Oaxaca, Guerrero, Veracruz, and Puebla, 306.1 ha of tuberose are cultivated as cut flowers, generating 61.9 million pesos in annual sales (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2020). In Morelos, tuberose is among the main cut flower crops (SIAP, 2020), where the variety with single flowers is 'Mexicano', and the variety with double flowers is 'Perla', which is grown in greater proportion (Vázquez-García, 2004). Internationally, there are varieties of tuberose such as 'Doble excelsior', 'Tall double', 'Florentiu' and 'Orange flower' (González-Vega, 2016). India reports varieties such as 'Shiringar', 'Vaibhav', 'Calcuta doble' and 'Prajwal', in which their behavior in cultivation and postharvest has been evaluated (Pérez-Arias et al., 2019).

Cut flowers, immediately after harvesting and before storage, or after storage and subsequent transport (but before applying vase or preservative solutions), are placed in a) rehydration solutions, which aim to restore turgidity (generally with water at room temperature, which contains some germicide, wetting agent and acidifier, without sugar); b) pulse solutions, which consist of placing, for a short period (from seconds to hours), the recently harvested flowers in a solution containing silver salts or acidifier, a germicide and high amounts of sugar; and c) solutions for opening flower buds, which are used when flowers are cut in bud stage and contain moderate amounts of sugar and a germicide (Arief-Zargar, 2016; Reid, 2009).

The use of preservative solutions is the most economical and practical method to extend the post-harvest life of cut flowers; in addition, they help preserve a fresh appearance for longer, so florists or consumers use them to keep flowers in saleable condition or vase life for a longer period. These solutions usually contain a germicide, sugars, pH regulator and sometimes

## Introducción

El nardo (*Polianthes tuberosa* L.) es una planta tuberosa, herbácea y perenne conocida de forma común como nardo, amole, tuberosa blanca, amiga de noche, azucena y vara de San José (González-Vega, 2016). Es una planta ornamental originaria de México que se dispersó alrededor del mundo en el siglo XVI (Barba-González et al., 2012). El nardo es una especie que ocupa una posición importante entre las bulbosas ornamentales, ya que comercialmente se utiliza como flor de corte y ornamental de maceta, además de que se extraen aceites esenciales de las flores, los cuales son altamente valorados (Kameswari et al., 2014). En México, Cuba, India, Nueva Zelanda y Japón, el nardo se utiliza como flor de corte en eventos sociales y para arreglos florales debido a su apreciado aroma (Barba-González et al., 2012; González-Vega, 2016).

En México, particularmente en Morelos, Oaxaca, Guerrero, Veracruz y Puebla, se cultivan 306.1 ha de nardo como flor de corte, lo que genera 61.9 millones de pesos en ventas anuales (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2020). En Morelos, el nardo se ubica entre los principales cultivos de flores de corte (SIAP, 2020), donde la variedad con flores sencillas es la 'Mexicano', y la de flores dobles es 'Perla', la cual se cultiva en mayor proporción (Vázquez-García, 2004). A nivel internacional, se tienen variedades de nardo como 'Doble excelsior', 'Tall double', 'Florentiu' y 'Orange flower' (González-Vega, 2016). En India, se reportan variedades como 'Shiringar', 'Vaibhav', 'Calcuta doble' y 'Prajwal', en las cuales se ha evaluado su comportamiento en cultivo y en poscosecha (Pérez-Arias et al., 2019).

Las flores de corte, inmediatamente después de la cosecha y antes del almacenamiento, o después del almacenamiento y subsecuente transporte (pero antes de aplicar soluciones de florero o conservadoras), se colocan en: a) soluciones rehidratantes, que tienen como objetivo restaurar la turgencia (generalmente son con agua a temperatura ambiente, la cual contiene algún germicida, agente humectante y acidificante, sin azúcar); b) soluciones pulsos, que consiste en colocar, por un periodo corto (desde segundos hasta horas), las flores recién cosechadas en una solución que contenga sales de plata o acidificador, un germicida y altas cantidades de azúcar, y c) soluciones para apertura de botones flores, las cuales se utilizan cuando se cortan las flores en estadio de botón y contienen cantidades moderadas de azúcar y un germicida (Arief-Zargar, 2016; Reid, 2009).

El uso de soluciones conservadoras es el método más económico y práctico para extender la vida poscosecha de las flores de corte; además, ayudan a conservar una apariencia fresca por más tiempo, por lo que los vendedores detallistas o los consumidores las utilizan

surfactants and hormones (Kumar et al., 2017; Nowak & Rudnicki, 1990; Salunkhe et al., 1990).

The tuberose is a cut flower with a short postharvest life, which varies between 4 and 13 d (Pérez-Arias et al., 2019). Once harvested, respiration and ethylene production increases, requiring hydration and sugar supply to obtain a greater opening of lowers and increase shelf life (Kumari et al., 2018; Perez-Arias et al., 2019). Wahitaka et al. (2001) indicate that harvesting tuberose flower spikes with two or three open basal flowers, pulse pre-treatment with 20 % sucrose, and storage at 0-5 °C can maintain flower spike quality longer.

In the case of the tuberose, several authors point out that preservative solutions with sucrose (Sac) + citric acid (CA) or CA only increase the life of the tuberose from 1 to 10 d, if compared to flowers that were only placed in water (Sao & Verma, 2020; Sigma et al., 2018). Anjum et al. (2001) report that ascorbic acid (AAsc) in doses of 200 mg·L<sup>-1</sup> increased the post-harvest life of tuberose by 1 d compared to control flowers. In commercial form, there is a product called FloraLife® Crystal® (which contains food for cut flowers), which precipitates dust and dirt particles, and keeps the vase water clean and odorless during flower opening and growth, this by applying a dose of 5 g·L<sup>-1</sup> (FloraLife, 2020).

In preservative solutions, the germicide 8-HQC is the most used to control bacteria, yeasts and fungi (Kumar et al., 2017). Sucrose at 1 or 2 % is the most used source of energy to provide energy to flowers; acids or salts added to adjust the pH (between 3.5 and 5.0) are necessary to reduce the development of some microorganisms and to make water consumption by flower stems easier (Kumar et al., 2017).

Therefore, the aim of this study was to evaluate the application of preservative solutions (Crystal®, sucrose [Sac] + citric acid [CA] + hydroxyquinoline citrate [HQC] or ascorbic acid [AAsc]) on some physical, physiological and chemical changes of flower spikes of varieties 'Mexicano' and 'Perla' during postharvest.

## Materials and methods

### Plant material

Tuberose flower spikes from the varieties 'Mexicano' and 'Perla' were harvested from commercial orchards located in Cuahuchichinola, Mazatepec, Morelos (18° 38' 54" N and 99° 22' 56" W, at 996 masl). The harvest was carried out at 8:00 a.m., and the tuberose flower spikes were moved to the Agricultural Production Laboratory in the Faculty of Agricultural Sciences of the Universidad Autónoma del Estado de Morelos,

para mantener a las flores en condiciones de venta o vida en florero por un periodo más prolongado. Estas soluciones generalmente contienen un germicida, azúcares, regulador de pH y, en ocasiones, surfactantes y hormonas (Kumar et al., 2017; Nowak & Rudnicki, 1990; Salunkhe et al., 1990).

El nardo es una flor de corte con una vida poscosecha corta, la cual varía entre 4 y 13 días (Pérez-Arias et al., 2019). Una vez cosechada, la respiración y producción de etileno se incrementan, por lo que se requiere hidratación y suministro de azúcares para obtener una mayor apertura de las flores y para incrementar la vida útil (Kumari et al., 2018; Pérez-Arias et al., 2019). Wahitaka et al. (2001) indican que al cosechar las espigas de nardo con dos o tres flores basales abiertas, realizar un pretratamiento pulso con sacarosa al 20 % y almacenar a temperatura entre 0 y 5 °C se puede mantener por más tiempo la calidad de las espigas.

