



COMPORTAMIENTO POSTCOSECHA DE FRUTOS DE NANCHE (*Byrsonima crassifolia*) EN CONDICIONES DE REFRIGERACION

POSTHARVEST BEHAVIOR OF NANCE (*Byrsonima crassifolia*) FRUITS UNDER REFRIGERATION

Karen Andrea Rivera-Correa¹, Salvador Valle-Guadarrama^{1*}, Iran Alia-Tejaca²,
Ma. de Lourdes Catalina Arévalo-Galarza³ y Artemio Pérez-López¹

¹Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Chapingo, Texcoco, Estado de México, México. ²Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México. ³Colegio de Postgraduados, Programa de Recursos Genéticos y Productividad-Fruticultura, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México.

*Autor de correspondencia (svalleg@taurus.chapingo.mx)

RESUMEN

El fruto de nanche (*Byrsonima crassifolia* L.) se cosecha cuando ocurre la caída por abscisión desde el árbol y tiene vida de anaquel menor a 5 d a 20 °C. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del manejo del fruto de nanche en condiciones de refrigeración sobre su comportamiento fisiológico para favorecer el alargamiento de la vida de anaquel. Se almacenaron frutos en madurez de consumo a 4, 8 y 20 °C (testigo) durante 20 d, los cuales contaban con 4.93 g de peso promedio, contenido de sólidos solubles totales de 11.5 °Brix y atributos de color de 66.5 %, 58.6 y 80.7° en luminosidad, cromaticidad y ángulo de tono, respectivamente. Los frutos manejados a 4 y 8 °C se evaluaron 1 y 2 d después de su traslado a una condición de 20 °C. El uso de refrigeración redujo la pérdida de peso, sin cambios significativos en color. La refrigeración redujo la pérdida de firmeza, pero con manejo a 4 °C se incrementó el ablandamiento después del traslado a 20 °C. La actividad respiratoria no se afectó por la refrigeración, pero sí se incrementó la producción de etileno y el contenido de fenoles solubles totales y flavonoides totales con respecto al testigo. Se observó incremento en la fuga de electrolitos y mayor estrés oxidativo en los tratamientos a 4 °C, evaluado mediante la actividad de la enzima peroxidasa, con respecto al testigo y al tratamiento de 8 °C. Se concluyó que es factible el manejo de frutos de nanche en madurez de consumo a 8 °C en postcosecha.

Palabras clave: *Byrsonima crassifolia*, almacenamiento a baja temperatura, daño por frío, vida de anaquel.

SUMMARY

The nance fruit (*Byrsonima crassifolia* L.) is harvested when it falls by abscission from the tree and has a shelf life of less than 5 d at 20 °C. The objective of this study was to evaluate the effect of handling the nance fruit under refrigeration conditions on its physiological behavior to favor the extension of shelf life. Fruits at consumption maturity were stored at 4, 8 and 20 °C (control) for 20 d. Fruits had an average weight of 4.93 g, total soluble solids content of 11.5 °Brix and color attributes of 66.5 %, 58.6 and 80.7° in lightness, chroma, and hue angle, respectively. The fruits handled at 4 and 8 °C were evaluated 1 and 2 d after their transfer to a condition of 20 °C. The use of refrigeration reduced weight loss, without significant changes in color. Refrigeration reduced the loss of firmness, but handling at 4 °C increased softening after transfer to 20 °C. The respiratory activity was not affected by refrigeration, but the production of ethylene and the content of total soluble

phenols and total flavonoids increased in relation to the control. An increase in electrolyte leakage and oxidative stress, evaluated by the peroxidase enzyme activity, were observed in treatments at 4 °C, relative to the control and to the treatment at 8 °C. It was concluded that the handling of nance fruits at consumption maturity at 8 °C in postharvest is feasible.

Index words: *Byrsonima crassifolia*, chilling injury, low temperature storage, shelf life.

INTRODUCCIÓN

El nanche (*Byrsonima crassifolia*; Malpighiaceae) se desarrolla principalmente en regiones de clima tropical y subtropical del continente americano, donde resaltan algunas de Estados Unidos, México y Brasil (Bayuelo-Jiménez, 2008). En México, los principales estados productores son Guerrero, Michoacán y Nayarit, y en menor proporción participan otros como Morelos (SIAP, 2021). Las hojas, frutos, semillas y corteza de esta especie contienen compuestos bioactivos con actividad biológica de tipo antiinflamatorio (García *et al.*, 2013), antidepresivo (Herrera-Ruiz *et al.*, 2011), antidiabético (Pérez y Muñoz, 2016) y, en general, se le ha reconocido capacidad para reducir radicales libres, debido a sus propiedades antioxidantes (Mariutti *et al.*, 2014).

El fruto de nanche se cosecha comúnmente cuando ocurre la abscisión natural (Medina-Torres *et al.*, 2004; Rivas-Castro *et al.*, 2019) y con ello exhibe vida útil de sólo 5-6 d a 20-25 °C (Neves *et al.*, 2015), lo que dificulta su aprovechamiento. Para atender este problema se ha probado la aplicación de recubrimientos comestibles, con lo que se consiguió extender la vida de anaquel hasta por 10 d (Mata *et al.*, 2016). Por otro lado, el nanche se ha clasificado como fruto climatérico (Rivas-Castro *et al.*, 2019) y también como fruto no-climatérico (Rivera-Correa

et al., 2022; Com. Pers.)¹. En ambos casos se ha mostrado que la cosecha en una etapa anterior a la madurez de abscisión puede favorecer el alargamiento de la vida de anaquel, pero esto no es una práctica aceptada entre los productores. La refrigeración es una alternativa que en muchos productos ha permitido el alargamiento de la vida de anaquel (Nunes y Emond, 2003). En el caso del fruto de nanche se ha evaluado el manejo a 12 °C (Mata *et al.*, 2016) y a 15 °C (Neves *et al.*, 2015), con lo que se consiguió vida de anaquel de 10 y 12 d, respectivamente; sin embargo, no existen reportes sobre el uso de condiciones térmicas más bajas y tampoco se han hecho evaluaciones sobre el eventual daño por frío en un manejo de baja temperatura, lo cual es necesario para desarrollar una estrategia óptima de conservación en fresco. En tal contexto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del manejo del fruto de nanche en condiciones de refrigeración sobre su comportamiento fisiológico para favorecer el alargamiento de la vida de anaquel.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Se utilizaron frutos de nanche (*Byrsonima crassifolia*) Amarillo dulce, provenientes de árboles propagados mediante semilla en Tepic, Nayarit, México (21° 30' 14" N, 104° 53' 42" O, 930 msnm). La cosecha se realizó en madurez de consumo, con peso promedio de 4.93 g, contenido de sólidos solubles totales de 11.5 °Brix y tonalidad amarilla.

Organización experimental

Los frutos se almacenaron a 20 ± 2 °C con 50-60 % de humedad relativa (HR), 8 ± 2 °C con 85 % HR y 4 ± 2 °C con 85 % HR. En los tres casos se utilizaron cuartos aislados térmicamente y las condiciones de 4 y 8 °C se establecieron con sistemas controlados de refrigeración mecánica. En los días 2 a 7 y 20 se retiraron frutos de cada condición para evaluar pérdida acumulada de peso, firmeza, color, tasas de respiración, producción de etileno, contenidos de sólidos solubles totales, fenoles solubles totales y flavonoides, así como fuga de electrolitos y actividad de la enzima peroxidasa (POD).

