

Effect of growth season in the growth and postharvest life of lisianthus (*Eustoma grandiflorum* L.)

Efecto de la estación de cultivo en el crecimiento y vida poscosecha de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* L.)

Escudero-Cortés, A.¹, Pérez Arias, G. A.^{1*}, Valdez Aguilar, L. A.²,
Alia Tejacal, I.¹, Juárez-López, P.¹, Pelayo-Zaldívar, C.³

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Av. Universidad, Núm. 1001, Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, C.P. 62209, México. ²Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calz. Antonio Narro 1923, C.P. 25315 Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. ³Departamento de Ciencias de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana, México, Av. San Rafael Atlixco 186, Col. Vicentina. 09340. Iztapalapa, Distrito Federal, México.

Cite this paper/Como citar este artículo: Escudero-Cortés, A., Pérez Arias, G. A., Valdez Aguilar, L. A., Alia Tejacal, I., Juárez-López, P., Pelayo-Zaldívar, C. (2021). Effect of growth season in the growth and postharvest life of lisianthus (*Eustoma grandiflorum* L.). *Revista Bio Ciencias* 8, e969. doi: <https://doi.org/10.15741/revbio.08.e969>



ABSTRACT

Seedlings of lisianthus 'ABC 2-3 Blue' were cultivated under plastic cover at Zacatepec, Morelos during two seasons of growth: autumn-winter (November to February) and spring-summer (April to June). The aim was to discover any seasonal effects on morphology, physiology, and in-vase behavior as such information can be used to develop technologies that improve crop management. Although plant height was comparable in both, cultivation time was greatest during autumn-winter (117 days vs. 73 days during spring-summer). Similarly, leaf area, root volume, and dry weight (both total and by organ type) were significantly higher in the former (autumn-winter) than in the latter ($p \leq 0.05$). Leaf glucose was highest during spring-summer; leaf sucrose during autumn-winter. After

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: April 13th 2020.

Accepted/Aceptado: June 02th 2021.

Available on line/Publicado: June 30th 2021.

RESUMEN

Plántulas de lisianthus 'ABC 2-3 Blue' fueron cultivadas bajo cubierta plástica en Zacatepec, Morelos, en dos ciclos: otoño-invierno (noviembre-febrero) y primavera-verano (abril-junio) para cuantificar algunas variables morfológicas, azúcares solubles y fisiológicas durante su desarrollo y postcosecha que aporten información sobre el efecto de la época de cultivo en la calidad y vida útil. Los resultados indicaron que la altura fue similar en ambos ciclos de cultivo; aunque, el tiempo de cultivo fue mayor en otoño-invierno (117 días) que en primavera-verano (73 días). El área foliar, volumen de raíz y peso seco total y por estructuras fue significativamente mayor ($p \leq 0.05$) en otoño-invierno. El contenido de sacarosa fue mayor en las hojas en otoño-invierno y la glucosa en primavera-verano. En poscosecha las flores de lisianthus mostraron un incremento significativo en la velocidad de respiración y el peso fresco relativo en las flores del ciclo otoño-invierno, aunque existió menor número de flores abiertas (2) y una apariencia buena por un tiempo mayor (10 días) comparado con las flores de primavera-verano. El contenido de sacarosa en las hojas en poscosecha se incrementó sustancialmente,

*Corresponding Author:

Gloria Alicia Pérez-Arias. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Avenida Universidad, Núm. 1001, Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos. Phone: (777) 162 6383. E-mail: voyal@hotmail.com.

harvest, significant increments in the rate of respiration and in relative fresh weight were experienced by autumn-winter flowers, along with visual scores that remained 'good' the longest (10 days); nevertheless, a smaller number of buds opened in their inflorescences (2 in total). The postharvest levels of leaf sucrose also increased in this group, while glucose and fructose diminished. Suitable levels of all 3 sugars (sucrose, fructose and glucose) endured the longest among the flowers of autumn-winter plants, while they decreased drastically in those cultivated during spring-summer. The smaller accumulation of dry matter and of soluble sugars during this period (spring-summer) resulted in a shorter postharvest life for lisianthus 'ABC 2-3 Blue'.

KEY WORDS

Leaf area, dry weight, sucrose, glucose, fructose.

Introduction

The lisianthus (*Eustoma grandiflorum* L.) is a seed-propagated, cut-flower crop that has been extensively hybridized by the Japanese (Griesbach, 1992). A member of the Gentianaceae family, it is native to the humid prairies of the southern United States and northern Mexico (Loyola & Vargas, 2005). It appeals to both producers and consumers alike because of the attractiveness of its flowers, their color (one of the few species on the market with blue flowers), and their relatively long vase lives (Harbaugh, 2007). The flowers can be single or double, vary from 5 to 9.5 cm in diameter, and be of a wide range of hues including white, green, yellow, pale to dark pink, lilac-purple, and even bicolor (Dole & Wilkins, 2005).

Despite its economic potential in both domestic and international markets, few producers actively grow lisianthus due to its relatively recent introduction, and information about managing techniques and their impact on quality is currently lacking (Alvarado-Camarillo *et al.*, 2018; Flores-Pérez *et al.*, 2018). At present, Mexico lacks reliable statistics concerning lisianthus production; however, active cultivation takes place in the states of Morelos, Mexico, Puebla, and Hidalgo – though generally under conditions of shelter.

mientras que la glucosa y fructosa disminuyeron. En las flores la sacarosa se mantuvo en niveles altos por más tiempo en las flores cultivadas en otoño-invierno, mientras que las flores cultivadas en primavera-verano, la sacarosa, fructosa y glucosa disminuyeron drásticamente en poscosecha. La menor acumulación de materia seca y azúcares solubles en primavera-verano propicia una menor vida útil de lisianthus 'ABC 2-3 Blue'.

PALABRAS CLAVE

Área foliar, peso seco, sacarosa, glucosa, fructosa.

Introducción

El lisianthus (*Eustoma grandiflorum* L.) es una flor de corte que se propaga por semilla y que ha sido hibridada por los japoneses (Griesbach, 1992). Es una planta originaria de las praderas húmedas de la zona meridional de los Estados Unidos y del norte de México, perteneciente a la familia de las Gentianáceas (Loyola & Vargas, 2005). Los productores y consumidores son atraídos por el lisianthus porque tienen flores atractivas, tienen larga vida en florero y es de las pocas especies que tienen flores azules en el mercado (Harbaugh, 2007). Las flores pueden ser simples o dobles de entre 5 y 9.5 cm de diámetro, con colores que van desde el blanco, verde, amarillos, rosa pálido a oscuro, lila púrpura y en ocasiones bicolors (Dole & Wilkins, 2005).

Debido a su reciente introducción, actualmente hay pocos productores que se dedican a este cultivo a pesar de su potencial como planta ornamental en el mercado nacional e internacional, pero se carece del conocimiento en las técnicas de manejo del cultivo que garanticen la calidad de la flor (Alvarado-Camarillo *et al.*, 2018; Flores-Pérez *et al.*, 2018). Actualmente, en México, no se tienen estadísticas de la producción de esta flor de corte, sin embargo, se reconocen áreas de producción en Morelos, Estado de México, Puebla e Hidalgo, generalmente cultivadas bajo condiciones de agricultura protegida. A nivel nacional existen dos épocas de mayor producción de lisianthus, otoño-invierno y primavera-verano, coincidiendo la época de cosecha con los días festivos del 14 de febrero y 10 de mayo. Durante el desarrollo de ambas temporadas de producción, las condiciones ambientales bajo las cuales se producen son contrastantes, ya que en el primer periodo las temperaturas son significativamente menores

Nationwide, peak production occurs during the seasons of autumn-winter and spring-summer, with harvest-time coinciding with the holidays on February 14 and May 10. Still, divergent environmental conditions during these periods may cause stress as temperatures in the latter (i.e. the winter-summer cycle) are often 15 to 20 °C higher than those in the former. Despite this, the situation remains understudied in lisianthus.

Bitá & Gerats (2013) indicate that the response of plants to high-temperature stress varies with development stage and genotype, with changes in the concentration of proline, glycine, betaine, and soluble sugars being among the first symptoms. In fact, carbohydrate availability is paramount for providing tolerance to high temperatures in plants (Liu & Huang, 2000). For instance, heat-tolerant tomato genotypes have high invertase activity in both their cell walls and vacuoles, which aids in sugar-mediated signaling as well as in many source-demand relationships (Li *et al.*, 2012). Despite this – and irrespective of phenological stage – total sugars have not surpassed 30 mg per plant in the lisianthus cultivars ‘Mariachi White’ and ‘Rosita White’ (Lugassi-Ben-Hamo *et al.*, 2010), and their response to high-temperature stress has not been adequately studied.

In Mexico, lisianthus is harvested when 2 to 3 of its basal flower buds have opened. Upon transfer to packing areas, damaged stems are eliminated, basal leaves removed, and 15 to 20 stems grouped into bouquets of approx. 400 g. These are then placed in water to be sold or transported elsewhere (Pérez-Arias *et al.*, 2014). Postharvest life may vary from 6 to 21 days (Dole & Wilkins, 2005) and is partly determined by the genotypic characteristics of each variety (Reid & Jiang, 2012). Thus, it is important to know beforehand the postharvest life of the material being used for cultivation.

Preharvest, high-temperature stress negatively impacts the quality and postharvest life of certain cut-flower crops (Fanourakis *et al.*, 2013), while soluble sugar metabolism is linked to postharvest behavior, length, and conditions of stress. However, no study has yet associated the conditions of growth with either quality or postharvest life in lisianthus. The objective of this work then, was to evaluate the effect of growth season on the morphology, physiology, and in-vase behavior of ‘ABC 2-3 Blue’ as such information can be used to develop

a las de la segunda etapa que en general son mayores, hasta en 15 ó 20 °C, ocasionando condiciones de estrés. Sin embargo, actualmente no se ha documentado esta situación.

