

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**POTENCIAL DE ALMACENAMIENTO Y SUSCEPTIBILIDAD
AL DAÑO POR FRÍO EN FRUTOS DE NECTARINAS Y
DURAZNO**

por

Victor David GONZALEZ LÓPEZ

TESIS presentada como uno de los
requisitos para obtener el título de
Magister en Ciencias Agrarias
opción Ciencias Vegetales

**MONTEVIDEO
URUGUAY
MAYO 2019**

PÁGINA DE APROBACIÓN

Tesis aprobada por el tribunal integrado por (título nombre), (título nombre), y (título nombre), el (día) de (mes) de (año). Autor/a: (título nombre). Director/a (título nombre), Co-director/a (título nombre).

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a Dios y a la Virgen por darme la oportunidad de iniciar y cerrar esta etapa brindándome fortaleza y sabiduría durante toda mi carrera profesional.

A mi madre Nely López y abuela Daysi Méndez por su amor y por ser el motor que me da la fuerza para seguir luchando y con esto obtener mis triunfos y metas. A mi madre que gracias a su fortaleza y su característica de una mujer luchadora siempre ha estado conmigo dándome su total apoyo para cumplir mis objetivos.

Una especial mención para la Dra. Ana Cecilia Silveira por todos sus aportes brindados durante el desarrollo de mi carrera profesional, así como todo el apoyo permanente para poder seguir y culminar mi maestría. También agradecer por su paciencia y por su dedicación en enseñarme a emprender y/o visualizar nuevos enfoques y métodos de estudio.

Agradezco al Dr. Victor Hugo Escalona por su apoyo, consejos y palabras de ánimos durante el desarrollo de mis estudios.

Muchas gracias a toda mi familia en general padre, hermana, tías, tíos y primos por su apoyo total hacia mis proyectos.

Agradezco al grupo de trabajo del Laboratorio de Poscosecha de Frutas y Hortalizas de la Facultad de Agronomía por el apoyo recibido durante toda la ejecución del trabajo, especialmente a la Dra. Fernanda Zaccari por sus aportes brindados.

Por último, agradezco a la Red temática Hortyfresco 113RT0480 (Conicyt-Chile; Cyted-España) y a la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII, Uruguay), por la concesión de la beca para poder realizar mis estudios de maestría.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS	III
RESUMEN.....	VI
SUMMARY	VIII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1.1. CULTIVO DE DURAZNO	1
2. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	10
2.1. UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO	10
2.2. MATERIAL VEGETAL	10
2.2.1. <u>Variedad Big Top</u>	10
2.2.2. <u>Variedad Fantasía</u>	10
2.2.3. <u>Variedad Elegant Lady</u>	11
2.3. NÚMERO DE FRUTOS DEL EXPERIMENTO	11
2.4. MOMENTO DE ANÁLISIS	12
2.5. DETERMINACIONES	12
2.5.1. <u>Tasa respiratoria</u>	12
2.5.2. <u>Incidencia del pardeamiento interno</u>	13
2.5.3. <u>Variable de calidad</u>	13
2.5.3.1. Pérdida de peso (%)	13
2.5.3.2. Firmeza de la pulpa	13
2.5.3.3. Contenido de sólidos solubles totales (SST)	14
2.5.3.4. Color de la cáscara	14
2.5.4. <u>Polifenoles totales (PT)</u>	15
2.5.5. <u>Capacidad antioxidante total por DPPH</u>	15
2.5.6. <u>Permeabilidad de la membrana</u>	16
2.5.7. <u>Contenido de malondialdehído (MDA)</u>	16
2.5.8. <u>Actividad de las enzimas de estrés oxidativo</u>	17
2.5.8.1. Catalasa (CAT)	17
2.5.8.2. Ascorbato peroxidasa (APX)	18

2.5.8.3. Superóxido dismutasa (SOD)	18
2.5.9. <u>Actividad de las enzimas de la pared celular</u>	19
2.5.9.1. Pectinmetilesterasa (PME)	19
2.5.9.2. Poligalacturonasa (PG)	20
2.5.10. Análisis estadístico	20
3. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	22
3.1. TASA RESPIRATORIA	22
3.2. INCIDENCIA DEL PARDEAMIENTO INTERNO	26
3.3. VARIABLES DE CALIDAD	31
3.3.1. <u>Pérdida de peso (%)</u>	31
3.3.2. <u>Firmeza de la pulpa (N)</u>	36
3.3.3. <u>Contenido de sólidos solubles totales (SST)</u>	48
3.3.4. <u>Color de la piel</u>	52
3.3.4.1. Luminosidad	52
3.3.4.2. Tono	56
3.3.4.3. Croma (C)	58
3.4. POLIFENOLES TOTALES (PT)	62
3.5. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE TOTAL	70
3.6. FUGA DE ELECTROLITOS	76
3.7. CONTENIDO DE MALONDIALDEHÍDO (MDA)	82
3.8. ACTIVIDAD ENZIMÁTICA	89
3.8.1. <u>Superóxido dismutasa (SOD)</u>	89
3.8.2. <u>Catalasa (CAT)</u>	96
3.8.3. <u>Ascorbato peroxidasa (APX)</u>	101
3.8.4. <u>Pectinmetilesterasa (PME)</u>	107
3.8.5. <u>Poligalacturonasa (PG)</u>	108
4. <u>CONCLUSIONES</u>	111
5. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	114
6. <u>TRATAMIENTO CON AIRE CALIENTE Y SU EFECTO SOBRE EL METABOLISMO DE NECTARINA VAR. BIG TOP ALMACENADA A DIFERENTES TEMPERATURAS</u>	127

RESUMEN

Los tratamientos térmicos (agua y aire caliente) se han utilizado para la reducción de la incidencia de los daños por frío, ya que permiten el mantenimiento de las estructuras de las membranas celulares y la mejora de los sistemas antioxidantes. Con base a esto, el objetivo general de este trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación del tratamiento con aire caliente sobre la incidencia de los daños por frío en dos variedades de nectarinas (Big Top y Fantasía) y una de durazno (Elegant Lady) en las variables de tasa respiratoria, calidad de la fruta (interna y externa), el porcentaje de fuga de electrolitos (%FE), el contenido de malondialdehído (MDA), los polifenoles totales (PT), capacidad antioxidante total y por último, la actividad de las enzimas catalasa (CAT), ascorbato peroxidasa (APX) y superóxido dismutasa (SOD), pectinmetilesterasa (PME) y poligalacturonasa (PG). Entre los resultados más relevantes se destacan el aumento de la tasa respiratoria en los frutos tratados de la var. Big Top (30% más) y Elegant Lady (19-24% más) que los no tratados. Además, los frutos tratados de las variedades Big Top y Fantasía presentaron un aumento en el %FE durante la conservación (0 y 5 °C). Los frutos conservados a 0 °C presentaron valores entre 90-93% y los conservados a 5 °C valores entre 80-83%. En la var. Big Top, los PT en frutos tratados fueron entre 15% y 21% mayores que en los no tratados, mientras que los valores de capacidad antioxidante total fueron 21% mayores, pero solo en el periodo de VM. Los más altos de capacidad antioxidante total se observaron en los frutos de Fantasía conservados a 0 °C, siendo de 0,85 y 0,9 mg equivalentes a ácido ascórbico por gramo de peso fresco (mg EAA g⁻¹ PF), luego de 6 y 27 días respectivamente. Los frutos tratados de la var. Big Top presentaron una actividad de la SOD (77% y 42% superior), luego de 18 y 27 días respectivamente. Los frutos de la var. Fantasía presentaron mayor actividad de la CAT a 0 °C, con un valor inicial y final de 0,63 y 0,4 UAE mg⁻¹ proteína respectivamente. La actividad de la PG y PME en Fantasía fue superior en los frutos tratados 0 °C. Si bien existen algunos indicios de la reducción de los daños por frío como la reducción del pardeamiento de la pulpa, el aumento de los sistemas antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos, y el aumento en

la actividad de las enzimas de la pared celular, no hubo una respuesta muy clara para definir si este este tratamiento aplicado es efectivo o no para la reducción de los daños por frío.

Palabras Clave: daño por frío, tratamiento térmico, estrés oxidativo, malondialdehído, fuga de electrolitos.

STORAGE POTENTIAL AND SUSCEPTIBILITY TO CHILLING INJURY OF NECTARINES AND PEACH FRUIT

SUMMARY

Thermal treatments such as (water and hot air) have been used to reduce the incidence of chilling injury, as they allow the maintenance of the structures of cell membranes and the improvement of antioxidant systems. Based on this, the general objective of this work was to evaluate the effect of the application of hot air treatment on the incidence of chilling injury in two varieties of nectarines (Big Top and Fantasia) and one of peach (Elegant Lady). Response variables such as respiratory activity, fruit quality (internal and external), electrolyte leakage percentage (%EL), malondialdehyde content (MDA), total polyphenols (TP), total antioxidant capacity and finally, the activity of catalase enzymes (CAT), ascorbate peroxidase (APX) and superoxide dismutase (SOD), pectinmetillesterase (PME) and polygalacturonase (PG) were measured. Among the most significant results are the increase in the respiratory rate of the treated fruits of the var. Big Top (30% more) and Elegant Lady (19-24% more) the untreated fruit. For the Big Top and Fantasy varieties, the treated fruit showed an increase in %EL during storage at (0 and 5 °C). Those preserved at 0 °C presented values between 90-93% and 80-83% in those stored at 5 °C. In the var. Big Top, the TP in treated fruits were between 15% and 21% higher than in untreated ones, while total antioxidant capacity values were 21% higher, but only in the shelf-life period. The highest total antioxidant capacity was observed in the fruit of Fantasia storage at 0 °C, being 0.85 and 0.9 mg equivalent to ascorbic acid per gram of fresh weight (mg EAA g⁻¹ PF), after 6 and 27 days respectively. The treated fruits of var. Big Top presented an activity of SOD (77% and 42% higher), after 18 and 27 days respectively. The fruits of the var. Fantasia showed higher activity of the CAT at 0 °C, with an initial and final value of 0.63 and 0.4 UAE mg⁻¹ protein respectively. The PG and PME activity in Fantasia was higher in the treated fruits 0 °C. While there are some indications of reduced cold damage such as reduced pulp browning, increased enzymatic and nonenzymatic antioxidant systems, and increased activity of cell wall

enzymes, there was no very clear answer to define whether this applied treatment is effective or not for the reduction of chilling injury.

Keywords: chilling injury, heat treatment, oxidative stress, malondialdehyde, electrolyte leakage.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. CULTIVO DE DURAZNO

Los duraznos y nectarinas son unas de las frutas más antiguas, originarias de China. Son frutas populares, debido a su delicioso sabor y alto valor nutricional; contienen compuestos como vitaminas, polifenoles totales, flavonoides y antocianinas. Estos compuestos bioactivos, son producto del metabolismo normal de las células vegetales (Lurie y Crisosto, 2005, Durst y Weaver, 2013, Carocho y Ferreira, 2013).

El nombre científico del durazno y la nectarina es *Prunus persica* (L.) Batsch. Esta especie pertenece a la familia de las *Rosaceae*, subfamilia Prunoideae, cuyo fruto se denomina botánicamente como drupa. Se define como durazno a aquellos que presentan pubescencia en la cáscara y como nectarinas o pelones a aquellos cuya piel carece de pubescencia. El fruto tiene como característica, una pulpa carnosa y la semilla cubierta por un endocarpio leñoso, razón por la cual se les denomina como frutales de carozo, haciendo referencia a la semilla. Por otra parte, de acuerdo con su adherencia al carozo éstos pueden denominarse priscos cuando la pulpa no es adherente y pavía cuando la pulpa y el carozo están firmemente adheridos (Soria y Pisano, 2014).

La producción mundial de duraznos y nectarinas en el 2016 fue de 24.975.649 millones de toneladas en un área cosechada de 1.639.925 ha, siendo China, España, Italia y Estados Unidos los principales productores mundiales (FAO, 2016). En Uruguay, MGAP-DIEA (2016) la producción de duraznos fue de 12.858 toneladas y 1.550 toneladas de nectarinas, con un área cosechada de 1.388 ha para duraznos y 159 ha para nectarinas, explotadas por unos 600 productores. La producción de durazno se destina en un 97,9% se destina al mercado interno, un 2% a industria y un 0,01% otros, mientras que en las nectarinas un 99,94% se destina al mercado interno y un 0,06% a industria (MGAP-DIEA, 2016).

Los duraznos y nectarinas, de acuerdo con la fecha de cosecha en Uruguay, se pueden dividir en cuatro grupos: muy tempranas (inicio de noviembre a inicio de

diciembre); tempranas (mediados de diciembre a inicio de enero); de estación (mes de enero) y tardías (febrero a inicio de marzo) y se caracteriza por contar con aproximadamente 50 variedades entre duraznos y nectarinas (Soria y Pisano, 2014).

Las pérdidas en la calidad y cantidad de los productos hortofrutícolas durante la poscosecha, periodo que abarca todas las operaciones entre la cosecha y el consumo, afectan en gran medida el rendimiento y la viabilidad comercial de un cultivo. En general, los productos frescos tienen alto contenido de agua y están sujetos a la deshidratación, el daño mecánico y el deterioro patológico. Se estima que la magnitud de las pérdidas poscosecha debido a estas causas alcanza entre 25 y 50% (Kader, 2002). Para evitarlas y/o reducirlas, en especial para mantener la calidad, deben considerarse los principales factores fisiológicos involucrados en el deterioro tales como la tasa respiratoria, producción de etileno, condiciones de conservación y susceptibilidad a diferentes tipos de estrés (Raju et al., 2011).

La respiración es un indicador de la actividad metabólica y juega un papel significativo en la fisiología poscosecha y el deterioro de la calidad de los frutos. Proporciona energía para los procesos bioquímicos de los frutos y acelera la maduración y la senescencia. Por lo tanto, la velocidad de deterioro de los frutos generalmente es proporcional a su tasa de respiración (Nourian et al., 2003, Kader, 2002).

Por su parte, el etileno es un compuesto natural del metabolismo de las plantas producidos por todos los órganos y tejidos, encargado de regular diferentes procesos durante la maduración y senescencia en los frutos de durazno (Kader, 2002, Rodríguez-Félix et al., 2011).

En función de su patrón de respiración y producción de C_2H_4 , los frutos se clasifican en climatéricos y no climatéricos. Según Lurie y Pedreschi (2014), los duraznos y nectarinas son clasificados como frutos climatéricos, ya que tienen la capacidad de producir C_2H_4 de manera auto catalítica (Sistema II).

La calidad y vida útil de los productos frescos son altamente dependientes de las condiciones que lo rodean. Desde el punto de vista fisiológico, los duraznos y

nectarinas son considerados frutos climatéricos, lo que determina que se deterioren rápidamente después de la cosecha, si permanecen a temperatura ambiente (15-20 °C), por el aumento de la tasa respiratoria y producción etileno. Por lo tanto, el almacenamiento en frío se ha utilizado como una herramienta para la extensión de la vida útil (Lurie y Pedreschi, 2014, Cao et al., 2010). Se ha demostrado que la temperatura óptima de conservación de estos frutos es 0 °C mientras que la humedad relativa (HR) debe estar entre 95-98%. Bajo estas condiciones la tasa respiratoria es de entre 2-3 mL de CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ y la producción de etileno de entre 0,5-5 μL kg⁻¹ h⁻¹ (Crisosto y Labavitch, 2002).

Durante el periodo de conservación de los frutos, una de las principales causas de deterioro es la pérdida de peso, por ser uno de los cambios visibles por los consumidores y que limita la vida poscosecha, provocando pérdidas cuantitativas directas al afectar la apariencia y textura. La velocidad de la pérdida de agua está determinada por factores, como características morfológicas del producto, la relación superficie-volumen, los daños superficiales y el estado de madurez (Hung et al., 2011). A la vez, las condiciones ambientales como temperatura, HR y movimiento del aire, influyen durante el almacenamiento (Kader, 2002). La mayoría de los productos frescos se vuelven no comerciales con niveles de pérdida de peso entre 3 y 10% (Ben-Yehoshua y Rodov, 2003).

Con base en lo anterior, el buen manejo de la temperatura y la HR durante la conservación refrigerada juega un papel fundamental en el mantenimiento de la calidad de los frutos. Sin embargo, los frutos de durazno y nectarinas son sensibles al frío, por lo que el almacenamiento a temperaturas no óptimas, especialmente cuando los frutos se mantienen entre 2 y 8 °C pueden provocar desórdenes fisiológicos denominados daños por frío (Cantín et al., 2010).

Entre los síntomas de daño por frío están el pardeamiento interno, harinosidad, enrojecimiento o sangrado y translucencia de la pulpa (Wang et al., 2009) que, si bien se producen durante el almacenamiento refrigerado, se expresan cuando los frutos son transferidos a temperatura ambiente (vida de mostrador). Por lo tanto, el problema no se presenta hasta que la fruta llega a los consumidores, lo que limita la vida útil y

conlleva a una reducción de la aceptación y en consecuencia una pérdida en el valor del producto (Lurie et al., 2011).

El pardeamiento interno está relacionado con el deterioro del tejido o la senescencia, causado por la enzima polifenoloxidasas (PPO), que cataliza la oxidación de polifenoles totales para formar quinonas (Yan et al., 2015). La PPO se encuentra en el citoplasma, mientras que los polifenoles en las vacuolas en los tejidos intactos. Sin embargo, cuando hay daños en las membranas celulares dan como resultado la interacción de la enzima y los sustratos, donde, junto con la exposición al oxígeno, se produce la reacción de oscurecimiento (Degl'Innocenti et al., 2005, Hu et al., 2012).

Por otra parte, la aparición del síntoma de harinosidad está relacionada a un desequilibrio entre la actividad de las enzimas involucradas en la degradación de la pared celular, la pectinmetilesterasa (PME) y poligalacturonasa (PG) (Hu et al., 2012). Este es uno de los síntomas más frecuentes en los frutos de durazno. Es por ello, que la mayoría de las investigaciones sobre la harinosidad se han centrado especialmente en la actividad de las mismas (Zhou et al., 2015).

Los síntomas de DF en frutas pueden dividirse en dos categorías: síntomas metabólicos y fisiológicos. Dentro de los síntomas metabólicos están; maduración anormal, mal sabor y aroma, mientras que en los síntomas fisiológicos están; picaduras, pardeamiento interno, pérdida de agua, susceptibilidad a daños mecánicos y ataque de hongos (Sevillano et al., 2009).

El primer efecto causado por los DF es el mal funcionamiento de las membranas. (Rui et al., 2010). La transición de las membranas celulares de una fase cristalina líquida a una estructura de gel sólido que se produce durante el desarrollo de los DF, incrementa el riesgo de pérdida de su permeabilidad selectiva.

La exposición de los frutos a temperaturas inductoras de estos daños involucra la peroxidación de ácidos grasos de la membrana, el aumento del grado de saturación de ácidos grasos, la degradación de fosfolípidos y galactolípidos y el aumento de la relación esterol-fosfolípido que conducen a la reducción de la fluidez y función de la membrana (Sevillano et al., 2009).

Estos daños en las membranas provocan la fuga de agua intracelular, iones y metabolitos determinados como la pérdida o fuga de electrolitos (Sharom et al., 1994). La fuga de electrolitos de la membrana aumenta debido a la descompartmentalización y la senescencia de los tejidos y se ha utilizado como un indicador de la funcionalidad de la membrana, ya que generalmente se considera una medida confiable (Duan et al., 2011, Chen et al., 2014, Zhou et al., 2011). Por otro lado, el malondialdehído (MDA), que se conoce como el producto final de la peroxidación de los lípidos, también se ha considerado como uno de los indicadores importantes de la integridad de la membrana (Sharom et al., 1994, Xing et al., 2011).

El estrés oxidativo es un efecto secundario derivado de los daños por frío ya que, durante el almacenamiento en condiciones de temperaturas inductoras, se generan especies reactivas de oxígeno (EROS) como el superóxido (O_2^-), el hidroxilo (OH) y el peróxido de hidrógeno (H_2O_2), que se acumulan como consecuencia de un desequilibrio entre su producción y agotamiento (Sevillano et al., 2009, Liu y Wang, 2012). Cuando esto sucede, su presencia provoca daños en las membranas celulares, ya que rompen los dobles enlaces de ácidos grasos que la componen y determinan la acumulación de MDA. Como una reacción secundaria aparecerían síntomas tales como la fuga de electrolitos, la reducción de la energía y la lisis celular (Sala y Lafuente, 2004, Sairam et al., 2000). Por lo tanto, la regulación oxidativa, es un balance dinámico entre los sistemas que producen EROS y aquellos que trabajan para capturarlos y contrarrestar el daño (Toivonen, 2004).

Los organismos poseen una serie de mecanismos de defensa de carácter antioxidante, cuya misión es la de combatir las alteraciones oxidativas, intentando minimizar de esta manera, las alteraciones y daños celulares (Sevillano et al., 2009). Los antioxidantes impiden que otras moléculas se unan al oxígeno, debido a que éstos reaccionan o interactúan más rápidamente con las EROS, en un determinado ambiente que puede ser la membrana plasmática (vitamina E, carotenoides), citosol (SOD, CAT APX, vitamina C), o el núcleo (vitamina E y C). La acción de los antioxidantes es evitar alteraciones o proteger a otras moléculas que forman parte de las estructuras celulares, que pueden ser de distinta naturaleza como lípidos, proteínas y ADN

(Reitter, 1995). Dicho sistema antioxidante se puede clasificar en dos grupos: enzimático y no enzimático.

Una de las formas de defensa contra el estrés oxidativo es mediante la inducción de la actividad o la expresión genética de las enzimas antioxidantes, que incluyen la enzima superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT), ascorbato peroxidasa (APX) y glutatión reductasa (GR) (Møller, 2001). Estas enzimas desempeñan un papel importante en la eliminación de las EROS y por lo tanto mejoran la tolerancia a los DF en algunas frutas sensibles al frío como los duraznos y nectarinas (Gao et al., 2015). Actúan como antioxidantes directos, que eliminan el anión O_2^- y H_2O_2 (Mittler, 2002). La SOD, cataliza la dismutación del radical superóxido (O_2^-) a H_2O_2 y oxígeno molecular, mientras que, la CAT y APX, catalizan la descomposición del H_2O_2 en oxígeno y agua (Ghasemnezhad et al., 2008).