Los frutos manejados a 20 °C se evaluaron el día del retiro y constituyeron el tratamiento testigo. Los frutos manejados a 4 y 8 °C se trasladaron a 20 °C y se evaluaron 1 y 2 d después de permanecer en esa condición, con

lo cual se formaron los tratamientos T_{41} , T_{42} , T_{81} y T_{82} respectivamente.

Variables respuesta

Las unidades experimentales se pesaron al inicio y al momento de su retiro del almacenamiento mediante una balanza granataria (Ohaus, Parsippany, New Jersey, EUA) con precisión de 0.01 g. Con base en la condición inicial, se determinó la pérdida acumulada de peso en g. La firmeza se expresó en Newtons (N) y se determinó con un analizador de textura (Stable Micro Systems® Texture Analyzer Model XT2i, Godalming, Reino Unido), con sonda esférica de 5 mm de diámetro que deformó los frutos hasta 5 mm a velocidad de 2 mm s⁻¹ en una rutina de compresión. El color se midió en el epicarpio de cinco frutos con un colorímetro Hunter Lab (Miniscan XE Plus, Hunter Lab®, Reston, Virginia, EUA) y se expresó como luminosidad (L*), ángulo de tono (H*) y cromaticidad (C*) (McGuire, 1992). Las tasas de respiración y producción de etileno se determinaron con un método estático (Bolívar-Fernández *et al.*, 2011); para ello, los frutos de cada unidad experimental se colocaron en recipientes herméticos de 475 mL durante 1 h, se tomó una muestra del espacio de cabeza de cada recipiente y se analizó en términos de concentración de CO₂ y C₂H₄; con base en la masa de los frutos (m), el volumen libre del espacio de cabeza (V_L), el cambio de concentración gaseosa (Δy) y el tiempo de evaluación (t), se determinó la respiración en mL kg⁻¹ h⁻¹ y la producción de etileno en $\mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ a través del cálculo $[R = (\Delta y V_L)/(m t)]$. Aunque los tratamientos de baja temperatura permanecieron a 4 y 8 °C, las determinaciones de respiración y producción de etileno se realizaron a 20 °C, después de 1 y 2 d de exponer los frutos a esta condición. Las concentraciones gaseosas se midieron con un cromatógrafo de gases (Agilent Technologies® 7890A, Santa Clara, California, EUA), que operó con N₂ como gas de arrastre y temperaturas de 150, 80 y 170 °C, en el inyector, el horno y los detectores de conductividad térmica (TCD) y de ionización de flama (FID), respectivamente.

Los sólidos solubles totales (SST) se expresaron en °Brix y se determinaron con un refractómetro (CVQ-4012, VelaQuin®, México) en jugo de los frutos obtenido mediante compresión. La fuga de electrolitos (FE) se determinó con la metodología descrita por Quiroz-González *et al.* (2017) con modificaciones. Se colocaron mitades de frutos de peso de 1.0 g en 20 mL de agua destilada y se mantuvieron así durante 24 h. El líquido de una muestra se sometió a evaluación de conductividad eléctrica (CE₁, mS m⁻¹), mediante un conductímetro (YSI Professional Series Pro 30®, Yellow Springs, Ohio, EUA); después, otra muestra se trató por 50 min en autoclave para obtener la máxima FE, de donde se obtuvo el líquido y se evaluó en términos de

¹Rivera-Correa K. A., S. Valle-Guadarrama, I. Alia-Tejagal, M. L. C. Arevalo-Galarza, A. Pérez-López and D. Guerra-Ramírez (2022) Quality attributes of nanche (*Byrsonima crassifolia*) fruits as affected by storage temperature and maturity at harvest. *International Food Research Journal*. Forthcoming.

conductividad eléctrica (CE_2 , mS m^{-1}). Se calculó FE como $[\%FE = 100 \times CE_1 / CE_2]$.

Para evaluar contenido total de fenoles solubles y flavonoides se prepararon extractos con muestras de 1.0 g de pulpa de los frutos sumergidas en 10 mL de metanol 80 % y agitadas en vórtex (Symphony VWR, Shanghai, China) por 1 min a 1500 rpm; se ajustó el pH a 4.0 y cada muestra se agitó nuevamente a 1500 rpm durante 3 min (Dudonné *et al.*, 2009); después, se aplicó sonicación en equipo Cole-Parmer 8890 (Vernon Hills, Illinois, USA) por 30 min en oscuridad y se agitó en oscuridad en incubación (INO-650M, Prendo®, México) a 150 rpm y 30 °C por 30 min. La mezcla se centrifugó con equipo J-600 (SolBat, Mexico) a $3400 \times g$ por 14 min, se recuperó el sobrenadante y se aforó a 10 mL con metanol 80 %.

El contenido de fenoles solubles totales (FST) se determinó con el método del reactivo de Folin-Ciocalteu (FC) (Singleton y Rossi, 1965). Se hicieron diluciones del extracto con agua destilada en proporción 1:6, se tomaron 100 μL de la dilución y se hicieron reaccionar con 250 μL de FC en tubos de ensayo durante 6 min; después, la mezcla se neutralizó con 1.25 mL de Na_2CO_3 19 % y el volumen se ajustó a 3.0 mL con agua destilada. Las mezclas se agitaron en vórtex y se colocaron en oscuridad durante 90 min. Se aplicó centrifugación (equipo Hermle Z200, LTF-Labortechnik, Wasserburg, Alemania) a $13,000 \times g$ durante 10 min para eliminar turbidez y se determinó absorbancia en un espectrofotómetro UV-Vis (DR 500 UV-vis HACH, Loveland, Colorado, USA) a 760 nm. La determinación se apoyó con una curva estándar de ácido gálico preparada en el rango de 0 a 90 mg mL^{-1} . Los resultados se expresaron como μg equivalentes de ácido gálico por g de pulpa fresca de fruto ($\mu\text{g g}^{-1}$).

Para evaluar el contenido total de flavonoides se usó el método descrito por Chang *et al.* (2002) con modificaciones. Se realizaron diluciones del extracto en proporción 1:7 con agua destilada, se mezclaron 0.5 mL del extracto con 2.0 mL de agua destilada y con 0.15 mL de NaNO_2 5 % y se aplicó reposo por 6 min en oscuridad; después, se agregaron 0.15 mL de AlCl_3 10 % y la mezcla se colocó nuevamente en reposo por 6 min en oscuridad; posteriormente, se agregaron 2 mL de NaOH 4 % y se aforó a 5 mL con agua destilada. Se midió absorbancia a 510 nm con un espectrofotómetro DR 500 UV-vis y se evaluó el contenido de flavonoides totales en μg de catequina por g de pulpa fresca de fruto ($\mu\text{g g}^{-1}$) con el apoyo de una curva estándar de (+)-catequina en el intervalo de 0 a 290 $\mu\text{g mL}^{-1}$.

Se determinó actividad de la enzima peroxidasa (EC. 1.11.1.7; POD) usando polvo de acetona preparado a partir

de frutos molidos con el disolvente frío (Balois-Morales *et al.*, 2019). Para medir la actividad de POD se utilizó el método descrito por Alia-Tejacal *et al.* (2002), basado en un proceso de extracción con 0.1 g de polvo de acetona, 5 mL de Tris-HCl frío (100 mM, pH 7.1), 1 % de polivinilpirrolidona (PVP) y centrifugación por 30 min a $3400 \times g$ a 4 °C. Se mezclaron 2.6 mL de buffer Tris-HCl (100 mM, pH 7.1) con 0.25 mL de guayacol (0.1 M), 0.1 mL de peróxido de hidrógeno (0.25 %) y 0.05 mL del sobrenadante. Se midió el cambio de absorbancia a 460 nm durante 3 min y se reportó actividad enzimática en unidades por miligramo (U mg^{-1}) de proteína, donde una unidad de actividad enzimática fue igual a 1 μmol de tetraguaiacol formado por minuto. Los ensayos se hicieron entre 22 y 24 °C.