Bitá & Gerats (2013) indican que la respuesta de plantas expuestas a estrés por alta temperatura varía con la etapa de desarrollo y genotipo, y que entre los cambios iniciales por el estrés de alta temperatura es la concentración de prolina, glicina, betaína y azúcares solubles. La disponibilidad de carbohidratos durante el estrés por temperatura representa una característica importante en la tolerancia a la alta temperatura (Liu & Huang, 2000). Se ha reportado que en genotipos de jitomate resistentes a altas temperaturas tienen alta actividad de invertasas en pared celular y de vacuola que contribuyen a la tolerancia al calor, a las relaciones fuente demanda y actividades de señalización por los azúcares (Li *et al.*, 2012). En lisianthus ‘Mariachi White’ y ‘Rosita White’ la concentración de azúcares totales no superó los 30 mg por planta en ninguna de las etapas fenológicas (Lugassi-Ben-Hamo *et al.*, 2010) y no se han estudiado los cambios relacionados al estrés por alta temperatura.

En México, el lisianthus se cosecha cuando tiene dos o tres flores basales abiertas, posteriormente los tallos son transferidos al área de empaque donde se eliminan aquellos que presenten daños físicos. A los tallos seleccionados se le eliminan las hojas basales, para luego ser colocados en bouquets de 400 g de masa, generalmente conteniendo entre 15 y 20 tallos. Finalmente son colocados en agua para su posterior transporte o venta (Pérez-Arias *et al.*, 2014). La vida poscosecha de lisianthus varía entre seis y 21 días (Dole & Wilkins, 2005). Reid & Jiang (2012), indican que la vida poscosecha se determina en parte por las características genotípicas inherentes a cada variedad, por lo que es importante conocer la vida poscosecha de los materiales de lisianthus disponibles para producción.

El estrés por alta temperatura se ha observado afecta negativamente la calidad y vida poscosecha de algunas flores de corte (Fanourakis *et al.*, 2013). Por otra parte, los azúcares solubles en la planta y su metabolismo se han asociado con la vida final y su comportamiento en poscosecha, así como en condiciones de estrés. Pero no se han realizado estudios que asocien las condiciones del cultivo con la calidad y vida poscosecha de lisianthus. Considerando lo anterior el objetivo del presente trabajo fue determinar algunos componentes del crecimiento en lisianthus ‘ABC 2-3 Blue’ cultivado en dos épocas del año y el comportamiento en florero; ya que esta información

technologies that could improve crop management in this species.

básica se puede utilizar en el desarrollo de tecnologías que mejoren el manejo de esta especie ornamental.

Material and Methods

Plant material

Crops were established under plastic cover at Zacatepec, Morelos 18° 38' 50" latitude north; 99°12' 08" longitude west; 911 m above sea level; (Díaz *et al.*, 2008); the analysis of chemical variables was performed at UAEM's Laboratory of Agricultural Production (Experimental Station of the Faculty of Agricultural and Livestock Sciences, *Universidad Autónoma del Estado de Morelos*). The *lisianthus* cultivar 'ABC 2-3 Blue' (germinated by Plántulas de Tetela S.A. de C.V.) was chosen because it matures 1 to 2 weeks earlier than other varieties (i.e. it has a 13 to 16 week growth period, beginning after transplantation) which ensures a short harvest window. Also, it produces high yields of uniformly colored, grade-1 quality double-flowers. Stem height usually varies from 76 to 114 cm, and when placed under direct sunlight, growth is vigorous and plants are less prone to rosetting (PanamericanSeed, 2005).

Thus, eleven-week old seedlings of 'ABC 2-3 Blue' were planted on 100 cm x 5000 cm beds at 15 x 15 cm intervals. Overall, 1500 plants were established, which were then watered by fertigation. The technical data sheet released by PanAmerican Seed® (2005) was consulted for adequate agronomic management. Two cycles of cultivation were established in a year: the first one began in November 2015, the second one in March 2016. During each, a total of 16 plants were uprooted monthly and sectioned into leaves, stems, or roots for determination of leaf area, plant height, and root volume, as well as leaf, stem, root, and floral bud dry weight. Soluble sugars in the leaves and roots were determined from two plants and five samples. Temperature, relative humidity, and the intensity of light in the flower beds were assessed every 30 minutes by a pair of data loggers (Hobo®, USA). Light intensity data was then used to calculate the integral of daily light (IDL) as indicated by Torres & López (2011).

Variables evaluated during cultivation

Plant height was determined with a ruler (0.1 cm of sensitivity) and given in cm; measurements were made from the apices of roots to those of stems. Leaf area

Material y Métodos

Material vegetal

El cultivo se estableció bajo cubierta plástica en Zacatepec, Morelos, 18° 38' 50" latitud norte y 99°12' 08" longitud oeste, 911 m (Díaz *et al.*, 2008) y la evaluación de las variables químicas se realizó en el Laboratorio de Producción Agrícola en el Campo Experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Se utilizó *lisianthus* 'ABC 2-3 Blue' germinado por la empresa Plántulas de Tetela S. A. de C. V. La serie de *lisianthus* 'ABC 2-3 Blue' generan tallos entre 76 y 114 cm, cuando se cultivan en exposición directa al sol, tienen poca sensibilidad al arrosamiento y gran vigor, entre 1 a 2 semanas más precoz, asegurando una ventana de cosecha corta, pero con altos rendimientos de flores en calidad en grado 1. El color es uniforme, con flor doble, y tiene un periodo de crecimiento entre 13 y 16 semanas desde el trasplante a la cosecha (PanamericanSeed, 2005).

Plántulas de *lisianthus* 'ABC 2-3 Blue' de 11 semanas de germinadas se establecieron en camas de 100 cm x 5000 cm, a una densidad de población de 15 x 15 cm. El manejo agronómico se realizó como lo indica la ficha técnica liberada por PanAmerican Seed® (2005). En total se establecieron 1500 plantas, que se regaron por fertirrigación. Se establecieron dos ciclos de cultivo en un año, la primera en noviembre de 2015 y la segunda en marzo de 2016. En cada ciclo de cultivo, cada mes se tomaron 16 plantas completas de las camas y se seccionaron en hojas y tallo o raíz para la evaluación de altura de planta, área foliar, volumen de raíz, peso seco de hoja, tallo, raíz y botones florales en seis plantas. El contenido de azúcares solubles en hoja y raíz se determinó en cinco muestras compuestas de dos plantas. Se colocaron dos registradores (Hobo®, EUA) en las camas del cultivo que cada 30 min registraron la temperatura, humedad relativa e intensidad luminosa presentes en el ambiente. Con la intensidad luminosa se calculó la Integral de Luz Diaria (IDL) como lo indican Torres & López (2011).

Variables evaluadas durante el cultivo

La altura de planta (cm), se determinó con una regla con 0.1 cm de sensibilidad, la evaluación se realizó desde el ápice de raíz hasta el ápice del tallo. El área foliar (cm²), se cuantificó con un medidor de área foliar (LI-3100C, LI-COR, Inc. Lincoln, Nebraska, E.U.A.). El peso seco (g) total y de cada órgano (hojas, raíz y tallo) se registró en

(cm²) was quantified using a leaf area meter (LI-3100C, LI-COR, Inc. Lincoln, Nebraska, USA). The dry weight of the plant (total) and of each organ type (leaf, root, and stem) were evaluated on a digital scale (Scientech®, USA); this was performed after drying such structures first (70 °C for 72 h) inside a forced-air circulation oven (Luzeren®, EUA). The specific leaf area (SLA) could then be determined by dividing leaf area by the leaf dry weight (Witkowski & Lamont, 1991). Root volume (cm³) was calculated from the displacement of water inside a graduated cylinder (1 mL sensitivity). The content of soluble sugars in leaves and roots was determined chromatographically. For this, 1 g of tissue was added to an 80 % alcohol solution and boiled for 5 min. After storage for 15 days at 4 °C, 1 mL was evaporated and the residue mixed with acetonitrile/water (50:50). The solution was then filtered (0.45 µm membrane) and 25 µL injected into an Agilent 120 Infinity system (Agilent®, USA) equipped with a Refractive Index detector and a Zorbax® column for carbohydrates. The isocratic elution was performed using HPLC-grade acetonitrile/water (75:25) at a flow rate of 1.4 mL min⁻¹. The single point method (absolute calibration) was used along with glucose, fructose, and sucrose standards (Sigma®, USA) to quantify the sugars.

Postharvest variables studied

Once 'ABC 2-3 Blue' met the harvest index favored by producers (i.e. 1 to 3 open flowers) a total of 30 stems were harvested, cut to a length of 40 cm, and placed inside 250 mL test tubes for daily assessment of respiration, water uptake, relative fresh weight, number of open flowers, and overall appearance (Pérez-Arias *et al.*, 2017). From these, 6 inflorescences were used (i.e. destroyed) every 4 days for glucose, fructose, and sucrose quantification in both petals and leaves. These procedures were the same as those used during cultivation (see section above); otherwise, flowers were kept at 20 °C and 80 % relative humidity (RH) inside a growth chamber with 12 h cycles of light and dark (120 µmol m⁻² s⁻¹ light intensity).

Statistical Analysis

With the information gathered, a t-test was performed for comparison of means. Average values and standard errors were plotted using SigmaPlot V. 14 software (Systat, 2010).

una balanza digital (Scientech®, EUA) después de secar por separado las estructuras en una estufa de circulación forzada de aire (Luzeren®, EUA) a una temperatura de 70 °C durante 72 h. El volumen de raíz (cm³), se determinó mediante el desplazamiento de agua en una probeta graduada con una sensibilidad de 1 mL. El área específica se determinó al dividir el área foliar entre el peso seco de la hoja (Witkowski & Lamont, 1991). El contenido de azúcares solubles en hoja y raíz se evaluó al tomar 1 g de tejido por separado para extraer los azúcares solubles con una solución alcohólica al 80 % que se mantuvo en ebullición durante 5 min, posteriormente la solución se almacenó por 15 d a 4 °C. Aproximadamente 1 mL de la solución alcohólica se evaporó y el residuo se resuspendió en una solución de acetonitrilo/agua (50:50) y se filtró con una membrana de 0.45 mm. A partir del filtrado se tomaron 25 µL y se inyectaron en un Cromatógrafo de Líquidos de Alta Resolución Agilent Infinity 1260, con un detector de Índice de Refracción (Agilent®, EUA), utilizándose una columna Zorbax® para carbohidratos a un flujo de 1.4 mL min⁻¹ de acetonitrilo/agua (75:25) grado HPLC. Se utilizaron estándares de glucosa, fructosa y sacarosa (Sigma®, EUA) con la finalidad de cuantificar la concentración de azúcares en las muestras considerando el método de un solo punto.