En el caso del nardo, diversos autores señalan que soluciones conservadoras con sacarosa (Sac) + ácido cítrico (AC) o AC solo incrementan la vida útil del nardo entre 1 y 10 días, si se compara con flores que sólo se colocaron en agua (Sao & Verma, 2020; Sigma et al., 2018). Anjum et al. (2001) reportan que el ácido ascórbico (AAsc) en dosis de 200 mg·L<sup>-1</sup> incrementó en 1 día la vida poscosecha del nardo en comparación con las flores testigo. En forma comercial, se tiene un producto denominado Crystal® de FloraLife® (que contiene alimento para las flores cortadas), el cual precipita las partículas de polvo y suciedad, además mantiene el agua de florero limpia y sin olor durante la apertura y crecimiento floral, esto al aplicarse una dosis de 5 g·L<sup>-1</sup> (FloraLife, 2020).

En soluciones conservadoras, el germicida 8-HQC es el más utilizado para controlar bacterias, levaduras y hongos (Kumar et al., 2017). La sacarosa al 1 o 2 % es la fuente de energía más empleada para proveer energía a las flores, y los ácidos o sales adicionados para ajustar el pH (entre 3.5 y 5.0) son necesarios para reducir el desarrollo de algunos microorganismos y para que el consumo de agua por los tallos florales sea más fácil (Kumar et al., 2017).

Por lo anterior, el objetivo del trabajo fue evaluar la aplicación de soluciones conservadoras (Crystal®, sacarosa [Sac] + ácido cítrico [AC] + hidroxiquinoleína citrato [HQC] o ácido ascórbico [AAsc]) sobre algunos cambios físicos, fisiológicos y químicos de espigas de nardo 'Mexicano' y 'Perla' durante poscosecha.

## Materiales y métodos

### Material vegetal

Se cosecharon espigas de nardo de las variedades 'Mexicano' y 'Perla' de huertas comerciales ubicados

where those that did not have pathogen damage and had at least two open basal flowers, were selected. Approximately 100 tuberose flower spikes of each variety were cut at 40 cm, and in each group were formed two lots of 50 inflorescences, which were placed under four preservative solutions (Table 1).

### Experimental design

Distilled water was used for the preparation of the preservative solutions (treatments), which contained Sac + CA + HQC, AAsc or Crystal®, and the control was a group of tuberose flower spikes that were kept only in distilled water (Table 1). The pH and electrical conductivity (EC) of each solution was determined with the help of some sensors (LAQUAtwin pH-33 and CE-33, Horiba®, Japan). Inflorescences were placed under laboratory conditions ( $22 \pm 2$  °C, 60 % RH and  $120 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  light intensity). The experimental design was completely randomized, where source of variation was preservative solutions, the experimental unit was a tuberose flower spike, and there were eight replicates for measuring non-destructive variables and six replicates for destructive variables. Samples were taken every 2 d.

### Response variables

One of the non-destructive variables was appearance, for which a hedonic scale was used where 5 was excellent (spikes with turgid flowers), 4 was good (spikes with edge of flowers with initial signs of dehydration), 3 was regular (spikes with first basal flowers withered), 2 was bad (spikes with 10 % of flowers withered) and 1 was considered senescent (flowers with more than 25 % of flowers withered); when flowers reached classification 2, they were considered without commercial value. Another variable evaluated was water consumption; for this purpose, inflorescences were placed in 1 L test tubes (with 500 mL of the preservative solution) without changing the

en Cuahuchichinola, Mazatepec, Morelos ( $18^\circ 38' 54''$  latitud norte y  $99^\circ 22' 56''$  longitud oeste, a 996 msnm). La cosecha se realizó a las 8:00 a.m., y las espigas se trasladaron al Laboratorio de Producción Agrícola en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, donde se seleccionaron aquellas que no presentaran daños de patógenos y que tuvieran al menos dos flores basales abiertas. Se recortaron aproximadamente 100 espigas de cada variedad a 40 cm, y en cada grupo se formaron dos lotes de 50 inflorescencias, los cuales se colocaron bajo cuatro soluciones conservadoras (Cuadro 1).

### Diseño experimental

Se utilizó agua destilada para la preparación de las soluciones conservadoras (tratamientos), las cuales contenían Sac + AC + HQC, AAsc o Crystal®, y el testigo fue un grupo de espigas que se mantuvo sólo en agua destilada (Cuadro 1). A cada solución se le determinó pH y conductividad eléctrica (CE) con ayuda de unos sensores (LAQUAtwin pH-33 y CE-33, Horiba®, Japón). Las inflorescencias se colocaron bajo condiciones de laboratorio ( $22 \pm 2$  °C, 60 % HR y  $120 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  de intensidad luminosa). El diseño experimental fue completamente al azar, donde la fuente de variación fueron las soluciones conservadoras, la unidad experimental fue una espiga, y se tuvieron ocho repeticiones para medir las variables no destructivas y seis repeticiones para las variables destructivas. Los muestreos se realizaron cada 2 días.

### Variables respuesta

Una de las variables no destructivas fue la apariencia, para la cual se utilizó una escala hedónica donde 5 fue excelente (espigas con flores turgentes), 4 fue buena (espigas con borde de las flores con signos iniciales de deshidratación), 3 fue regular (espigas con las primeras flores basales marchitas), 2 fue mala (espigas con 10 % de las flores marchitas) y 1 se consideró senescente

**Table 1. Preservative solutions evaluated on the post-harvest life of 'Mexicano' and 'Perla' tuberose.**

**Cuadro 1. Soluciones conservadoras evaluadas sobre la vida poscosecha de nardo 'Mexicano' y 'Perla'.**

Product/ Producto	Concentration/ Concentración	pH	Electrical conductivity ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )/ Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )
Crystal®	$10 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$	3.45	387
Sac + CA + HQC/ Sac + AC + HQC	$2\% + 100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1} + 100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$	3.63	183
AAsc	$200 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$	3.54	133
Water/Agua	Control/Testigo	5.3	8

Sac = sucrose; CA = citric acid; HQC = hydroxyquinoline citrate; AAsc = ascorbic acid.

Sac = sacarosa; AC = ácido cítrico; HQC = hidroxiquinoleína citrato; AAsc = ácido ascórbico.

water and the change in volume was recorded every 2 d until the end of the experiment. The relative fresh weight was measured in each tuberose flower spike using a digital scale (Ohaus®, USA), regarding 100 % the initial weight; this variable was determined in parallel with water consumption. The number of accumulated open flowers was obtained from each flower spike, from the basal part to the apical part.

Destructive variables were respiration or CO<sub>2</sub> production, total sugars and specific superoxide dismutase (SOD) activity. Respiration was quantified by means of a static system (Salveit, 2016), which consisted in placing a tuberose flower spike in a plastic container with a capacity of 4300 mL, hermetically sealed for 3 h. Subsequently, 1 mL of gas was taken from the headspace through a septum of the container and injected into a gas chromatograph (789A GC, Agilent Technologies, USA), which had an open-type column with porous silica layer gaskets, simultaneously connected to a thermal conductivity detector. Equipment conditions were 150, 80 and 170 °C for the injector, oven and detector, respectively. Nitrogen was used as carrier gas. CO<sub>2</sub> quantification was performed with a standard of 460 mg·L<sup>-1</sup> provided by Infra S.A. de C.V. (Mexico).