Por otra parte, los sistemas antioxidantes no enzimáticos comprenden un amplio grupo de sustancias con carácter antioxidante, que pueden actuar como captadores o como quelantes de iones metálicos. Dentro de estos sistemas se incluyen principalmente los polifenoles totales, ácido ascórbico, flavonoides y otros (García-Limones et al., 2002). La elevada actividad antioxidante de estos compuestos se debe fundamentalmente a que poseen una potente capacidad reductora, oxidándose ellos preferentemente en presencia de sustancias oxidantes y protegiendo de esta manera las estructuras celulares (Romojaro, 2016).

Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios producidos en frutas a través de la ruta fenilpropanoide y no están uniformemente distribuidos dentro del tejido de las frutas (Liu et al., 2014). Los duraznos contienen una gran variedad de compuestos fenólicos, importantes por sus contribuciones al sabor, color y propiedades funcionales de los frutos (Tomás-Barberán et al., 2001, Cheynier, 2005). Su abundancia y concentración varía según la madurez, el genotipo y las condiciones de almacenamiento poscosecha (Kalinowska et al., 2014).

Hoy en día existen diversas tecnologías poscosecha para retardar o mitigar el desarrollo de los DF o bien para aumentar la tolerancia de las variedades a los mismos

(Wang, 2000). Diferentes tratamientos se han estudiado como ser los tratamientos físicos (atmósferas controladas o modificadas), químicos (1-metilciclopropeno o 1-MCP), hormonales (ácidos salicílico y jasmónico, etc), tratamientos con radiación ultravioleta de onda corta (UV-C), shock con nitrógeno gaseoso y los tratamientos térmicos (Pesis et al., 2000, Vicente et al., 2005, Peng et al., 2011, Fallik, 2004).

Los tratamientos térmicos en poscosecha pueden ser aplicados como agua caliente (40-60 °C durante 7-10 min), aire caliente (30-40 °C durante 24 a 48 h) o como vapor (Lurie y Pedreschi, 2014). La reducción de la incidencia de los DF en frutos tratados térmicamente podría atribuirse a la mejora de la integridad de la membrana, mejora de la expresión y acumulación de los genes que codifican a las proteínas de choque térmico, mejora de la actividad del sistema antioxidante y/o mejora del metabolismo de los azúcares entre otras (Morteza y Samad, 2014).

Varios estudios han sido desarrollados sobre la aplicación de tratamientos térmicos con el fin de reducir la incidencia de los DF. En este sentido, Hansen et al. (2011) proponen la aplicación de agua caliente (40-60 °C) y aire caliente (30-45 °C) en poscosecha tanto previo al almacenamiento, como durante el transcurso de éste (calentamientos intermitentes).

En el estudio realizado por Shao y Tu (2013), el tratamiento con aire caliente (38 °C durante 36 h) aplicado a frutos de níspero disminuyó la acumulación de H₂O₂ mediante el aumento de las actividades enzimáticas antioxidantes (SOD, CAT, APX), lo que redujo la peroxidación de la membrana y mantuvo la integridad de ésta. Por otra parte, en el trabajo realizado por Zhang et al. (2013), encontraron que la aplicación de aire caliente (38 °C durante 16 h) a tomates, mantuvo la integridad de la membrana evidenciada por la disminución de la fuga de electrolitos y contenido de MDA y por el aumento en las actividades de las enzimas APX, CAT y SOD.

Resultados similares encontraron los autores Rui et al. (2010), donde los frutos de níspero tratados con aire caliente (38 °C durante 5 h) presentaron menor fuga de electrolitos y contenido de MDA. Por otra parte, Ghasemnezhad et al. (2008), tuvieron efectos positivos con la aplicación de agua caliente (45 °C durante 5 min) a

mandarinas, que evidenciaron una reducción en la producción de C_2H_4 y en la tasa respiratoria, además de estimular el incremento de la actividad de las enzimas de estrés oxidativo como la CAT, APX y SOD.

En función de lo anterior, la hipótesis de este trabajo es que los frutos de nectarinas y duraznos al ser conservados en frío por periodos prolongados presentarán alteraciones en su metabolismo, lo que se conoce como daño por frío, cuya incidencia y severidad dependerá de la variedad y el tiempo de almacenamiento. Esta ocurrencia podrá reducirse mediante un tratamiento con aire caliente (35 °C) previo a la conservación lo que potenciaría su almacenamiento.

Objetivos

El objetivo principal fue evaluar el efecto del tratamiento con aire caliente previo a la conservación refrigerada en dos variedades de nectarinas (Big Top y Fantasía) y una de durazno (Elegant Lady), sobre la incidencia del daño por frío.

Los objetivos específicos fueron:

- Evaluar el efecto del tratamiento térmico sobre la tasa respiración, pérdida de peso, el color de fondo, firmeza de la pulpa, sólidos solubles totales, pardeamiento de la pulpa, polifenoles totales y capacidad antioxidante total.
- Identificar los cambios en la actividad de las enzimas de estrés oxidativo (CAT, APX, SOD), enzimas de la pared celular (PG, PME), la permeabilidad de la membrana y el contenido de MDA.
- Determinar la evolución de la calidad de los frutos, las enzimas de estrés oxidativo, la permeabilidad de las membranas y el contenido de MDA durante el almacenamiento refrigerado (0 y 5 °C) y en vida mostrador (20 °C).

- Determinar el periodo máximo de almacenamiento para cada variedad.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO

El trabajo se realizó en el laboratorio de Poscosecha de Frutas y Hortalizas del Departamento de producción Vegetal de la Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

2.2. MATERIAL VEGETAL

Se utilizaron dos variedades de nectarinas (Big Top y Fantasía) y una de durazno (Elegant Lady).

2.2.1. Variedad Big Top

Es una variedad temprana de nectarina con período de cosecha a partir del 20 de diciembre. Presenta un tamaño mediano de fruto (peso promedio 130 g), de forma redonda y sutura superficial con color de fondo amarillo y 90-95% de sobrecolor rojo oscuro. Consta de un carozo grande, alargado y de tipo pavía (Soria y Pisano, 2014).

2.2.2. Variedad Fantasía

Es una variedad de nectarina de estación con un período de cosecha entre el 14 al 25 de enero. Presenta un fruto de forma ovada redondeada (peso promedio 140 g), con un color de fondo amarillo-anaranjado y 60% de sobrecolor. Tiene pulpa firme, algo fibrosa de color amarillo-anaranjado, coloreada de rojo contra el carozo que es de tamaño grande de tipo prisco (Soria y Pisano, 2014). DIEA registra esta variedad como la primera variedad plantada de nectarinas con 86 ha (MGAP-DIEA, 2016).

2.2.3. Variedad Elegant Lady

Es una variedad de durazno de estación con un período de cosecha entre el 31 de diciembre al 19 de enero. Presenta un fruto grande (150 g) de forma redondeada, con un color de fondo amarillo y un sobrecolor de 90-95% rojo. El color de pulpa es amarillo-anaranjado, coloreada de rojo junto al carozo de tipo prisco (Soria y Pisano, 2014). Según MAGP- DIEA (2016), correspondería a la quinta variedad más plantada con 74 ha.

2.3. NÚMERO DE FRUTOS DEL EXPERIMENTO

Se establecieron dos conjuntos de frutos que constaron de 39 cajas (7 frutos por caja) para cada una de las variedades de nectarinas y durazno. El primer conjunto fue sometido a tratamiento térmico con aire caliente a 35 °C durante 36 h para la variedad Big Top y a 35 °C durante 12 h para las variedades Fantasía y Elegant Lady, previo al almacenamiento refrigerado. Luego del tratamiento se procedió a conservar la fruta, en el cual se realizaron dos subconjuntos (18 cajas c/u). El primer subconjunto fue almacenado a 0 °C y el segundo subconjunto a 5 °C respectivamente con un 95 % de HR. Cabe mencionar que los frutos de las 3 variedades estaban en madurez comercial.

El segundo conjunto de 39 cajas no recibió tratamiento térmico (testigo) y fue dividido en dos subconjuntos (18 cajas c/u), uno de ellos fue almacenado a 0 °C y el otro a 5 °C respectivamente.

En total se utilizaron 546 frutos para cada variedad para los ensayos de almacenamiento refrigerado, mientras que otros 24 frutos por variedad se utilizaron para analizar la tasa respiratoria, haciendo un total de 570 frutos por variedad.

2.4. MOMENTO DE ANÁLISIS

Las diferentes determinaciones se realizaron al momento de cosecha (inicio), luego de 6, 18 y 27 días de almacenamiento refrigerado y luego 6, 18 y 27 días de almacenamiento refrigerado, seguidos de 6 días de vida mostrador (20 °C) respectivamente.

Al momento del análisis inicial, se utilizaron 6 cajas de frutas (3 cajas con frutos tratados y 3 de testigo), mientras que para los siguientes momentos de análisis se utilizaron 12 cajas para cada momento respectivamente, seis cajas con frutos tratados (3 de ellas provenientes de 0 °C y 3 provenientes de 5 °C) y las otras 6 cajas con frutos testigo (3 de ellas provenientes de 0 °C y 3 provenientes de 5 °C).

2.5. DETERMINACIONES

2.5.1. Tasa respiratoria

La determinación se realizó utilizando un sistema estático. Para ello se utilizaron frascos de vidrio previstos de tapa hermética y un septum de silicona para la extracción de las muestras de gas. Dentro de cada frasco se introdujeron 2 frutos, y se realizaron 3 repeticiones por tratamiento (frutos tratados y testigos) y por temperatura de almacenamiento (0 y 5°C). Para las mediciones los frascos se cerraron durante 2 h. Al cabo de este tiempo se extrajeron 10 mL de gas de cada tratamiento a través del septum mediante una jeringa, luego se inyectaron en un cromatógrafo de gases (Agilent Technologies 7890B, CG System, Estados Unidos). La temperatura del inyector, horno y detector fue de 20, 60, 200 °C respectivamente. Las mediciones se realizaron cada dos días hasta la finalización del experimento. La tasa respiratoria se expresó como $\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

2.5.2. Incidencia del pardeamiento interno

La incidencia del pardeamiento de la pulpa se evaluó mediante la gravedad del pardeamiento enzimático (coloración marrón oscura) en el mesocarpio de los frutos. Para ello, los frutos fueron cortados en la zona ecuatorial de forma transversal y se realizó la estimación utilizando la escala establecida por Yu et al. (2016). Esta escala va de 0 a 4 puntos, donde 0= sin pardeamiento, 2= leve, 3= moderado y 4= moderadamente grave.

El índice de DF se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{Índice (\%)} = \sum \left(\frac{\text{escala de daño (1 - 4)} \times \text{número de frutos en cada escala}}{4 \times \text{número de frutos}} \right)$$

2.5.3. Variable de calidad

2.5.3.1. Pérdida de peso (%)

Los frutos se pesaron al momento de la cosecha (día 0) y posteriormente después de cada periodo de almacenamiento refrigerado. La pérdida de peso se expresó como la diferencia entre el peso inicial y el peso final, dicha medición se realizó con una balanza (Acculab, VI-10 kg, USA). Los datos fueron presentados como % de pérdida de peso.

$$\% \text{ pérdida de peso} = \frac{\text{peso inicial}}{\text{peso final}} \times 100$$

2.5.3.2. Firmeza de la pulpa

La firmeza de la pulpa se midió en cinco zonas: en los lados opuestos de la zona ecuatorial, así como en la sutura, hombro y punta. Estas determinaciones se realizaron

con penetrómetro manual tipo Effegi (FT-327, Italia) con un émbolo de 8 mm previo a la remoción de la piel de la zona donde se realizó la medición. Los valores se expresaron en Newtons (N).

2.5.3.3. Contenido de sólidos solubles totales (SST)

El contenido de SST se determinó cortando dos porciones de fruta, una del lado expuesto y otra el lado sombreado. Luego se procedió a la extracción del jugo utilizando una prensa de ajo (Ilko D.I N°4263). La medición se hizo con un refractómetro manual (Atago, ATC-1E, Japón). Los datos fueron expresados en °Brix.

2.5.3.4. Color de la cáscara

La determinación se realizó en todos los frutos, a través de dos mediciones en la zona ecuatorial, una en el lado expuesto y otra en el lado sombreado. Estas determinaciones se realizaron por colorimetría, según el sistema CIELAB (Mac Dougall, 2002; Voss 1992). Se utilizó un colorímetro (PCE Ibérica, TCR 200, China).

Los parámetros medidos fueron la Luminosidad (L), con valores que van de 0=negro a 100=blanco; a= que mide la tendencia del rojo al verde y b= que mide la tendencia del amarillo al azul. Se calculó la saturación del color (Croma) y el tono (ángulo Hue) con las siguientes ecuaciones:

$$C = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

$$\text{hue} = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*}$$

2.5.4. Polifenoles totales (PT)

Los PT se determinaron en 100 μL de extracto obtenido a partir de 3 g de pulpa procedentes de muestras congeladas ($-80\text{ }^{\circ}\text{C}$), homogenizada con 9 mL de metanol mediante un homogeneizador (Scientz, XHF-D, China) durante 1 min a 13.500 rpm, según la metodología descrita por Singleton y Rossi (1965). A este extracto se le añadieron 150 μL del reactivo Folin-Ciocalteu (en relación 1;1 con agua destilada, Merck, Alemania) y luego de 3 min se le agregaron 1000 μL de una solución de hidróxido de sodio (NaOH, PM: 39,99 g mol^{-1} ; Carlo Erba, Italia) al 0,4% y carbonato de sodio (Na_2CO_3 , PM: 105 g mol^{-1} ; Merck, Alemania) al 2%. Luego, se midió la absorbancia mediante un espectrofotómetro UV-visible (Unico, S-2150, Estados Unidos) a 750 nm. Los resultados fueron expresados en mg equivalente ácido gálico por g de peso fresco (EAG g^{-1} PF) ya que se empleó AG como patrón para la curva de calibración (PM: 170,12 g mol^{-1} ; Merck, China).

2.5.5. Capacidad antioxidante total por DPPH

Para la determinación de la CAT se utilizó el mismo extracto con el que se determinaron los PT, empleándose el método descrito por Brand-Williams et al. (1995). Para ello se mezclaron 25 μL del extracto con 675 μL del reactivo 2,2-difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH) (PM: 394,32 g mol^{-1} ; Sigma-Aldrich, Alemania) y se dejó reaccionar durante 1 h. Luego, se midió la absorbancia en un espectrofotómetro UV-visible (Unico, S250, Estados Unidos) a 515 nm. Los resultados fueron expresados en mg equivalentes de ácido ascórbico por g de peso fresco (EAA g^{-1} PF), ya que se empleó ácido ascórbico como patrón para la curva de calibración (PM: 176,12 g mol^{-1} ; Merck, China).

2.5.6. Permeabilidad de la membrana

La permeabilidad de la membrana se determinó a través de la evaluación de la fuga de electrolitos de acuerdo con el método descrito por Zhao et al. (2006). Para esto las frutas se lavaron con agua desionizada durante 2 a 3 min, luego se cortaron pequeños trozos (5 x 5 mm) de la parte externa con un bisturí y se pesó 1 g. Después, se colocaron en tubos para centrifuga (50 mL) a los que se les añadió 25 mL de agua desionizada. Posteriormente, se agitaron con un vortex (Insbal, QL 866, Uruguay) durante 1 min y seguidamente se midió la conductividad inicial (C_1) con un medidor de conductividad (Cole-Parmer Instrument Co. Taiwan). Luego de la medición las muestras se colocaron en agua hirviendo durante 15 min, se dejó enfriar y se midió nuevamente la conductividad (C_2). El % de fuga de electrolitos se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ fuga de electrolitos} = \frac{C_1}{C_2} \times 100$$

2.5.7. Contenido de malondialdehído (MDA)

El contenido de MDA se determinó a partir de 3 g de tejido de la zona central (próximo al carozo) que se homogenizaron con 15 mL de ácido tricloroacético (TCA, Merck, Alemania) al 5% (p/v) y luego se centrifugaron a 13.000 rpm durante 30 min, según la metodología descrita por Meng et al. (2012). Se tomaron 2 mL de sobrenadante a los que se añadieron 2 mL TCA al 67%. Posteriormente la mezcla se calentó a 100 °C durante 30 min, se enfrió rápidamente y se centrifugó a 10.000 rpm durante 10 min. En el sobrenadante se midió la absorbancia en un espectrofotómetro UV-visible (Unico, S-2150, Estados Unidos) a 532, 600 y 450 nm respectivamente. El contenido de MDA se calculó con usando la siguiente fórmula:

$$(\text{mmol kg}^{-1} \text{ PF}) = \frac{[6,45 \times (A_{532} - A_{600}) - 0,56 \times A_{450}] \times V_t \times V_r}{(V_s \times m)}$$

Donde:

V_t: volumen total del extracto

V_r: volumen total de la mezcla de reacción

V_s: volumen del extracto contenido en la mezcla de reacción

m: masa de la muestra

2.5.8. Actividad de las enzimas de estrés oxidativo

Las mediciones de estas enzimas fueron realizadas en base seca.

2.5.8.1. Catalasa (CAT)

La extracción de la enzima se realizó pesando 1 g de pulpa liofilizada en tubos para centrífuga (50 mL). Luego se añadieron 0,2 g de Polivinilpirrolidona (PVPP, Merck, Alemania) e inmediatamente 5 mL de buffer de extracción (compuesto por fosfato potásico (TPK) 50 mM pH 7,8 con ácido etilendiaminotetraacético (EDTA, PM: 294,24 g mol⁻¹; Carlo Erba, Italia) 0,1 mM, L-cisteína (PM: 121,16 g mol⁻¹; Merck, Alemania) 5 mM, tritón X-100 (Sigma-Aldrich, USA) 0,2% y fenil metil sulfonil fluoruro (FMSF, PM: 174,2 g mol⁻¹; Roche, Alemania) 1 mM. Posteriormente se homogenizaron los reactivos con la muestra utilizando un homogeneizador (Scientz, XHF-D, China) manteniendo en todo momento los tubos en baño de hielo para evitar el calentamiento.

Para la medición de la actividad se prepararon 50 mL de buffer de reacción tampón potásico 50 mM pH 7, con H₂O₂ (Droguería Paysandú, Uruguay) 10 mM. En una cubeta de cuarzo se añadieron 50 µL del extracto enzimático y 1.450 µL de buffer de reacción. La absorbancia se midió en un espectrofotómetro UV-visible (Unico, S-2150, Estados Unidos) durante 5 min a 240 nm. Para el cálculo se tomó como valor el

incremento de la absorbancia de la parte lineal. La actividad se expresó como Unidad de Actividad Enzimática (UEA mg^{-1} de proteína).

2.5.8.2. Ascorbato peroxidasa (APX)

La actividad de la enzima APX se determinó con el mismo extracto empleado para la determinación de la Cat. Para la medición se prepararon 50 mL de buffer de reacción TPK 50 mM y pH 7, con EDTA (PM: 294,24 g mol^{-1} ; Carlo Erba, Italia) 0,1 mM, ácido ascórbico (PM: 176,12 g mol^{-1} ; Merck, China) 0,5 mM y H_2O_2 (Droguería Paysandú, Uruguay) 1,54 mM. En una cubeta de cuarzo se añadieron 505 μL de extracto y 960 μL de buffer de reacción. Las muestras se midieron en un espectrofotómetro UV-visible (Unico, S-2150, Estados Unidos) cada 30 s a 290 nm hasta que la absorbancia se mantuvo constante. Los cálculos se realizaron tomando como valor el descenso de la absorbancia de la parte lineal. La actividad se expresó como UEA mg^{-1} de proteína.

2.5.8.3. Superóxido dismutasa (SOD)

Para la extracción de la enzima se pesaron 2 g de pulpa liofilizada en tubos para centrifuga (50 mL), a los que se le añadieron 5 mL de buffer de extracción Tris-HCL (50 mM pH 7,5), con cloruro de magnesio (MgCl_2 , PM: 96,21 g mol^{-1} ; Sigma-Aldrich, China) y EDTA (PM: 294,24 g mol^{-1} ; Carlo Erba, Italia) 1mM. Posteriormente la muestra se homogenizó utilizando un homogeneizador (Scientz, XHF-D, China) durante 1 min y se centrifugó a 3.000 rpm durante 20 min a 4 °C. Finalmente el sobrenadante se transfirió a tubos limpios protegidos de la luz.

Para la medición se preparó 100 mL de buffer de reacción el cual contenía tampón fosfato (50 mM pH 7,8), metionina 13 mM (PM: 149,21 g mol^{-1} ; Merck, China), cloruro de nitroazul de tetrazolio (NBT, PM: 817,64 g mol^{-1} ; Merck, Austria) 75 mM, riboflavina 2 μM (PM: 376,36 g mol^{-1} ; Merck, Corea del Sur) y EDTA 0,1 mM (PM: 294,24 g mol^{-1} ; Carlo Erba, Italia). Luego se prepararon 2 cubetas idénticas y se colocaron 6 μL de extracto enzimático a los que se añadieron 351 μL del mix de reacción. Una de las cubetas se empleó como control y se mantuvo 15 min en

oscuridad. Para el blanco se emplearon dos cubetas las cuales solo contenían buffer de reacción, dejando una de ellas expuesta a la luz y otra en oscuridad. Para lograr la fotoreducción del NBT, las cubetas que debían estar expuestas a la luz se colocaron bajo 2 lámparas de 15 W a una distancia de 30 cm durante 15 min. Transcurrido el tiempo se midió la absorbancia en un espectrofotómetro UV-visible (Unico, S-2150, Estados Unidos) a 560 nm.

La actividad específica de las enzimas de estrés oxidativo se determinó mediante la concentración de proteínas de los extractos, empleándose la metodología descrita por Bradford (1976). Para la determinación se añadieron en una cubeta de cuarzo 50 μL de extracto enzimático y 2.500 μL de reactivo Bradford (Sigma-Aldrich, USA). Luego de dejar reaccionar por 30 min se midió la absorbancia en un espectrofotómetro UV-visible (Unico, S-2150, Estados Unidos) a 595 nm. Para determinar la concentración de proteína se realizó una curva de estándar para cada enzima con albumina de suero bovino disuelta en el buffer de extracción correspondiente a cada enzima.