Variables estudiadas en poscosecha

Cuando las plantas alcanzaron el índice de cosecha utilizado por el productor, es decir 1 ó 3 flores abiertas, se cosecharon 30 tallos florales, los cuales se recortaron a una altura de 40 cm y se colocaron en probetas de 250 mL, para diariamente evaluar la respiración, el consumo de agua, peso fresco relativo, número de flores abiertas y apariencia como lo indican Pérez-Arias *et al.* (2017). Cada 4 días se destruyeron seis inflorescencias para determinar el contenido de glucosa, fructosa y sacarosa en pétalos y hoja, el procedimiento fue el mismo que durante el desarrollo del cultivo. Las flores se mantuvieron en una cámara de crecimiento con temperatura de 20 °C, HR del 80 % e intensidad luminosa de 120 µmoles m⁻² s⁻¹ simulando 12 h de oscuridad y 12 h de luz de día.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron analizados por comparación de medias utilizando una prueba de t. Los datos se graficaron con el promedio y el error estándar, con ayuda del programa SigmaPlot V. 14 (Systat, 2010).

Resultados y Discusión

Condiciones ambientales

En el ciclo otoño-invierno, las temperaturas

Results and Discussion

Environmental conditions

During the first 30 days of autumn-winter (which consisted of 117 days in total), average temperatures decreased along with average minima from 25 to 20 °C and from 27 to 14.2 °C, respectively. Afterwards, they varied from 18 to 21 °C and from 10.7 to 16 °C, respectively (Figure 1 A). Average maxima however, oscillated between 32 and 37 °C throughout the entire

promedio y mínimas promedio disminuyeron de 25 y 27 °C a 20 y 14.2 °C, respectivamente, durante los primeros 30 días del cultivo; los días posteriores las temperaturas promedio y mínimas promedio fluctuaron entre 18 y 21 °C y 10.7 y 16 °C, respectivamente (Figura 1 A). Las temperaturas máximas promedio durante todo el cultivo fluctuaron entre 32 y 37 °C, aunque existió una disminución a 29 °C cercano a los 80 días después del trasplante (Figura 1 A). El ciclo otoño-invierno del cultivo fue de 117 días y el ciclo primavera-verano fue de 77 días. En primavera-verano, la temperatura promedio y mínima promedio fue entre 27.3 y 29.3 °C y entre 15 y 15.5 °C los

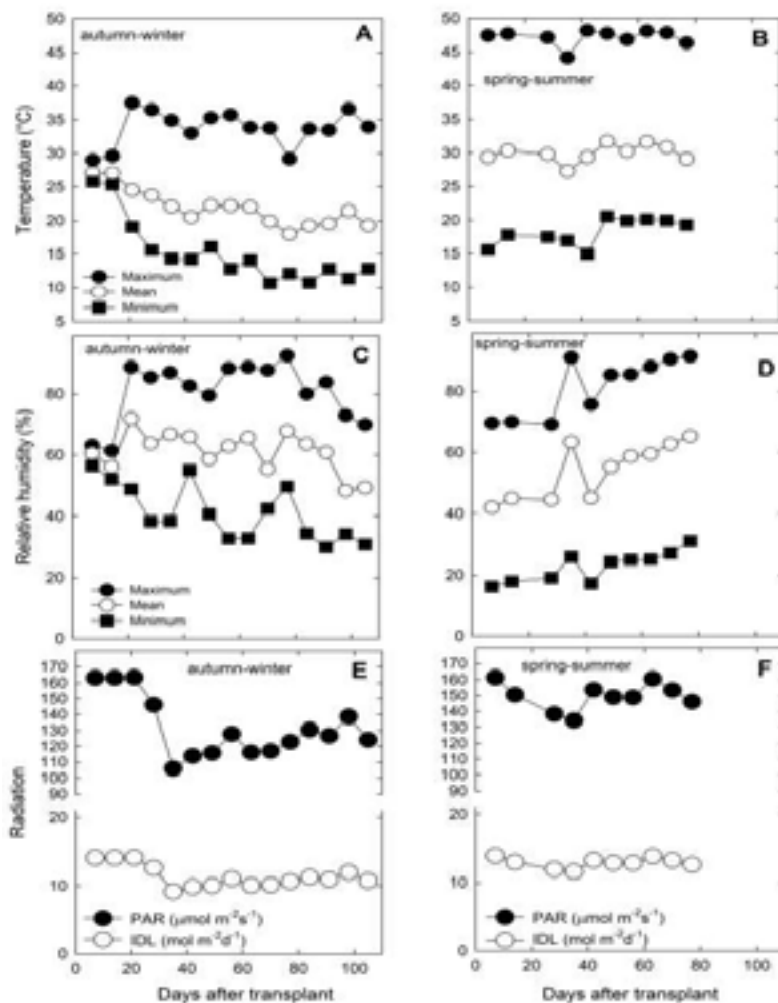


Figure 1. Weather conditions during two cycles of lisianthus production at Zacatepec, Morelos.

Figura 1. Condiciones ambientales en durante dos ciclos de producción en lisianthus en Zacatepec, Morelos.

growth period, though a drop to 29 °C was experienced on approximately day 80 (Figure 1 A).

Conversely, during the first 42 days of spring-summer (77 days in total), average temperatures and average minima ranged from 27.3 to 29.3 °C and from 15 to 15.5 °C, respectively. During the rest of the period, they increased from 29 to 31.6 °C and from 19.3 to 20.5 °C, respectively (Figure 1 B). Average maxima, on the other hand, varied from 44.2 to 47.4 °C during the first 42 days before stabilizing to values between 46.3 and 48.1 °C for the duration of the cycle (Figure 1B).

Various authors report rosetting in lisianthus at temperatures greater than 25 °C; however, this disorder – characterized by closely-developed basal leaves, short internodes, and delayed growth – also depends on the variety in question (Bárbaro *et al.*, 2009). Dole & Wilkins (2005) recommend a range between 18 and 23 °C from the beginning of bud development until the time of harvest – values not too dissimilar from those obtained for average temperatures and average minima during the first cycle (< 2 °C difference; see Figure 1 A). This, however, failed to be the case during the second cycle, where average temperatures exceeded those recommended by Dole & Wilkins (2005) by up to 8 °C (Figure 1 B). The latter was also true for average maxima, whose values exceeded these by a range of 9 to 14 °C and 21 to 25 °C. Interestingly, raising the average temperature from 14 to 26 °C shortens the time necessary for bud development, as well as for the opening of the first flower – at least in cultivars like 'El Paso Deep Blue' (Oh, 2015).

During the autumn-winter, average relative humidity (RH) along with average maxima and average minima varied from 70 % to 92.5 %, 49.4 % to 71.9 %, and 30.8 % to 55 %, respectively; all three however, experienced substantial declines after day 77 (Figure 1 C). The opposite occurred during the spring summer, where initial values of 41.9 % to 63 %, 69 % to 93 %, and 16.2 % to 25.8 %, respectively, eventually reached 45.1 % to 65.3 %, 75.6 % to 91.4 %, and 17.2 % to 31 %, during the second half of the cycle (i.e. after day 35; see Figure 1 C and D). RH was thus significantly influenced by season as it was higher during the autumn-winter than during the spring-summer ($p \leq 0.05$). Durner (2013) points out that drastic changes to the temperature inside a greenhouse can strongly influence its RH. For

primeros 42 días después del trasplante; el resto del ciclo la temperatura promedio se incrementó entre 29 y 31.6 °C y 19.3 y 20.5 °C, respectivamente (Figura 1 B). Finalmente, la temperatura máxima durante los primeros 42 días fueron entre 44.2 y 47.4 °C, posteriormente las temperaturas máximas se mantuvieron entre 46.3 y 48.1 °C (Figura 1B).

Diversos autores mencionan que, en condiciones mayores a 25 °C, según la variedad se produce un arrosamiento en las plántulas, el cual es un desorden fisiológico donde las plantas desarrollan hojas basales muy juntas y entrenudos cortos y se retrasa el desarrollo de la altura del cultivo (Bárbaro *et al.*, 2009). Sin embargo, Dole & Wilkins (2005) indican que después del trasplante, en la etapa de aparición de botones florales y durante la cosecha la temperatura promedio recomendable debe ser entre 18 y 23 °C. Los resultados obtenidos, muestran que en el primer ciclo las temperaturas promedio y mínimas estuvieron cercanas a las recomendadas por Dole & Wilkins (2005) ya que no las superaron en más de 2 °C (Figura 1 A). No así en el segundo ciclo donde las temperaturas promedio se superaron hasta en 8 °C (Figura 1 B). Por otra parte, las temperaturas máximas fueron hasta en 9 y 14 °C o entre 21 y 25 °C superiores a la temperatura promedio sugerida por Dole & Wilkins (2005). Oh (2015) determinó que al incrementar la temperatura promedio durante el cultivo de lisianthus 'El Paso Deep Blue' de 14 a 26 °C, se disminuyó el tiempo de aparición del botón floral y la primera flor visible.