Total sugars were determined from the Antrone method (Whitam et al., 1971). A total of 1 g of two flower petals was taken from the middle of each flower spike and was finely chopped, 20 mL of 80 % alcohol was added and boiled for 10 min. The mixture was kept in refrigeration for 15 d; then, it was filtered, 1 mL of the solution was taken, evaporated and diluted (1:20); from which 1 mL was taken, the volume was adjusted to 3 mL with distilled water, 6 mL of Antrone reagent was added and the mixture was stirred (Vortex-Genie 2, Scientific Industries, USA). At the same time, a blank was prepared to which 3 mL of distilled water and 6 mL of Antrone reagent were added (0.4 g·L<sup>-1</sup>); the reaction was carried out in cold water. The tubes were brought to a boil in a water bath and then immersed in cold water. Finally, absorbance readings were taken at 600 nm in a spectrophotometer (Uv-vis GENESYS™ 10S, Thermo Fisher, USA). Sugars were quantified by means of a glucose calibration curve.

To determine the specific SOD activity, 10 flowers were taken from the middle to the apex of the flower spike, and the flower petals were used to make acetone powder (PAC) (Alia-Tejacal et al., 2005). PAC was obtained from 15 g of petals plus 25 mL of acetone in freezing (-15 °C), the mixture was homogenized (T 25 digital Ultra-turrax®, IKA, USA) for 25 s and vacuum filtered in a Buchner funnel. After homogenizing and filtering three times, the extract was left to dry in Petri dishes at room temperature (22 ± 2 °C); after 5 h, it was weighed and stored in the freezer (-20 °C) in plastic bags until

(flores con más de 25 % de flores marchitas); cuando las flores alcanzaron la clasificación 2, se consideraron sin valor comercial. Otra variable evaluada fue el consumo de agua; para ello, se colocaron las inflorescencias en probetas de 1 L (con 500 mL de la solución conservadora) sin realizar cambio de agua y se registró el cambio de volumen cada 2 días hasta finalizar el experimento. El peso fresco relativo se midió en cada espiga con una balanza digital (Ohaus®, EUA), considerándose como 100 % el peso inicial; esta variable se determinó en forma paralela al consumo de agua. El número de flores abiertas acumuladas se obtuvo de cada espiga, de la parte basal hacia la aparte apical.

Las variables destructivas fueron la respiración o producción de CO<sub>2</sub>, los azúcares totales y la actividad específica de la superóxido dismutasa (SOD). La respiración se cuantificó mediante un sistema estático (Salveit, 2016), el cual consistió en colocar una espiga de nardo en un recipiente de plástico con capacidad de 4300 mL cerrado herméticamente durante 3 h. Posteriormente, se tomó 1 mL de gas del espacio de cabeza a través de una septa del recipiente para inyectarlo en un cromatógrafo de gases (789A GC, Agilent Technologies, EUA), el cual tenía una columna tipo abierta, con empaques de capa porosa de sílica, conectada simultáneamente a un detector de conductividad térmica. Las condiciones del equipo fueron 150, 80 y 170 °C para el inyector, horno y detector, respectivamente. Se utilizó nitrógeno como gas de arrastre. La cuantificación del CO<sub>2</sub> se realizó con un estándar de 460 mg·L<sup>-1</sup> proporcionado por Infra S.A. de C.V. (México).

Los azúcares totales se determinaron a partir del método de Antrona (Whitam *et al.*, 1971). Se tomó 1 g de pétalo de dos flores en la parte media de cada espiga y se picó finamente, se agregaron 20 mL de alcohol al 80 % y se sometió a ebullición durante 10 min. La mezcla se mantuvo en refrigeración por 15 días; posteriormente, se filtró, se tomó 1 mL de la solución, se evaporó y se hizo una dilución (1:20); de cual se tomó 1 mL, se ajustó el volumen a 3 mL con agua destilada, se agregaron 6 mL del reactivo de Antrona y se agitó la mezcla (Vortex-Genie 2, Scientific Industries, EUA). Al mismo tiempo, se preparó un blanco al que se le añadieron 3 mL de agua destilada y 6 mL del reactivo de Antrona (0.4 g·L<sup>-1</sup>); la reacción se llevó a cabo en agua fría. Los tubos se llevaron a ebullición en baño María y después se sumergieron en agua fría. Finalmente, se tomaron lecturas de absorbancia a 600 nm en un espectrofotómetro (Uv-vis GENESYS™ 10S, Thermo Fisher, EUA). La cuantificación de los azúcares se realizó mediante una curva de calibración con glucosa.

Para determinar la actividad específica de la SOD, se tomaron 10 flores de la parte media hacia el ápice de la espiga, y los pétalos de las flores se utilizaron para elaborar polvo de acetona (PAC) (Alia-Tejacal *et al.*, 2005). Los PAC se obtuvieron a partir de 15 g de pétalos más

further analysis. The weight of the PAC was determined according to the ratio of the fresh weight of macerated flowers to the weight of the dry powder.

From the PAC, the extraction and quantification of SOD activity was carried out (EC. 1.15.1.1). The procedure started from 0.1 g of acetone powder, to which 5 mL of Tris-HCl buffer (0.1 M, pH 7.8) were added and homogenized for 20 s; then, the mixture was placed in a centrifuge (Z 326 K, HERMLE, USA) at 12 096 g for 30 min at 4 °C and the supernatant was reserved. For the enzymatic test, the methodology proposed by Beyer and Fridovich (1987) was used, in which 27 mL of phosphate buffer (0.1 mM and pH 7.8 + EDTA), 1.5 mL of L-methionine (30 mg·mL<sup>-1</sup>), 1 mL of tetrazolium nitroblue (1.41 mg·mL<sup>-1</sup>) and 0.75 mL of 1% Triton X-100 were mixed. To 3 mL of this mixture, 0.5 mL of the supernatant and 0.03 mL of riboflavin (4.4 mg·100 mL<sup>-1</sup>) were added; the mixture was stirred and illuminated for 7 min with fluorescent light and, later, the readings were made in absorbance at 560 nm using a spectrophotometer.

The increase in absorbance, due to the formation of nitro-blue tetrazolium formazan (NBTF), per unit of time is equivalent to the reaction rate; absorbance in the absence or presence of various amounts of supernatant with SOD was used to determine the number of units per milliliter of SOD in solution. The enzymatic activity was reported as specific activity (U·mg prot<sup>-1</sup>), where U is an enzymatic unit of SOD and is equal to the amount of supernatant that photo-inhibits 50 % of the NBTF formation (Giannopolities & Ries, 1977; Stauffer, 1989).

Soluble protein was determined by the Bradford's method (1976). For this purpose, a mixture was prepared with 0.05 g of PAC and 5 mL of Tris-HCl (0.1 M, pH 7.8), and it was homogenized for 10 s. Then, the mixture was centrifuged at 12 096 g for 30 min at 4 °C. From the supernatant, 0.1 mL was taken and mixed with 5 mL of Coomassie blue solution. The mixture was stirred, and its absorbance measured at 595 nm after 12 min in a spectrophotometer. Quantification was done from a calibration curve with bovine albumin.

### Data analysis

The data were subjected to an analysis of variance and a Tukey mean comparison ( $P \leq 0.05$ ). The SAS statistical package (SAS Institute, 1999) was used for data analysis, as well as the GLM and MEANS commands (Castillo-Márquez, 2011).

### Results and discussion

The 'Mexicano' variety, with different preservative solutions, increased its relative fresh weight on the

25 mL de acetona en congelación (-15 °C); la mezcla se homogeneizó (T 25 digital Ultra-turrax®, IKA, EUA) por 25 s y se filtró al vacío en un embudo Buchner. Después de homogeneizar y filtrar en tres ocasiones, el extracto se dejó secar en cajas de Petri a temperatura ambiente (22 ± 2 °C); pasadas 5 h, se pesó y se guardó en el congelador (-20 °C) en bolsas de plástico hasta su posterior análisis. El peso del PAC se determinó en función de la relación del peso fresco de flores maceradas entre el peso del polvo seco.