Análisis de datos

Se realizó análisis de varianza considerando a las modalidades de almacenamiento (testigo, $T_{81'}$, $T_{82'}$, T_{41} y T_{42}) y al tiempo de almacenamiento como fuentes de variación, de acuerdo con el modelo correspondiente a un diseño experimental completamente al azar. Cada unidad experimental constó de 100 g de frutos y todas las determinaciones se realizaron por triplicado. Se realizó comparación de medias con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para cada día de almacenamiento y también al interior de cada tratamiento entre distintos tiempos. El análisis se hizo con el programa SAS Ver. 8 (SAS Institute, 1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables físicas

Todos los frutos perdieron peso a lo largo del almacenamiento, pero los mayores valores ocurrieron en el tratamiento testigo, con 4.31 % d^{-1} en promedio, que contrastó con el material de los tratamientos $T_{81'}$, $T_{82'}$, T_{41} y T_{42} , donde la pérdida fue de 1.62, 2.26, 0.72 y 0.37 % d^{-1} , respectivamente, durante los primeros 7 d. El comportamiento fue lineal en todos los casos, con coeficientes de determinación (R^2) entre 0.88 y 0.99. La pérdida fue superior a 76 % en el testigo al completarse 20 d; además, se observó desarrollo fúngico, lo que causó pérdida total del valor comercializable. En contraste, la pérdida fue entre 30.1 y 33.2 % a 8 °C y entre 17.1 y 19.9 % a 4 °C al cumplirse 21-22 d de manejo (Cuadro 1), lo que indicó que el uso de temperatura baja permitió reducirla. La pérdida fisiológica de peso está asociada principalmente con un gradiente de presión de vapor entre los ambientes externo e interno del fruto (Hübert y Lang, 2012), por lo que los resultados se explicaron por la presencia de humedad relativa de 85 % en las condiciones de refrigeración y de 60 % en el ambiente del testigo.

Los frutos presentaron firmeza de 4.89 ± 0.28 N en la etapa inmediata posterior a la cosecha. El material del testigo exhibió reducción gradual en esta propiedad durante los primeros días y alcanzó un valor de 1.44 N en el día 7. Este comportamiento se consideró normal, pues el ablandamiento está reportado como una característica que ocurre de manera natural en los tejidos vegetales durante las etapas de maduración o senescencia, por la acción de enzimas pectolíticas que causan la degradación de la pared celular (Wang *et al.*, 2018); sin embargo, la firmeza se incrementó en los frutos del tratamiento testigo hasta 6.82 N al completarse 20 d de almacenamiento y ello correspondió más bien a un endurecimiento derivado de un fenómeno de deshidratación. En contraste, los frutos de los tratamientos refrigerados exhibieron firmeza en el intervalo de 2.2 a 2.9 N (Cuadro 1) y los valores fueron mayores a los del testigo en las mediciones de todos los días (Cuadro 1), lo que indicó que la condición térmica menor causó reducción de los procesos enzimáticos; sin embargo, cuando los frutos tratados con refrigeración se transfirieron a 20 °C experimentaron velocidades de ablandamiento que variaron entre 3.2-17.8, 1.1-16.7, 10.7-16.1 y 13.4-45.0 % d⁻¹ en T_{81} , T_{82} , T_{41} y T_{42} , respectivamente, en el periodo del cuarto al séptimo día, en tanto que la tasa de ablandamiento varió en el testigo entre 4.1 y 30.1 % d⁻¹ en el mismo periodo, donde los valores mayores en el tratamiento T_{42} sugirieron una alteración del comportamiento en la variación de la firmeza. Al respecto, el aumento de la velocidad de ablandamiento tras una exposición a temperatura baja no adecuada está tipificada como un signo de daño por frío en frutos (Valenzuela *et al.*, 2017).

Con respecto al color, los frutos presentaron luminosidad (L^*) de 66.4 %, ángulo de tono (H^*) de 80.6° y cromaticidad (C^*) de 59.5 en la etapa inmediata posterior a la cosecha (Cuadro 2). Con el paso del tiempo, estos atributos se redujeron en el testigo, a razón de 1.36 % d⁻¹, 0.80° d⁻¹ y 1.93 d⁻¹, respectivamente. El color de un material depende de la presencia de sustancias cromóforas; el valor del ángulo de matiz indicó que la tonalidad de los frutos fue cercana al amarillo, lo cual fue dado principalmente por la presencia de carotenoides (Rivera-Correa *et al.*, 2022; Com. Pers.)¹. Al respecto, aunque estos compuestos son relativamente estables durante el almacenamiento, la deshidratación los hace susceptibles a descomposición por oxidación (Rodríguez-Amaya, 1999), con lo que se puede alterar la capacidad para reflejar o absorber la luz. Por otro lado, se identificaron algunas modificaciones en el color de los frutos de los tratamientos refrigerados, pero las diferencias, tanto a lo largo del tiempo, como entre tratamientos, fueron poco evidentes en los primeros 7 d de almacenamiento, lo que indicó que el uso de temperatura baja redujo la velocidad de cambio de estos atributos.

Variables fisiológicas

La actividad respiratoria en el testigo varió entre 1.21 y 1.93 mL kg⁻¹ h⁻¹ en los primeros 7 d de almacenamiento y mostró una tendencia ascendente (Cuadro 3). Este comportamiento fue más evidente al completarse 20 d de almacenamiento, cuando alcanzó un valor de 6.8 mL kg⁻¹ h⁻¹ y fue debido, probablemente, a proliferación fúngica y a un estado de senescencia avanzada. Otros estudios revelaron valores entre 0.6 y 2.2 mL kg⁻¹ h⁻¹, medidos a 20 °C en frutos de similar estado de madurez en Tabasco, México (Rivas-Castro *et al.*, 2019) y entre 1.6 y 3.2 mL kg⁻¹ h⁻¹, a 15 °C, para frutos en Roraima, Brasil (Neves *et al.*, 2015), los cuales fueron similares a los valores obtenidos en el presente trabajo. En los frutos sometidos a 4 y 8 °C se encontraron valores entre 1.4 y 2.3 mL kg⁻¹ h⁻¹ después del traslado a la condición de 20 °C y la diferencia respecto del tratamiento testigo no fue significativa ($P > 0.05$), por lo que esta variable no indicó daño por frío en los materiales de esos tratamientos, pues este desorden fisiológico se acompaña de un incremento temporal de la actividad respiratoria (Alia *et al.*, 2005). Los frutos del tratamiento testigo exhibieron producción de etileno promedio de 42.51 ± 9.77 µL kg⁻¹ h⁻¹ en el primer periodo de 7 d de almacenamiento, sin una tendencia clara, pero en forma congruente con la respiración se observó un incremento súbito en la producción del gas al cumplirse 20 d de almacenamiento (Cuadro 3). En el caso de los tratamientos con refrigeración, se observó un incremento súbito ($P \leq 0.05$) en ambas temperaturas (T_{81} y T_{41}) después de 24 h a 20 °C en el día 3 de almacenamiento, pero tal comportamiento no fue consistente, pues ocurrió sólo en algunos días de muestreo y en menor magnitud, lo cual sugirió que los frutos expuestos a baja temperatura pueden experimentar daño por frío en un estado de senescencia poco avanzado.