En otoño-invierno el cultivo de lisianthus 'ABC 2-3 Blue', la humedad relativa (RH) promedio, promedio máxima y promedio mínima fue entre 70 % y 92.5 %, entre 49.4 % y 71.9 % y entre 30.8 % y 55 %, respectivamente (Figura 1 C). Después de los 77 días después del trasplante la RH disminuyó considerablemente (Figura 1 C). En primavera-verano, la humedad relativa promedio máximo, promedio y promedio mínimo varió entre 69 % y 93 %, entre 41.9 % y 63 % y entre 16.2 % y 25.8 % durante los primeros 35 días después del trasplante (Figura 1 D). Posteriormente, la RH en el ambiente se incrementó significativamente, obteniéndose valores de RH promedio máximo, promedio y promedio mínimo entre 75.6 % y 91.4 %, entre 45.1 % y 65.3 % y entre 17.2 % y 31 % para la RH máxima, promedio y mínima, respectivamente (Figura 1 C). Los resultados indican que la RH fue significativamente ($p \leq 0.05$) mayor en el otoño-invierno comparado con primavera-verano. Durner (2013) indica que un cambio dramático en la temperatura en el interior del invernadero impacta fuertemente en la humedad relativa del mismo. En un invernadero la RH disminuye cuando la temperatura se incrementa, así durante el día la RH en el invernadero es baja, mientras que en la noche esta se incrementa y puede alcanzar la saturación del aire (Castilla, 2013). Así, la RH en otoño-invierno fue

instance, rising temperatures during the day result in lower values of humidity, which only increase again at night – sometimes to the point of saturation with the inside air (Castilla, 2013). This then could account for the differences in RH between the two cycles as higher temperatures (and thus lower values of RH) prevailed during spring-summer.

Photosynthetically active radiation (PAR) decreased from 163.1 to 105.9 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ after the first 35 days of autumn-winter; afterwards, values fluctuated from 127 to 138 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figure 1 E). On the other hand, PAR alternated between 161 and 134 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ during the first 35 days of spring-summer and between 143 and 160 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ during the remainder of the season (Figure 1 F). Hence, PAR was significantly higher during spring-summer ($p \leq 0.05$) than during autumn-winter. Similarly to what occurs with temperature, raising the PAR (e.g. from 100 to 400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) reduces the time necessary for bud development in *lisianthus*, sometimes by as much as 50 % (e.g. in cultivars such as 'El Paso Deep Blue'; Oh, 2015).

The integral of daily light (IDL) also decreased during autumn-winter, specifically from 14 to 9 $\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ after day 35; however, values stabilized between 9.8 and 11.9 $\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ towards the end of the cycle (Figure 1 E). On the other hand, only an 11.9 to 13.8 $\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ variation occurred during spring-summer, indicating a higher IDL overall. Interestingly, the time span necessary for the emergence of flower buds shortens in *lisianthus* as IDL increases and this has been demonstrated in a number of different cultivars, such as in 'Echo Blue' and 'Fuji Deep Blue' (a 4.4 to 8.8 $\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ increment in the IDL was examined; Islam *et al.*, 2005), as well as in 'El Paso Deep Blue' (IDL values of 3, 6, 12, and 24 $\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ were analyzed; Oh, 2015). Torres & López (2011) classify IDL requirements as being low, medium, high, and very high if they fall between 3 to 6, 6 to 12, 12 to 18, and >18 $\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$, respectively. According to this scheme, *lisianthus* 'ABC 2-3 Blue' has high IDL requirements, which if increased, will accelerate the emergence of flowers – just as occurred during spring-summer. In this sense, it can be rather difficult (if not impossible) to decouple light intensity from temperature (Lugassi-Ben-Hamo *et al.*, 2010).

Crop development

Growth of *lisianthus* 'ABC 2-3 Blue' was constant during the autumn-winter and spring-summer, reaching statistically similar values ($p \leq 0.05$) of 71.6 and 73.6 cm, respectively, from an initial height of 10.33

mayor debido a que se presentó una menor temperatura, comparado con primavera-verano donde las temperaturas fueron significativamente mayores.

La radiación fotosintéticamente activa (PAR) en otoño-invierno disminuyó de 163.1 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ al establecimiento del cultivo a 105.9 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ después de 35 días del trasplante, el resto del ciclo del cultivo la PAR se mantuvo entre 127 y 138 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figura 1 E). En primavera-verano la PAR fue entre 161 y 134 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ durante los primeros 35 días después del trasplante, el resto del ciclo del cultivo se mantuvo entre 143 y 160 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figura 1 F). Los resultados indican que en el primavera-verano se tuvo significativamente ($p \leq 0.05$) mayor radiación PAR. Oh (2015) evaluó el crecimiento de *lisianthus* 'El Paso Deep Blue' y determinó que incrementando la intensidad luminosa de 100 a 400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y la temperatura promedio de cultivo de 14 a 26 °C, los días para observar el botón floral disminuye en 50 %.

En relación con la integral de luz diaria (IDL), en otoño-invierno, inicialmente fue de 14 $\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ hasta disminuir a 9 $\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ después de 35 d del trasplante, y durante la fase final del ciclo mantenerse entre 9.8 y 11.9 $\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ (Figura 1 E). En primavera-verano la IDL se mantuvo entre 11.9 y 13.8 $\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ (Figura 1 F). Estos resultados indican que durante el segundo ciclo del cultivo se tuvo una mayor IDL. Islam *et al.* (2005) disminuyó el tiempo de aparición de las yemas florales al cultivar *lisianthus* 'Echo Blue' y 'Fuji Deep Blue' en condiciones de 8.8 $\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ comparado con *lisianthus* cultivado en 4.4 $\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$. Oh (2015) por su parte cultivo *lisianthus* 'El Paso Deep Blue' en condiciones de 3, 6, 12 y 24 $\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$, determinando que a incrementar la IDL se disminuyen los días de aparición del botón floral. Torres & López (2011) indican que los cultivos ornamentales tienen requerimientos de IDL bajos, entre 3 y 6 $\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$; medios, entre 6 y 12 $\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$; altos, entre 12 y 18 $\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ y muy altos cuando es más de 18 $\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$, considerando los datos obtenidos de IDL se puede considerar que el *lisianthus* 'ABC 2-3 Blue' es de requerimientos altos de IDL y que mayor intensidad de luz acelera la aparición de las flores; en este caso se observa en el ciclo primavera-verano; aunado a la alta temperatura ya que difícilmente se pueden disociar la temperatura y la intensidad luminosa (Lugassi-Ben-Hamo *et al.*, 2010).

Desarrollo del cultivo

Las plantas de *lisianthus* 'ABC 2-3 Blue' tenían con una altura promedio entre 10.33 a 10.35 cm al momento del trasplante en ambos ciclos de cultivo, y crecieron constantemente durante 117 y 73 días, alcanzando similar altura al momento de la cosecha ($p \leq 0.05$), 71.6 y 73.6 cm en el ciclo otoño-invierno y primavera-verano, respectivamente (Figura 2 A y B). Panamericalseed® (2005) indican que la altura final de *lisianthus* ABC 2-3-Blue' muestran una altura

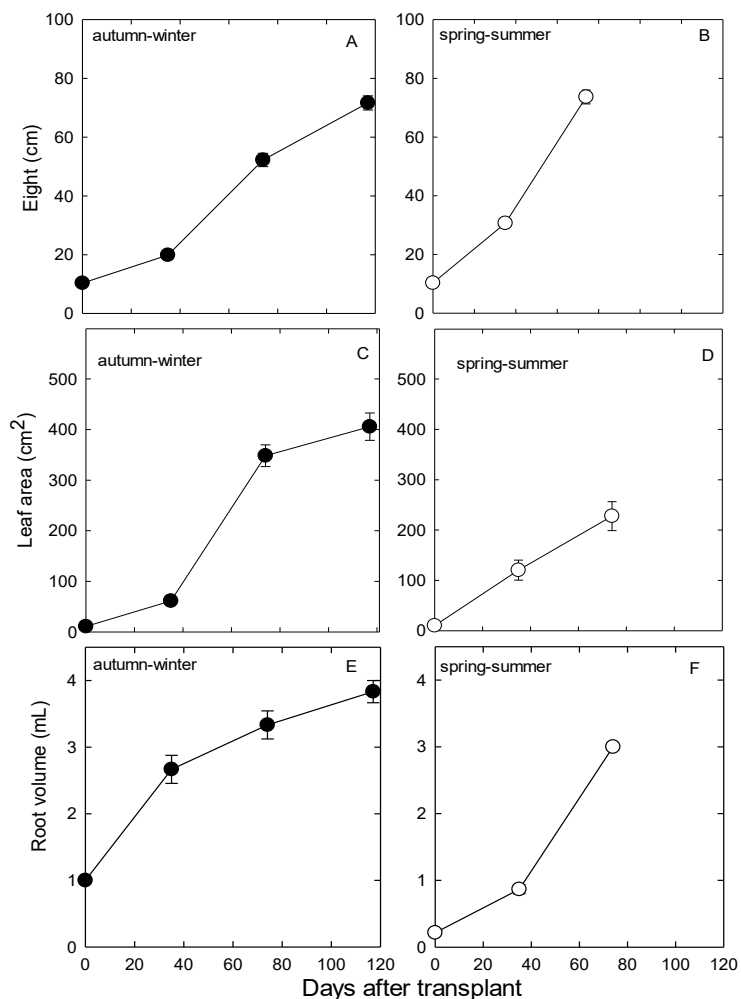


Figure 2. Growth parameters in lisianthus 'ABC 2-3 Blue' during two cycles of production at Zacatepec, Morelos. Each point represents the average of six measurements \pm 1 standard error.