A partir del PAC se realizó la extracción y cuantificación de la actividad de la SOD (EC. 1.15.1.1). El procedimiento inició a partir de 0.1 g de polvo de acetona, al cual se le adicionaron 5 mL de buffer Tris-HCl (0.1 M, pH 7.8) y se homogeneizaron por 20 s; posteriormente, la mezcla se colocó en una centrífuga (Z 326 K, HERMLE, EUA) a 12 096 g durante 30 min a 4 °C y se reservó el sobrenadante. Para el ensayo enzimático, se empleó la metodología propuesta por Beyer y Fridovich (1987), en la cual se mezclaron 27 mL de buffer de fosfatos (0.1 mM y pH 7.8 + EDTA), 1.5 mL de L-metionina (30 mg·mL<sup>-1</sup>), 1 mL de nitroazul de tetrazolio (1.41 mg·mL<sup>-1</sup>) y 0.75 mL de Triton X-100 al 1 %. A 3 mL de esta mezcla se le adicionaron 0.5 mL del sobrenadante y 0.03 mL de riboflavina (4.4 mg·100 mL<sup>-1</sup>); la mezcla se agitó e iluminó por 7 min con luz fluorescente y, posteriormente, las lecturas se hicieron en absorbancia a 560 nm en un espectrofotómetro.

El incremento en absorbancia, debido a la formación de nitroazul de tetrazolio formazan (NBTF), por unidad de tiempo equivale a la velocidad de reacción, y la absorbancia en ausencia o en presencia de varias cantidades de sobrenadante con SOD se utilizó para determinar el número de unidades por mililitro de SOD en la solución. La actividad enzimática se reportó como actividad específica (U·mg prot<sup>-1</sup>), donde U es una unidad enzimática de SOD y es igual a la cantidad de sobrenadante que foto-inhibe el 50 % de la formación de NBTF (Giannopolities & Ries, 1977; Stauffer, 1989).

La proteína soluble se determinó por el método de Bradford (1976). Para ello, se preparó una mezcla con 0.05 g de PAC y 5 mL de Tris-HCl (0.1 M, pH 7.8), y se homogeneizó por 10 s. Después, la mezcla se centrifugó a 12 096 g durante 30 min a 4 °C. Del sobrenadante, se tomaron 0.1 mL y se mezclaron con 5 mL de una solución de azul de Coomassie. La mezcla se agitó y se midió su absorbancia a 595 nm después de 12 min en un espectrofotómetro. La cuantificación se hizo a partir de una curva de calibración con albúmina de bovino.

### Análisis de datos

Los datos se sometieron a un análisis de varianza y una comparación de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ). Se utilizó el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 1999) para el

third day: 13 % with Crystal®, 9 % with Sac + CA + HQC and 5 % with AAsc. Afterwards, the relative fresh weight was kept in the case of tuberose flower spikes with Crystal®, and with the rest of the treatments it decreased more than 100 % (Figure 1A). The 'Perla' variety had a significant increase between 11 and 18 % of fresh weight with Crystal® and AAsc, after 3 and 5 days of evaluation, respectively, being maintained even after 7 days (Figure 1B). Control flower spikes, both varieties 'Mexicano' and 'Perla', showed the lowest fresh weight from the third day (Figure 1A and 1B). In postharvest, the relative fresh weight behavior of cut flowers reflects the balance between the water they absorb and the water they lose through transpiration through leaf stomata and, in some cases, flowers (van Doorn, 2012). In both tuberose varieties, the solution with Crystal® favored water consumption and probably stoma closure.

For the variety 'Mexicano', water consumption was between 101 and 148 % higher for flower spikes treated with some nutritive solution compared to the control flowers (Figure 1C). In the case of the variety 'Perla', water consumption was between 101.5 and 238.9 % higher for flowers treated with Crystal® or AAsc, while flower spikes treated with Sac + CA + HQC consumed between 54 and 64 % more compared to the control flower spikes (Figure 1D). Solutions with Crystal® or AAsc improved water relations for both varieties (Figures 1A-D).

One of the main problems of the tuberose in post-harvest is the obstruction of the xylem (Sao & Verma, 2020). The preservative solutions evaluated favored water consumption because the pH of the water decreased (Table 1), which prevented the development of microorganisms in the environment and aided in water absorption (Kumar et al., 2017). Mosqueda-Lazcares et al. (2011) evaluated the use of Crystal® in eight rose varieties and observed an improvement in hydration, as there was a 69 % increase in relative fresh weight compared to stems placed in tap water. These authors attributed this response, in part, to the pH of the Crystal® solution being 5, which was lower than the pH of tap water, which was between 6.5 - 7, suggesting that the surface tension of the water was broken and absorption by the conductive tissues of the rose stem was easier. The preservative solutions evaluated showed higher EC (Table 1), suggesting that some of the solutes were transported to the leaves and petals, which caused higher water consumption (Sigma et al., 2018).

At the beginning, the appearance of the 'Mexicano' tuberose flower spikes was excellent, on the third day it was good and on the fifth day regular, with no differences between treatments (Figure 1E). In the case of the variety 'Perla', tuberose flower spikes treated with Crystal® showed an excellent appearance,

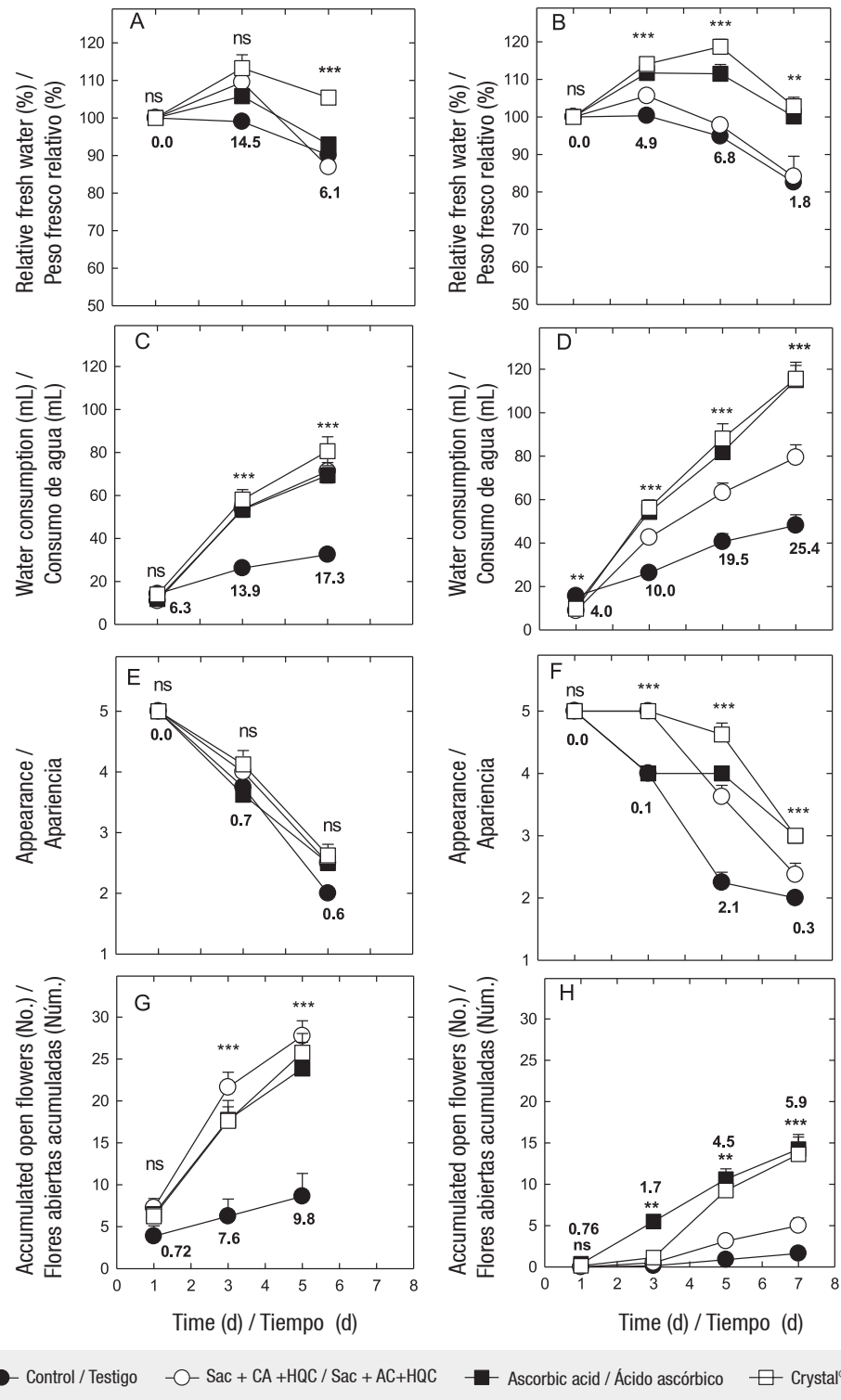
análisis de datos, así como los comandos GLM y MEANS (Castillo-Márquez, 2011).