2.5.9. Actividad de las enzimas de la pared celular

Las mediciones de estas enzimas fueron realizadas en base seca.

2.5.9.1. Pectinmetilesterasa (PME)

Para la extracción de la enzima se pesó 1 g de muestra de fruta liofilizada y se homogenizó con 10 mL de cloruro de sodio (NaCl , PM: 54,44 g mol^{-1} ; Merck, Alemania) 1M que contenía 10 g L^{-1} de PVPP (Merck, Alemania) y cisteína (PM: 121,16 g mol^{-1} ; Merck, Alemania) 1 mM. Luego, los homogenizados se agitaron a 4 $^{\circ}\text{C}$ durante 4 h y se centrifugaron a 10.000 rpm durante 20 min. Los sobrenadantes se utilizaron para ensayar la actividad enzimática.

La actividad se determinó mediante una mezcla de reacción que contenía 600 μL de pectina al 0,15% p/v (grado de esterificación 70%), 150 μL de azul bromotimol (Sigma-Aldrich, USA) al 0,01% en tampón de fosfato (0,0003 M pH 7,5), 100 μL de

agua (pH 7,5) y 200 μ L de extracto. Luego, se midió la absorbancia a 620 nm y la actividad se expresó como Unidad de Actividad Enzimática por gramo (UEA g^{-1}).

2.5.9.2. Poligalacturonasa (PG)

Para la extracción se pesó 1 g de muestra liofilizada y se homogenizó con 10 mL de buffer ácido acético y acetato de sodio (HAc-NaAc) 50 mM pH 5,5 que contenía 10 $g L^{-1}$ de PVPP (Merck, Alemania), cisteína 1 mM (PM: 121,16 $g mol^{-1}$; Merck, Alemania) y NaCl 1 M (PM: 54,44 $g mol^{-1}$; Merck, Alemania). Luego los homogenizados se agitaron a 4 °C durante 3 h y se centrifugaron a 10.000 ppm durante 20 min. Los sobrenadantes recogidos se dializaron frente a NaAc 50 mM (pH 5,5) durante 12 h, luego se guardaron en microtubos a -80 °C.

La actividad se determinó mediante una mezcla de reacción que contenía HAc-NaAc (50 mM pH 5,5), 400 μ L de ácido poligalacturónico 0,15% p/v y 200 μ L de extracto enzimático. Las muestras se incubaron a 40 °C. Luego, en diferentes momentos (0, 15 y 24 h) se tomaron alícuotas de 200 μ L a las que se añadió 1.000 μ L de borato de sodio 1 M. Después, se agregó 200 μ L de 2-cianoacetamida y se colocó en agua hirviendo durante 10 min. Finalmente, se dejó enfriar y se midió la absorbancia a 276 nm y la actividad se expresó como Unidad de Actividad Enzimática por g (UEA g^{-1}).

2.5.10. Análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con estructura factorial $3 \times 2 \times 2$ donde se estudiaron las variables independientes tratamiento térmico con dos niveles correspondientes a frutos tratados y no tratados (testigo); temperatura con dos niveles (0 y 5 °C) y variedad con tres niveles (Big Top, Fantasía y Elegant Lady), generando un total de 12 tratamientos. Se realizó un análisis de varianza al 5% de significancia utilizando el programa estadístico INFOSTAT (Universidad de Córdoba, Argentina).

Modelo matemático:

$$Y_{ijkl} = \mu + V_i + A_j + T_k + (VA)_{ij} + (VT)_{ik} + (AT)_{jk} + (VAT)_{ijk} + \epsilon_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} = Variable aleatoria observable

μ = Media general

V_k = Efecto de la variedad

A_i = Efecto del acondicionado

T_j = Efecto de la temperatura

VA_{ik} = Interacción variedad*acondicionado

VT_{ij} = Interacción variedad*temperatura

AT_{jk} = Interacción acondicionado*temperatura

ATV_{ijk} = Interacción variedad*acondicionado*temperatura

ϵ_{ijkl} = Error experimental

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. TASA RESPIRATORIA

En general, la tasa respiratoria en los frutos tratados y no tratados de las 3 variedades evaluadas aumentó hasta el pico respiratorio, que ocurrió en momentos diferentes dependiendo de la variedad. En la Figura 1 se muestran los resultados para la variedad Big Top. En primer lugar, se observó una actividad respiratoria más elevada en los frutos almacenados a 5 °C con relación a los mantenidos a 0 °C, situación que evidencia claramente el efecto de la temperatura sobre la actividad metabólica de los productos vegetales. En ambos casos los niveles iniciales estuvieron alrededor de 6 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ pero a los 20 días, cuando se produjo el pico respiratorio, la magnitud de la tasa respiratoria de los frutos a 0 °C fue de alrededor de 12 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ mientras que en los a 5 °C fue alrededor de 24 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹.

Considerando la temperatura de 0 °C, los frutos tratados mostraron en general un 30% más de actividad respiratoria que los no tratados, aunque siguieron la misma tendencia (Fig. 1A).

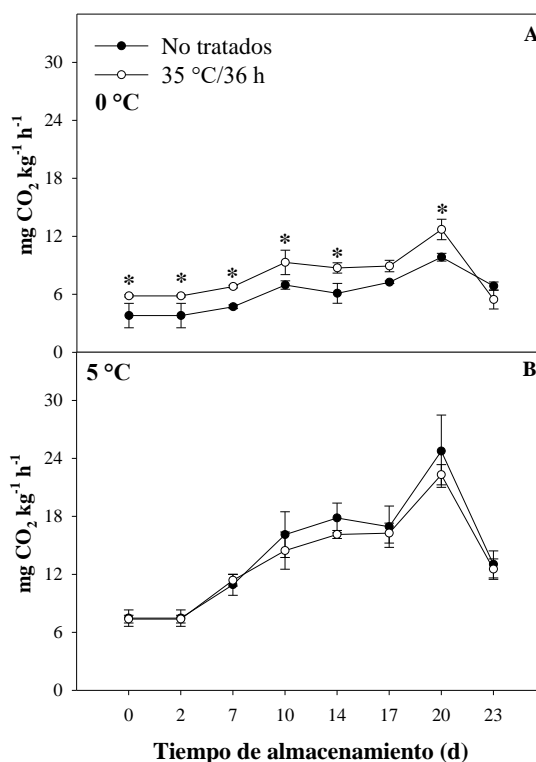


Figura 1. Tasa respiratoria en nectarinas var. Big Top durante la conservación a 0 y 5 °C. Los valores son medias (n=4) ± error estándar de la media. El símbolo (*) indica diferencia significativa para el tratamiento (Tukey p<0,05).

En el caso de los frutos conservados a 5 °C, no se encontraron diferencias entre los tratamientos que presentaron valores iniciales de entre 7 y 13 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ con una magnitud de 24 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ en el pico climatérico (Fig. 1B). También en este caso la tendencia fue la misma.

En relación a la variedad Fantasía, los resultados se muestran en la Figura 2. En este caso no se observan diferencias entre la magnitud de la respiración de los frutos a 0 y 5 °C como en el caso anterior. En los frutos conservados a 0 °C el pico respiratorio ocurrió a los 12 días, donde la actividad respiratoria prácticamente se cuadruplicó con relación al valor medido inicialmente (14,9 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹). Con base a los resultados, puede decirse que el tratamiento térmico no afectó la tasa respiratoria de los frutos ya que la única diferencia observada entre tratamientos correspondió al momento del pico

respiratorio (14,9 y 13,09 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ para tratados y no tratados respectivamente).
 Figura 2A.

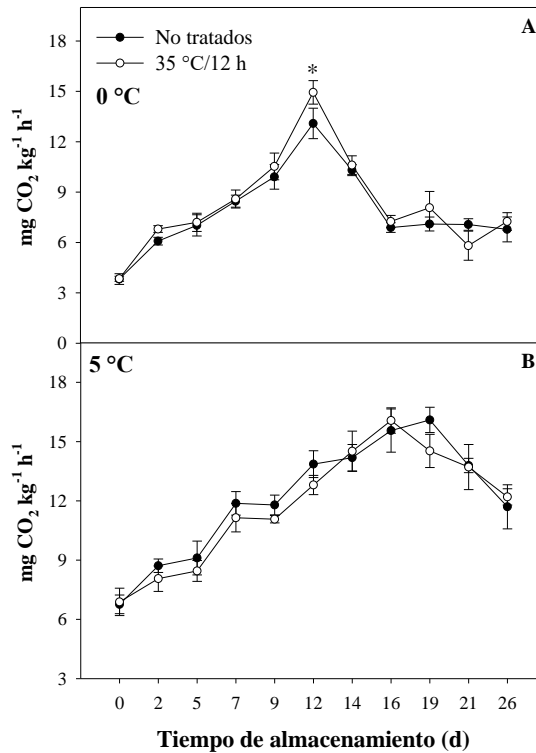


Figura 2. Tasa respiratoria en nectarinas var. Fantasía durante la conservación a 0 y 5 °C. Los valores son medias (n=4) ± error estándar de la media. El símbolo (*) indica diferencia significativa para el tratamiento (Tukey p<0,05).

En los frutos conservados a 5 °C, no se presentaron diferencias entre los tratados y no tratados. Los valores promedio medidos al inicio y final del almacenamiento fueron de 6,7 y 12 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹, respectivamente (Fig. 2B).

En el caso de la variedad Elegant Lady, la tasa respiratoria mostró diferencias entre 0 y 5 °C (Figura 3). La tasa respiratoria fue más alta en los frutos a 5 °C con relación a los 0 °C, pero hasta los 16 días donde ocurrió el pico respiratorio. A diferencia de las otras variedades, en esta variedad, hubo una mayor respiración inicial (7 y 14 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ para 0 y 5 °C, respectivamente), una disminución posterior y un aumento hasta el máximo que se alcanzó al día 16.

Para los frutos conservados a 0 °C, los tratados presentaron mayor actividad respiratoria a los 16, 18 y 20 días, con valores de 22,8, 16,2 y 14,2 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ que correspondió a aproximadamente un 19% más de respiración, sin que se observaran diferencia en la tendencia. (Fig. 3A). Durante la conservación a 5 °C, también los frutos tratados registraron valores más altos a los 16, 18 y 25 días, presentando una tasa respiratoria 23%, 19% y 30% mayor que los frutos no tratados respectivamente (Fig. 3B).

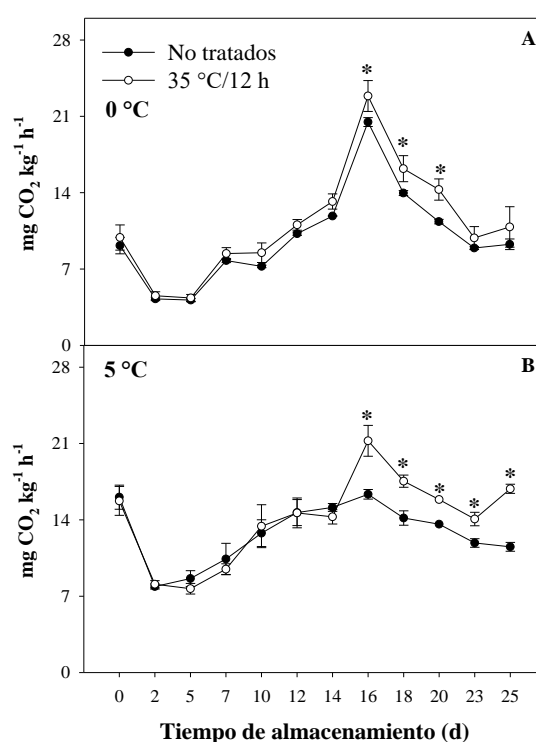


Figura 3. Tasa respiratoria en duraznos var. Elegant Lady durante la conservación a 0 y 5 °C. Los valores son medias (n=4) ± error estándar de la media. El símbolo (*) indica diferencia significativa para el tratamiento (Tukey p<0,05).

Según, Lurie (1998) los tratamientos térmicos, tanto de agua como aire caliente, a temperaturas de entre 35-50 °C por tiempos variables, inhiben los procesos de maduración de los frutos, reduciendo la actividad respiratoria como consecuencia de una reducción en la producción de C₂H₄ en el periodo poscosecha. Este efecto no fue observado en las variedades estudiadas ya que, los tratamientos térmicos no afectaron

o aumentaron la actividad respiratoria en algunos momentos puntuales por lo que tampoco puede afirmarse que tuvieron un efecto de aumento del metabolismo.

Zhou et al. (2015) obtuvieron valores similares a los obtenidos en este trabajo, de entre 10 y 20 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ en durazno var. Hijimgmilu tratados con aire caliente a 46 °C por periodos de 10, 20 y 30 min conservados a 0 °C. Sin embargo, contrario a nuestros resultados, los autores encontraron que el tratamiento térmico logró reducir y desfasar en una semana, la ocurrencia del pico respiratorio climatérico de manera proporcional al tiempo de exposición.

En el estudio realizado por Chen Huan et al. (2017), también se observó que el tratamiento con aire caliente (38 °C/3 h) ralentizó el proceso de maduración de los frutos de durazno ya que pospuso el pico de respiración durante una semana con respecto a los frutos no tratados. La importancia de esto radica en que se ha mencionado que el desarrollo del deterioro y la senescencia de los frutos generalmente es proporcional a la tasa respiratoria (Nourian et al., 2003). Por lo tanto, la inhibición y/o reducción de la actividad respiratoria sería un factor importante en el mantenimiento de la calidad, pues retrasaría la senescencia (Luo, Chen y Xien, 2011).

3.2. INCIDENCIA DEL PARDEAMIENTO INTERNO

La incidencia del pardeamiento de la pulpa, evaluado como el oscurecimiento de la pulpa, para la variedad Big Top, comenzó a los 18 y 27 días, con valores menores al 15% tanto a 0 como 5 °C (Fig. 4). En el caso de los frutos mantenidos a 0 °C, a los 18 días los tratados con calor presentaron un 3,6% más incidencia mientras que a los 27 días los no tratados presentaron un 4,7% más incidencia (Fig. 4A). A los 5 °C, los frutos no tratados almacenados durante 18 y 27 días presentaron un oscurecimiento de la pulpa 8,3% y 5,3% mayor que los tratados respectivamente (Fig. 4C).

Tal como era esperado, la incidencia del daño aumentó considerablemente cuando los frutos, de ambas temperaturas, se trasladaron a vida mostrador. En este

momento los valores de incidencia prácticamente se duplicaron, alcanzando valores de hasta 45%.

Los frutos no tratados procedentes de 0 °C presentaron entre 7 y un 5% más incidencia que los tratados (Fig. 4D). En el caso de los procedentes de 5 °C, también el mayor porcentaje de daño se observó en los no tratados con 3,5% y 17,8% mayor incidencia respectivamente (Fig. 4D).

El hecho de que no se encontraran diferencias entre los valores de incidencia de los frutos mantenidos a 0 y 5 °C podría estar indicando que esta variedad no es tan sensible al frío ya que tolera la conservación a una temperatura inductora del daño como lo es la temperatura de 5 °C.

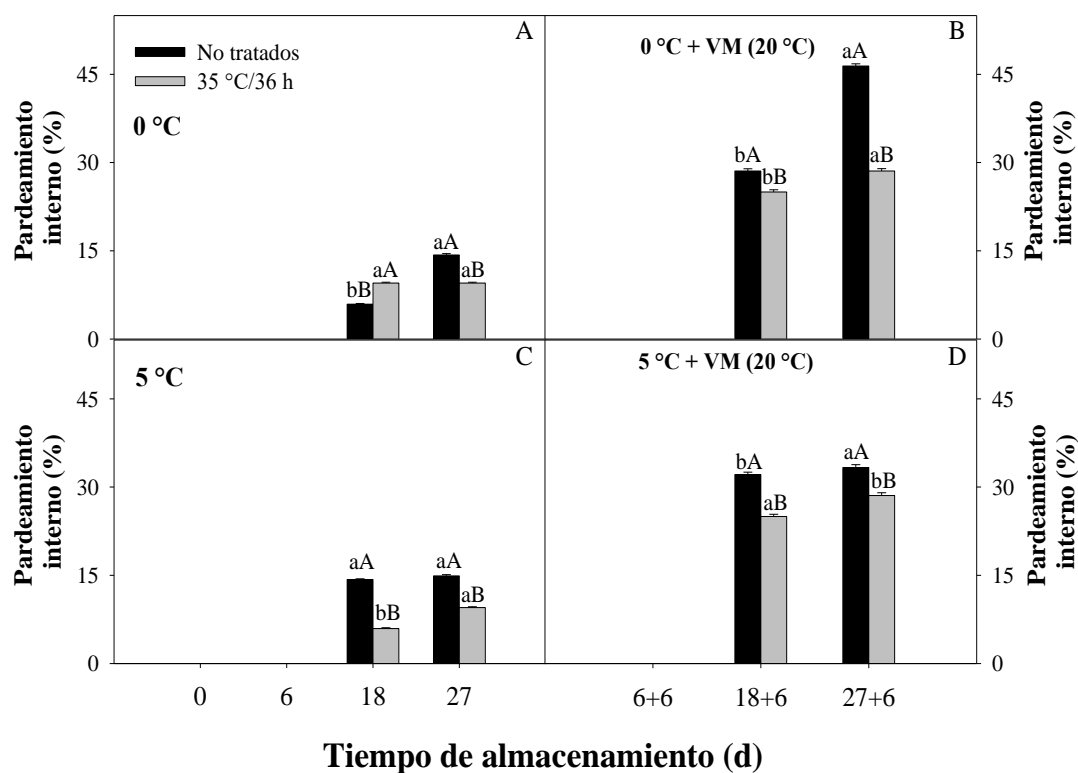


Figura 4. Incidencia de pardeamiento interno en nectarinas var. Big Top durante la conservación a 0 y 5 °C y en vida mostrador (VM). Los valores son medias ($n=21$) \pm error estándar de la media. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey $p<0,05$).

En la variedad Fantasía, el oscurecimiento de la pulpa también ocurrió al final de la conservación, luego de 18 y 27 días con valores de entre 6-15% para ambas temperaturas. Cuando la conservación se realizó a 0 °C solamente se observó oscurecimiento a los 27 días, encontrándose diferencias entre los frutos tratados, con un 2,3% menos daños que los no tratados (Fig. 5A). El efecto del tratamiento térmico fue mucho más notorio a 5 °C, donde se observó una reducción del daño de 4,7 y 9,5%, respectivamente (Fig. 5C).

Los frutos procedentes de 18 días a 0 °C que no habían mostrado síntomas a la salida de conservación, si los manifestaron en vida mostrador alcanzando una

incidencia menor al 12%. En el caso de los conservados 27 días, la incidencia en vida mostrador fue mayor (alrededor del 15%). En ambos momentos el tratamiento térmico redujo la incidencia (Fig. 5B). Los frutos procedentes de almacenamiento a 5 °C, en vida mostrador presentaron un oscurecimiento 5,9% y 3,5% mayor que los frutos tratados (Fig. 5D).

Los mayores valores de incidencia a 5 °C, encontrados sobretodo en conservación, podrían estar indicando que esta variedad es más susceptible que la anterior a desarrollar daño por frío. Asimismo, en esta situación fue además mucho más evidente el efecto del tratamiento térmico en la reducción del daño.

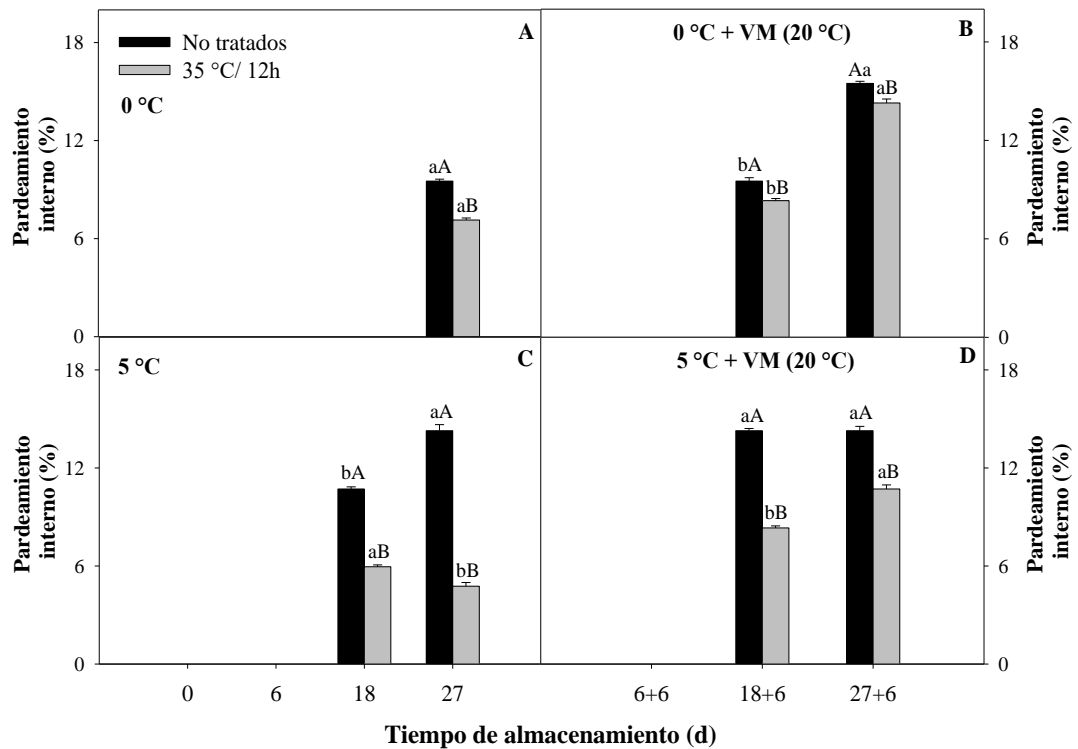


Figura 5. Incidencia de pardeamiento interno en nectarinas var. Fantasía durante la conservación a 0 y 5 °C y en vida mostrador (VM). Los valores son medias (n=21) ± error estándar de la media. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey p<0,05).