Figura 2. Crecimiento de plantas de lisianthus 'ABC 2-3 Blue' durante dos ciclos de producción en Zacatepec, Morelos. Cada punto representa la media de seis observaciones y el error estándar.

to 10.35 cm (Figure 2 A and B). Under greenhouse conditions, cultivar 'ABC 2-3 Blue' is purported to reach heights of 90 to 115 cm (Panamericalseed®, 2005), though a considerably broader range was reported in 12 genotypes under the conditions of winter found in Israel (Ecker *et al.*, 1994). Even though similar heights were attained by 'ABC 2-3 Blue' over the course of this study, the time required to do so was longer during spring-summer – likely because of the higher average

final entre 90 y 115 cm, cuando se cultivan bajo invernadero. Sin embargo, Ecker *et al.* (1994) reportan un estudio con 12 genotipos de lisianthus, donde determinaron amplia variación genética en los parámetros de crecimiento bajo las condiciones del invierno Israelí. En el presente trabajo, la altura a la cosecha fue similar en ambas estaciones de crecimiento, aunque el tiempo requerido para alcanzar la etapa de cosecha fue menor en primavera-verano, lo cual es atribuido principalmente a una temperatura promedio mayor, entre 27 y 29 °C (Figura 2 A y B). El ciclo del cultivo en primavera-verano fue 38 % menor en

temperatures at that time (27 to 29 °C; Figure 2 A and B). As a result, the spring-summer crop cycle was 38 % shorter than the autumn-winter one (Figure 2 A and B). Leaf area – which varied from 10.2 to 10.9 cm² at the beginning of both cycles – increased to 405 cm² and 227.6 cm² at the end of autumn-winter and spring-summer, respectively; thus, values were significantly higher during the former (i.e. autumn-winter; $p \leq 0.05$) than during the latter (Figure 2 C and D). Hernández-Pérez *et al.* (2015)

tiempo comparado con el ciclo otoño-invierno (Figura 2 A y B). El área foliar se incrementó de aproximadamente entre 10.2 y 10.9 cm² al momento del trasplante hasta 405 cm² en el otoño-invierno y 227.6 cm² en primavera-verano al momento de la cosecha; donde las flores del ciclo otoño-invierno mostraron significativamente mayor área foliar ($p \leq 0.05$; Figura 2 C y D). Hernández-Pérez *et al.* (2015) reportan entre 448.4 hasta 554.5 cm² de área foliar en *lisianthus* 'ABC Blue', cultivados con proporciones de NO₃⁻ y NH₄⁺ del 100 % hasta 25 %.

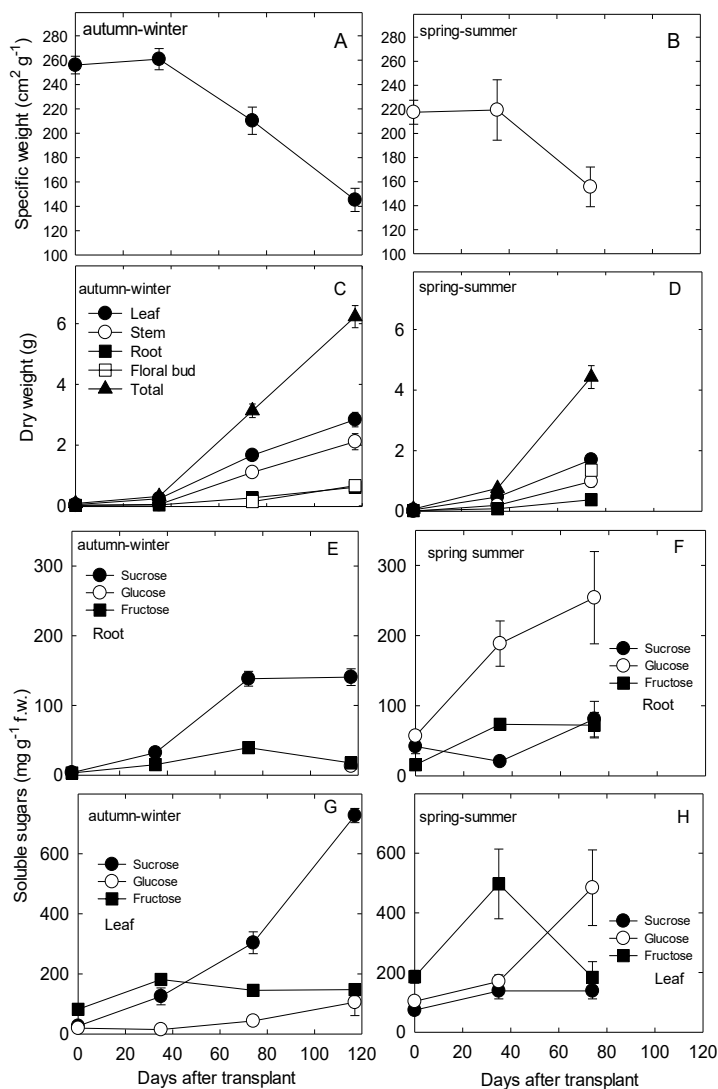


Figure 3. Physiological parameters and soluble sugar content in *lisianthus* 'ABC 2-3 Blue' during two cycles of production at Zacatepec, Morelos.

Each point represents the average of five measurements \pm 1 standard error.

Figura 3. Cambios fisiológicos y de azúcares en *lisianthus* 'ABC 2-3 Blue' durante dos ciclos de producción en Zacatepec, Morelos.

Cada punto representa la media de cinco a seis observaciones y el error estándar.

report values between 448.4 and 554.5 cm² whenever 'ABC Blue' is supplemented with NO₃⁻ or NH₄⁺ at 25-100 %.

Root volumes increased from initial values of 0.21 to 1.0 mL until they reached 3.0 to 3.8 mL at the end of both seasons (Figure 2 E and F). The greatest volumes, however, were obtained during autumn-winter ($p \leq 0.05$; Figure 2 E).

The specific leaf area (SLA), on the other hand, decreased during both cycles: falling from an initial range between 217 and 256 cm² g⁻¹, to final values of 145 cm² g⁻¹ and 155 cm² g⁻¹ at the end of autumn-winter and spring-summer, respectively – with no significant differences between the two ($p \leq 0.05$). It did, however, remain above 210 cm² g⁻¹ during the first 74 days of the former (autumn-winter; see Figure 3 A and B). Also, the specific dry weight based no significant differences between the two seasons ($p \leq 0.05$). When evaluating different doses of fertigation, Kantz (2003) discovered that the SLA in 'Mariachi Blue Picotee' decreased from an average of 231.7 to 267 dm² g⁻¹ at the start of the experiment, to values between 114.7 and 151.7 dm² g⁻¹ at the time of harvest (105 days later). The SLA is, crucially, a convenient way of determining if the products of photosynthesis are indeed accumulating in leaves or if they are being transported elsewhere. Thus, it is a handy and indirect way of measuring this process (Secor *et al.* 1982). In this study, such 'photosynthates' were likely transferred to the flowers themselves (Alvarado-Camarillo *et al.*, 2018) as leaf dry weight did decrease in the end.

There was also a notable increase in the dry weight of all structures after day 35 (Figure 3 C y D). In the cultivar 'Mariachi Blue', this event is generally divided into two stages: the first one occurs after transplantation and ends shortly after flowering; the other one follows just a few days afterward (Alvarado-Camarillo *et al.*, 2018). In this study, total dry weight – along with leaf, stem, root, and floral bud dry weight – was significantly higher during the autumn-winter (5.22, 2.84, 2.11, 0.61, and 0.66 g, respectively; $p \leq 0.05$) than during the spring-summer (4.44, 1.73, 0.98, 0.38, and 1.35 g, respectively), with leaves contributing 38.4 to 45.6 % of the total, stems 20 to 33.7 %, roots 7.9 to 10 %, and floral buds 10 to 29.3 % (Figure 3 C and D). Somewhat different values have also been reported in the literature (e.g. 8.5-9.5, 2, 3.2, 1-1.2, and 2.5-2.8 g in total plant, leaves, stems, roots, and buds, respectively (Hernández-Pérez *et al.*, 2007). In this study, dry matter was more readily

El volumen de la raíz se incrementó durante el desarrollo del cultivo, de valores iniciales entre 0.21 y 1.0 mL hasta entre 3.0 y 3.8 mL en ambos ciclos del cultivo (Figura 2 E y F). El mayor volumen se obtuvo en el ciclo otoño-invierno ($p \leq 0.05$; Figura 2 E).

Al calcular el área específica de la hoja, se observó que esta fue entre 217 y 256 cm² g⁻¹ al trasplante en ambos ciclos, posteriormente en las plantas de otoño-invierno el peso específico se mantuvo en valores superiores a 210 cm² g⁻¹ los primeros 74 días después del trasplante y a la cosecha disminuyó aún más a 145 cm² g⁻¹ (Figura 3 A). En el ciclo primavera-verano, el área específica disminuyó hasta 155 cm² g⁻¹ en la cosecha (Figura 3 B). Al comparar el peso seco específico al final de ambos ciclos, no se detectaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Kantz (2003) al evaluar diferentes dosis de fertirrigación en *lilanthus* 'Mariachi Blue Picotee', determinó que durante el cultivo de 105 d de cultivo el área foliar específica disminuyó de entre 231.7 y 267 dm² g⁻¹ al inicio del cultivo a entre 114.7 y 151.7 dm² g⁻¹ en la cosecha. El área foliar específica permite verificar si las plantas están acumulando fotosintatos en las hojas o se están translocando a otros órganos, y es una forma indirecta de evaluar la fotosíntesis (Secor *et al.* 1982). Los resultados sugieren que al final el peso seco de las hojas disminuye probablemente porque los fotosintatos acumulados son translocados hacia las flores (Alvarado-Camarillo *et al.*, 2018).

Se observó una mayor acumulación de peso seco en todas las estructuras de la planta después de 35 días (Figura 3 C y D), Alvarado-Camarillo *et al.* (2018) indican que la acumulación de materia seca en *lilanthus* ('Mariachi Blue') es en dos fases, una entre el trasplante y poco después de la floración y la segunda pocos días después de la floración. Al finalizar el experimento el peso seco total, hoja, tallo, raíz y botones fueron significativamente mayores ($p \leq 0.05$) en otoño-invierno, que en primavera-verano; la hoja contribuyó con 38.4-45.6 %, el tallo con 20-33.7 % y la raíz de 7.9 a 10 % y la flor de 10 a 29.3 % (Figura 3 C y D). La hoja y el tallo mostraron 2.84 y 2.11 g del peso seco total en el ciclo otoño – invierno, mientras que en el ciclo primavera – verano acumularon 1.73 y 0.98 g, respectivamente (Figura 3 C y D). La raíz, aportó 0.61 y 0.38 g; mientras que el botón aportó 0.66 y 1.35 g en ambos ciclos (Figura 3 C y D). Hernández-Pérez *et al.* (2007) reportó entre 8.5 y 9.5 g de peso seco total, cerca de 2 g en hoja, 3.2 g en tallo, entre 2.5 y 2.8 en flor y entre 1 y 1.2 g en raíz. Las flores cultivadas en otoño-invierno acumularon mayor materia seca probablemente porque las condiciones ambientales de temperatura, humedad relativa e intensidad luminosa fueron significativamente menores que en primavera-verano ($p \leq 0.05$).

accumulated during the autumn-winter, likely because of the significantly lower values of temperature, RH, and light intensity experienced ($p \leq 0.05$).