La fuga de electrolitos (FE) tuvo un comportamiento sin cambios significativos ($P > 0.05$) en el material del tratamiento testigo, donde varió entre 72.8 y 75.8 % en el periodo inicial de 7 d (Cuadro 3). Esta situación fue similar en T_{81} y T_{41} , con valores entre 62.8 y 74.8 %. En el caso de T_{82} , durante la transición de 1 a 2 d a 20 °C, el valor de FE pasó de 71.99 a 69.99 % entre los días 3 y 4, de 73.46 a 73.49 % entre los días 4 y 5, y de 67.53 a 72.45 % entre los días 5 y 6, lo que indicó que en estos frutos no se alteró la estructura física; sin embargo, el material de T_{42} pasó de 62.81 a 88.55 % entre los días 3 y 4, de 74.31 a 80.66 % entre los días 4 y 5 y de 71.40 a 71.02 % entre los días 5 y 6 (Cuadro 3), lo que sugirió una alteración en la estructura física del tejido de los frutos en etapas tempranas de senescencia por la exposición a 4 °C, pues el daño en membranas, que constituye el evento primario de este desorden fisiológico, se identifica con un incremento en FE (Toivonen, 2004).

Cuadro 1. Comparaciones de medias entre tratamientos en cada día, para la pérdida de peso y firmeza en frutos de nanche almacenados a bajas temperaturas.

| Tratamiento | Días de almacenamiento | | | | | | | | DSH |
|-------------------------------|------------------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 20/21/22 | |
| Pérdida acumulada de peso (%) | | | | | | | | | |
| Testigo | 3.34 G (0.04) | 6.78 F b (0.92) | 9.45 F a (1.66) | 15.81 E a (0.54) | 19.32 D a (0.80) | 24.96 C a (0.80) | 28.17 B a (0.59) | 76.18 Aa (1.11) | 2.48 |
| T ₈₁ | --.-- | → | 6.08 Db (0.42) | 8.36 C c (0.40) | 9.96 BC c (0.21) | 11.17 B c (1.52) | | 30.10 A b (1.09) | 2.07 |
| T ₈₂ | --.-- | → | → | 11.22 C b (0.66) | 13.86 BC b (1.19) | 14.17 BC b (0.38) | 17.19 B b (0.93) | 33.18 A b (2.15) | 3.16 |
| T ₄₁ | --.-- | → | 4.21 Cb (0.10) | 5.55 BCd (0.18) | 5.75 BC d (0.31) | 7.01 B d (0.50) | | 17.17 A c (1.83) | 2.49 |
| T ₄₂ | --.-- | → | → | 9.27 C c (0.31) | 10.99 C c (0.78) | 9.88 C c (0.62) | 13.59 B c (1.12) | 19.86 A c (0.83) | 1.90 |
| DSH | --.-- | --.-- | 2.95 | 1.30 | 2.16 | 2.31 | 2.07 | 3.930 | --.-- |
| Firmeza (N) | | | | | | | | | |
| Testigo | 4.89 A (0.48) | 2.35 B a (0.19) | 2.08 B b (0.17) | 1.76 B b (0.12) | 1.23 B c (0.12) | 1.28 B b (0.19) | 1.44 B b (0.24) | 6.82 A a (0.74) | 0.96 |
| T ₈₁ | --.-- | → | 2.20 AB b (0.19) | 2.27 A ab (0.19) | 2.19 AB a (0.12) | 1.80 B b (0.12) | | 1.96 ABb (0.74) | 0.41 |
| T ₈₂ | --.-- | → | → | 2.25 A ab (0.52) | 1.89 A ab (0.40) | 2.26 A b (0.28) | 1.78 A a (0.14) | 1.68 A b (0.28) | 0.92 |
| T ₄₁ | --.-- | → | 2.53 A a (0.17) | 2.80 A a (0.62) | 2.42 A a (0.16) | 2.81 A a (0.38) | | 2.09 A b (0.35) | 1.03 |
| T ₄₂ | --.-- | → | → | 2.19 A ab (0.09) | 1.54 B bc (0.12) | 2.02 AB b (0.21) | 1.64 ABab (0.12) | 1.70 AB b (0.16) | 0.56 |
| DSH | --.-- | --.-- | 0.31 | 0.98 | 0.59 | 0.77 | 0.33 | 1.128 | --.-- |

Testigo: 20 °C, T₈₁: 8 °C + 1 día a 20 °C, T₈₂: 8 °C + 2 d a 20 °C, T₄₁: 4 °C + 1 día a 20 °C, T₄₂: 4 °C + 2 d a 20 °C. Letras mayúsculas iguales indican diferencia no significativa en el mismo renglón. Letras minúsculas iguales indican diferencia no significativa en la misma columna. DSH: diferencia significativa honesta (Tukey, P ≤ 0.05). Valores entre paréntesis indican desviación estándar. Una flecha o dos flechas en el renglón indican que el material fue retirado del tratamiento de refrigeración 24 ó 48 h antes de su evaluación a 20 °C. El encabezado "20/21/22" indica que la evaluación se hizo a los 20 días (testigo), 21 días (T₈₁, T₄₁) ó 22 días (T₈₂, T₄₂) de almacenamiento.

Cuadro 2. Comparación de medias de tratamiento para parámetros de color de frutos de nanche almacenados a distinta temperatura.

| Tratamiento | Días de almacenamiento | | | | | | | | DSH |
|-------------------------|------------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|--------------------|-----------------|------------------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 20/21/22 | |
| Luminosidad (%) | | | | | | | | | |
| Testigo | 66.4 A (1.06) | 64.9 AB a (0.67) | 64.4 AB a (1.47) | 61.4 BC a (1.82) | 60.8 BC a (1.09) | 59.1 C b (0.80) | 58.8 C a (3.30) | 44.3 D c (0.78) | 4.33 |
| T ₈₁ | --.-- | → | 64.8 A a (1.75) | 59.8 BC a (0.67) | 63.7 AB a (1.30) | 60.6 ABCab (1.83) | | 57.5 C b (2.08) | 4.34 |
| T ₈₂ | --.-- | → | → | 62.2 A a (1.02) | 60.6 A a (2.06) | 58.5 A b (2.84) | 61.6 A a (3.75) | 57.0 A b (1.25) | 6.09 |
| T ₄₁ | --.-- | → | 64.2 A a (0.59) | 60.5 A a (1.78) | 62.5 A a (1.49) | 63.2 A a (1.90) | | 64.3 A a (1.00) | 3.88 |
| T ₄₂ | --.-- | → | → | 63.2 A a (0.81) | 63.4 A a (2.13) | 61.4 A ab (1.71) | 64.5 A a (0.88) | 56.0 B b (1.87) | 4.40 |
| DSH | --.-- | | 3.44 | 3.81 | 4.29 | 4.83 | 7.47 | 3.818 | --.-- |
| Ángulo de tono (grados) | | | | | | | | | |
| Testigo | 80.6 A (1.02) | 79.6 Aba (0.76) | 79.21 AB a (0.36) | 79.10ABCa (1.00) | 77.49BCDa (0.99) | 76.4 CDbc (1.06) | 76.0 Da (1.51) | 65.4 E c (1.21) | 2.81 |
| T ₈₁ | --.-- | → | 79.8 Aba (0.85) | 80.2 A a (0.40) | 78.9 AB a (0.29) | 77.4 BC abc (0.78) | | 76.0 Cab (1.85) | 2.70 |
| T ₈₂ | --.-- | → | → | 79.4 A a (1.40) | 76.6 A a (1.19) | 75.8 A c (0.95) | 78.6 A a (3.41) | 74.4 A b (1.94) | 5.34 |
| T ₄₁ | --.-- | → | 79.3 A a (0.45) | 80.0 A a (1.14) | 79.1 A a (1.28) | 78.6 A a (0.31) | | 79.91 A a (1.82) | 3.10 |
| T ₄₂ | --.-- | → | → | 79.9 A a (1.52) | 79.2 A a (1.56) | 78.5 A ab (0.61) | 79.9 A a (0.31) | 74.8 B b (1.59) | 3.54 |
| DSH | --.-- | --.-- | 1.37 | 3.08 | 3.03 | 2.25 | 4.98 | 4.410 | --.-- |
| Cromaticidad | | | | | | | | | |
| Testigo | 59.5 A (0.69) | 56.63 Abab (1.31) | 55.9 AB a (2.98) | 56.6 AB a (4.39) | 52.0 AB a (1.33) | 48.6 B a (1.07) | 52.5 Aba (5.88) | 34.4 C c (1.95) | 8.12 |
| T ₈₁ | --.-- | → | 57.3 A a (2.49) | 52.99ABCa (1.89) | 56.0 AB a (2.84) | 49.4 BC a (3.17) | | 48.3 C ab (3.51) | 7.65 |
| T ₈₂ | --.-- | → | → | 56.7 A a (1.38) | 49.3 A a (2.53) | 47.1 A a (4.27) | 55.9 A a (6.07) | 48.3 A ab (3.01) | 9.95 |
| T ₄₁ | --.-- | → | 52.8 A a (1.30) | 54.5 A a (2.63) | 52.5 A a (3.48) | 52.7 A a (3.06) | | 55.7 A a (3.27) | 7.70 |
| T ₄₂ | --.-- | → | → | 60.7 A a (1.42) | 54.6 AB a (2.65) | 51.3 BC a (3.72) | 60.2 A a (2.51) | 46.0 C b (3.36) | 7.93 |
| DSH | --.-- | --.-- | 6.26 | 8.03 | 6.71 | 8.07 | 13.07 | 7.889 | --.-- |