## Resultados y discusión

La variedad 'Mexicano', con diferentes soluciones conservadoras, aumentó su peso fresco relativo al tercer día: 13 % con Crystal®, 9 % con Sac + AC + HQC y 5 % con AAsc. Posteriormente, el peso fresco relativo se mantuvo en las espigas tratadas con Crystal®, y con el resto de los tratamientos disminuyó más de 100 % (Figura 1A). En la variedad 'Perla' se tuvo un aumento significativo entre 11 y 18 % de peso fresco con Crystal® y AAsc, después de 3 y 5 días de evaluación, respectivamente, manteniéndose así aun después de 7 días (Figura 1B). Las espigas del testigo, tanto 'Mexicano' como 'Perla', mostraron el menor peso fresco a partir del tercer día (Figura 1A y 1B). En poscosecha, el comportamiento del peso fresco relativo de las flores de corte refleja el balance entre el agua que absorben y el agua que pierden por transpiración a través de los estomas de las hojas y, en algunos casos, de las flores (van Doorn, 2012). En ambas variedades de nardo, la solución con Crystal® favoreció el consumo de agua y, probablemente, el cierre de estomas.

En 'Mexicano', el consumo de agua fue entre 101 y 148 % mayor en las espigas tratadas con alguna solución nutritiva en comparación con las flores testigo (Figura 1C). En 'Perla', el consumo de agua fue entre 101.5 y 238.9 % mayor en las flores cuando se trataron con Crystal® o AAsc, mientras que las espigas tratadas con Sac + AC + HQC consumieron entre 54 y 64 % más que las espigas testigo (Figura 1D). En ambas variedades, las soluciones con Crystal® o AAsc mejoraron las relaciones hídricas (Figuras 1A-D).

Uno de los principales problemas del nardo en poscosecha es el taponamiento del xilema (Sao & Verma, 2020). Las soluciones conservadoras evaluadas favorecieron el consumo de agua debido a que el pH del agua disminuyó (Cuadro 1), lo que evitó el desarrollo de microorganismos en el medio y ayudó en la absorción del agua (Kumar et al., 2017). Mosqueda-Lazcares et al. (2011) evaluaron el uso de Crystal® en ocho variedades de rosa y observaron una mejora en la hidratación, ya que hubo un incremento de 69 % en el peso fresco relativo en comparación con tallos colocados en agua de la llave. Estos autores atribuyeron dicha respuesta, en parte, a que el pH de la solución de Crystal® fue de 5, el cual fue inferior al pH del agua de la llave, que estuvo entre 6.5 - 7, lo cual sugiere que se rompió la tensión superficial del agua y facilitó la absorción por los tejidos conductores del tallo de la rosa. Las soluciones conservadoras evaluadas mostraron mayor CE (Cuadro 1), esto sugiere que parte de los solutos se transportaron a las hojas y pétalos, lo que ocasionó un mayor consumo de agua (Sigma et al., 2018).



**Figure 1.** Changes in relative fresh weight, water consumption, appearance and open flowers in two native varieties of tuberose: 'Mexicano' (A, C, E and G) and 'Perla' (B, D, F and H), submitted to different preservative solutions (Crystal®, sucrose [Sac] + citric acid [CA] + hydroxyquinoline citrate [HQC] or ascorbic acid). Each point represents the average of eight observations  $\pm$  their standard error. The notations ns, \*, \*\* and \*\*\* indicate statistical significance with 0.05, 0.01 and  $<0.0001$ , respectively. Numbers in black indicate minimal significant difference (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

**Figura 1.** Cambios en el peso fresco relativo, consumo de agua, apariencia y flores abiertas en dos variedades nativas de nardo: 'Mexicano' (A, C, E y G) y 'Perla' (B, D, F y H), sometidas a diferentes soluciones conservadoras (Crystal®, sacarosa [Sac] + ácido cítrico [AC] + hidroxiquinololéina citrato [HQC] o ácido ascórbico). Cada punto representa la media de ocho observaciones  $\pm$  su error estándar. Las notaciones ns, \*, \*\* y \*\*\* indican significancia estadística con 0.05, 0.01 y  $<0.0001$ , respectivamente. Números en negro indican diferencia mínima significativa (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).



even after 5 d. After 7 d of evaluation, the tuberose flower spikes with Crystal® or AAsc showed a regular appearance. On the other hand, the control flowers had a bad appearance from the fifth day. The application of Crystal® and AAsc generated a positive effect on the variety 'Perla' (Figure 1F).

The product Crystal® has been evaluated in roses and has improved their post-harvest life, mainly because it decreases pH and acidity, and provides sugars needed for flower opening (Mosqueda-Lazcares et al., 2011); a similar effect can be attributed to the tuberose. AAsc improves postharvest life in cut flowers because it is considered a bioregulator that in low concentrations has an effect on quality and vase life, mainly as a promoter of plant compounds (Budiarto, 2019).

The varieties 'Mexicano' and 'Perla' showed no significant differences between treatments in the number of flowers open at the beginning of the experiment (Figure 1G and 1H). Later, tuberose flower spikes of the 'Mexicano' variety placed in preservative solutions showed a greater number of flowers open at 5 d (between 24 and 28 flowers), compared to the control tuberose flower spikes (Figure 1G). After 7 d, 13-14 'Perla' flowers opened with Crystal® and AAsc (Figure 1H). In both varieties, the flower spikes treated with Crystal® or AAsc maintained the highest flower opening (Figure 1H). Anjum et al. (2001) mentioned that doses of AAsc between 50 and 200 mg·L<sup>-1</sup> increased flower opening by up to 41 % compared to the control (14.21% opening), which is similar to that obtained in this study.

Roses have reported that AAsc helps to maintain flower opening, even after water stress (Jin et al., 2006). In some cut flowers, the application of sugars in solution favors the postharvest behavior and the floral opening (Reid, 2009). In the present study, the preservative solution composed of Sac + CA + HQC in the case of the variety 'Mexicano' also favored the floral opening (Figure 1G). This suggests that solutions are important in tuberose because of their effect on flower opening.