Cabe mencionar que en la variedad *Elegant Lady* a diferencia de las variedades previamente analizadas, no se presentaron frutos con el síntoma de oscurecimiento durante la conservación a 0 y 5 °C. Por otro lado, no fue posible evaluar el comportamiento en vida mostrador porque los frutos se perdieron casi en su totalidad como consecuencia del ataque de *Monilinia* spp.

Las diferencias en cuanto a temperatura fueron observadas por Wang et al. (2013) en duraznos conservados a 0 y 5 °C por 28 días. Estos autores solo encontraron daño en los frutos mantenidos a 5 °C y al igual que en este caso, mencionan que el índice de oscurecimiento se hacía más evidente, tanto en incidencia como en severidad, en vida mostrador (20 °C por 3 días).

Otros autores también reportan que los efectos positivos de los tratamientos térmicos en la reducción de uno de los síntomas de daño por frío como lo es el oscurecimiento de la pulpa. Cao et al. (2010) evaluaron diferentes tratamientos para reducir la incidencia del daño por frío en duraznos Baifeng conservados a 0 °C por 28 y 35 días, entre ellos el aire caliente (38 °C/12 h) y encontraron que este tratamiento redujo la incidencia en 51% y 63% respectivamente. También Yu et al. (2016) al tratar duraznos con aire caliente (37 °C/3 días) y almacenarlos a 5 °C por 28 y 35 días encontraron una reducción del oscurecimiento en valores de 75% y 77% con relación a los frutos no tratados. En el presente trabajo el tratamiento con aire caliente también determinó una reducción en el oscurecimiento, aunque las reducciones fueron de menor magnitud que las obtenidas por los autores antes mencionados, no superando el 10%.

El desarrollo de oscurecimiento está vinculado a los daños que ocurren a nivel de las membranas celulares como consecuencia de la exposición al frío. En esta situación pierden su permeabilidad selectiva haciendo que entren en contacto la enzima PPO con los polifenoles que en presencia de oxígeno termina con la producción de pigmentos de color marrón (Degl'Innocenti et al., 2005, Hu et al., 2012, Yan et al., 2015). Los tratamientos térmicos permitirían mantener la estabilidad de las membranas celulares y de esta forma se reduciría la aparición de los síntomas (Zhang y Tian, 2009, Zhang et al., 2010).

3.3. VARIABLES DE CALIDAD

3.3.1. Pérdida de peso (%)

La evolución de la pérdida de peso durante la conservación, para la variedad Big Top, se presenta en la Figura 6. En ella se puede observar que, independientemente de la temperatura de almacenamiento, la pérdida de peso aumentó con el transcurso de la conservación, alcanzándose luego de 27 días, valores entre 14-20% y en vida mostrador valores de entre 15-25% (Fig. 6A-D).

En el caso de los frutos mantenidos a 0 °C, no hay un efecto claro del tratamiento térmico, pues de luego de 18 días, los no tratados perdieron un 2% más de peso, pero a los 27 días fueron los tratados los que perdieron mayor peso (Fig. 6A). Sin embargo, en vida mostrador, las mayores pérdidas correspondieron a los frutos no tratados siendo de 4% y 3% más que en los frutos sometidos al tratamiento térmico para 18+6 y 27+6 respectivamente (Fig. 6B).

En el caso de los frutos mantenidos a 5 °C, los no tratados perdieron un 2% más de peso que los tratados a los 18 y 27 días (Figura 6C), mientras que mostrador no se presentaron diferencias (Fig. 6D).

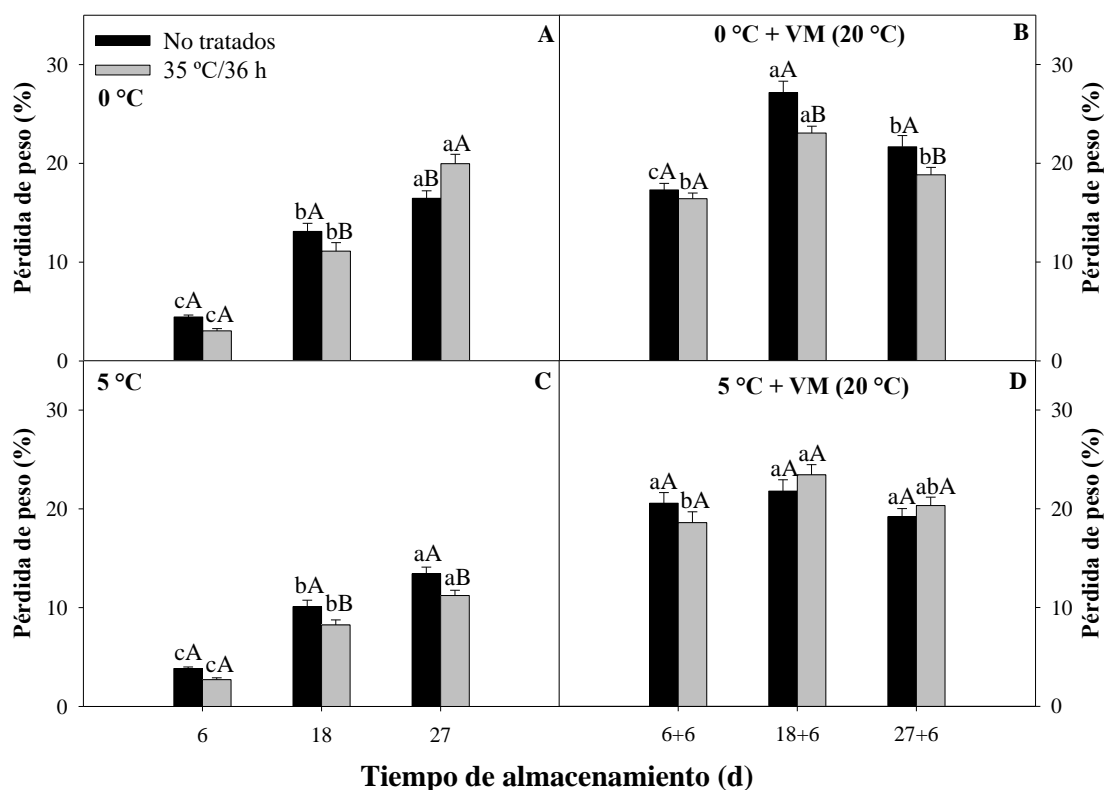


Figura 6. Pérdida de peso (%) en nectarinas var. Big Top durante la conservación a 0 y 5 °C y en vida mostrador (VM). Los valores son medias (n=21) ± error estándar de la media. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey $p < 0,05$).

En la Figura 7 se presentan los resultados obtenidos para la variedad Fantasía. También en este caso la pérdida de peso, independientemente de la temperatura aumentó durante el transcurso de la conservación con valores entre 7-12% durante el almacenamiento y de 10-12% en vida mostrador (Fig. 6A y 6C).

A 0°C, las diferencias entre tratados y no tratados solo se presentaron a los 27 días donde los no tratados registraron un 3% más de pérdida de peso que los tratados, mientras que en vida mostrador no se observaron diferencias (Fig. 6A y 6B respectivamente).

En los mantenidos a 5 °C, los frutos tratados y no tratados no presentaron diferencias (Fig. 7C). Sin embargo, en vida mostrador, en los momentos 18+6 y 27+6

días, también fueron los no tratados los de mayor pérdida de peso, con 1,5% y 3,0% más de pérdida respectivamente (Fig. 7D).

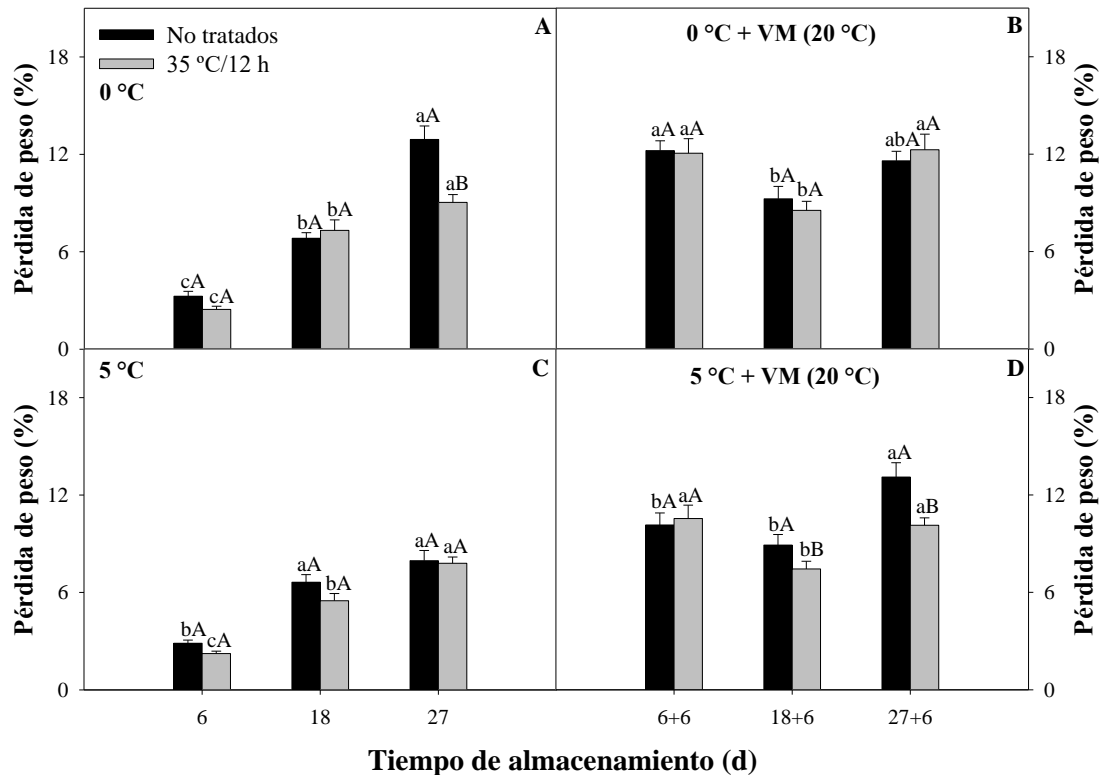


Figura 7. Pérdida de peso (%) en nectarinas var. Fantasia durante la conservación a 0 y 5 °C y en vida mostrador (VM). Los valores son medias (n=21) ± error estándar de la media. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey $p < 0,05$).

En la variedad Elegant Lady, la pérdida de peso mostró el mismo comportamiento que en las variedades antes mencionadas con un aumento en el tiempo en ambas temperaturas (Fig. 8). También en este caso el tratamiento térmico permitió reducir la pérdida de peso en un 2% en frutos a 0 °C.

De acuerdo con los resultados, se observó que los frutos tratados conservados a 0 °C por 18 y 27 días presentaron un 2% menos de pérdida de peso que los no tratados (Fig. 8A). Esta variedad resultó muy susceptible a desarrollar podredumbres, principalmente en el periodo de vida mostrador donde aumentó la temperatura. Esto

determinó que solo fuera posible evaluarlos en el periodo 6+6 donde no se encontró efecto del tratamiento (Fig. 8B).

Por lo antes mencionado, los frutos tratados mantenidos a 5 °C, solo se mantuvieron hasta los 18 días donde presentaron un 1% más de pérdida que los no tratados, ya que al cabo de los 27 días debieron ser descartados en su totalidad (Fig. 8C). En vida mostrador, se observó el mismo comportamiento que en los frutos mantenidos a 0 °C no contándose por lo tanto con valores (Fig. 8D).

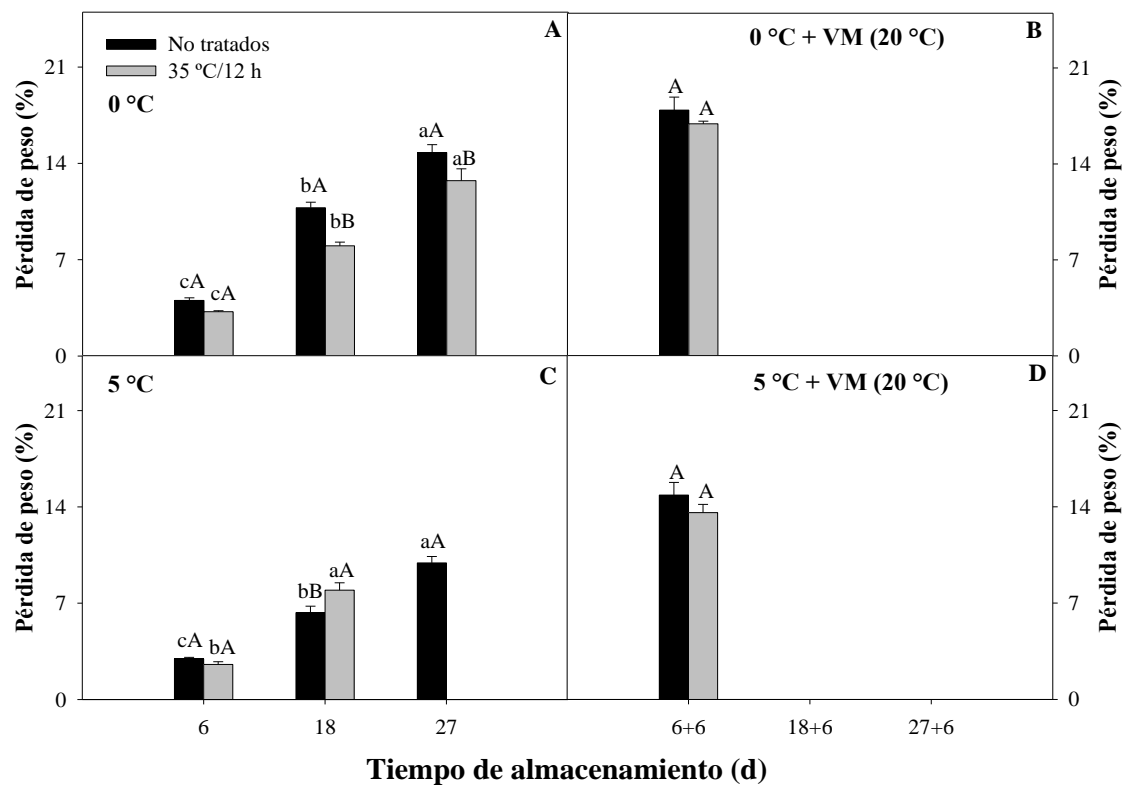


Figura 8. Pérdida de peso (%) en duraznos var. *Elegant Lady* durante la conservación a 0 y 5 °C y en vida mostrador (VM). Los valores son medias (n=21) ± error estándar de la media. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey $p < 0,05$).

Con relación a las diferencias entre las temperaturas, sería de esperar que los frutos a 0 °C presentaron una menor pérdida de peso que los a 5 °C ya que en esta

situación el déficit de presión de vapor es menor por lo que hay una menor salida de agua del vegetal al aire circundante (Kader, 2002). Sin embargo, en este caso sucedió lo contrario, siendo los frutos mantenidos a 5 °C los que perdieron menos peso, esto puede deberse a la menor HR (86% a 5 °C y 83% a 0°C) de la cámara a 0 °C que determinó un aumento del déficit de presión de vapor.

Los tratamientos térmicos pueden causar aumentos o disminuciones en la pérdida de agua, lo que dependerá de sus características (método, temperatura y tiempo de exposición) así como de las características del producto. La exposición al calor puede dañar la piel de la fruta determinando un aumento en la pérdida de agua por cualquiera de los factores antes mencionados, temperatura o tiempos de exposición excesivos (Schirra et al., 2000, Barkai-Golan y Phillips, 1991). Esto podría relacionarse con lo sucedido en la variedad Big Top, donde después de la aplicación del tratamiento térmico (antes de entrar a conservación) el % PP fue aproximadamente entre 6 y 9% (datos no mostrados). Estos valores son considerados altos, ya que con valores entre 5-10% se reduce la calidad visual de los frutos (Crisosto et al., 1999). Por lo tanto, a los 18 días estos frutos mostraron síntomas visibles de deshidratación que afectaron notoriamente su apariencia.

Las diferencias encontradas en este trabajo entre frutos con y sin tratamiento térmico, también fueron encontradas en trabajos previos. En un estudio realizado por Henríquez et al. (2005), en tomates tratados con aire caliente (38 °C/24 h) al final de la conservación a 2 °C por 14 días, estos frutos presentaron 3,8% de pérdida de peso en comparación con el testigo no tratado que presentó una pérdida de 2,3%. Según los autores este comportamiento era esperable ya que los frutos tratados con calor estuvieron sometidos a un mayor déficit de presión de vapor.

Con base a lo ocurrido en la variedad Big Top, para las variedades Fantasía y Elegant Lady se redujo el tiempo de exposición al aire caliente (35 °C/12 h), bajo estas condiciones el %PP fue de un 2% después del tratamiento para ambas variedades. Para ambas variedades la pérdida de peso al final de la conservación fue alrededor del 12% lo que está de acuerdo con los valores de pérdida reportados por otros autores, quienes

mencionan 13 y 11,7% de pérdida de peso luego de 45 y 66 días de conservación refrigerada a 0 °C seguido de 6 días a 20 °C (Seibert et al., 2009).

Al igual que lo observado en las variedades Fantasía y Elegant Lady, Zhou et al. (2002) reportan que el aire caliente, tanto 37 °C durante 12 h y/o 40 °C durante 16 h, permitieron reducir la pérdida de peso de duraznos en un 6,5% y 2%, respectivamente.

De acuerdo a los resultados y en la mayoría de los casos, considerando tanto variedades como temperaturas, el tratamiento con aire caliente permitió reducir en cierta medida la pérdida de peso, fundamentalmente durante la conservación refrigerada. Esto puede deberse al hecho de que los tratamientos térmicos también pueden provocar que la cera cuticular se solubilice ligeramente rellenando las microgrietas y estomas superficiales, reduciendo así la pérdida de agua. Por esta razón, y siempre que la temperatura no sea demasiado alta como para originar fisuras en la piel, este tipo de tratamiento reduce la pérdida de peso o al menos la mantiene en el mismo nivel que la fruta no tratada (Schirra et al., 2000, Schirra et al., 2011).

3.3.2. Firmeza de la pulpa (N)

La evolución de la firmeza de la pulpa para la variedad Big Top se presenta en la Figura 9 y en los Cuadros 1 y 2. No se pudo establecer que la variedad presentara un ablandamiento diferencial en las todas las zonas del fruto analizadas ya que, la pérdida de firmeza fue diferente según la temperatura de conservación y según el tratamiento. Considerando a los frutos conservados a 0 °C, el menor ablandamiento ocurrió en la zona del pedúnculo sin que se encontraran diferencias entre las demás zonas. Sin embargo, se observó un comportamiento diferente dependiendo de si los frutos recibieron o no tratamiento térmico y de la temperatura a la que se conservaron, donde la pérdida de firmeza fue más acentuada en los tratados con calor y mantenidos a 5 °C.

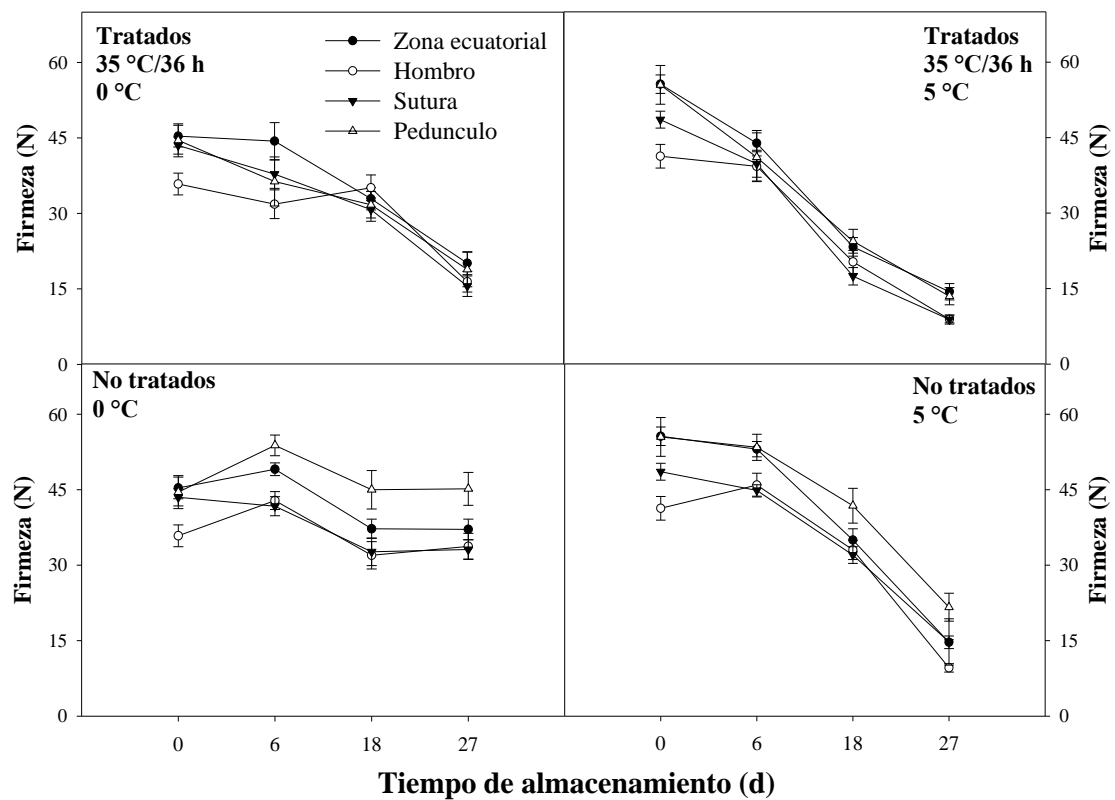


Figura 9. Evolución de la firmeza de la pulpa en nectarinas var. Big Top durante la conservación a 0 y 5 °C. Los valores son medias (n=21) ± error estándar de la media.