Testigo: 20 °C, T₈₁: 8 °C + 1 día a 20 °C, T₈₂: 8 °C + 2 d a 20 °C, T₄₁: 4 °C + 1 día a 20 °C, T₄₂: 4 °C + 2 d a 20 °C. Letras mayúsculas iguales indican diferencia no significativa en el mismo renglón. Letras minúsculas iguales indican diferencia no significativa en la misma columna. DSH: diferencia significativa honesta (Tukey, P ≤ 0.05). Valores entre paréntesis indican desviación estándar. Una flecha o dos flechas en el renglón indican que el material fue retirado del tratamiento de refrigeración 24 ó 48 h antes de su evaluación a 20 °C. El encabezado "20/21/22" indica que la evaluación se hizo a los 20 días (testigo), 21 días (T₈₁, T₄₁) ó 22 días (T₈₂, T₄₂) de almacenamiento.

Cuadro 3. Comparación de medias de tratamiento para respiración, producción de etileno y fuga de electrolitos en frutos de nanche.

| Tratamiento | Días de almacenamiento | | | | | | | | DSH |
|--|------------------------|------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 20/21/22 | |
| Respiración (mL kg ⁻¹ h ⁻¹) | | | | | | | | | |
| Testigo | 1.21 C (0.23) | 1.21 C a (0.11) | 1.73 BC a (0.39) | 1.65 BC a (0.24) | 1.38 BC a (0.05) | 1.67 BC a (0.21) | 1.93 B a (0.19) | 6.78 A a (0.36) | 0.67 |
| T ₈₁ | ---.-- | → | 1.697 A a (0.26) | 1.899 A a (0.07) | 1.426 A a (0.29) | 1.584 A a (0.04) | | 1.798 A b (0.16) | 0.52 |
| T ₈₂ | ---.-- | → | → | 1.931 AB a (0.21) | 1.411 C a (0.14) | 1.592 BCa (0.13) | 1.875AB a (0.02) | 2.295 A b (0.20) | 0.44 |
| T ₄₁ | ---.-- | → | 1.623 A a (0.14) | 1.964 A a (0.26) | 1.577 A a (0.10) | 1.636 A a (0.22) | | 2.045 A b (0.35) | 0.62 |
| T ₄₂ | ---.-- | → | → | 2.094 A a (0.07) | 1.681 A a (0.18) | 2.110 A a (0.52) | 2.103 A a (0.13) | 1.907 A b (0.03) | 0.63 |
| DSH | ---.-- | ---.-- | 0.77 | 0.53 | 0.43 | 0.71 | 0.36 | 0.651 | ---.-- |
| Producción de etileno (μL kg ⁻¹ h ⁻¹) | | | | | | | | | |
| Testigo | 55.08 CD (5.91) | 46.68 CD (2.96) | 14.84 E b (1.61) | 80.35 B a (13.72) | 34.58 DE c (3.22) | 65.11 CB a (0.21) | 40.95 D b (2.94) | 236.82 A a (11.19) | 21.01 |
| T ₈₁ | ---.-- | → | 126.94 A a (22.33) | 13.21 C b (2.02) | 60.47 B a (1.03) | 53.01 B ab (1.64) | | 76.95 B bc (8.96) | 29.14 |
| T ₈₂ | ---.-- | → | → | 76.29 ABa (10.00) | 62.53 BCa (1.91) | 43.33 C b (4.00) | 73.16 AB a (3.73) | 92.61 A bc (11.41) | 21.81 |
| T ₄₁ | ---.-- | → | 117.64 A a (21.25) | 41.78 BCb (19.21) | 50.23 BC b (4.61) | 65.71 B a (5.41) | | 16.75 C d (1.46) | 35.56 |
| T ₄₂ | ---.-- | → | → | 35.77 B b (6.78) | 44.32 B b (2.91) | 53.46 AB b (7.37) | 66.07 A a (3.08) | 53.46 ABc (9.47) | 18.96 |
| DSH | ---.-- | ---.-- | 38.08 | 32.88 | 8.16 | 19.27 | 7.85 | 25.870 | ---.-- |
| Fuga de electrolitos (%) | | | | | | | | | |
| Testigo | 75.80 A (6.07) | 70.45 A a (5.21) | 72.34 A a (8.18) | 72.40 A b (3.89) | 68.79 A b (4.48) | 72.98 A a (4.71) | 72.80 A a (3.46) | 68.50 A c (10.57) | 16.93 |
| T ₈₁ | ---.-- | → | 71.99 A a (4.05) | 73.46 A b (5.10) | 67.53 A b (5.05) | 73.49 A a (3.41) | | 72.06Aabc (2.70) | 11.22 |
| T ₈₂ | ---.-- | → | → | 69.99 A b (11.16) | 73.49 A ab (9.83) | 72.45 A a (3.49) | 72.06 A a (3.79) | 65.80 A c (3.41) | 18.11 |
| T ₄₁ | ---.-- | → | 62.81 B a (4.65) | 74.31 ABab (6.45) | 71.40 ABab (2.49) | 70.67 AB a (3.67) | | 84.05 A ab (10.48) | 16.72 |
| T ₄₂ | ---.-- | → | → | 88.55 A a (10.59) | 82.66 A a (4.43) | 75.02 A a (11.12) | 75.03 A a (1.75) | 88.55 A a (2.47) | 18.09 |
| DSH | ---.-- | ---.-- | 16.18 | 16.12 | 13.09 | 15.75 | 7.93 | 18.076 | ---.-- |

Testigo: 20 °C, T₈₁: 8 °C + 1 día a 20 °C, T₈₂: 8 °C + 2 d a 20 °C, T₄₁: 4 °C + 1 día a 20 °C, T₄₂: 4 °C + 2 d a 20 °C. Letras mayúsculas iguales indican diferencia no significativa en el mismo renglón. Letras minúsculas iguales indican diferencia no significativa en la misma columna. DSH: diferencia significativa honesta (Tukey, P ≤ 0.05). Valores entre paréntesis indican desviación estándar. Una flecha o dos flechas en el renglón indican que el material fue retirado del tratamiento de refrigeración 24 ó 48 h antes de su evaluación a 20 °C. El encabezado "20/21/22" indica que la evaluación se hizo a los 20 días (testigo), 21 días (T₈₁, T₄₁) ó 22 días (T₈₂, T₄₂) de almacenamiento.