Also during this period, (autumn-winter) the most abundant sugar in either roots or leaves was sucrose, followed by fructose and glucose (Figure 3 E and G). The sucrose in roots, for instance, increased from 3.7 to 140.6 mg g⁻¹, whereas glucose only became detectable at the very end (13.2 mg g⁻¹ concentration; Figure 3 E). Fructose, on the other hand, increased from 3.2 to 39.4 after 74 days, but decreased to 17.5 mg g⁻¹ after 117 more (Figure 3 E). The sucrose in leaves rose steadily to 727.2 mg g⁻¹, while fructose and glucose reached 145 to 181 mg g⁻¹, and 105 mg g⁻¹, respectively (Figure 1 G).

Glucose increased constantly in the roots during spring-summer, and in a far greater proportion than the other two sugars. This way, values of 254.1 mg g⁻¹ were eventually attained at harvest time (Figure 3 F). On the other hand, sucrose and fructose reached levels of 81 and 74.2 mg g⁻¹, respectively (Figure 3 F). In leaves, sucrose could only be detected at the beginning (74 mg g⁻¹) and end (138 mg g⁻¹) of the cycle – nearly doubling in the latter's case. Both were significantly lower than their corresponding values during autumn-winter ($p \leq 0.05$; Figure 1 H). Even though fructose reached 496.9 mg g⁻¹ halfway through the cycle, its levels eventually declined to 183.7 mg g⁻¹ at the end (Figure 3 H). Glucose on the other hand, rose constantly until it reached 484.9 mg g⁻¹ at harvest time (Figure 3 H).

The perennial nature of *lisianthus* causes carbohydrates to accumulate excessively in certain areas (e.g. leaves), undoubtedly for use later (Chuang & Chuang, 2013). In this study, no significant differences were detected between the seasonal concentrations of sucrose, of glucose in the roots, or of fructose in the roots and leaves ($p \leq 0.05$). The sucrose and glucose levels in leaves were, however, significantly higher during the autumn-winter and spring-summer, respectively ($p \leq 0.05$). The reason for this may lie in the higher rates of respiration experienced during the latter (i.e. spring-summer) which were, in turn, induced by temperature (Figure 1 A and B). After all, one such increment in the 0 to 30 °C range may cause an exponential rise in respiration (Taiz *et al.*, 2016.) This would also explain the lower quantity of dry matter obtained during this season.

En otoño-invierno, la sacarosa fue el azúcar de mayor proporción en la raíz y hoja durante el cultivo, seguido de la fructosa y la glucosa (Figura 3 E y G). La sacarosa se acumuló en la raíz durante el desarrollo del cultivo de 3.7 mg g⁻¹ en la plantación hasta 140.6 mg g⁻¹ en la cosecha (Figura 3 E). La fructosa se incrementó de 3.2 mg g⁻¹ hasta 39.4 a los 74 días, pero disminuyó hasta 17.5 mg g⁻¹ después de 117 días (Figura 3 E). La glucosa solo se detectó al final del cultivo en concentración de 13.2 mg g⁻¹ (Figura 3 E). En la hoja la sacarosa aumento constantemente hasta valores de 727.2 mg g⁻¹, la fructosa se incrementó entre 145 y 181 mg g⁻¹, en tanto que la glucosa se incrementó hasta 105 mg g⁻¹ (Figura 1 G).

En primavera-verano, la glucosa se incrementó constantemente en la raíz y en mayor proporción que el resto de los azúcares evaluados; así la glucosa alcanzó hasta 254.1 mg g⁻¹ en la cosecha (Figura 3 F). La sacarosa se incrementó hasta la cosecha alcanzando hasta 81 mg g⁻¹ y la fructosa acumuló 74.2 mg g⁻¹ en la misma etapa (Figura 3 F). En la hoja la sacarosa solo se detectó al inicio de la plantación (74 mg g⁻¹) y en la cosecha donde casi se duplicó su concentración (138 mg g⁻¹); estos valores fueron significativamente menores al primer ciclo ($p \leq 0.05$; Figura 1 H). El azúcar que incrementó constantemente su concentración fue la glucosa, llegando hasta 484.9 mg g⁻¹ en la cosecha (Figura 3 H). La fructosa alcanzó hasta 496.9 mg g⁻¹ a mitad del ciclo del cultivo, ya que en la cosecha se tuvo una disminución brusca hasta 183.7 mg g⁻¹ (Figura 3 H).

La concentración de sacarosa en hoja fue significativamente mayor en otoño-invierno y la glucosa en hoja fue significativamente mayor en primavera verano ($p \leq 0.05$). La naturaleza perenne del *lisianthus* ocasiona que los carbohidratos se acumulen en exceso en algunos órganos como las hojas, probablemente para ser utilizados posteriormente (Chuang & Chuang, 2013). No se detectaron diferencias significativas en la concentración de sacarosa, glucosa en raíz y fructosa en raíz y hoja al comparar los ciclos de cultivo ($p \leq 0.05$). La menor concentración en hoja de sacarosa en primavera-verano pero mayor de glucosa (Figura 1 H), probablemente se atribuye a una mayor respiración, estimulada por la mayor temperatura promedio y máximas presente en el ciclo comparada con el ciclo otoño-invierno (Figura 1 A y B). La mayor respiración probablemente es la causante de que las plantas del ciclo primavera-verano acumulen menor materia seca, contrario a las plantas del ciclo otoño-invierno. Taiz *et al.* (2016) indican que en el rango fisiológico entre 0 y 30 °C, un incremento en la temperatura ocasiona un incremento exponencial en la velocidad de respiración.

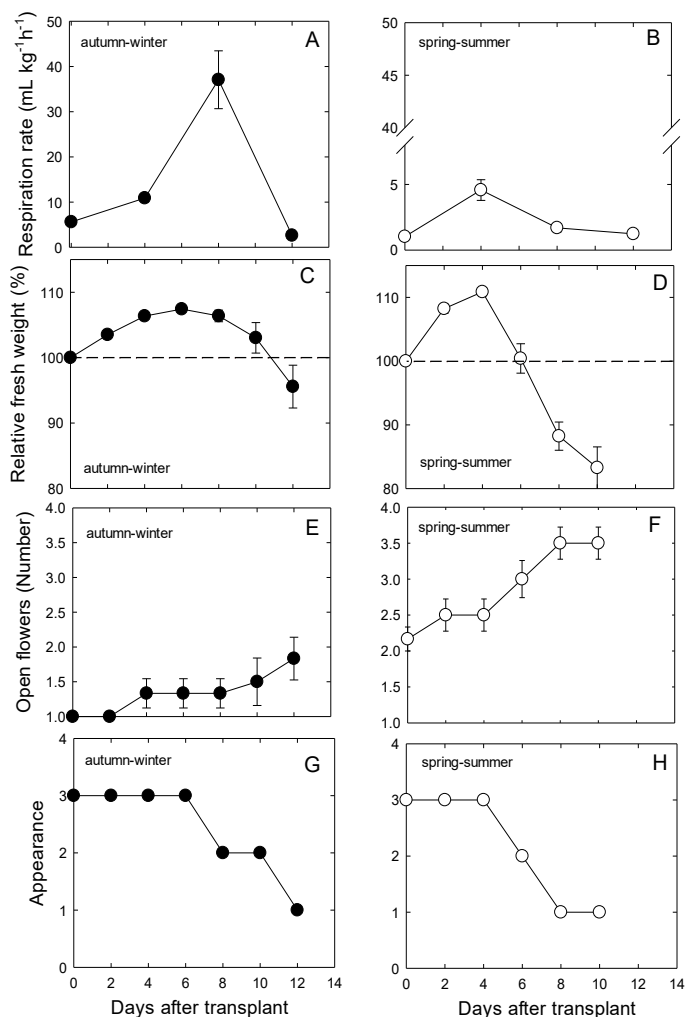


Figure 4. Physiological and visual changes after harvest in lisianthus ‘ABC 2-3 Blue’ during two cycles of production at Zacatepec, Morelos.

Each point represents the average of six measurements \pm 1 standard error.

Figura 4. Cambios fisiológicos y relaciones hídricas en poscosecha de lisianthus ‘ABC 2-3 Blue’ durante dos ciclos de producción en Zacatepec, Morelos.

Cada punto representa la media de seis observaciones y el error estándar.

Postharvest evaluation

Autumn-winter plants had significantly higher rates of respiration than those cultivated during spring-summer. Also, peak CO₂ production occurred two days after in the former compared with the latter (Figure 4 A and B). This could very well be due to the greater accumulation of sucrose in the leaves of such plants (Figure 1 G).

Evaluación poscosecha

Las flores de lisianthus cultivadas en otoño-invierno tuvieron significativamente mayor respiración que las flores cultivadas en primavera-verano; el máximo de producción de CO₂ ocurrió dos días después en las flores cultivadas en otoño-invierno que en primavera-verano (Figura 4 A y B). La mayor respiración de las flores cultivadas en otoño-invierno, probablemente se deba a una mayor acumulación en precosecha de sacarosa en las hojas (Figura 1 G).