A 0 °C en los frutos tratados, la firmeza de la zona ecuatorial, hombro y pedúnculo se mantuvo durante la conservación, mientras que la sutura sufrió un ablandamiento a partir de los 18 días (Cuadro 1). En el caso de los tratados se observa un ablandamiento de la zona ecuatorial a partir del día 18 (27% de pérdida), alcanzando luego de 27 días de conservación un ablandamiento del 56% del valor inicial (Cuadro 1). En el hombro, sutura y pedúnculo, la firmeza se mantiene hasta los 18 días y al final de los 27 días de conservación presenta un ablandamiento de entre 57 y 64% del valor inicial. El proceso de ablandamiento se aceleró cuando los frutos fueron colocados en condiciones de vida mostrador, tanto que no fue posible evaluarlos luego de 27+6 días.

En cuanto al efecto del tratamiento, se observaron diferencias entre los tratados y no tratados únicamente después de 27 días de conservación donde los que fueron

expuestos al calor se ablandaron más que los no expuestos (45, 50 y 53% menos firmes en la zona ecuatorial, hombro y sutura respectivamente).

Cuadro 1. Firmeza de la pulpa (N) en nectarinas var. Big Top conservadas en forma continua a 0 °C o bien transferidas a 20 °C por 6 d luego de la conservación.

Tiempo de Alm. (d)	Firmeza (N)			
	Zona ecuatorial		Hombro	
	No tratados	35 °C/36 h	No tratados	35 °C/36 h
0	45,6±2,1 abA	45,3±2,1 aA	35,8±2,1 abA	35,8±2,1 aA
6	49,0±1,2 aA	44,3±3,6 aA	42,8±1,7 aB	31,8±2,8 aA
18	37,2±1,8 bA	32,9±2,2 bA	31,9±2,7 bA	35±2,5 aA
27	37,1±2 bB	20,1±2,2 cA	33,7±2,5 bB	16,4±2 bA
VM	No tratados	35 °C/36 h	No tratados	35 °C/36 h
6+6	7,4±0,5 bA	7,1±0,7 bA	5,8±0,5 bA	6,4±0,6 bA
18+6	4,9±0,004 aA	4,9±0,02 aA	4,9±0,009 aA	4,9±0,04 aA
27+6	s/d	s/d	s/d	s/d

Tiempo de Alm. (d)	Firmeza (N)			
	Sutura		Pedúnculo	
	No tratados	35 °C/36 h	No tratados	35 °C/36 h
0	43,4±1,7 aA	43,4±1,7 aA	44,5±3,2 aA	44,5±3,2 aA
6	41,7±1,9 aA	37,8±2,8 abA	53,8±2 aB	36,3±4,8 abA
18	32,6±2,7 bA	30,7±2,3 bA	44,9±3,8 aB	31,7±2,6 bA
27	33,1±1,9 bB	15,5±2 cA	45,1±3,2 aB	18,8±3,4 cA
VM	No tratados	35 °C/36 h	No tratados	35 °C/36 h
6+6	6,2±0,3 bA	6,7±0,7 bA	15±1,7 bA	9,2±1,6 bA
18+6	4,9±0,004 aA	4,9±0,04 aA	4,9±0,01 aA	4,9±0,04 aA
27+6	s/d	s/d	s/d	s/d

Los valores corresponden a medias (n=21) ± error estándar de la media. S/d: sin datos. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey p<0,05).

A 5 °C la firmeza de la zona ecuatorial, hombro, sutura y pedúnculo de los frutos no tratados, se mantiene hasta los 6 días de conservación y se reduce luego de 18 días entre 17 y 33% y entre 61 y 76% del valor inicial luego de 27 días. En el caso de los frutos que fueron tratados con calor, también se observó un comportamiento similar, con una pérdida de firmeza a partir de los 18 días, solo que en este caso los valores fueron superiores y ya en este momento los frutos habían perdido entre el 51 y 64% de su firmeza inicial. A los 27 días la pérdida de firmeza correspondió a valores de entre 74 y 82% considerando las diferentes zonas evaluadas. En cuanto a la diferencia entre

tratamientos, se observaron a los 6 y 18 días siendo más firmes los frutos no tratados con calor (Cuadro 2). En vida mostrador, se registraron valores de firmeza de entre 5 y 6 N siendo que el tratamiento térmico no provocó diferencias.

Cuadro 2. Firmeza de la pulpa (N) en nectarinas var. Big Top conservadas en forma continua a 5 °C o bien transferidas a 20 °C por 6 d luego de la conservación.

Tiempo de Alm. (d)	Firmeza (N)			
	Zona ecuatorial		Hombro	
	No tratados	35 °C/36 h	No tratados	35 °C/36 h
0	55,6±1,8 aA	55,6±1,8 aA	41,3±2,4 aA	41,3±2,3 aA
6	53,1±1,5 aB	43,8±2,5 bA	45,9±2,3 aB	39,2±2,9 aA
18	35,0±2,2 bB	23,2±1,8 cA	33,1±1,9 bB	20,3±2,2 bA
27	14,6±1,2 cA	14,3±1,6 dA	9,6±0,84 cA	8,91±0,69 cA
VM	No tratados		35 °C/36 h	
6+6	5,4±0,31 aA	5,55±0,34 aA	6,3±0,61 aB	5,1±0,13 aA
18+6	4,9±0,02 aA	4,9±0,004 aA	4,9±0,009 bA	4,9±0,01 aA
27+6	s/d	s/d	s/d	s/d

Tiempo de Alm. (d)	Firmeza (N)			
	Sutura		Pedúnculo	
	No tratados	35 °C/36 h	No tratados	35 °C/36 h
0	48,5±1,6 aA	48,5±1,6 aA	55,4±3,8 aA	55,4±3,8 aA
6	44,8±1,1 aA	39,8±2,6 bA	53,4±2,5 abB	41,1±4,8 bA
18	32,1±1,6 bB	17,4±1,7 cA	41,8±3,4 bB	24,4±2,3 cA
27	14,7±4,5 cA	8,8±0,91 dA	21,6±2,7 cA	13,4±1,7 cA
VM	No tratados		35 °C/36 h	
6+6	5,2±0,15 aA	5,2±0,19 aA	10,9±1,2 aA	8,9±1,39 aA
18+6	4,9±0,004 aA	4,9±0,009 aA	4,9±0,009 bA	4,9±0,009 bA
27+6	s/d	s/d	s/d	s/d

Los valores corresponden a medias (n=21) ± error estándar de la media. S/d: sin datos. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey p<0,05).

La variedad Fantasía tampoco presentó un ablandamiento diferencial entre las zonas del fruto evaluadas (Figura 10). También en este caso se observó un mayor ablandamiento en los frutos que se conservaron a 5 °C y en los que recibieron tratamiento térmico (Figura 10 y Cuadros 3 y 4).

En los frutos no tratados y mantenidos a 0 °C, la firmeza se mantuvo prácticamente sin variaciones a lo largo de la conservación en todas las zonas del fruto evaluadas, con valores de alrededor de 30 N. Tampoco se registraron mayores

diferencias con el transcurso del tiempo para los frutos que fueron tratados con calor, que presentaron una firmeza alrededor de 22 N. En cuanto al efecto del tratamiento térmico sobre el mantenimiento de la firmeza, las diferencias aparecen a los 18 y 27 días donde los frutos tratados resultaron ser entre un 38 y 48% menos firmes en la zona ecuatorial y entre un 35 y 46% en la zona del hombro respectivamente. En vida mostrador, los valores de firmeza de pulpa estuvieron entre 5 a 6 N y los no tratados con calor solo fueron más firmes en el periodo de 6+6 días (Cuadro 3).

Cuando los frutos se conservaron a 5 °C, la firmeza se mantuvo hasta los 6 días y luego disminuyó tanto para los frutos tratados como para los no tratados.

Los frutos no tratados mantenidos a 0 °C presentaron una pérdida de firmeza promedio de 11% y los tratados del 41% al final de la conservación. Los valores obtenidos en los mantenidos a 5 °C fueron muy superiores a los conservados a 0 °C, ya que las pérdidas estuvieron entre el 70 y 75%.

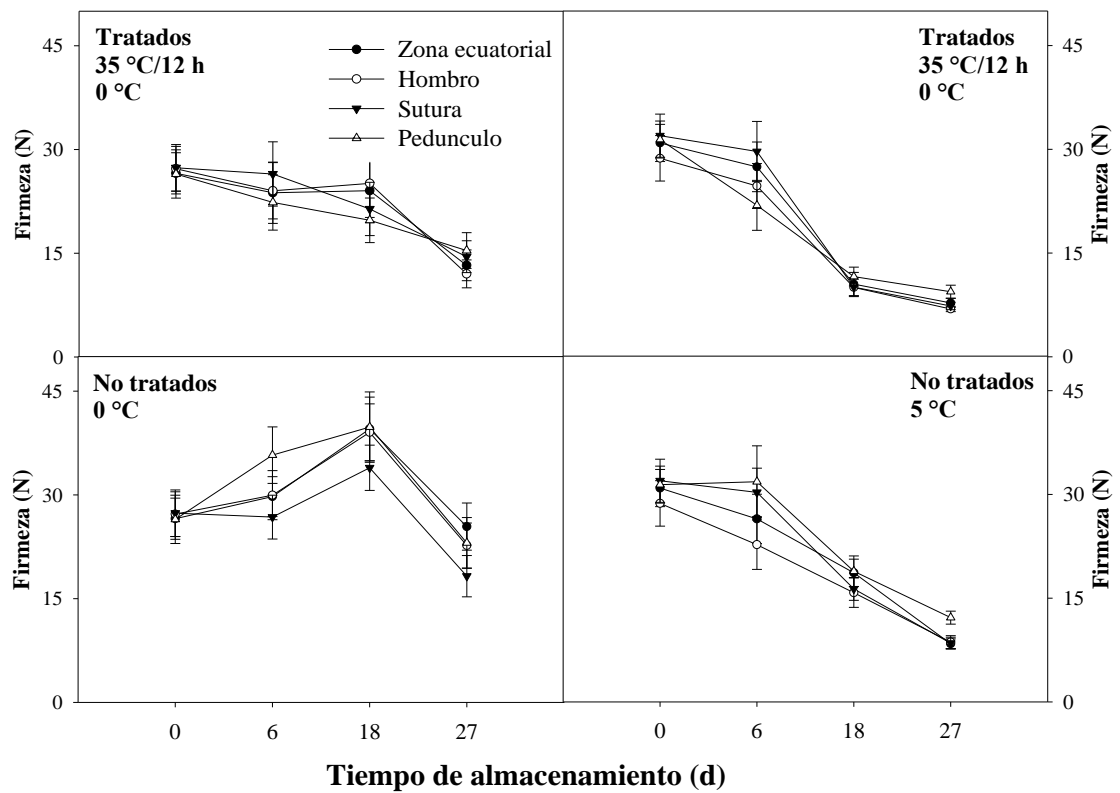


Figura 10. Evolución de la firmeza de la pulpa en nectarinas var. Fantasia durante la conservación a 0 y 5 °C. Los valores son medias (n=21) ± error estándar de la media.

Los resultados de los valores de firmeza en la variedad Fantasia se muestran en el Cuadro 3, en donde los frutos tratados mantenidos a 0 °C por 18 y 27 días presentaron valores más bajos en la zona ecuatorial y hombro. En la zona ecuatorial presentaron valores de firmeza 38 y 48% menores que los no tratados y en la zona del hombro un 35 y 46%. Mientras que en la zona de la sutura y pedúnculo los tratados mantenidos a los 18 días presentaron valores de firmeza 37 y 50% menores que los testigos. En vida mostrador, los frutos tratados y no tratados registraron valores entre 5 a 6 N.

Cuadro 3. Firmeza de la pulpa (N) en nectarinas var. Fantasía conservadas en forma continua a 0 °C o bien transferidas a 20 °C por 6 d luego de la conservación.

Tiempo de Alm.		Firmeza (N)			
(d)	Zona ecuatorial		Hombro		
	No tratados	35 °C/12 h	No tratados	35 °C/12 h	
0	26,5±2,9 bA	26,5±2,9 aA	27,2±3,2 abA	27,2±3,2 aA	
6	29,7±2,8 abA	23,7±4 abA	29,9±3,5 abA	24,1±4 abA	
18	39,5±4,6 aB	24,1±4,6 abA	39,1±4,1 bB	25,1±4,9 aA	
27	25,4±3,4 bB	13,2±2,2 aA	22,6±3,2 aB	12,1±2,01 bA	
VM	No tratados	35 °C/12 h	No tratados	35 °C/12 h	
6+6	11,9±1,4 bB	6,7±0,8 aA	11,2±1,7 bB	6,7±0,5 aA	
18+6	5,6±0,6 aA	4,2±0,1 aA	5,9±0,8 aA	4,3±0,1 aA	
27+6	5,1±0,2 aA	5,2±0,3 aA	5,3±0,17 aA	4,8±0,2 aA	

Tiempo de Alm.		Firmeza (N)			
(d)	Sutura		Pedúnculo		
	No tratados	35 °C/12 h	No tratados	35 °C/12 h	
0	27,3±3,3 abA	27,3±3,3 aA	26,4±3,4 abA	26,4±3,4 aA	
6	26,7±3,1 abA	26,4±4 abA	35,7±4 abB	22,3±4 aA	
18	33,9±3,2 aB	21,4±3,8 abA	39,8±5 aB	19,7±3,2 aA	
27	18,2±2,9 bA	14,5±2,3 bA	23,1±3,6 bA	15,3±2,5 aA	
VM	No tratados	35 °C/12 h	No tratados	35 °C/12 h	
6+6	9,4±1,5 bB	6,3±0,5 aA	15,9±1,3 bA	17,5±2,7 bA	
18+6	5,2±0,19 aA	5,5±0,4 aA	8,1±0,53 aA	6,6±0,8 aA	
27+6	5,1±0,32 aA	4,4±0,1 aA	9,6±1,38 aA	8,5±0,9 aA	

Los valores corresponden a medias (n=21) ± error estándar de la media. S/d: sin datos. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey p<0,05).

Cuando se realizó la conservación a 5 °C se registraron diferencias significativas en la zona ecuatorial y pedúnculo, tal como se muestra en el Cuadro 4. En la zona ecuatorial, los tratados conservados por 18 días presentaron valores de firmeza 43% menor que los no tratados, mientras que, en la zona del pedúnculo, los tratados mantenidos por 6 y 18 días presentaron una firmeza 30% y 35% menor que los no tratados (Cuadro 4). En vida mostrador, no se presentaron diferencias en ninguna de las zonas evaluadas, los valores obtenidos fueron entre 4 y 6 N.

Cuadro 4. Firmeza de la pulpa (N) en nectarinas var. Fantasía conservadas en forma continua a 5 °C o bien transferidos a 20 °C por 6 d luego de la conservación a 5 °C.

Tiempo de Alm.		Firmeza (N)			
(d)	Zona ecuatorial		Hombro		
	No tratados	35 °C/12 h	No tratados	35 °C/12 h	
0	30,9±2,6 aA	30,9±2,6 aA	28,7±3,2 aA	28,7±3,2 aA	
6	26,4±3,5 abA	27,4±3,5 aA	22,7±3,5 abA	24,6±3,2 aA	
18	18,6±1,9 bB	10,5±1,6 bA	15,7±2,1 bcA	10,1±1,1 bA	
27	8,4±0,70 cA	7,7±0,66 bA	8,6±0,95 cA	6,9±0,38 bA	
VM	No tratados	35 °C/12 h	No tratados	35 °C/12 h	
6+6	5,9±0,23 bA	6,1±0,27 bA	7,3±0,55 bA	6,6±0,97 bA	
18+6	5,2±0,3 abA	5,2±0,3 aA	4,9±0,19 aA	4,9±0,19 aA	
27+6	4,8±0,14 aA	4,5±0,15 aA	4,67±0,16 aA	4,9±0,16 aA	

Tiempo de Alm.		Firmeza (N)			
(d)	Sutura		Pedúnculo		
	No tratados	35 °C/12 h	No tratados	35 °C/12 h	
0	31,9±3,1 bA	31,9±3,1 bA	31,4±2,6 bA	31,4±2,6 cA	
6	30,2±3,5 bA	29,6±4,3 bA	31,8±5 bB	21,8±3,6 bcA	
18	16,3±1,6 aA	10,1±1,3 aA	18,8±2,2 aB	11,6±1,3 abA	
27	8,4±0,85 aA	7,3±0,53 aA	12,1±0,9 aA	9,4±0,93 aA	
VM	No tratados	35 °C/12 h	No tratados	35 °C/12 h	
6+6	5,3±0,22 aA	6,3±0,50 bA	14,1±2 bA	15,8±1,9 bA	
18+6	4,6±0,75 aA	5,1±0,4 abA	7,1±0,75 aA	7,1±0,7 aA	
27+6	4,9±0,20 aA	4,8±0,17 aA	6,6±0,71 aA	7,4±0,9 aA	

Los valores corresponden a medias (n=21) ± error estándar de la media. S/d: sin datos. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey p<0,05).

Los resultados de la evolución de la firmeza en la variedad Elegant Lady se muestran en la Figura 11, en donde la sutura se ablandó más que las demás zonas evaluadas. En los frutos mantenidos a 0 °C la pérdida de firmeza fue menor que los frutos a 5 °C. Los frutos no tratados conservados a 0 °C presentaron una pérdida de firmeza promedio de 85% y los tratados del 51% al final de la conservación. Los frutos mantenidos a 5 °C presentaron una pérdida de firmeza promedio del 81% y 77% en los frutos no tratados y tratados respectivamente.

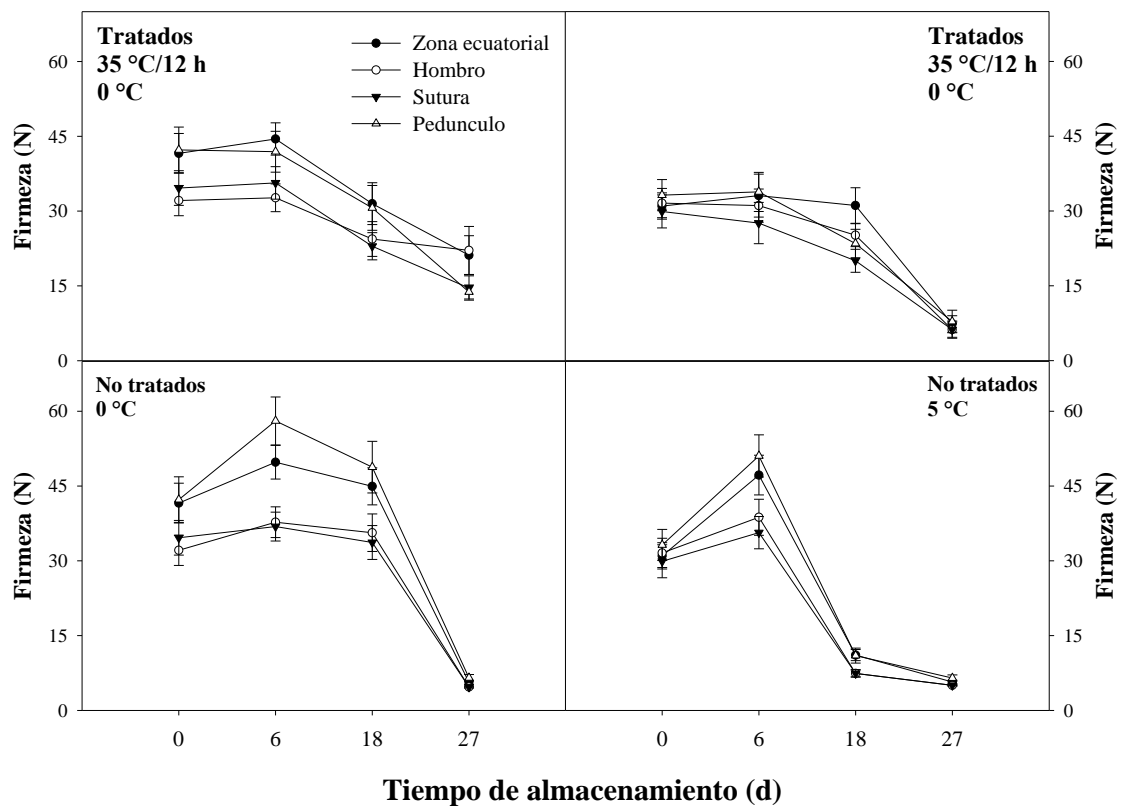


Figura 11. Evolución de la firmeza de la pulpa en duraznos var. Elegant Lady durante la conservación a 0 y 5 °C. Los valores son medias (n=21) \pm error estándar de la media.

Por otra parte, los frutos mantenidos a 0 °C por 18 días presentaron valores de firmeza más bajos que los no tratados en todas las zonas evaluadas, mientras que a los 27 días ocurrió lo contrario, tal como se muestra en el Cuadro 5. En esta variedad es importante destacar que los tratados mantuvieron los valores de firmeza durante el periodo de conservación a 0 °C, contrario a los no tratados, donde los valores se mantuvieron hasta los 18 días, observándose que, a los 27 días, los valores medidos fueron hasta 6 y 7 veces más bajos. En vida mostrador no se presentaron diferencias en todas las zonas evaluadas, a los 6+6 días, los valores fueron entre 5 y 6 N.

Cuadro 5. Firmeza de la pulpa (N) duraznos variedad Elegant Lady almacenados en forma continua a 0 °C o bien transferidos a 20 °C por 6 d luego de la conservación a 0 °C.

Tiempo de Alm. (d)	Firmeza (N)			
	Zona ecuatorial		Hombro	
	No tratados	35 °C/12 h	No tratados	35 °C/12 h
0	41,5±3,9 aA	41,5±3,9 aA	32,1±3,1 aA	32,1±3,03 aA
6	49,7±3,3 aA	44,4±3,2 aA	37,7±3 aA	32,6±2,7 aA
18	44,9±3,7 aB	31,4±4,1 abA	35,6±3,7 aB	24,4±3,4 aA
27	5,6±0,38 bA	21,1±3,8 bB	4,7±0,19 bA	22,1±4,8 aB
VM	No tratados	35 °C/12 h	No tratados	35 °C/12 h
6+6	5,9±0,5 A	5,02±0,4 A	5,72±0,4 A	4,9±0,4 A
18+6	s/d	s/d	s/d	s/d
27+6	s/d	s/d	s/d	s/d

Tiempo de Alm. (d)	Firmeza (N)			
	Sutura		Pedúnculo	
	No tratados	35 °C/12 h	No tratados	35 °C/12 h
0	34,6±3,4 aA	34,6±3,4 aA	42,2±4,5 aA	42,2±4,5 aA
6	36,8±2,8 aA	35,6±3,2 aA	58,1±4,8 aB	41,9±4,1 aA
18	33,6±3,3 aB	22,9±2,7 bA	48,7±5,1 aB	30,6±4,4 aA
27	4,7±0,17 bA	14,5±2,4 bB	6,5±0,67 bA	13,7±1,4 aB
VM	No tratados	35 °C/12 h	No tratados	35 °C/12 h
6+6	5,1±0,1 A	4,9±0,1 A	6,0±0,4 A	4,9±0,6 A
18+6	s/d	s/d	s/d	s/d
27+6	s/d	s/d	s/d	s/d

Los valores corresponden a medias (n=21) ± error estándar de la media. S/d: sin datos. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey p<0,05).