Respiration for the variety 'Mexicano' remained similar during the first three days of evaluation, and on the fifth day it increased in all treatments, except for the flower spikes with Crystal® (Figure 2A). For the variety 'Perla', respiration increased from the third day on the flower spikes with Sac + CA + HQC and the controls, while the flowers spikes with Crystal® reduced respiration until the fifth day of the evaluation, and on the last day it increased significantly. This situation did not occur in the flower spikes with AAsc, which had constant respiration (Figure 2B). Reid and Jiang (2012) indicate that post-harvest life of daffodil flowers is shorter when respiration increases, which occurred in the control flower spikes and with application of Sac + CA + HQC.

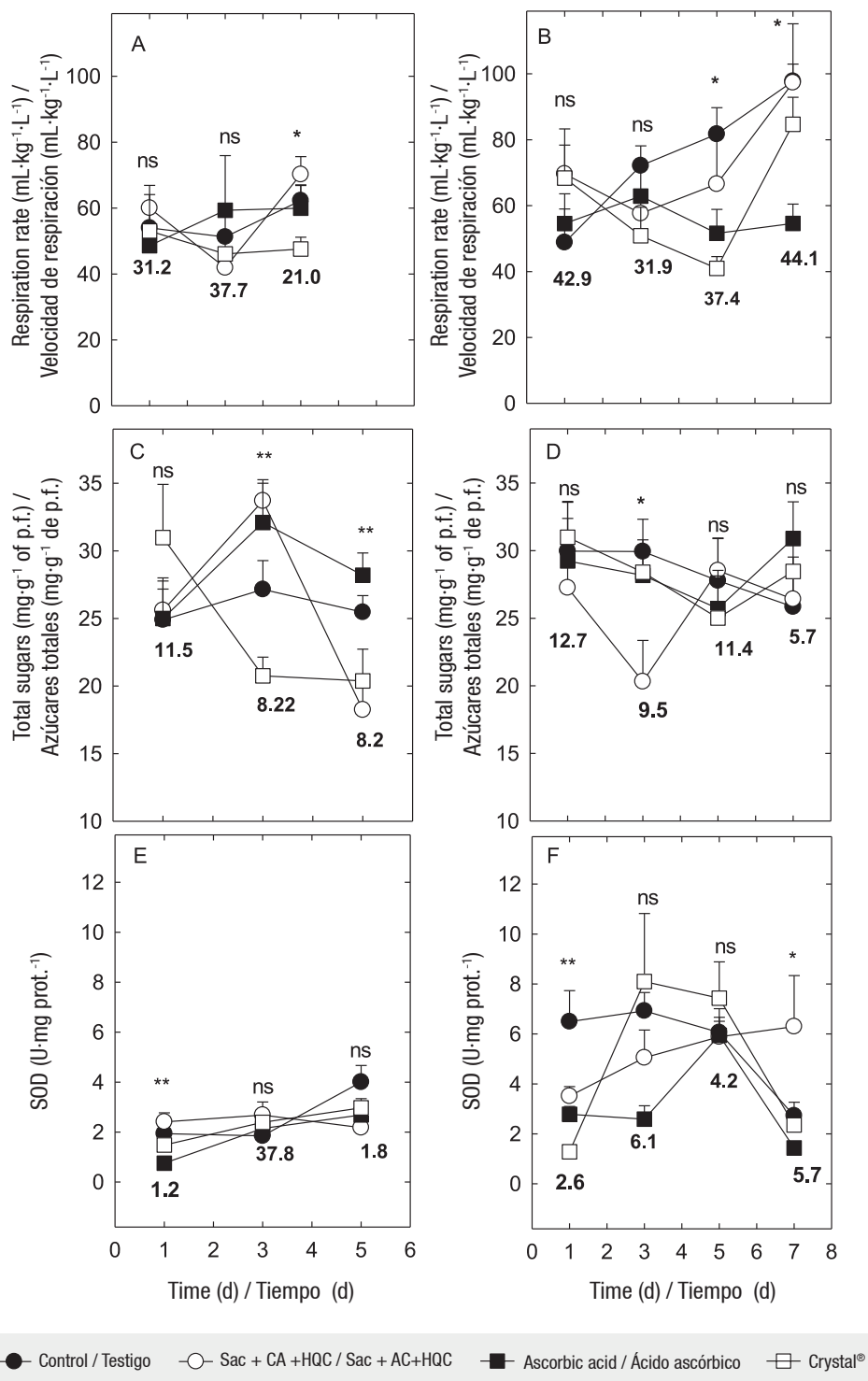
Al inicio, la apariencia de las espigas de nardo 'Mexicano' fue excelente, al tercer día fue buena y al quinto día regular, sin que se detectaran diferencias entre tratamientos (Figura 1E). En 'Perla', las espigas que se trataron con Crystal® mostraron una apariencia excelente, aun a los 5 días. A los 7 días de evaluación, las espigas con Crystal® o AAsc expusieron una apariencia regular. Por su parte, las flores testigo mostraron una apariencia mala desde los 5 días. La aplicación de Crystal® y AAsc generó un efecto positivo en 'Perla' (Figura 1F).

El producto Crystal® se ha evaluado en rosa y ha mejorado su vida en poscosecha, principalmente porque disminuye el pH y la acidez, además de aportar azúcares que son necesarios para la apertura floral (Mosqueda-Lazcares et al., 2011); un efecto similar se puede atribuir en nardo. El AAsc mejora la vida poscosecha en flores de corte, ya que se considera un bioregulator que en bajas concentraciones ejerce un efecto en la calidad y vida de florero, principalmente como promotor de los compuestos de las plantas (Budiarto, 2019).

En 'Mexicano' y 'Perla' no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos en el número de flores abiertas al inicio del experimento (Figura 1G y 1H). Posteriormente, las espigas de la variedad 'Mexicano' colocadas en las soluciones conservadoras mostraron un mayor número de flores abiertas a los 5 días (entre 24 y 28 flores), en comparación con las espigas testigo (Figura 1G). Después de 7 días, abrieron entre 13 y 14 flores de 'Perla' con Crystal® y AAsc (Figura 1H). En ambas variedades, las espigas tratadas con Crystal® o AAsc mantuvieron la mayor apertura de flores (Figura 1H). Anjum et al. (2001) mencionan que dosis de AAsc entre 50 y 200 mg·L<sup>-1</sup> incrementan la apertura floral hasta en un 41 % en comparación con el testigo (apertura de 14.21 %), lo que es similar a lo obtenido en el presente trabajo.

En rosa se ha reportado que el AAsc ayuda a mantener la apertura floral, aún después de un estrés hídrico (Jin et al., 2006). En algunas flores de corte, la aplicación de azúcares en solución favorece el comportamiento poscosecha y la apertura floral (Reid, 2009). En el presente trabajo, la solución conservadora compuesta con Sac + AC + HQC en 'Mexicano' también favoreció la apertura floral (Figura 1G). Lo anterior sugiere que las soluciones son importantes en nardo, esto debido a su efecto en la apertura floral.