Until day 10, the relative fresh weights of autumn-winter plants remained above 100 %. However, in those cultivated during spring-summer, values decreased to 88.2 % after just 8 days (Figure 4 C and D). Generally speaking, the postharvest life of cut-flowers is extended whenever their relative fresh weights are maintained. This is what occurs during floral opening, when sucrose is transported to the developing buds (Chuang & Chang, 2013). In this study, the higher accumulation of sucrose during the autumn-winter likely triggered this behavior in 'ABC 2-3 Blue' (Figure 3 G).

Autumn-winter plants had a single basal flower open at the time of harvest, which during their vase life increased only to two (Figure 4 E). Spring-summer plants, on the other hand, began with two, and increased to 3.5 on average (Figure 4 F). Pérez-Arias *et al.* (2017)

Las flores del ciclo otoño-invierno mantuvieron por más hasta 10 días el peso fresco relativo superior a 100 %, no así las flores del ciclo primavera-verano quienes mostraron al octavo día un peso fresco relativo de 88.2 % (Figura 4 C y D). Una mayor vida poscosecha de flores de corte se observa cuando se mantiene por más tiempo el peso fresco relativo. Chuang & Chang (2013) indican que en la apertura floral la sacarosa es transportada a las flores para mantener su peso fresco relativo; la mayor acumulación de sacarosa en precosecha en otoño-invierno favoreció este comportamiento (Figura 3 G)

Las flores del ciclo otoño-invierno tenían una flor abierta en la parte basal de la inflorescencia cuando se cosecharon y durante su vida en florero solo se llegó a la apertura de dos flores en total en la inflorescencia (Figura 4 E). En las flores de primavera-verano el número de flores abiertas fue aproximadamente de dos y durante la vida en florero se tuvo un máximo de apertura de hasta 3.5 flores por inflorescencia (Figura 4 F). Pérez-Arias

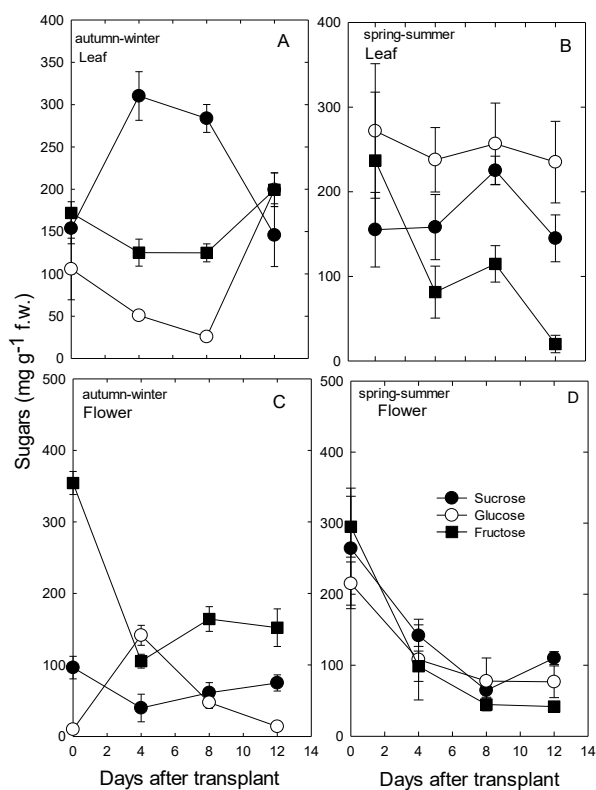


Figure 5. Soluble sugar content after harvest in lisianthus 'ABC 2-3 Blue' cultivated during two cycles of production at Zacatepec, Morelos.

Each point represents the average of five measurements \pm 1 standard error.

Figura 5. Cambios de azúcares en poscosecha de lisianthus 'ABC 2-3 Blue' durante dos ciclos de producción en Zacatepec, Morelos.

Cada punto representa la media de cinco observaciones y el error estándar.

state that, once harvested, only two flowers open in the cultivar 'Magic blue'. This occurs regardless of whether plants are cut with one, two, or three basal flowers open. However in this study, only 1.5 flowers opened after 'ABC 2-3 Blue' was harvested.

The visual appearance of autumn-winter plants was 'excellent' until day 6, 'good' until day 10, and 'poor' on day 12 (Figure 4 G). Spring-summer plants, on the other hand, were 'excellent' until day 4, 'good' until day 6, and 'poor' on day 8 (Figure 4 H).

In the leaves of autumn-winter plants, sucrose increased noticeably – reaching values of 310.2 and 283.7 mg g⁻¹ on days 4 and 8, respectively, before falling back down to 145.7 mg g⁻¹ on day 12 (Figure 4 A). On the other hand, both fructose and glucose decreased on days 4 and 8 before rising again on day 12 (Figure 4 A). In spring-summer plants, glucose fluctuated from 235 to 271.91 mg g⁻¹ and was the sugar with the highest concentration in the leaves (Figure 5 B). Sucrose, on the other hand, increased from 155.1 to 225.1 mg g⁻¹ before falling back down to 145 mg g⁻¹ on day 8 (Figure 5 B). Lastly, fructose decreased constantly – falling from 236.9 to 20.2 mg g⁻¹ after the full 12 days of observation (Figure 5 B). Leaf glucose and fructose were significantly higher in plants cultivated during spring-summer and autumn-winter, respectively ($p \leq 0.05$). Though ultimately derived from starch, leaf soluble sugars likely decrease in *lisianthus* when they are transported to the flowers after harvest (Casavini *et al.*, 2018). In autumn-winter plants, the inverse relationship between sucrose and the other two sugars hints at this process actually taking place. On the other hand, the higher concentration of glucose in plants cultivated during spring-summer suggests that this transportation was less extensive, possibly owing to the fact that glucose is a reducing sugar (Taiz *et al.*, 2016).

Although fructose was the most abundant sugar in the flowers of autumn-winter plants, its levels decreased noticeably – falling from 354.9 to 152.1 mg g⁻¹ after day 12 of observation (Figure 5 C). A similar trend occurred with sucrose, which went from 96.3 to 74.85 mg g⁻¹ after a comparable period of time (Figure 5 C). Glucose, on the other hand, increased rather quickly – rising from 9.9 to 141.46 mg g⁻¹ after just 4 days; however, its levels eventually returned to 13.9 mg g⁻¹ (Figure 5 C). Finally,

et al. (2017) indican que en flores de *lisianthus* 'Magic blue' el número de flores que abren después de la cosecha es de dos, independientemente si son cortadas con una, dos o tres flores basales abiertas. En el presente experimento, la variedad 'ABC 2-3 Blue' en promedio no abrieron más de 1.5 flores cuando son cosechadas con 1 ó 2 flores abiertas.

La apariencia de las inflorescencias cosechadas en otoño-invierno se mantuvo excelente durante seis días y con buena apariencia hasta 10 días, ya después de 12 días su apariencia fue mala (Figura 4 G). Por otra parte, las flores de primavera-verano se mantuvieron excelente sólo cuatro días y con buena apariencia seis días después de cosecha, siendo de mala apariencia a los ocho días después de cosechadas (Figura 4 H).

La sacarosa en las hojas de las inflorescencias cultivadas durante otoño-invierno se incrementó significativamente entre 283.7 y 310.2 mg g⁻¹ a los 4 y 8 días, para finalmente disminuir hasta 145.7 mg g⁻¹ a los 12 días de evaluación (Figura 4 A). En tanto que la fructosa y glucosa disminuyeron después de 4 y 8 días de la cosecha para volver a incrementarse a los 12 días (Figura 4 A). En las hojas de primavera-verano, la glucosa mostró la mayor concentración en la hoja, manteniéndose en valores entre 235 y 271.91 mg g⁻¹ (Figura 5 B). La sacarosa inicialmente fue de 155.1 mg g⁻¹ y se incrementó hasta 225.1 mg g⁻¹ a los 8 días de la evaluación, y finalmente disminuyó a 145 mg g⁻¹ (Figura 5 B). La fructosa disminuyó constantemente durante la poscosecha de 236.9 mg g⁻¹ a 20.2 mg g⁻¹ al doceavo día de evaluación (Figura 5 B). La glucosa mostró mayor concentración en primavera verano y la fructosa en hoja otoño-invierno ($p \leq 0.05$). Casavini *et al.* (2018) indica que la concentración de azúcares solubles totales en las hojas de *lisianthus* disminuye durante poscosecha y lo atribuye a que el almidón de las hojas es transformado en azúcares solubles y translocados a las flores. En el presente trabajo se observa que existe un comportamiento diferencial de los azúcares evaluados, el comportamiento inverso de sacarosa con relación a glucosa y fructosa en las flores de otoño-invierno sugieren una probable exportación de carbohidratos. En las flores de primavera-verano la mayor concentración de glucosa sugiere una menor translocación de azúcares hacia las flores, ya que es un azúcar reductor (Taiz *et al.*, 2016).

En las flores de otoño-invierno la fructosa fue el azúcar de mayor abundancia, así inicialmente la concentración fue de 354.9 mg g⁻¹, pero disminuyó durante el periodo de evaluación hasta 152.1 mg g⁻¹, después de 12 días (Figura 5 C). La sacarosa mostró un comportamiento similar a la fructosa, con valores iniciales de 96.3 mg g⁻¹ y alcanzando hasta 74.85 mg g⁻¹ después de 12 días (Figura 5 C). La glucosa mostró un incremento en su concentración, ya que al inicio se cuantificó 9.9 mg g⁻¹ y después de cuatro días llegó hasta 141.46 mg g⁻¹, y finalmente disminuyó hasta valores

all three sugars decreased continuously in the flowers of spring-summer plants – falling from initial values of 261.3 to 293.2 mg g⁻¹ to final ones between 41.8 and 110 mg g⁻¹ (Figure 5 D).