Variables químicas

El contenido de sólidos solubles totales (SST) fue de 11.5 ± 0.5 °Brix al inicio del almacenamiento y aumentó gradualmente hasta 15.00 ± 0.58 °Brix en el tratamiento testigo durante los primeros 7 d (Cuadro 4). Al respecto, se ha reportado que los SST se incrementan con la maduración, pero el contenido ya no se modifica una vez que el fruto se separa del árbol (Rivera-Correa *et al.*, 2022; Com. Pers.)¹, por lo que el comportamiento observado pudo más bien ser causado por un fenómeno de deshidratación. Por otro lado, el manejo refrigerado a 4 u 8 °C no alteró el contenido de SST con relación al testigo, pues las diferencias en los distintos días no fueron significativas y, aunque en el tratamiento T_{42} se incrementó la fuga de electrolitos, ello no afectó el contenido total de sólidos solubles.

El contenido de fenoles solubles totales (FST) y flavonoides totales (FT) fue de 14.3 y $2.85 \mu\text{g g}^{-1}$ en la etapa inmediata posterior a la cosecha, y en ambos casos se tuvo un incremento gradual con el tiempo, hasta alcanzar valores de 22.65 y $3.98 \mu\text{g g}^{-1}$, respectivamente, al cumplirse 7 d de almacenamiento (Cuadro 4). Este comportamiento fue congruente con el reporte de Neves *et al.* (2015), quienes encontraron que, tras un almacenamiento por 12 d a 15 °C, se incrementó el contenido de compuestos fenólicos de frutos de nanche en 34.8 %; los autores propusieron que esto ocurrió en respuesta al incremento de especies reactivas del oxígeno (ROS) que acompañan el proceso de senescencia, de manera que este comportamiento puede ser usado como una estrategia para evaluar la vida de anaquel de los frutos. Por otro lado, el contenido de FST y FT se mantuvo sin cambios significativos en los materiales de T_{81} y T_{41} , pero presentó un comportamiento errático en T_{82} y T_{42} , donde los valores fueron significativamente mayores a los del testigo en la mayoría de los días de evaluación. Al respecto, el incremento de compuestos fenólicos en general (López-Martínez *et al.*, 2020) y de flavonoides en particular (Valenzuela *et al.*, 2017) ha sido reportado como una respuesta al estrés que experimenta un fruto por causa de un daño por frío (Chaudhary *et al.*, 2017), lo cual puede ocurrir como un aumento en una etapa temprana de afectación por frío y después disminuir (Bal, 2021), y actuar como una estrategia de secuestro de ROS (Aghdam, 2013). La afectación por baja temperatura no sólo incluye la modificación negativa en las membranas celulares, sino que también induce estrés oxidativo caracterizado por la producción de ROS y, en tal sentido, las enzimas antioxidantes como peroxidasa pueden reducir la concentración de ese grupo de radicales libres y contribuir a un mecanismo de defensa (Wang *et al.*, 2019). Al respecto, la actividad de la enzima peroxidasa (POD) varió entre 0.80 y 3.38 U mg^{-1} en los frutos del

tratamiento testigo, en tanto que fluctuó entre 0 y 4.17 U mg^{-1} en los frutos de los tratamientos manejados a 4 y 8 °C y colocados a 20 °C por 1 o 2 d. En ninguno de los tratamientos se encontraron variaciones significativas a lo largo del almacenamiento de 7 d (Cuadro 5); sin embargo, la comparación en días específicos mostró que los tratamientos T_{81} y T_{41} exhibieron los mayores valores, pero éstos no se confirmaron en los tratamientos T_{82} y T_{42} ; es decir, en la evaluación realizada dos días después del retiro del almacenamiento refrigerado. En tal sentido, la mayor actividad de la enzima peroxidasa con relación al testigo después de 24 h del retiro de la condición de baja temperatura y el posterior decremento a 48 h del retiro, principalmente en los tratamientos a 4 °C y en menor grado en los de 8 °C, fue indicativa de la presencia de un estrés oxidativo en los tratamientos.

Factibilidad de uso de refrigeración

Los frutos evaluados en el presente estudio presentaron estado de madurez de consumo. El uso de refrigeración a 4 u 8 °C permitió reducir la pérdida de peso y provocó menor pérdida de firmeza, pero los materiales manejados a 4 °C exhibieron mayor velocidad de ablandamiento cuando se transfirieron a 20 °C. Los atributos de color no se alteraron por el manejo refrigerado y la actividad respiratoria no exhibió un incremento temporal en dichos tratamientos después del traslado a la condición de 20 °C; sin embargo, en algunos días se observó un incremento súbito en la producción de etileno después del retiro de la condición de baja temperatura, lo cual, aunque no fue consistente, sugiere la presencia de una alteración fisiológica. Por otro lado, los tratamientos a 8 °C no experimentaron una variación en la fuga de electrolitos después del traslado a 20 °C, pero sí lo hicieron los tratamientos a 4 °C, donde con la transición de 1 a 2 d a 20 °C se observó un incremento significativo en esta variable; asimismo, se observó un incremento en el contenido de fenoles solubles totales y flavonoides totales con la transición de 1 a 2 d en los materiales tratados con refrigeración después del traslado a 20 °C. La actividad de la enzima peroxidasa se incrementó temporalmente durante el traslado a la condición térmica mayor, principalmente después de un manejo a 4 °C y en menor grado a 8 °C, lo cual, junto con comportamiento de compuestos fenólicos, sugirió el desarrollo de estrés oxidativo derivado de la exposición previa a baja temperatura. Con esta base, se encontró que el manejo de frutos de nanche a 4 °C causó síntomas de daño por frío. Es factible el uso de una temperatura de 8 °C, pero algunas manifestaciones de daño por frío pueden también desarrollarse, por lo que es recomendable la exploración de una temperatura mayor que evite completamente tal sintomatología.

Cuadro 4. Comparación de medias de tratamiento para contenidos totales de sólidos solubles, fenoles solubles y flavonoides.