La respiración en 'Mexicano' se mantuvo similar durante los tres primeros días de evaluación, y el quinto día incrementó en todos los tratamientos, a excepción de las espigas con Crystal® (Figura 2A). En 'Perla', la respiración aumentó a partir del tercer día en las espigas con Sac + AC + HQC y las testigo,



**Figure 2.** Changes in respiration, total sugars and specific superoxide dismutase (SOD) activity in two native varieties of tuberose: 'Mexicano' (A, C, E and G) and 'Perla' (B, D, F and H), submitted to different preservative solutions (Crystal®, sucrose [Sac] + citric acid [CA] + hydroxyquinoline citrate [HQC] or ascorbic acid). Each point represents the average of eight observations  $\pm$  their standard error. The notations ns, \*, \*\* and \*\*\* indicate statistical significance with 0.05, 0.01 and <0.0001, respectively. Numbers in black indicate minimal significant difference (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

**Figura 2.** Cambios en la respiración, azúcares totales y actividad específica de la superóxido dismutasa (SOD) en dos variedades nativas de nardo: 'Mexicano' (A, C, E y G) y 'Perla' (B, D, F y H), sometidas a diferentes soluciones conservadoras (Crystal®, sacarosa [Sac] + ácido cítrico [AC] + hidroxiquinoleína citrato [HQC] o ácido ascórbico). Cada punto representa la media de ocho observaciones  $\pm$  su error estándar. Las notaciones ns, \*, \*\* y \*\*\* indican significancia estadística con 0.05, 0.01 y <0.0001, respectivamente. Números en negro indican diferencia mínima significativa (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

In the concentration of total sugars, no significant differences were detected between the treatments applied to 'Mexicano' tuberoses at the beginning of the experiment, but from the third day on, flower spikes treated with Sac + CA + HQC and AAsc had the highest concentration of sugars, and those treated with Crystal® maintained the lowest concentration (Figure 2C). On the fifth day, flower spikes with AAsc and the controls were maintained with the highest values, and flower spikes with Sac + CA + HQC and Crystal® with the lowest values (Figure 2C). The variety 'Perla' had differences only between treatments on the third day, where flower spikes treated with Sac + CA + HQC had the lowest sugar content. In the following days, no differences between treatments were detected, and the trend in all treatments was decreasing.

Arief-Zargar (2016) points out that during the senescence of the flowers the content of sugars in petals decreases because they are used as substrates for respiration. However, in the present study this association was not observed because in the case of the variety 'Mexicano' the flower spikes with lowest respiration also had the lowest concentration of sugars, which were those treated with Sac + CA + HQC. In contrast, flower spikes of the variety 'Perla' did not show differences in total sugar content, while in respiration clear differences were observed between treatments (Figure 2B). The lack of association between sugars and respiration is probably attributed to the fact that sugars were evaluated in flowers from the middle of the spike and respiration was evaluated from the whole spike.

For the variety 'Mexicano', the specific SOD activity at the beginning of the experiment was higher in the flower spikes treated with Sac + CA + HQC, and the lowest activity was in the flower spikes treated with AAsc. In the following days, no differences were detected between treatments, although it was observed that the flower spikes with preservative solutions increased their activity in a lower proportion compared to the control flower spikes, which was more evident on the fifth day of evaluation (Figure 2E). The variety 'Perla' showed differences between treatments in terms of specific SOD activity, where control flower spikes kept their activity constant for 5 d, and on the seventh day had a drastic decrease. On the other hand, the spikes with preservative solutions started with low activity and reached their maximum on the third, fifth and seventh day when they were treated with Crystal®, AAsc or Sac + CA + HQC, respectively. At the end of the period, this activity decreased dramatically in all treatments, except for the flower spikes treated with Sac + CA + HQC (Figure 2F)

Saeed et al. (2014) suggest that higher SOD activity in postharvest cut flowers is associated with a delay

en tanto que las espigas con Crystal® disminuyeron su respiración hasta el quinto día de evaluación, y el último día incrementó significativamente. Esta situación no ocurrió en las espigas con AAsc, las cuales mantuvieron constante su respiración (Figura 2B). Reid y Jiang (2012) indican que la vida poscosecha de flores de narciso es menor cuando la respiración incrementa, lo que ocurrió en las espigas testigo y con aplicación de Sac + AC + HQC.

En la concentración de azúcares totales no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos aplicados a nardo 'Mexicano' al inicio del experimento, pero a partir del tercer día las espigas tratadas con Sac + AC + HQC y AAsc tuvieron la mayor concentración de azúcares, y las tratadas con Crystal® mantuvieron la menor concentración (Figura 2C). En el quinto día, las espigas con AAsc y las testigo se mantuvieron con los valores mayores, y las espigas con Sac + AC + HQC y Crystal® con los valores menores (Figura 2C). En 'Perla', sólo se encontraron diferencias entre tratamientos al tercer día, donde las espigas tratadas con Sac + AC + HQC mostraron el menor contenido de azúcares. En los días posteriores, no se detectaron diferencias entre tratamientos, y la tendencia en todos los tratamientos fue decreciente.

Arief-Zargar (2016) señala que durante la senescencia de las flores el contenido de los azúcares en los pétalos disminuye, ya que son utilizados como sustratos de la respiración. No obstante, en el presente trabajo no se observó dicha asociación, ya que en 'Mexicano' las espigas que tuvieron la menor respiración también mostraron la menor concentración de azúcares, que fueron las tratadas con Sac + AC + HQC. En contraste, las espigas de 'Perla' no mostraron diferencias en el contenido de azúcares totales, mientras que en respiración se observaron claras diferencias entre tratamientos (Figura 2B). La falta de asociación entre los azúcares y la respiración se atribuye, probablemente, a que los azúcares se evaluaron en flores de la parte media de la espiga y la respiración fue de la espiga completa.

En 'Mexicano', la actividad específica de la SOD al inicio del experimento fue mayor en las espigas con Sac + AC + HQC, y la menor actividad fue en las espigas con AAsc. En los días posteriores, no se detectaron diferencias entre tratamientos, aunque se observó que las espigas con soluciones conservadoras incrementaron su actividad en menor proporción que las espigas testigo, lo cual fue más evidente el quinto día de evaluación (Figura 2E). En 'Perla', se observaron diferencias entre tratamientos en cuanto a la actividad específica de la SOD, donde las espigas testigo mantuvieron su actividad constante durante 5 días, y el séptimo día presentaron una disminución drástica. Por su parte, las espigas con soluciones conservadoras iniciaron con baja actividad

in senescence and therefore maintains adequate quality longer, resulting in longer post-harvest life. This behavior was mainly observed in 'Perla' flower spikes treated with Crystal® and AAsc.

## Conclusions

Preservative solutions in tuberose varieties 'Mexicano' and 'Perla' favor water consumption, flower opening and SOD activity; in addition, they maintain fresh weight, good appearance for more time and decreases respiration. No effect of preservative solutions on sugar content was detected. Solutions with Crystal® or AAsc had a beneficial effect on the post-harvest behavior of 'Mexicano' and 'Perla' tuberose flower spikes, which can be considered for developing post-harvest management technologies.

## Acknowledgements

The first author thanks the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) for the scholarship granted for postgraduate studies, from which the present study is derived.