As the main carbohydrates in the flowers of lisianthus, sucrose and glucose decrease quickly after harvest (Huang & Cheng, 2002). However, in this study, the opposite occurred. Glucose, for instance, increased in the flowers of autumn-winter plants, while sucrose clearly remained above 100 mg g⁻¹. The rates of respiration were also highest in this group (Figure 4A). During the opening of lisianthus flowers, sucrose is transported there from the leaves, where it is converted into hexoses (e.g. glucose) and used as a source of energy (Chuang & Chang, 2013). This could explain, in part, the surge in glucose experienced by autumn-winter flowers. The link between shorter, postharvest lives and lower sucrose levels in flowers (both pre and postharvest) highlights the need for suitable postharvest technologies like pulsing, where sugars become easily available to cut-stems.

Conclusions

Lisianthus 'ABC 2-3 Blue' cultivated during the autumn-winter accumulates more dry matter, sucrose, and leaf glucose than lisianthus cultivated during the spring-summer. This in turn, foments better hydric relations, respiration rates, and carbohydrate metabolism, as well as longer postharvest lives. On the other hand, growth of lisianthus during the spring-summer reduces cultivation time by 38 %, but postharvest life becomes noticeably reduced.

References

- Alvarado-Camarillo, D., Valdez-Aguilar, L. A. and Cadena-Zapata, M. (2018) Crecimiento y programa de fertilización para lisianthus en base a la acumulación nutrimental. *Agroproductividad*, 11(8): 3-11. <https://doi.org/10.32854/agrop.v11i8.1090>
- Bárbaro, L. A., Karlanian, M. A. and Morisigue, D. (2009). El sistema flotante como alternativa para la producción de plantines de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* L.). *Agriscientia*, 26(2): 63-69. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v26.n2.2755>
- Bitá, C. E. & T. Gerats. (2013). Plant tolerance to high temperature in a changing environment: scientific fundamentals and production of heat stress-tolerant crops. *Frontiers in Plant Science*, 4: Article 273. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00273>
- Casavini, R., Laschi, D., Tavares, A. R. and Lima, G. P. P. (2018) Carbohydrate reserves on postharvest of lisianthus cut

de 13.9 mg g⁻¹ después de 12 días (Figura 5 C). En las flores cosechadas en primavera-verano los azúcares disminuyeron constantemente de entre 261.3 y 293.2 mg g⁻¹ al inicio de la cosecha a entre 41.8 y 110 mg g⁻¹ después de 12 días (Figura 5 D).

Huang & Cheng (2002) indicaron que la sacarosa y glucosa son los principales carbohidratos en las flores de lisianthus y disminuyen rápidamente durante la vida poscosecha. En las flores de otoño-invierno, se observa que la glucosa se incrementó y la sacarosa se mantuvo en niveles superiores a 100 mg g⁻¹ hasta por 12 días comparadas con las flores de primavera-verano ($p \leq 0.05$) y fueron las flores que mantuvieron por más tiempo la respiración (Figura 4 A). Chuang & Chang (2013) indican que durante la apertura floral de las flores de lisianthus la sacarosa es transportada de las hojas a las flores y convertidas a hexosas (glucosa) como fuente de energía, lo anterior explica en parte el incremento de la glucosa en las flores durante otoño-invierno. La asociación entre una menor vida poscosecha de las flores de lisianthus y el menor contenido sacarosa de las flores durante el cultivo o en poscosecha, sugieren que se deben aplicar tecnologías en poscosecha como las soluciones pulso, donde se pueda suministrar sacarosa y favorecer su vida poscosecha.

Conclusiones

Las flores de lisianthus 'ABC 2-3 Blue' cultivados en otoño-invierno mostraron mayor acumulación de materia seca, sacarosa y glucosa en hojas que favorece una mayor vida en florero, ya que favorece las relaciones hídricas, respiración y metabolismo de carbohidratos. Las flores de lisianthus del ciclo primavera-verano reducen 38 % el tiempo de cultivo, pero la vida poscosecha de las flores es menor.

- flowers. *Ornamental Horticulture*, 24(1): 12-18. <https://doi.org/10.14295/oh.v24i1.1108>
- Castilla, N. (2013). *Greenhouse technology and management*. Wallingford, UK: CABI.
- Chuang, Y.-C. and Chang, Y.-C. A. (2013). The role of soluble sugars in vase solutions during the vase life of *Eustoma grandiflorum*. *HortScience*, 48(2): 222-226. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.48.2.222>
- Díaz, G. P., Serrano, V. A., Ruíz, J. A. C., Ambriz, C. R. and Cano, M. Á. M. (2008). Estadísticos climáticos básicos del Estado de Morelos (período 1961-2003). Zacatepec; México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias.
- Dole, J. M. & H. F. Wilkins. (2005). *Floriculture. Principles and species*. USA: Pearson Prentice Hall.
- Durner, E. F. (2013). *Principles of horticultural physiology*. Wallingford, UK: CABI.
- Ecker, R., Barzilay, A. and Osherenko, E. (1994). Population means and correlation analyses of growth parameters in lisianthus (*Eustoma grandiflorum* Shinn.). *Euphytica*, 78:193-197. <https://doi.org/10.1007/BF00027517>
- Fanourakis, D., Pieruschka, R., Savvides, A., Macnish, A. J., Sarlikioti, V. and Woltering, E. J. (2014). Sources of vase life variation in cut roses: A review. *Postharvest Biology and Technology*, 78: 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.12.001>
- Flores-Pérez, S., Valdez-Aguilar, L. A., Castillo-Gonzalez, A. M and Avitia-García, E. (2018). Abastecimiento de nitrógeno en lisisnthus (*Eustoma grandiflorum* [Raf.] shinn) CV. ABC2 Lavanda. *Agroproductividad*, 11(8): 55-60. <https://doi.org/10.32854/agrop.v11i8.1097>
- Griesbach, R. J. (1992). Correlation of pH and light intensity on flower color in potted *Eustoma grandiflorum* Grise. *HortScience*, 25 (7): 817-818 <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.27.7.817>
- Harbaugh B. K. (2007) Lisianthus. In: Anderson NO (eds) Flower Breeding and Genetics. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4428-1_24
- Hernández-Pérez, A., Villegas-Torres, O. G., Valdez-Aguilar, L. A., Alía-Tejagal, I., López-Martínez, V. and Domínguez-Patiño, M. L. (2015). Tolerancia de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* raf.) Shinn.) a elevadas concentraciones de amonio en la solución nutritiva. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(3): 467-782 <https://doi.org/10.29312/remexca.v6i3.632>
- Huang, K.-L. & Chen, W.-S. (2002). BA and sucrose increase vase life of cut eustoma flowers. *HortScience*, 37(3): 547-549. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.37.3.547>
- Islam, N., Patil, G. G. and Gislrod. H. R. (2003). Effect of pre and postharvest conditions on vase life of *Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shin. *European Journal of horticultural Science*, 68 (6): 272-278. <https://www.pubhort.org/ejhs/2003/15780.htm>
- Kantz, I. (2004). Fertilirigacao com diferentes doses de nitrogeno, em plantas de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* (raf.) Shinm.) [Tesis de doctorado]. Univerisdade Estadual Paulista 'Julio de Mesquita Filho'. Sao Paulo, Brasil 1- 137 pp. https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/103435/katz_i_dr_botfca.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Li, M., Ji, L., Yang, X., Meng, Q. and Guo, S. (2012). The protective mechanisms of CaHSP26 in transgenic tobacco to alleviate photoinhibition of PSII during chilling stress. *Plant Cell Report*, 31: 1969-1979. <https://doi.org/10.1007/s00299-012-1309-x>
- Liu, X. & B. Huang. 2000. Carbohydrate accumulation in relation to heat stress tolerance in two creeping bentgrass cultivars. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 125 (4): 442-447. <https://doi.org/10.21273/JASHS.125.4.442>
- Loyola, N. & J. Vargas. (2005). Comparación de los efectos de preservantes en postcosecha de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* L.) *AGRO SUR* 33(1): 9-19. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2005.v33n1-02>
- Lugassi-Ben-Hamo, M., Kitron, M., Bustan, A. and Zaccai, M. (2010). Effect of shade regime on flower development yield and quality in lisianthus. *Scientia Horticulturae*, 124(2): 248-253. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.12.030>
- Oh, W. (2015). Effects of temperature, photoperiod and light intensity on growth and flowering in *Eustoma grandiflorum*. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology*, 33(3): 349-355. <https://doi.org/10.7235/hort.2015.15023>
- Panamerican Seed. (2005). *GrowerFacts*. Cut flower Lisianthus. Ball Horticultural company. USA.
- Pérez-Arias, G. A., Alía-Tejagal, I., Valdez-Aguilar, L. A., Colinas-León, M. T., López-Martínez, V. and Sainz-Aispuro, M. de J. (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. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v5n7/v5n7a9.pdf>

- Pérez-Arias, G. A., Alia-Tejagal, I., Valdez-Aguilar, L. A., Colinas-León, M. T. and Sainz-Aispuro, M de J. (2017). Refrigeración e índice de cosecha en Lisianthus (*Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shin.) 'Magic blue'. *Revista Bio Ciencias*, 4(5): Article ID 04.05.06. <https://doi.org/10.15741/revbio.04.05.06>
- Reid, M. & Jiang, C-Z. (2012). Postharvest biology and technology of cut flowers and potted plants. *Horticultural Reviews*, 40: 1-54. https://media.wiley.com/product_data/excerpt/35/11183458/1118345835-104.pdf
- Secor, J., McCarthy, D. R., Shibbes, R. and Green, D. E. (1982). Variability and selection for leaf photosynthesis in advanced generation of Soybean. *Crop Science*, 22 (2): 255-258. <https://doi.org/10.2135/cropsci1982.0011183X002200020013x>
- Systat. 2010. SigmaPlot V.14. User's Guide. USA. 459 p.
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. M. and Murphy, A. (2016). Plant physiology and development. Sunderland, USA: Sianuer Associates.
- Torres, A. P. & R. G. Lopez. (2011). Measuring Dayly Light Integral in a Greenhouse. Purdue extension HO-238-W. <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/HO/HO-238-W.pdf>
- Witkowski, E. T. F. & Lamont, B. B. (1991). Leaf specific mass confounds leaf density and thickness. *Oecologia* 88: 486-493. <https://doi.org/10.1007/BF00317710>