Los frutos tratados conservados a 5 °C por 6 días presentaron valores de firmeza 30% y 20% menores que los no tratados, en la zona ecuatorial y hombro respectivamente, mientras que, a los 18 días los no tratados presentaron valores de firmeza 74% y 70% menores que los tratados. En la zona de la sutura y pedúnculo, los frutos no tratados a los 18 días presentaron valores de firmeza 66% y 53% menores que los tratados respectivamente (Cuadro 6).

Cuadro 6. Firmeza de la pulpa (N) duraznos variedad Elegant Lady almacenados en forma continua a 5 °C o bien transferidos a 20 °C por 6 d luego de la conservación a 5 °C.

Tiempo de Alm. (d)	Firmeza (N)			
	Zona ecuatorial		Hombro	
	No tratados	35 °C/12 h	No tratados	35 °C/12 h
0	30,9±2,6 aA	30,9±2,6 aA	31,5±2,9 aA	31,5±2,9 aA
6	47,2±3,9 aB	33,1±4,3 aA	38,7±3,6 aB	31,1±3,3 aA
18	11,1±1,1 bA	31,1±3,5 aB	7,4±0,67 bA	25,1±2,2 aB
27	5,7±0,33 cA	7,3±1,6 bA	5,1±0,12 bA	6,2±1,5 bA

Tiempo de Alm. (d)	Firmeza (N)			
	Sutura		Pedúnculo	
	No tratados	35 °C/12 h	No tratados	35 °C/12 h
0	29,9±3,3 aA	29,9±3,3 aA	33,1±3,1 aA	33,1±3,1 aA
6	35,6±3,2 aA	27,5±4,1 aA	30,1±4,2 aA	33,8±3,9 aA
18	7,4±0,75 bA	20,1±2,2 abB	10,9±1,4 bA	23,4±2,8 abB
27	5,1±0,08 bA	6,2±1,7 bA	6,4±0,62bA	7,8±2,2 bA

Los valores corresponden a medias (n=21) ± error estándar de la media. S/d: sin datos. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey p<0,05).

La firmeza es uno de los indicadores importantes de la calidad de la fruta después de la cosecha. La disminución de ésta se correlaciona con la degradación de la pared celular (Zhou et al., 2011). En este trabajo, cuando los frutos de las variedades Big Top y Fantasía fueron transferidos a vida mostrador, la pérdida de firmeza expresada fue mayor, presentando valores entre 4 y 6 N. Sin embargo, no se presentaron diferencias significativas en los frutos tratados y no tratados durante ese periodo. Resultados similares se observaron en el estudio realizado por Zhou et al. (2002), quienes encontraron en sus resultados que la firmeza de los duraznos variedad Hujin con valor inicial de 47,9 N disminuyó a 4,75 N después de 6 días de almacenamiento a (25 °C). Estos valores pueden estar relacionados a un aumento en la actividad metabólica de los frutos, como consecuencia del estrés provocado por el cambio de temperatura y HR, lo que conlleva a un aumento drástico de deshidratación en los frutos (Africano et al., 2009).

Por otro lado, la maduración de los frutos de durazno y nectarinas comienza con el aumento de la producción de C₂H₄ e involucra muchos procesos bioquímicos y

fisiológicos, incluida la modificación de la pared celular (Tonutti et al., 1991). Dicha modificación implica cambios en la arquitectura de los polisacáridos que da como resultado una disminución muy lenta de la firmeza, seguida de una disminución rápida y drástica de la firmeza al final de la maduración (Borsani et al., 2009, Giovannoni, 2001, Hayama et al., 2006, Tonutti et al., 1996, Trainotti et al., 2003). Estudios previos informaron que el C_2H_4 influye en varios pasos en el inicio y la progresión del ablandamiento de la fruta, y su concentración es también un factor importante en la regulación de la tasa de ablandamiento (Hayama et al., 2006).

En por ello que, se ha informado que los tratamientos térmicos con calor podrían afectar la capacidad de los sistemas biológicos inhibiendo tanto la síntesis de enzimas como la síntesis de ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) y óxidos, retrasando por lo tanto la producción máxima de C_2H_4 y por consiguiente el proceso de maduración. Con base a esto, Chen Huan et al. (2017), encontraron que la aplicación del tratamiento térmico con aire caliente ($38\text{ }^\circ\text{C}/3\text{ h}$) en duraznos, mantuvo los valores de firmeza durante la conservación. Esto podría estar relacionado a la supresión de la producción de C_2H_4 durante la conservación refrigerada. También, Lara et al. (2009), encontraron que la aplicación de un tratamiento térmico ($39\text{ }^\circ\text{C}/3\text{ días}$) retrasó el proceso de maduración reflejado como una inhibición del ablandamiento y una producción desacelerada de C_2H_4 . En nuestros resultados el tratamiento térmico no provocó un efecto positivo en el mantenimiento de la firmeza, esto podría estar indicando que el tratamiento bajo nuestras condiciones no afectó la producción de etileno.

Otros autores han mencionado que los tratamientos térmicos tienen efectos positivos en el mantenimiento de la firmeza. Vicente et al. (2002), quienes aplicaron aire caliente ($45\text{ }^\circ\text{C}/3\text{h}$) en frutillas, encontraron una mejora en el parámetro de firmeza en los frutos tratados durante el periodo de conservación, concluyendo que esta mejora podría estar relacionada a la suspensión temporal de la síntesis enzimática implicada en la degradación de la pared celular. Sin embargo, Peng et al. (2009) encontraron que el tratamiento térmico con aire caliente ($38\text{ }^\circ\text{C}/12\text{ h}$) no provocó diferencias significativas durante el periodo de conservación de durazno (cv. Baifeng)

concluyendo que el tratamiento bajo esas condiciones no logró un efecto positivo en el mantenimiento de la firmeza.

3.3.3. Contenido de sólidos solubles totales (SST)

Los resultados del efecto del tratamiento térmico sobre los SST en la variedad Big Top se muestran en la Figura 12, en donde los frutos tratados conservados a 0 °C presentaron mayor contenido de SST, en todos los momentos de análisis, con un valor inicial de 15 y final de 19,7 °Brix (Fig. 12A). Con relación al tiempo de conservación, los SST medidos luego de 27 días fueron mayores a los medidos al momento de cosecha. Mientras que, en vida mostrador, no se registraron diferencias entre tratados y no tratados, aunque también se observó un aumento del contenido con el transcurso del tiempo. La medición a los frutos mantenidos por 27+6 días no se realizó, ya que al presentar daño por frío no fue posible extraer jugo, dado que en ese momento los frutos estaban harinosos (Fig. 12B y D).

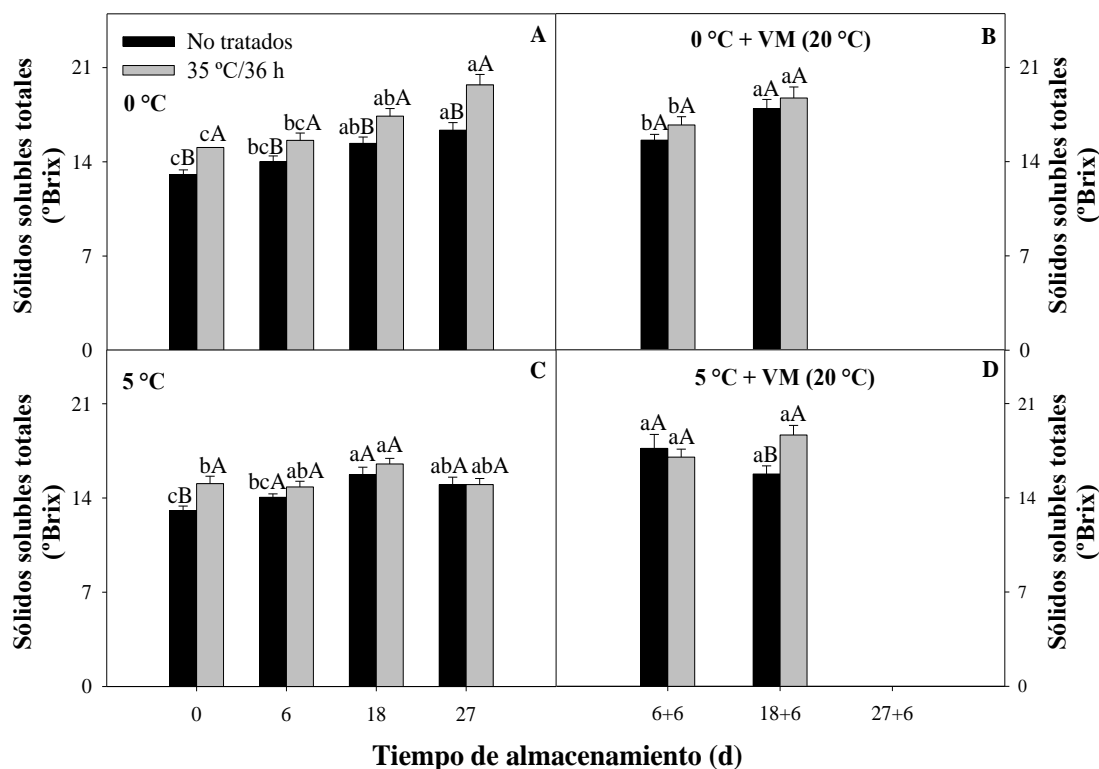


Figura 12. Sólidos solubles totales (SST) en nectarinas var. Big Top durante la conservación a 0 y 5 °C y en vida mostrador (VM). Los valores son medias (n=21) ± error estándar de la media. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey p<0,05).

Cuando se realizó la conservación a 5 °C, inicialmente el mayor contenido de SST correspondió a los frutos no tratados que presentaron un 13% más de SST que los tratados. Luego de 6 días, y hasta el final de la conservación refrigerada, los valores se mantuvieron estables sin presentarse diferencias entre fruto tratados y no tratados, con valores entre 14 y 15 °Brix (Fig. 12C). Con relación a la evolución de los SST en esta condición de conservación, los valores se mantuvieron prácticamente estables durante todo el periodo. En vida mostrador, los mantenidos por 18+6 días presentaron valores de SST 15% mayores que en los frutos no tratados (Fig. 12D). También en este caso, luego de 27+6 días los frutos estaban completamente harinosos por lo que no fue posible extraerles jugo para evaluar los SST.

Al analizar el efecto de la temperatura no se presentaron diferencias entre los frutos mantenidos a 0 y 5 °C, tanto durante la conservación como en vida mostrador, siendo los valores medidos de entre 14 y 17 °Brix (datos no mostrados).

Los valores medidos de SST en los frutos variedad Fantasía indican que independientemente del tratamiento térmico, la temperatura y el tiempo, no se presentaron diferencias durante la conservación, así como en vida mostrador (Fig. 13 A-D).

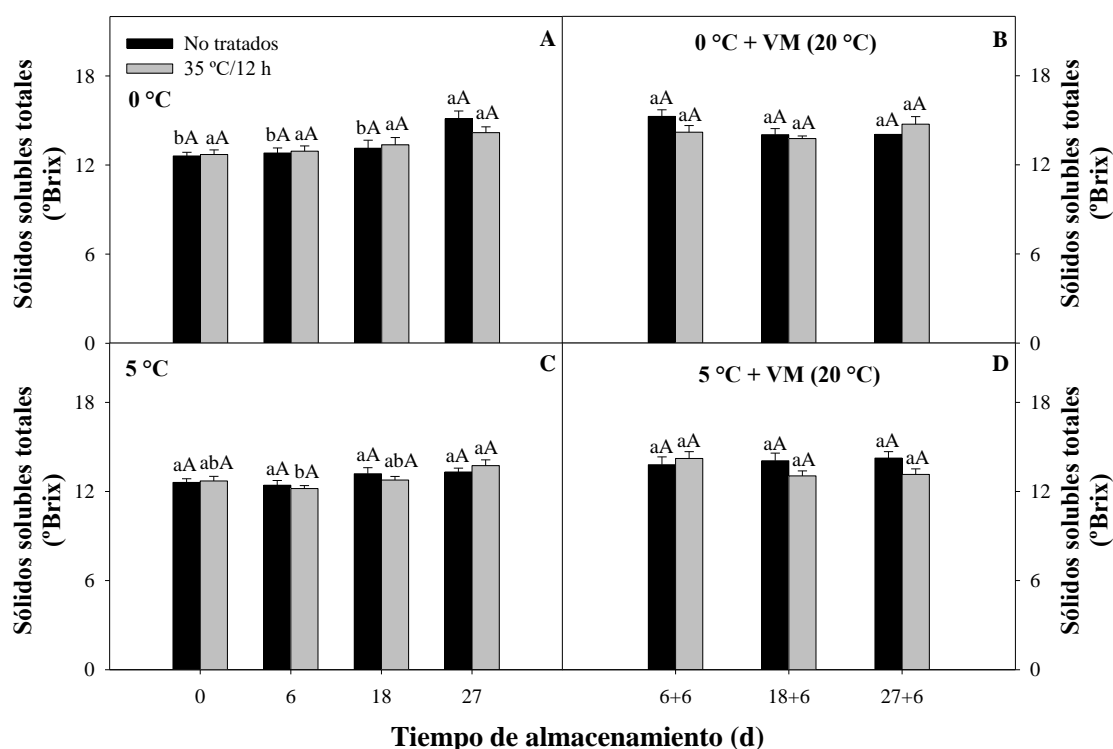


Figura 13. Sólidos solubles totales (SST) en nectarinas var. Fantasía durante la conservación a 0 y 5 °C y en vida mostrador (VM). Los valores son medias (n=21) ± error estándar de la media. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey p<0,05).

Para el caso de la variedad Elegant Lady, el efecto del tratamiento térmico y del tiempo de conservación sobre los SST se presentan en la Figura 14. Los valores obtenidos mostraron un comportamiento similar a la variedad Fantasía, ya que no se

vieron diferencias entre frutos tratados y no tratados durante la conservación (0 y 5 °C), registrando un valor inicial de 10,7 °Brix y final de 11,7 °Brix (Fig. 14 A-D).

En vida mostrador solo se evaluaron los frutos a los 6+6 días, donde tampoco se encontraron diferencias entre tratados y no tratados.

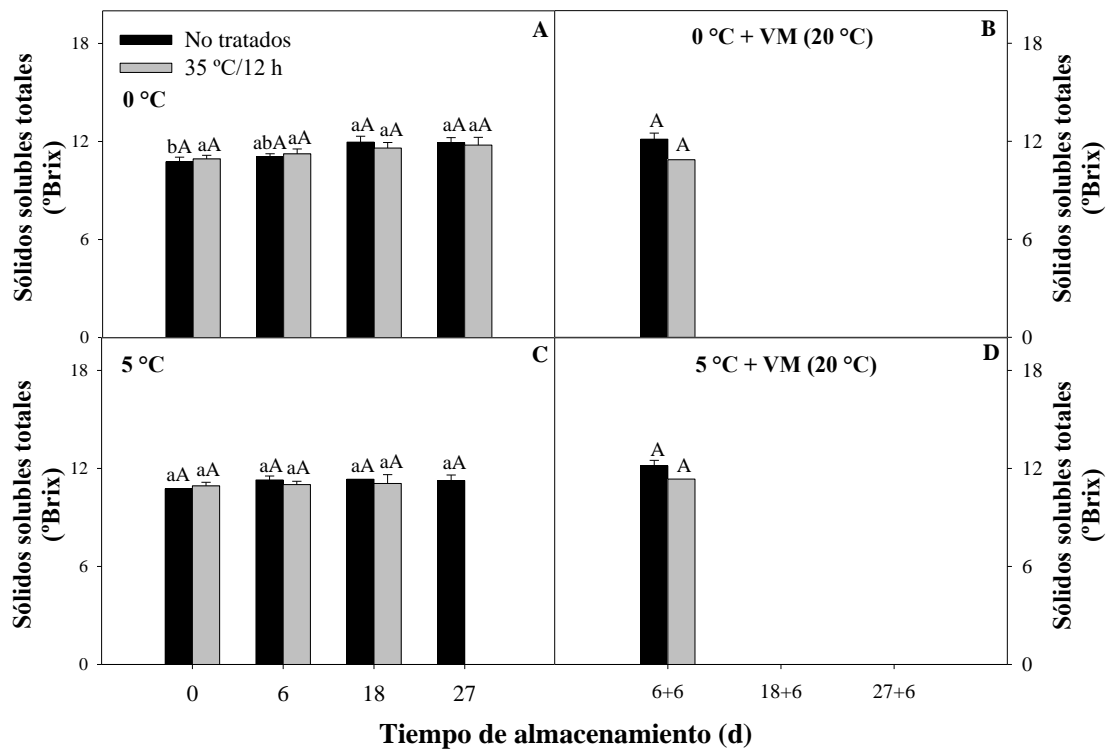


Figura 14. Sólidos solubles totales (SST) en duraznos var. *Elegant Lady* durante la conservación a 0 y 5 °C y en vida mostrador (VM). Los valores son medias (n=21) ± error estándar de la media. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey p<0,05).

Durante la maduración, el aumento de los SST se deriva principalmente de la degradación de los polisacáridos de la pared celular en azúcares solubles (sacarosa, glucosa, fructosa y en menores cantidades sorbitol), incrementando el sabor dulce de los frutos (Hiwasa y Ezura, 2014). La importancia de estos azúcares está relacionada a que pueden aumentar la tolerancia de los tejidos, estabilizando las membranas y

proteínas durante la deshidratación inducida por los DF (Ma et al., 2009, Wisniewski et al., 2014).

Estudios realizados sobre el uso de tratamientos térmicos con aire caliente han demostrado que pueden modificar el metabolismo del azúcar en la fruta durante el periodo poscosecha. Con base a esto, Yu et al. (2016) encontraron que el tratamiento térmico con aire caliente (37 °C/ 3 días) en frutos de durazno, aumentó el contenido de SST durante la conservación, explicado por un aumento en los niveles de sacarosa.

En este trabajo, el tratamiento térmico solo determinó un efecto positivo, al aumentar los niveles de SST, en la variedad Big Top durante la conservación a 0 °C. En las variedades Fantasía y Elegant Lady, no provocó ninguna modificación en los valores de SST, lo que indicaría que el tratamiento aplicado a estas dos variedades no estimuló la modificación del metabolismo de los azúcares.

3.3.4. Color de la piel

3.3.4.1. Luminosidad

Los resultados del efecto del tratamiento térmico sobre la luminosidad en la variedad Big Top se muestran en el Cuadro 7. De acuerdo con ellos, la luminosidad se mantuvo constante durante todo el periodo de conservación a 0 °C y vida mostrador. Los valores medidos en el lado expuesto en los frutos no tratados al inicio y final del almacenamiento fueron de 31,7 y 28,6, mientras que en los tratados fueron de 31,7 y 28,7 respectivamente. En el lado sombreado los valores medidos al inicio y final del almacenamiento para los frutos no tratados fueron de 40,8 y 36,2, mientras que en los tratados fueron de 40,8 y 38,4, respectivamente.

Cuadro 7. Luminosidad en nectarinas var. Big Top almacenadas en forma continua a 0 °C y 5 °C o bien transferidas a 20 °C por 6 d (+) luego de la conservación.

	Tiempo de Alm. (d)	Luminosidad (L)			
		Lado expuesto		Lado sombreado	
		No tratados	35 °C/36 h	No tratados	35 °C/36 h
0 °C	0	31,7±0,4 aA	31,7±0,4 aA	40,8±0,9 aA	40,8±0,9 aA
	6	31,9±0,3 aA	31,4±0,4 aA	39,8±0,8 aA	39,2±0,9 abA
	18	30,9±0,4 aA	29,5±0,3 aA	39,1±1,2 aA	38,5±1,4 abA
	27	30,9±0,3 aA	29,6±0,3 aA	37,9±1,9 aA	35,7±0,7 bA
	VM	Testigo	35 °C/36 h	Testigo	35 °C/36 h
	6+6	30,1±0,3 aA	29,8±0,58 aA	36,5±0,68 aA	36,8±0,70 aA
	18+6	29,1±0,5 aA	27,7±1,05 aA	34,5±0,61 aA	36,1±1,41 aA
	27+6	28,6±0,4 aA	28,7±0,50 aA	36,2±0,94 aA	38,4±0,99 aA
	Tiempo de Alm. (d)	Luminosidad (L)			
		Lado expuesto		Lado sombreado	
		No tratados	35 °C/36 h	No tratados	35 °C/36 h
5 °C	0	32,8±0,4 aA	32,8±0,45 aA	42,4±1,2 aA	42,4±1,1 aA
	6	31,7±0,2 abA	31,7±0,2 abA	38,4±0,8 bA	38,4±0,7 bA
	18	30,8±0,4 bA	30,4±0,4 bA	40,5±1,2 aA	37,1±0,9 aB
	27	30,7±0,4 bA	30,5±0,2 bA	40,5±1,6 aA	39,6±0,9 aA
	VM	No tratados	35 °C/36 h	No tratados	35 °C/36 h
	6+6	30,8±0,6 aA	29,4±0,57 aA	39,1±1,2 aA	36,3±0,82 aA
	18+6	28,4±1,3 aA	28,5±0,38 aA	35,9±1,7 aA	33,3±2,06 aA
	27+6	30,4±0,3 aA	27,1±1,36 aB	37,9±0,9 aA	37,3±0,8 aA

Los valores corresponden a medias (n=21) ± error estándar de la media. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey p<0,05).