### End of English version

## References / Referencias

- Alia-Tejagal, I., Colinas-León, M. T., Martínez-Damián, M. T., & Soto-Hernández, R. M. (2005). Daños por frío en zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore and Stearn) II: Cambios en fenoles totales y actividad enzimática. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 28(1), 25-32. <https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/28-1/4a.pdf>
- Anjum, M. A., Naveed, F., Shakeel, F., & Amin, S. (2001). Effect of some chemicals on keeping quality and vase life of tuberose (*Polianthes tuberosa* L.) cut flowers. *Journal of Research Science*, 12(1), 1-7. <https://www.bzu.edu.pk/jrscience/vol12no1/1.php>
- Arief-Zargar, M. (2016). *Postharvest physiology and handling of cut flowers*. Scholar's Press.
- Barba-González, R., Rodríguez-Domínguez, J. M., Castañeda-Saucedo, M. C., Rodríguez, A., Van Tuyt J. M., & Tapia-Campos, E. (2012). Mexican geophytes I. The genus *Polianthes*. *Floriculture and Ornamental Biotechnology*, 6(1), 122-128. [http://www.globalsciencebooks.info/Online/GSBOonline/images/2012/FOB\\_6\(S11\)/FOB\\_6\(S11\)122-128o.pdf](http://www.globalsciencebooks.info/Online/GSBOonline/images/2012/FOB_6(S11)/FOB_6(S11)122-128o.pdf)
- Beyer, F. W., & Fridovich, I. (1987). Assaying for superoxide activity: some large consequences of minor changes in conditions. *Analytical Biochemistry*, 161(2), 559-566. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(87\)90489-1](https://doi.org/10.1016/0003-2697(87)90489-1)
- 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(1-2), 248-254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- Budiarto, K. (2019). Effects of acids on post-harvest longevity of chrysanthemum cut flowers. *Planta Tropika: Journal of Agro Science*, 7(1), 33-40. <https://doi.org/10.18196/pt.2019.091.33-40>
- Castillo-Márquez, L. E. (2011). *Introducción al SAS® para Windows*. Universidad Autónoma Chapingo.
- FloraLife. (2020). *Floralife Crystal Clear®*. [http://www.floralife.com/cms\\_assets/File%20Library/Floralife/Spanish/14.%20FlowerFoodClear300\\_ProductSheet\\_spa.pdf](http://www.floralife.com/cms_assets/File%20Library/Floralife/Spanish/14.%20FlowerFoodClear300_ProductSheet_spa.pdf)
- Giannopolities, C. N., & Ries, S. K. (1977). Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiology*, 59(2), 309-314. <https://doi.org/10.1104/pp.59.2.309>
- González-Vega, M. E. (2016). *Polianthes tuberosa* L.: Revisión de sus aspectos filogenéticos, morfológicos y de cultivo. *Cultivos Tropicales*, 37(3), 120-136. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2715.4161>
- Saeed *et al.* (2014) sugieren que una mayor actividad de la SOD en poscosecha de flores de corte se asocia con un retraso en la senescencia y, por lo tanto, mantiene una calidad adecuada por más tiempo, lo que genera una mayor vida poscosecha. Este comportamiento se observó principalmente en las espigas de 'Perla' tratadas con Crystal® y AAsc.

## Conclusiones

Las soluciones conservadoras en las variedades de nardo 'Mexicano' y 'Perla' favorecen el consumo de agua, la apertura de flores y la actividad de la SOD; además, mantienen el peso fresco, la apariencia agradable por más tiempo y disminuyen la respiración. No se detectó efecto de las soluciones conservadoras en el contenido de azúcares. Las soluciones con Crystal® o AAsc mostraron un efecto benéfico en el comportamiento poscosecha de las espigas de nardo 'Mexicano' y 'Perla', que puede ser considerado para desarrollar tecnologías de manejo poscosecha.

## Agradecimientos

El primer autor agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca de estudios de posgrado, del cual deriva el presente trabajo.

### Fin de la versión en español

- Jin, J., Shan, N., Ma, N., Bai, J., & Gao, J. (2006). Regulation of ascorbate peroxidase at the transcript level is involved in tolerance to postharvest water deficit stress in the cut rose (*Rosa hybrida* L.) cv. Samantha. *Postharvest Biology and Technology*, 40(3), 236-243. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.01.014>
- Kameswari, P. L., Girwani, A., & RadhaRani, K. (2014). Genetic diversity in tuberose (*Polianthes tuberosa* L.) using morphological and ISSR markers. *Electronic Journal of Plant Breeding*, 5(1), 52-57. <http://www.ejplantbreeding.org/index.php/EJPB/article/view/154>
- Kumar, S., Barman, K., & Sharma, S. (2017). Postharvest management of comercial flowers. In: M. W. Siddiqui, & A. Ali (eds.), *Postharvest management of horticultlural crops practices for quality preservation* (pp: 91-150). CRC Press.
- Kumari, S., Raghupati, B., Sarika, K., & Deb, P. (2018). Effect of different preservatives on vase-life of cut tuberose (*Polianthes tuberosa* L.) cv. Calcutta Single. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(1), 1651-1657. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.701.200>
- Mosqueda-Lazcares, G., Arévalo-Galarza, M. L., Valdovinos-Ponce, G., Rodríguez-Pérez, J. E., & Colinas-León, M. T. (2011). Época de corte y manejo poscosecha de ocho cultivares de rosa de corte. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(3), 591-602. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342011000900015](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342011000900015)
- Nowak, J., & Rudnicki, R. M. (1990). *Postharvest handling and storage of cut flowers, florist greens, and potted plants*. Timber Press.
- Pérez-Arias, G. A., Alia-Tejagal, I., Colinas-León, M. T., Valdez-Aguilar, L. A., & Pelayo-Zaldívar, C. (2019). Postharvest physiology and technology of the tuberose (*Polianthes tuberosa* L.): an ornamental flower native to Mexico. *Horticulture, Environment and Biotechnology*, 60, 281-293. <https://doi.org/10.1007/s13580-018-00122-4>
- Reid, M. S. (2009). *Poscosecha de las flores cortadas. Manejo y recomendaciones*. Hortitecnia.
- Reid, M. S., & Jiang, C. Z. (2012). Postharvest biology and technology of cut flowers and potted plants. *Horticultural Reviews*, 40, 1-54. <https://doi.org/10.1002/9781118351871.ch1>
- Saeed, T., Hassan, I., Akhtar, N., & Jilani, G. (2014). Effect of gibberellic acid on the vase life and oxidative activities in senescing cut gladiolus flowers. *Plant Growth Regulation*, 72, 89-95. <https://doi.org/10.1007/s10725-013-9839-y>
- Salunkhe, D. K., Bhat, N. R., & Desai, B. B. (1990). *Postharvest biotechnology of flowers and ornamentals plants*. Springer-Verlag.
- Salveit, M. E. (2016). Respiratory metabolism. In: S. Pareek (ed.), *Postharvest Ripening Physiology of Crops* (pp. 139-156). CRC Press – Taylor and Francis.
- Sao, B., & Verma, L. S. (2020). Review on impact of different preservative solutions on vase-life of tuberose (*Polianthes tuberosa* L.) cut flowers. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(1), 1185-1188. <https://www.phytojournal.com/archives/?year=2020&vol=9&issue=1&ArticleId=10617>
- SAS Institute. (1991). *SAS/STAT User's guide version 8*. SAS Institute.
- Sigma, T. N., Hoque, M. A., & Hossain, M. M. (2018). Effect of different preservatives on vase life of tuberose. *Journal of Crop Science and Technology*, 7(3), 10-15. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33556.35204>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2020). *Cierre de la producción agrícola por cultivo (1980 - 2018)*. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Stauffer, C. E. (1989). *Enzyme assays for food scientists*. Van Nostrand Reinhold.
- van Doorn, W. G. (2012) Water relations of cut flowers: An update. *Horticultural Reviews*, 40, 55-106. <https://doi.org/10.1002/9781118351871.ch2>
- Vázquez-García, L. M. (2004). *Nardo (Polianthes spp.) y amolli (Manfreda spp.). Recursos fitogenéticos ornamentales de México*. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Wahitaka, K., Reid, M. S., & Dodge, L. L. (2001). Cold storage and flower keeping quality of cut tuberose (*Polianthes tuberosa* L.). *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 76(3), 271-275. <https://doi.org/10.1080/14620316.2001.11511362>
- Whitam, F. F., Blaydes, D. F., & Devlin, R. M. (1971). *Experiments in plant physiology*. Van Nostrand Reinhold.