| Tratamiento | Días de almacenamiento | | | | | | | | DSH |
|---|------------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|----------------|-----------------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 20/21/22 | |
| Contenido de sólidos solubles totales (°Brix) | | | | | | | | | |
| Testigo | 11.50 BC (0.87) | 10.50 Cb (0.87) | 11.50 BCa (0.87) | 12.00 BCb (1.40) | 13.50 ABa (1.64) | 13.50ABa (0.87) | 15.00Aa (1.00) | --.-- | 2.97 |
| T ₈₁ | --.-- | → | 11.66 Aa (1.14) | 12.00 Ab (0.01) | 10.90 Ab (0.020) | 11.33 A (1.14) | --.-- | 12.00Aa (1.99) | 3.10 |
| T ₈₂ | --.-- | → | → | 15.00Aa (1.99) | 14.00Aa (1.99) | 12.66Aa (1.14) | 14.66Aa (1.95) | 13.50Aa (0.87) | 3.16 |
| T ₄₁ | --.-- | → | 12.50ABa (0.01) | 14.66Aab (1.14) | 11.33Ba (1.16) | 12.66ABa (1.12) | --.-- | 12.66ABa (1.14) | 2.87 |
| T ₄₂ | --.-- | → | → | 13.33Aab (1.14) | 11.33Aab (1.12) | 14.17Aa (1.16) | 13.33Aa (1.14) | 14.00Aa (1.40) | 3.69 |
| DSH | --.-- | --.-- | 2.07 | 3.58 | 3.83 | 2.87 | 3.62 | 3.439 | --.-- |
| Contenido de fenoles solubles totales (µg g ⁻¹) | | | | | | | | | |
| Testigo | 14.30 B (1.29) | 17.01 ABa (2.53) | 16.15 Ba (1.95) | 15.03 B bc (1.06) | 16.96ABab (2.16) | 19.53 ABa (2.80) | 22.65Aa (3.01) | --.-- | 5.91 |
| T ₈₁ | --.-- | → | 15.53 ABa (2.77) | 12.82ABc (1.23) | 12.10Bb (1.82) | 12.14Bb (1.92) | --.-- | 17.23Ab (1.19) | 5.07 |
| T ₈₂ | --.-- | → | → | 18.76Aab (1.40) | 18.33Aa (2.68) | 17.68Aab (3.10) | 20.91Aa (2.15) | 22.64Aa (1.31) | 5.71 |
| T ₄₁ | --.-- | → | 17.25 Aa (2.35) | 16.56Aabc (2.42) | 17.96Aab (3.10) | 17.06Aab (0.95) | --.-- | 15.06Ab (1.61) | 5.99 |
| T ₄₂ | --.-- | → | → | 19.83Aa (1.16) | 12.57Bab (0.28) | 18.79Aa (1.71) | 13.48Bb (0.85) | 18.08Ab (1.78) | 4.11 |
| DSH | --.-- | --.-- | 5.64 | 3.96 | 5.99 | 6.30 | 5.97 | 3.918 | --.-- |
| Contenido de flavonoides totales (µg g ⁻¹) | | | | | | | | | |
| Testigo | 2.85CD (0.05) | 2.73Db (0.26) | 2.87 CDb (0.17) | 2.81Db (0.27) | 3.37BCc (0.21) | 3.48ABb (0.10) | 3.98Ab (0.22) | --.-- | 52.79 |
| T ₈₁ | --.-- | → | 4.17 Aa (0.47) | 4.23Aa (0.16) | 4.13Aab (0.29) | 3.98Aab (0.51) | --.-- | 3.94Aab (0.18) | 94.69 |
| T ₈₂ | --.-- | → | → | 3.94Ba (0.37) | 4.40ABa (0.24) | 4.33ABa (0.51) | 5.29Aa (0.18) | 4.56Aa (0.39) | 98.02 |
| T ₄₁ | --.-- | → | 3.66 Aab (0.29) | 3.90Aa (0.44) | 3.51Abc (0.35) | 3.94Aab (0.07) | --.-- | 4.25Aab (0.64) | 110.79 |
| T ₄₂ | --.-- | → | → | 3.86ABa (0.23) | 3.74ABbc (0.01) | 4.13Aab (0.18) | 3.51Bb (0.42) | 3.63ABb (0.08) | 59.61 |
| DSH | --.-- | --.-- | 0.74 | 0.82 | 0.65 | 0.83 | 0.68 | 0.91 | --.-- |

Testigo: 20 °C, T₈₁: 8 °C + 1 día a 20 °C, T₈₂: 8 °C + 2 d a 20 °C, T₄₁: 4 °C + 1 día a 20 °C, T₄₂: 4 °C + 2 d a 20 °C. Letras mayúsculas iguales indican diferencia no significativa en el mismo renglón. Letras minúsculas iguales indican diferencia no significativa en la misma columna. DSH: diferencia significativa honesta (Tukey, P ≤ 0.05). Valores entre paréntesis indican desviación estándar. Una flecha o dos flechas en el renglón indican que el material fue retirado del tratamiento de refrigeración 24 ó 48 h antes de su evaluación a 20 °C. El encabezado "20/21/22" indica que la evaluación se hizo a los 20 días (testigo), 21 días (T₈₁, T₄₁) ó 22 días (T₈₂, T₄₂) de almacenamiento.

CONCLUSIONES

El manejo de frutos de nanche en condiciones de refrigeración permitió reducir la pérdida de peso y la velocidad de ablandamiento, sin modificación de los atributos de color con respecto de un manejo en condiciones ambientales normales. El uso de una condición de 4 °C indujo síntomas asociados a daños por frío, lo que indicó que tal condición no es adecuada para el manejo de los frutos en postcosecha. El manejo a 8 °C indujo también algunos síntomas asociados con este desorden fisiológico, pero la magnitud de los mismos fue moderada, por lo que el uso de esta condición puede ser factible para atender el manejo de los frutos después de la cosecha de los frutos en madurez de consumo.

BIBLIOGRAFÍA

Aghdam M. S. (2013) Mitigation of postharvest chilling injury in tomato fruit by prohexadione calcium. *Journal of Food Science and Technology* 50:1029-1033, <https://doi.org/10.1007/s13197-013-0994-y>

Alia T. I., M. T. Colinas L., M. T. Martínez D. y R. M. Soto H. (2005) Daños por frío en zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore and Stearn). I. Cambios en volátiles, firmeza y azúcares totales. *Revista Fitotecnica Mexicana* 28:17-24.

Alia-Tejagal I., M. T. Colinas-León, M. T. Martínez-Damián y M. R. Soto-Hernández (2002) Factores fisiológicos, bioquímicos y de calidad en frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota* Jacq. H.E. Moore & Stearn) durante poscosecha. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 7:263-271, <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2001.11.083>

Bal E. (2021) Effect of melatonin treatments on biochemical quality and postharvest life of nectarines. *Journal of Food Measurement and Characterization* 15:288-295, <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00636-5>

Balois-Morales R., J. O. Jiménez-Zurita, I. Alia-Tejagal, G. G. López-Guzmán, Y. A. Palomino-Hermosillo and L. M. Sánchez-Herrera (2019) Antioxidant enzymes and antioxidant activity in two soursope selections (*Annona muricata* L.) from Nayarit, Mexico stored at 15 °C. *Revista Brasileira de Fruticultura* 41:e-083, <https://doi.org/10.1590/0100-29452019083>

Bayuelo-Jiménez J. S. (2008) Malpighiaceae *Byrsonima crassifolia* nance. In: The Encyclopedia of Fruit and Nuts. J. Janick and R. E. Paull (eds.). CABI. Wallingford, UK. pp:459-461.