Durante la conservación a 5 °C, los valores medidos para los frutos tratados y no tratados fueron de entre 32,8 y 30,7 sin presentarse diferencias entre ellos. Al final del periodo de vida mostrador (27+6 días) en el lado expuesto, los frutos tratados fueron menos luminosos (L= 27,1) que los no tratados (L= 30,4). Por otro parte, en el lado sombreado solo se registraron diferencias a los 18 días de conservación, siendo los frutos no tratados los que presentaron un color más luminoso (L=40,5 y 37,1, respectivamente).

Al analizar el efecto de la temperatura, los frutos tratados y no tratados no presentaron diferencias tanto en el periodo de conservación (0 y 5 °C) como en vida mostrador (datos no mostrados).

En la variedad Fantasía el tratamiento térmico no provocó diferencias tanto en el lado expuesto como en el sombreado. Los valores medidos durante la conservación a 0 °C fueron entre 31 y 35 para el lado expuesto y entre 51 y 56 para el lado sombreado, tal como se muestra en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Luminosidad en nectarinas var. Fantasía almacenadas en forma continua a 0 °C y 5 °C o bien transferidas a 20 °C por 6 d (+) luego de la conservación.

	Luminosidad (L)				
	Tiempo de Alm. (d)	Lado expuesto		Lado sombreado	
		No tratados	35 °C/12 h	No tratados	35 °C/12 h
0 °C	0	34,8±0,6 aA	34,8±0,6 aA	51,6 ±1,5aA	51,6±1,5 aA
	6	33,8±0,3 aA	34,8±0,8 aA	52,6±1,4 aA	52,6±1,8 aA
	18	34,1±0,8 aA	33,1±0,7 aA	54,3±1,6 aA	54,1±1,6 aA
	27	33,0±0,9 aA	33,8±0,7 aA	56,7±1,7 aA	55,9±1,8 aA
	VM	Testigo	35 °C/12 h	Testigo	35 °C/12 h
	6+6	30,4±1,3 bA	31,5±0,6 aA	51,6±1,0 aA	52,1±1,8 bA
	18+6	35,1±1,0 aA	33,1±0,6 aA	54,7±1,3 aA	56,9±1,2 aA
	27+6	33,3±0,4 abA	32,3±1,9 aA	53,6±1,3 aA	54,5±1,1 abA
5 °C	Luminosidad (L)				
	Tiempo de Alm. (d)	Lado expuesto		Lado sombreado	
		No tratados	35 °C/12 h	No tratados	35 °C/12 h
	0	34,4±0,4 aA	34,4±0,4 aA	52,4±1,4 bA	52,4±1,4 aA
	6	34,8±0,6 aA	35±0,7 aA	53,5±1,6 abA	53,2±1,5 aA
	18	35,9±1,1 aA	35,4±0,7 aA	58,9±1,3 aA	57,2±2,1 aA
	27	36,5±1,7 aA	33,1±1,7 aB	56,1±2,2 abA	57,7±1,4 aA
	VM	Testigo	35 °C/12 h	Testigo	35 °C/12 h
6+6	33±0,8 aA	31,7±0,5 aA	52,1±2,9 aA	53,1±1,7 aA	
18+6	32,7±1,5 aA	34,1±0,8 aA	54,8±2,9 aA	54,5±1,1 aA	
27+6	32,1±0,7 aA	34,2±1 aA	51,5±3,9 aA	54,6±1,4 aA	

Los valores corresponden a medias (n=21) ± error estándar de la media. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey p<0,05).

Los frutos no tratados conservados a 5 °C por 27 días presentaron un color 10% más luminosos que los frutos tratados. En vida mostrador no se presentaron diferencias

entre los tratados y no tratados, con un valor de luminosidad promedio de 33 para el lado expuesto y 53 para el lado sombreado (Cuadro 8).

Para la variedad de durazno Elegant Lady los resultados se muestran en el Cuadro 9, donde independientemente del tratamiento y la temperatura de conservación, los valores medidos no presentaron diferencias entre los frutos tratados y no tratados. En el lado expuesto, los valores medidos estuvieron entre 38 y 40 para ambas temperaturas de conservación y para el lado sombreado valores entre 54 y 61 (Cuadro 9).

Cuadro 9. Luminosidad en duraznos var. Elegant Lady almacenados en forma continua a 0 °C y 5 °C o bien transferidos a 20 °C por 6 d (+6) luego de la conservación.

	Tiempo de Alm. (d)	Luminosidad (L)				
		Lado expuesto		Lado sombreado		
		No tratados	35 °C/12 h	No tratados	35 °C/12 h	
0 °C	0	38,9±0,6 aA	38,9±0,6 aA	56,1±1,3 aA	56,1±1,3 aA	
	6	37,3±0,6 aA	36,7±0,5 aA	54,2±1,7 aA	54,3±1,2 aA	
	18	37,4±0,7 aA	37,3±0,7 aA	57,1±1,8 aA	54,2±1,2 aA	
	27	38,1±1,4 aA	39,6±1,5 aA	57,9±1,6 aA	57,3±1,7 aA	
	VM	Testigo	35 °C/12 h	Testigo	35 °C/12 h	
	6+6	37,1±1 A	35,7±0,3 A	53,7±2,3A	46,2±2,5 A	
	18+6	s/d	s/d	s/d	s/d	
	27+6	s/d	s/d	s/d	s/d	
	5 °C	0	38,4±0,6 aA	38,4±0,6 aA	55,1±1,2 bA	55,1±1,2 aA
		6	37,4±0,8 aA	38,6±0,6 aA	55,2±1,6 bA	55,7±0,9 aA
18		38,8±0,8 aA	39,3±2,4 aA	61,6±1,6 aA	57,8±2,7 aA	
27		40,1±1,3 aA	-	61,9±1,6 aA	-	
VM		Testigo	35 °C/12 h	Testigo	35 °C/12 h	
6+6		35,8±0,5 A	36,6±0,7 A	57,5±3,2 A	62,9±1,8 A	
18+6		s/d	s/d	s/d	s/d	
27+6		s/d	s/d	s/d	s/d	

Los valores corresponden a medias (n=21) ± error estándar de la media. S/d: sin datos. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey p<0,05).

3.3.4.2. Tono

Los valores de tono medidos en los frutos var. Big Top se muestran en el Cuadro 10. Los valores medidos en el lado expuesto muestran que, los frutos tratados, mantenidos a 0 °C por 18 días, presentaron tonos más rojizos (7,3°) que los no tratados (9,9°). En el lado sombreado, a los 27 días los frutos tratados mostraron tonos más rojizos (13,3°) que los no tratados (19,1°). En vida mostrador, no se presentaron diferencias entre tratados y no tratados, con valores de tono entre 14 y 18°.

Cuadro 10. Tono en nectarinas var. Big Top almacenadas en forma continua a 0 °C y 5 °C o bien transferidos a 20 °C por 6 d (+6) luego de la conservación

	Tiempo de Alm. (d)	Tono (H)			
		Lado expuesto		Lado sombreado	
		No tratados	35 °C/36 h	No tratados	35 °C/36 h
0 °C	0	7,6±0,3 bA	7,6±0,3 aA	19,5±1,7 aA	19,5±1,7 aA
	6	6,3±0,2 bA	7,3±0,5 aA	16,4±1,4 aA	18,1±1,9 aA
	18	9,9±0,5 aA	7,3±0,3 aB	18,3±1,6 aA	18,7±2,3 aA
	27	7,1±0,9 bA	6,4±0,4 aA	19,1±2,6 aA	13,3±2,7 aB
	VM	No tratados	35 °C/36 h	No tratados	35 °C/36 h
	6+6	6,1±0,4 bB	7,1±0,3 aA	14,3±1,2 aA	14,6±1,1 aA
	18+6	7,6±0,5 abA	8,5±0,6 aA	16,2±2,7 aA	14,1±0,8 aA
	27+6	11,1±2,7 aA	7,8±0,6 aA	17,2±1,2 aA	18,6±2,8 aA
	5 °C	0	6,1±0,3 aA	6,1±0,3 aA	18,5±2 aA
6		7,2±0,4 aA	7,3±0,4 aA	14,6±1,1 aA	14,8±1,1 aA
18		7,6±0,3 aA	7,1±0,3 aA	18,3±1,9 aA	15,8±1,2 aA
27		6,1±0,5 aA	6,4±0,4 aA	19,1±2,7 aA	17,7±1,7 aA
VM		No tratados	35 °C/36 h	No tratados	35 °C/36 h
6+6		7,8±0,8 aA	7,4±0,8 aA	19,6±1,8 aA	16,9±1,5 aA
18+6		6,7±0,3 aB	10,1±2,1 aA	15,9±1,2 aA	16,1±1,9 aA
27+6		7,2±0,5 aA	9,1±0,7 aA	17,2±1,3 aA	17,5±1,1 aA

Los valores corresponden a medias (n=21) ± error estándar de la media. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey p<0,05).

Los frutos tratados y no tratados conservados a 5 °C no presentaron diferencias durante la conservación tanto en el lado expuesto como en el sombreado. El valor

promedio medido en el lado expuesto fue de 6,3°, mientras que para el lado sombreado fue de 18,1° (Cuadro 10).

Los resultados de la variedad Fantasía se muestran en el Cuadro 11, donde en el lado expuesto los frutos tratados mantenidos a 0 °C por 18 días tuvieron tonos más rojizos (11,1°) que los no tratados (13,7°). En los frutos conservados a 5 °C, el tratamiento térmico no generó diferencias durante todo el periodo de conservación. El valor promedio medido en la piel de los frutos corresponde a tonos anaranjados (44,5°). Al final del periodo de vida mostrador (27+6 días) los frutos no tratados tuvieron tonos más anaranjados (46,6°) que los tratados (55,7°), tal como se muestra en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Tono en nectarinas var. Fantasía almacenadas en forma continua a 0 °C y 5 °C o bien transferidos a 20 °C por 6 d (+6) luego de la conservación.

	Tiempo de Alm. (d)	Tono (H)			
		Lado expuesto		Lado sombreado	
		No tratados	35 °C/12 h	No tratados	35 °C/12 h
0 °C	0	9,5±0,7 bA	9,5±0,7 bA	38,7±3,9 aA	38,7±3,9 aA
	6	8,6±0,4 bA	10,5±1,0bA	38,6±4 aA	43,1±4,2 aA
	18	13,7±2,1 aA	11,1±0,9 aB	49,1±4,7 aA	48,9±4,7 aA
	27	9,8±1,1 abA	9,1±0,6 bA	48,5±4,9 aA	49,3±4,9 aA
	VM	No tratados	35 °C/12 h	No tratados	35 °C/12 h
	6+6	9,1±0,3 bA	9,6±0,6 aA	42,7±2,7 aA	45,3±3,5 bA
	18+6	13,1±1,5 aA	10,5±0,7 aA	40,2±3,2 aA	45,1±3,5 bA
	27+6	9,6±0,5 abA	11,6±1,9 aA	46,6±2,7 aB	55,7±2,1 aA
	5 °C	0	9,5±0,6 aA	9,5±0,6 aA	40,6±4,6 aA
6		9,8±0,9 aA	11,8±2,1 aA	38,9±4,7 aA	44,1±4,4 aA
18		11,9±1,4 aA	10,5±0,8 aA	52,5±3,6 aA	49,1±5,3 aA
27		13,6±3,5 aA	9,4±1,2 aA	43,8±4,5 aA	49,5±4,1 aA
VM		No tratados	35 °C/12 h	No tratados	35 °C/12 h
6+6		10,3±0,9 aA	9,3±0,6 aA	53,1±4,8 aA	46,9±4,2 aA
18+6		11,8±0,5 aA	11,5±0,7 aA	51,3±4 aA	49,3±3 aA
27+6		11,5±2,1 aA	12,6±1,1 aA	55,9±3,7 aA	49,3±3, aA

Los valores corresponden a medias (n=21) ± error estándar de la media. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey p<0,05).

Para el caso de la variedad de durazno Elegant Lady los resultados se muestran en el Cuadro 12. También en este caso, independientemente del tratamiento térmico y la temperatura de conservación, no se presentaron diferencias. En el lado expuesto el valor promedio medido fue de 25°, mientras que en lado sombreado fue de 33,8°.

Cuadro 12. Tono en durazno var. Elegant Lady almacenados en forma continua a 0 °C y 5 °C o bien transferidos a 20 °C por 6 d (+6) luego de la conservación.

	Tono (H)					
	Tiempo de Alm. (d)	Lado expuesto		Lado sombreado		
		Testigo	35 °C/12 h	Testigo	35 °C/12 h	
0 °C	0	26,5±1,2 aA	26,5±1,2 aA	34,4±0,5 aA	34,4±0,5 aA	
	6	25,1±0,9 aA	27,5±1,1 aA	33,2±0,5 aA	33,1±0,5 aA	
	18	24,6±1,2 aA	24,8±1,2 aA	33,2±0,5 aA	34,2±0,5 aA	
	27	23,4±1,3 aA	24,5±1,2 aA	33,5±0,4 aA	33,8±0,6 aA	
	VM	Testigo	35 °C/12 h	Testigo	35 °C/12 h	
	6+6	21,7±1,8 A	17,18±1,7 A	31,5±0,7 A	31,6±0,4 A	
	18+6	s/d	s/d	s/d	s/d	
	27+6	s/d	s/d	s/d	s/d	
	5 °C	0	32,5±2,9 aA	32,5±2,9 aA	35,3±0,6 abA	35,3±0,6 aA
		6	25,5±1,2 aA	25,5±0,9 bA	34,2±0,5 bA	32,9±0,3 bA
18		31,6±1,4 aA	30,9±1,7 abA	37,4±1,8 aA	35,5±0,9 aA	
27		27,5±1,5 aA	-	35,3±0,7 abA	-	
VM		Testigo	35 °C/12 h	Testigo	35 °C/12 h	
6+6		23,3±2,8 A	27,4±3,3 A	32,9±0,9 A	32,8±0,6 A	
18+6		s/d	s/d	s/d	s/d	
27+6		s/d	s/d	s/d	s/d	

Los valores corresponden a medias (n=21) ± error estándar de la media. S/d: sin datos. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey p<0,05).

3.3.4.3. Croma (C)

La variable croma o saturación, indica la intensidad que tiene el tono del color tomando valor desde menos saturado (0) a más saturado (60). Los resultados para la variedad Big Top se muestran en el Cuadro 13, en donde al final de la conservación (27 días), los frutos tratados presentaron valores con menor saturación (C=20,5) que los no tratados (C=22,1). En vida mostrador, no se presentaron diferencias entre

tratados y no tratados, registrando un valor promedio de C=18,4. En el lado expuesto, también los frutos tratados presentaron valores con menor saturación. En vida mostrador, los frutos tratados mantenidos por 6+6 y 18+6 días, presentaron valores menos saturados que los no tratados.

Cuadro 13. Croma en nectarinas var. Big Top almacenadas en forma continua a 0 °C y 5 °C o bien transferidos a 20 °C por 6 d (+6) luego de la conservación.

	Croma (C)				
	Tiempo de Alm. (d)	Lado expuesto		Lado sombreado	
		No tratados	35 °C/36 h	No tratados	35 °C/36 h
0 °C	0	27,1±1,1 aA	27,1±1,1 aA	36,8±0,8 aA	36,8±0,8 aA
	6	23,2±0,8 abA	25,6±1,1 aA	36,5±0,8 aA	35,1±1,1 abA
	18	24,2±1,1 abA	24,1±1,3 abA	35,6±0,6 aA	37,1±0,6 aA
	27	22,1±0,7 bA	20,5 ±0,8 aB	36,1±0,9 aA	32,2±1,6 bB
	VM	No tratados	35 °C/36 h	Testigo	35 °C/36 h
	6+6	20,3±0,9 aA	18,9±0,9 aA	34,3±0,7 abA	30,6±0,8 aB
	18+6	18,2±1,1 aA	17,2±0,9 Aa	32,1±1,3 bA	32,2±1,2 aA
	27+6	18,8±1,2 aA	17,4±1,3 aA	37,9±0,9 aA	30,2±1,4 aB
	Croma (C)				
	Tiempo de Alm. (d)	Lado expuesto		Lado sombreado	
		No tratados	35 °C/36 h	No tratados	35 °C/36 h
5 °C	0	25,4±0,7 aA	25,4±0,7 aA	38,6±0,7 aA	38,6±0,7 aA
	6	25,7±1,2 aA	25,5±1,2 aA	36,3±0,9 aA	35,8±1,1 aA
	18	24,8±1,2 aA	22,3±1,1 aA	36,2±0,9 aA	34,5±1 aA
	27	23,1±1,2 aA	22,1±1,1 aA	37,1±0,8 aA	36,5±0,7 aA
	VM	No tratados	35 °C/36 h	No tratados	35 °C/36 h
	6+6	20,2±1,2 aA	17,5±1,1 aA	33,1±1,1 aA	28,6±1,2 aB
	18+6	20,1±0,7 aA	15,0±1,1 aB	33,2±0,9 aA	29,5±1,3 aB
	27+6	21,1±0,9 aA	17,3±0,9 aB	34,6±0,8 aA	32,2±1,5 aA

Los valores corresponden a medias (n=21) ± error estándar de la media. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey p<0,05).

Durante la conservación a 5 °C, no se presentaron diferencias entre los frutos tratados y no tratados, con un valor promedio de 24,7 en el lado expuesto y 36,7 para el lado sombreado. En vida mostrador, los valores medidos en el lado expuesto de los frutos tratados mantenidos por 18+6 y 27+6 días, presentaron valores con menor saturación que los no tratados. En el lado sombreado, también los frutos tratados registraron valores menos saturados (Cuadro 13).

Para la variedad Fantasía en el lado expuesto los frutos tratados conservados a 0 °C por 27 días presentaron valores con mayor saturación (C=33,5) que los no tratados (C=29,8). En vida mostrador, no se registraron diferencias entre tratados y no tratados (Cuadro 14).

Durante la conservación a 5 °C, los valores medidos en el lado expuesto, al inicio y final del almacenamiento fueron de 30,6 y 28,5 respectivamente. En el lado sombreado, los frutos tratados mantenidos por 18 días presentaron valores con mayor saturación (C=39,8) que los no tratados (C=37,4).

Cuadro 14. Croma en nectarinas var. Fantasía almacenadas en forma continua a 0 °C y 5 °C o bien transferidos a 20 °C por 6 d (+6) luego de la conservación.

	Tiempo de Alm. (d)	Croma (C)			
		Lado expuesto		Lado sombreado	
		No tratados	35 °C/12 h	No tratados	35 °C/12 h
0 °C	0	33,9±1,1 aA	33,9±1,1 aA	36,1±0,6 aA	36,1±0,6 aA
	6	33,2±0,8 aA	32,4±1,3 aA	37,3±0,7 aA	36,1±0,6 aA
	18	34,1±1,9 aA	32,7±1,1 aA	38,1±0,8 aA	37,8±0,8 aA
	27	29,8±1,1 aB	33,5±1,2 aA	36,6±0,7 aA	38,1±0,7 aA
	VM	Testigo	35 °C/12 h	No tratados	35 °C/12 h
	6+6	31,1±0,9 aA	27,8±1,7 aA	37,8±0,6 bA	37,7±0,7 bA
	18+6	31,8±1,2 aA	30,5±1,3 aA	40,9±0,6 bA	39,6±0,5 bA
	27+6	33,3±1,0 aA	33,3±1,2 aA	41,3±0,5 aA	40,4±0,5 aA
	5 °C	0	30,6±1,1 bA	30,6±1 aA	36,8±0,9 aA
6		34,4±0,9 abA	32,9±1,7 aA	39,1±0,8 aA	37,1±0,6 abA
18		35,8±1,1 aA	34,9±0,9 aA	37,4±0,5 aB	39,8±0,8 aA
27		36,6±1,1 aA	34,5±1,1 aA	38,8±0,6 aA	39,1±0,5 abA
VM		No tratados	35 °C/12 h	No tratados	35 °C/12 h
6+6		31,3±1,3 aA	28,8±1,7 aA	43,1±0,8 aA	40,4±0,7 aA
18+6		32,3±1,1 aA	31,3±1,6 aA	39,6±1,1 aA	39,9±1 aA
27+6		28,5±1,4 aA	32,3±1,6 aA	41,6±1,3 aA	40,9±0,4 aA

Los valores corresponden a medias (n=21) ± error estándar de la media. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey p<0,05).

En la variedad Elegant Lady no se presentaron diferencias entre los frutos tratados y no tratados tanto en el periodo de conservación como en vida mostrador. En

el lado expuesto, se registró un valor promedio de C=25,3, mientras que para el lado sombreado fue de C=34,1 (Cuadro 15).

Cuadro 15. Croma en duraznos var. Elegant Lady almacenados en forma continua a 0 °C y 5 °C o bien transferidos a 20 °C por 6 d (+6) luego de la conservación.

	Tiempo de Alm. (d)	Croma (C)			
		Lado expuesto		Lado sombreado	
		No tratados	35 °C/12 h	No tratados	35 °C/12 h
0 °C	0	26,5±1,2 aA	26,5±1,2 aA	34,4±0,5 aA	34,4±0,5 aA
	6	25,1±0,9 aA	27,5±1,1 aA	33,2±0,5 aA	33,1±0,5 aA
	18	24,6±1,2 aA	24,8±1,2 aA	33,2±0,5 aA	34,2±0,5 aA
	27	23,4±1,3 aA	24,5±1,2 aA	33,5±0,4 aA	33,8±0,61aA
	VM	No tratados	35 °C/12 h	No tratados	35 °C/12 h
	6+6	21,7±1,8 A	17,18±1,7 A	31,5±0,7 A	31,6±0,4 A
	18+6 27+6	s/d s/d	s/d s/d	s/d s/d	s/d s/d
5 °C	0	32,5±2,9 aA	32,5±2,9 aA	35,3±0,6 abA	35,3±0,6 aA
	6	25,5±1,2 aA	25,5±0,9 bA	34,2±0,5 bA	32,9±0,3 bA
	18	31,6±1,4 aA	30,9±1,7 abA	37,4±1,8 aA	35,5±0,9 aA
	27	27,5±1,5 aA	s/d	35,3±0,7 abA	s/d
	VM	No tratados	35 °C/12 h	No tratados	35 °C/12 h
	6+6	23,3±2,8 A	27,4±3,3 A	32,9±0,9 A	32,8±0,6 A
	18+6 27+6	s/d s/d	s/d s/d	s/d s/d	s/d s/d

Los valores corresponden a medias (n=21) ± error estándar de la media. S/d: sin datos. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey p<0,05).