Bolívar-Fernández N., C. Saucedo-Veloz y E. Sauri-Duch (2011) Respiración y parámetros relacionados durante la maduración del chicozapote cosechado en la península de Yucatán. *Revista Brasileira de Fruticultura* 33:261-266, <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000500032>

Chang C. C., M. H. Yang, H. M. Wen and J. C. Chern (2002) Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food Drug Analysis* 10:178-182, <https://doi.org/10.38212/2224-6614.2748>

Chaudhary P. R., X. Yu, G. K. Jayaprakasha and B. S. Patil (2017) Influence of storage temperature and low-temperature conditioning on the levels of health-promoting compounds in Rio Red grapefruit. *Food Science & Nutrition* 5:545-553, <https://doi.org/10.1002/fsn3.429>

Dudonné S., X. Vitrac, P. Courtière, M. Woillez and J. M. Mérillon (2009) Comparative study of antioxidant properties and total phenolic content of 30 plant extracts of industrial interest using DPPH, ABTS, FRAP, SOD, and ORAC assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57:1768-1774, <https://doi.org/10.1021/jf803011r>

García M., F. Michelangeli, A. Fernández, J. Villamizar, F. Salazar and P. Taylor (2013) Anti-inflammatory effects of (+)-catechin isolated from

Cuadro 5. Comparación de medias de tratamiento para actividad de la enzima peroxidasa (U mg⁻¹) en frutos de nanche.

| Tratamiento | Días de almacenamiento | | | | | | | DSH | |
|-----------------|------------------------|--------------------|--------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | | |
| Testigo | 0.80 A (1.38) | 3.38 A a (2.35) | 0.89 A a (1.54) | 2.52 A ab (1.589) | 2.61 A a (2.84) | 0.00 A b (0.00) | 0.85 A a (0.25) | 20/21/22 ----- | 3.48 |
| T ₈₁ | ----- | → | 4.17 A b (2.96) | 1.10 A ab (1.57) | 1.07 A a (1.66) | 2.17 A ab (3.08) | ----- | 2.398 A a (3.39) | 3.61 |
| T ₈₂ | ----- | → | → | 1.10 A ab (1.90) | 0.00 A a (0.00) | 0.00 A b (0.000) | 1.15 A a (1.99) | 2.52 A a (2.83) | 3.16 |
| T ₄₁ | ----- | → | 4.57 A b (3.96) | 4.27 A a (4.90) | 3.39 A a (0.16) | 4.59 A a (2.16) | ----- | 1.20 A a (2.08) | 3.27 |
| T ₄₂ | ----- | → | → | 0.00 A c (0.000) | 0.00 A a (0.000) | 0.00 A b (0.000) | 0.00 A a (0.000) | 1.78 A a (1.78) | 3.10 |
| DSH | ----- | ----- | 3.12 | 4.45 | 4.88 | 4.56 | 3.55 | 4.92 | ----- |

Testigo: 20 °C, T₈₁: 8 °C + 1 día a 20 °C, T₈₂: 8 °C + 2 d a 20 °C, T₄₁: 4 °C + 1 día a 20 °C, T₄₂: 4 °C + 2 d a 20 °C. Letras mayúsculas iguales indican diferencia no significativa en el mismo renglón. Letras minúsculas iguales indican diferencia no significativa en la misma columna. DSH: diferencia significativa honesta (Tukey, P < 0.05). Valores entre paréntesis indican desviación estándar. Una flecha o dos flechas en el renglón indican que el material fue retirado del tratamiento de refrigeración 24 ó 48 h antes de su evaluación a 20 °C. El encabezado "20/21/22" indica que la evaluación se hizo a los 20 días (testigo), 21 días (T₈₁, T₄₁) ó 22 días (T₈₂, T₄₂) de almacenamiento.

- the bark of *Byrsonima crassifolia*. *Planta Medica* 79:PF12, <https://doi.org/10.1055/s-0033-1352069>
- Herrera-Ruiz M., A. Zamilpa, M. González-Cortazar, R. Reyes-Chilpa, E. León, M. P. García, ... and M. Huerta-Reyes (2011) Antidepressant effect and pharmacological evaluation of standardized extract of flavonoids from *Byrsonima crassifolia*. *Phytomedicine* 18:1255-1261, <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2011.06.018>
- Hübert T. and C. Lang (2012) Artificial fruit: postharvest online monitoring of agricultural food by measuring humidity and temperature. *International Journal of Thermophysics* 33:1606-1615, <https://doi.org/10.1007/s10765-011-1101-0>
- López-Martínez L. X., O. Marquez-Molina, E. P. Gutiérrez-Grijalva and J. B. Heredia (2020) Plant phenolics and postharvesting technologies. In: *Plant Phenolics in Sustainable Agriculture*. Vol. 1. R. Lone, R. Shuab and A. N. Kamili (eds.). Springer. Singapore. pp:347-366, https://doi.org/10.1007/978-981-15-4890-1_15
- Mariutti L. R. B., E. Rodrigues, R. C. Chisté, E. Fernandes and A. Z. Mercadante (2014) The Amazonian fruit *Byrsonima crassifolia* effectively scavenges reactive oxygen and nitrogen species and protects human erythrocytes against oxidative damage. *Food Research International* 64:618-625, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.07.032>
- Mata V. A., J. C. Castro, J. M. Vagula, J. M. C. da Costa and E. Clemente (2016) Physicochemical quality of Murici covered with starchbased coverings and stored at different temperatures. *African Journal of Agricultural Research* 11:1344-1352, <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.9723>
- McGuire R. G. (1992) Reporting of objective color measurements. *HortScience* 27:1254-1255, <https://doi.org/10.21273/hortsci.27.12.1254>
- Medina-Torres R., S. Salazar-García and J. R. Gómez-Aguilar (2004) Fruit quality indices in eight nance (*Byrsonima crassifolia* (L.) H.B.K.) selections. *HortScience* 39:1070-1073, <https://doi.org/10.21273/hortsci.39.5.1070>
- Neves L. C., J. M. Tosin, R. M. Benedette and L. Cisneros-Zevallos (2015) Post-harvest nutraceutical behaviour during ripening and senescence of 8 highly perishable fruit species from the Northern Brazilian Amazon region. *Food Chemistry* 174:188-196, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.111>
- Nunes M. C. N. and J. P. Emond (2003) Storage temperature. In: *Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables*. J. A. Bartz and J. K. Brencht (eds.). University of Florida. Gainesville, Florida, USA. pp:209-228.
- Pérez G. R. M. and A. Muñiz R. (2016) Hypoglycemic effects of sesquiterpene lactones from *Byrsonima crassifolia*. *Food Science and Biotechnology* 25:1135-1145, <https://doi.org/10.1007/s10068-016-0182-8>
- Quiroz-González B., J. Corrales-García, M. T. Colinas-León and M. C. Ybarra-Moncada (2017) Identification of variables correlated with chilling injury in pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth). *Agrociencia* 51:153-172.
- Rivas-Castro S. F., E. Martínez-Moreno, I. Alia-Tejagal and A. Pérez-López (2019) Physical and physiological changes in phenotypes of nance [*Byrsonima crassifolia* (L.) H.B.K.] with different harvest maturity. *Scientia Horticulturae* 256:108620, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108620>
- Rodríguez-Amaya D. B. (1999) Changes in carotenoids during processing and storage of foods. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 49:38S-47S.
- SAS Institute (1999) SAS/STAT® User's Guide, Version 8. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina. 1464 p.
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2021) Anuario estadístico de la producción agrícola. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (Febrero 2020)
- Singleton V. L. and J. A. Rossi (1965) Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture* 16:144-158.
- Toivonen P. M. A. (2004) Postharvest storage procedures and oxidative stress. *HortScience* 39:938-942, <https://doi.org/10.21273/hortsci.39.5.938>
- Valenzuela J. L., S. Manzano, F. Palma, F. Carvajal, D. Garrido and M. Jamilena (2017) Oxidative stress associated with chilling injury in immature fruit: postharvest technological and biotechnological solutions. *International Journal of Molecular Sciences* 18:1467, <https://doi.org/10.3390/ijms18071467>
- Wang D., T. H. Yeats, S. Uluisik, J. K. C. Rose and G. B. Seymour (2018) Fruit softening: revisiting the role of pectin. *Trends in Plant Science* 23:302-310, <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.01.006>
- Wang Y., L. Gao, Q. Wang and J. Zuo (2019) Low temperature conditioning combined with methyl jasmonate can reduce chilling injury in bell pepper. *Scientia Horticulturae* 243:434-439, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.08.031>