El color de la piel, generalmente se toma como un indicador de la maduración (Crisosto y Labavitch, 2002). Durante este proceso, los frutos de duraznos presentan un cambio en el color de fondo de la epidermis, el cual presenta una evolución de verde a rojo por la degradación de las clorofilas. En cuanto al color de recubrimiento éste presenta un cambio de tonalidades amarillo verdoso a rojo, generalmente en respuesta a la acumulación de carotenoides y antocianinas (Cunha et al., 2007).

Contrario a nuestros resultados, en donde independientemente del tratamiento térmico y la temperatura de conservación, no se registraron diferencias bien marcadas durante todo el periodo de almacenamiento, Lara et al. (2009), encontraron que los duraznos var. Dixiland expuestos a tratamiento térmico 39 °C por 3 días, presentaron un color naranja rojizo después del periodo de conservación con respecto al control. De igual forma, Budde et al. (2006), describieron que los frutos de duraznos var. Dixiland tratados con aire caliente (39 °C/ 24 y 36 h) presentaron coloraciones más rojizas, que podría estar explicado por el hecho de que la exposición de los frutos a altas temperaturas induce la degradación de las clorofilas y carotenoides y provoca un aumento en la síntesis de antocianos (Tomás-Barberán et al., 2001).

Por otra parte, en otros estudios, como por ejemplo el de Tareen et al. (2012), encontraron que, durante la conservación de duraznos a 0 °C por 4 semanas, se observó una disminución en los parámetros de color, luminosidad (35 a 26), tono (58° a 51°) y un leve aumento en los valores de croma (43 a 46). Resultados similares encontraron Zhou et al. (2012), donde los frutos de durazno presentaron una apariencia oscura reflejada en la reducción de luminosidad (80 a 68), acompañado con una disminución de tonos amarillos a naranja (85° a 63°) y un leve aumento en el parámetro de croma (16 a 26). Estos cambios, como por ejemplo la reducción de la luminosidad podrían estar explicados, por un aumento en la pérdida de agua (Delwiche y Baumgardner, 1983). También, los cambios de color probablemente podrían estar relacionados a la degradación de la clorofila y un aumento en la síntesis de antocianinas, un proceso desencadenado por el C₂H₄ (Wills et al., 1998).

3.4. POLIFENOLES TOTALES (PT)

En la Figura 15, se presentan los resultados de la evolución del contenido de polifenoles totales para la variedad Big Top. No se encontraron diferencias entre tratamientos durante la conservación a 0 °C, donde los valores se mantuvieron estables y en torno a los 0,24 mg EAG g⁻¹ PF (Fig. 15A). Sin embargo, en vida mostrador, el tratamiento térmico determinó que el contenido de PT fuera mayor en los periodos de

6+6 y 27+6 días, con valores de 0,37 y 0,39 mg EAG g⁻¹ PF respectivamente (Fig. 15B). Al comparar el contenido de PT durante la conservación y en vida de mostrador, se observó un aumento donde los contenidos pasaron a ser casi el doble, independientemente del tratamiento.

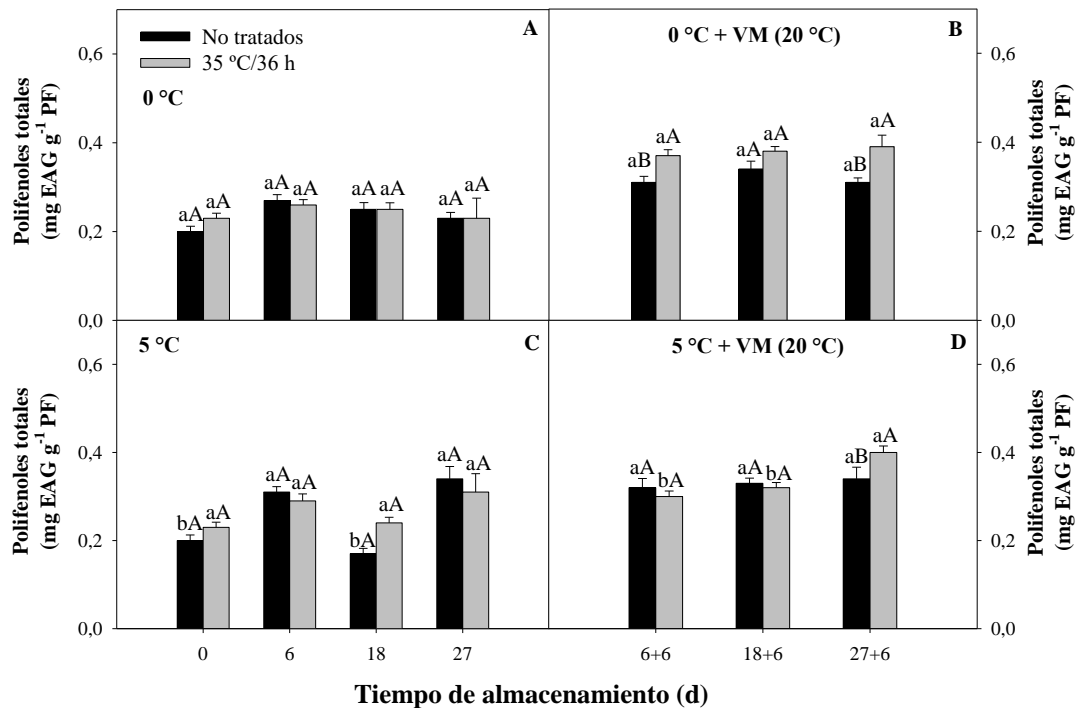


Figura 15. Polifenoles totales en nectarinas var. Big Top durante la conservación a 0 y 5 °C y en vida mostrador (VM). Los valores son medias (n=21) ± error estándar de la media. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey p<0,05).

De manera similar, no fueron encontradas diferencias en el contenido de PT de los frutos tratados y no tratados conservados a 5 °C donde los valores iniciales y finales estuvieron entre 0,22 y 0,32 mg EAG g⁻¹ PF respectivamente (Fig. 15C). Al final del periodo de vida mostrador (27+6 días), los frutos tratados presentaron un 15% más de PT que los no tratados (Fig. 15D). En este caso, el contenido de PT no mostró diferencias entre los valores registrados durante la conservación y en vida mostrador.

Al analizar el efecto de la temperatura (0 y 5 °C) en los frutos tratados no se encontraron diferencias, presentando valores de 0,24 y 0,27 mg EAG g⁻¹ PF cuando fueron almacenados a 0 y 5°C, respectivamente. Sin embargo, en vida mostrador, los conservados a 0 °C mantenidos por 6+6 y 18+6 días presentaron entre 16 y 19% más PT que los que procedían de 5 °C. En los frutos no tratados, se observó que los conservados por 18 días presentaron 32% más de PT, mientras que, a los 27 días ocurrió lo contrario (datos no mostrados).

Los resultados obtenidos en la variedad Fantasía se muestran en la Figura 16. Con relación a la evolución en el tiempo, en el caso de los frutos conservados a 0 °C, se observaron niveles más altos a los 6 y a los 27 días en los frutos que fueron sometidos al tratamiento térmico. En el caso de los no tratados, se observó un aumento solamente a los 6 días. Al analizar el efecto del tratamiento térmico, solo se encontraron diferencias estadísticas a los 27 días donde los frutos tratados presentaron valores de PT 37% mayores que los no tratados (Fig. 16A). En vida mostrador, los niveles de PT fueron en general superiores a los medidos durante el almacenamiento. El contenido se mantuvo prácticamente constante en el tiempo, principalmente en el caso de los frutos tratados térmicamente. Al evaluar el efecto del tratamiento, no se registraron diferencias entre frutos tratados y no tratados, con valores entre 0,6 y 0,8 mg EAG g⁻¹ PF (Fig. 16B).

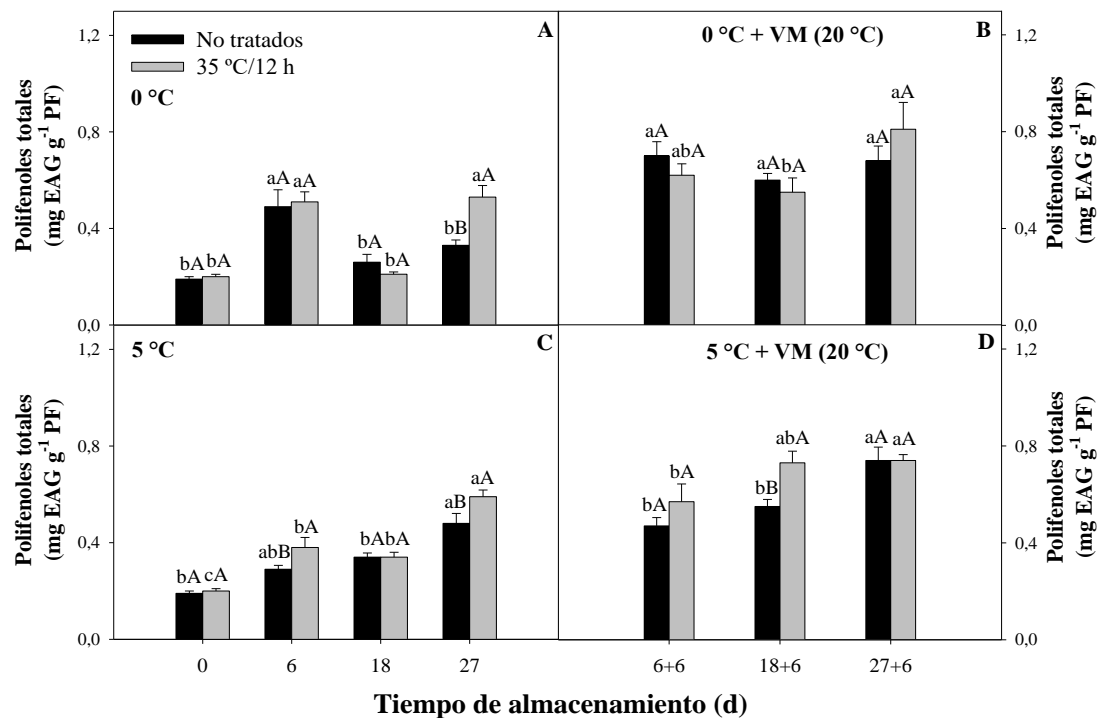


Figura 16. Polifenoles totales en nectarinas var. Fantasía durante la conservación a 0 y 5 °C y en vida mostrador (VM). Los valores son medias (n=21) ± error estándar de la media. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey p<0,05).

Cuando se realizó la conservación a 5 °C, el contenido de PT se mantuvo prácticamente sin variaciones, pero aumentó se observó un aumento a los 27 días. Los frutos tratados almacenados por 6 y 27 días presentaron valores de PT 23% y 18% mayores que los frutos no tratados, respectivamente (Fig. 16C). En vida mostrador, el contenido de PT fue mayor que en conservación. Los frutos tratados mantenidos por 18+6 días presentaron más polifenoles totales (0,73 mg EAG g⁻¹ PF) que los frutos no tratados (0,55 mg EAG g⁻¹ PF), tal como se muestra en la Figura 16D.

Al analizar el efecto de la temperatura en los frutos tratados, se observó que los conservados a 0 °C por 6 días presentaron valores de PT 25% mayores que los conservados a 5 °C, mientras que a los 18 días ocurrió lo contrario. Con respecto a los

frutos no tratados, los mantenidos a 0 °C por 6 días presentaron 40% más de PT, en cambio, al final de la conservación los mantenidos a 5 °C presentaron valores 30% mayores. En vida mostrador, inicialmente los frutos no tratados conservados a 0 °C presentaron un contenido de polifenoles 32% mayor que los conservados a 5 °C (datos no mostrados).

En el caso de la variedad *Elegant Lady*, los valores medidos de PT se mantuvieron prácticamente sin variaciones durante todo el periodo de conservación a 0 °C y sin diferencias entre tratados y no tratados con calor, con valores alrededor de 0,27 mg EAG g⁻¹ PF (Fig. 17A). Mientras en vida mostrador (6+6), los frutos tratados mostraron un contenido de PT 50% mayor con relación a los no tratados (Fig. 17B).

Durante la conservación a 5 °C, el comportamiento observado no difirió del observado a 0 °C donde los valores se mantuvieron estables durante los 27 días de conservación sin que se encontraran diferencias entre los frutos tratados y no tratados, con valores medidos de 0,25 mg EAG g⁻¹ PF (Fig. 17C). También aquí se observa un notorio incremento de PT en vida mostrador. Sin embargo, en estas condiciones, los frutos no tratados mantenidos por 6+6 días presentaron valores de polifenoles 35% mayores con relación a los tratados (Fig. 17D).

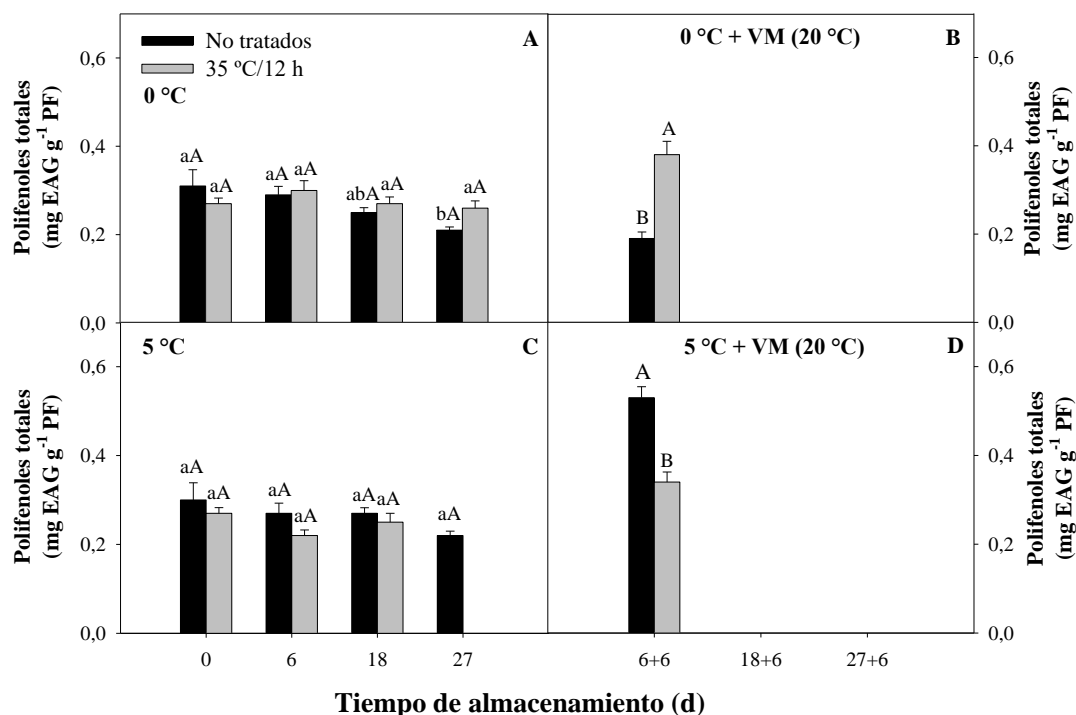


Figura 17. Polifenoles totales en duraznos var. *Elegant Lady* durante la conservación a 0 y 5 °C y en vida mostrador (VM). Los valores son medias (n=21) ± error estándar de la media. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey $p < 0,05$).

Al analizar el efecto de la temperatura en los frutos tratados, solo se registraron diferencias a los 6 días de conservación, siendo los frutos almacenados a 0 °C los que presentaron un contenido de PT 26% mayor que los almacenados a 5 °C. En los frutos no tratados no se presentaron diferencias entre los conservados a 0 y 5 °C. Los valores medidos se mantuvieron estables durante todo el periodo de conservación. En cambio, en vida mostrador (6+6 días), los frutos provenientes de 5 °C presentaron 64% más de PT (datos no mostrados).

Con relación a la evolución en el tiempo de los PT de frutos sensibles al frío y almacenados a temperaturas no adecuadas, los autores mencionan que hay un aumento progresivo durante la primera semana que se considera como la etapa de alarma donde aumenta la producción de EROS y se produce también un aumento en la protección de

los sistemas antioxidante para aliviar el estrés (Toivonen, 2004, Romojaro, 2016). Este comportamiento se observó en los frutos no tratados de Big Top a 5 °C, situación considerada como propicia para el desarrollo del daño por frío. También se observó en la variedad Fantasía, tanto en los frutos tratados como no tratados, pero en este caso almacenados a 0 °C, quizás aquí hubo un aumento en los almacenados a 5 °C pero que no logró medirse porque fueron inmediatamente consumidos por la mayor cantidad de EROS presentes en esta condición. Este comportamiento fue reportado por otros autores que mencionan que la aparente no respuesta frente a una temperatura baja estresante en algunos productos vegetales, podría deberse a una cinética similar de síntesis y degradación fenólica que equilibra la concentración final (Heredia y Cisneros-Zeballos, 2009, Vithana et al., 2018). También los frutos tratados de esta variedad conservados a 5 °C mostraron el aumento de PT inicial.

En general, si las condiciones de estrés se mantienen luego de ese primer periodo inductor, los niveles de PT disminuyen ya que estos antioxidantes no enzimáticos se consumen en el proceso de tratar de resistir al daño (Toivonen, 2004). Esto no se observó en todos los casos, solamente a los 18 días de conservación en los frutos no tratados de la variedad Big Top a 5 °C y en frutos de Fantasía tanto tratados como no tratados mantenidos a 0 °C. Sin embargo, en las mediciones realizadas a los 27 días, los niveles aumentaron nuevamente indicando que de alguna manera los frutos recuperaron su capacidad de producir compuestos fenólicos antioxidantes.

En ninguna de las variedades se observó un agostamiento de los PT por lo que podría decirse que el sistema no fue sobrepasado, en especial en los frutos sometidos al tratamiento con calor, aunque tampoco puede generalizarse una respuesta ya que cada variedad presentó un comportamiento distinto. Esto podría estar vinculado al hecho que la composición y las concentraciones de PT varían según la madurez, el genotipo y las condiciones de almacenamiento poscosecha (Kalinowska et al., 2014).

El aumento en el contenido de PT observado en el periodo de vida mostrador en relación a conservación puede estar vinculado a que, por el aumento de la temperatura, se acelera el metabolismo y el daño se manifiesta en mayor medida. En esta situación también se activan en mayor medida los mecanismos del fruto para protegerse del

daño, que en este caso implican un aumento de los PT que son compuestos con actividad antioxidante.

Con relación al efecto de los tratamientos térmicos, los resultados son bastante variables según el producto, tipo de tratamiento, condiciones del tratamiento y condiciones de conservación. En el caso de granadas tratadas con agua caliente (45 °C/4 min), los niveles de PT aumentaron en los frutos tratados durante la conservación a 2 °C por 90 días (Mirdehghan et al., 2006). Resultados similares se observaron en el estudio realizado por Peng et al. (2009), donde encontraron que el tratamiento térmico (aire caliente 38 °C/3 h) aplicado a frutos de durazno antes del proceso de conservación, estimuló el aumento en la síntesis de compuestos fenólicos, siendo los frutos tratados los que presentaron los valores más altos. Spadoni et al. (2014) indicaron que al tratar frutos de durazno con agua caliente (60 °C/20 s), se potenciarían algunas actividades enzimáticas asociadas con la biosíntesis de compuestos fenólicos en duraznos.

Por otra parte, Nasef (2018) indica que la inmersión de pepinos en agua caliente (45-55 °C/5 min) afectó los niveles de PT tanto en conservación a 4 °C como en vida mostrador a 20 °C. Cuando los frutos permanecieron almacenados por 7 días y 21 en frío, los niveles de PT aumentaron cuando fueron transferidos a vida mostrador. Si bien no se encontraron diferencias entre tratados y no tratados a los 7+4 días, en el momento 21+4 los pepinos tratados fueron los de mayor contenido de PT. Estos autores atribuyeron ese aumento a una reducción en la actividad de las enzimas PPO y POD.

Por otra parte, en la variedad Fantasía el tratamiento térmico tuvo un cierto efecto ya que mostró diferencias en alguno de los momentos analizados (27 días a 0 °C; 6 y 27 días a 5 °C y 18+6 días cuando provenían de 5 °C). En Elegant Lady no hubo diferencias en conservación y no se cuenta con suficientes datos de vida mostrador como para determinar si hubo o no efecto.

3.5. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE TOTAL

En la Figura 18, se presentan los valores de capacidad antioxidante total para los diferentes tratamientos y momentos de conservación en la variedad Big Top. A diferencia de lo observado en los PT, que son uno de los responsables de la capacidad antioxidante total, en este caso se observaron diferencias entre momentos y tratamientos. Se encontró que los frutos no tratados conservados a 0 °C por 6 y 27 días presentaron mayor capacidad antioxidante, con valores de 0,42 y 0,45 mg EAA g⁻¹ PF respectivamente, valores que correspondían a casi al doble de los medidos en los frutos no tratados (Fig. 18A). Considerando el efecto del tiempo de conservación, en los frutos no tratados se observó un aumento a los 6 días, una reducción a los 18 días y finalmente un nuevo aumento a los 27 días. Por su parte, en los frutos sometidos al tratamiento térmico la capacidad antioxidante total se mantuvo sin cambios durante los 27 días de conservación.

Cuando los frutos fueron transferidos a vida mostrador, los frutos tratados presentaron una capacidad antioxidante total entre 20 y 25% mayor que los no tratados durante todo el periodo de almacenamiento (Fig. 18B). Tanto en los frutos tratados como en los no tratados, la capacidad antioxidante total disminuyó con el transcurso del tiempo. En este caso no se observaron diferencias entre los valores medidos durante la conservación y los medidos en vida mostrador, contrariamente a lo que sucedió con los PT.

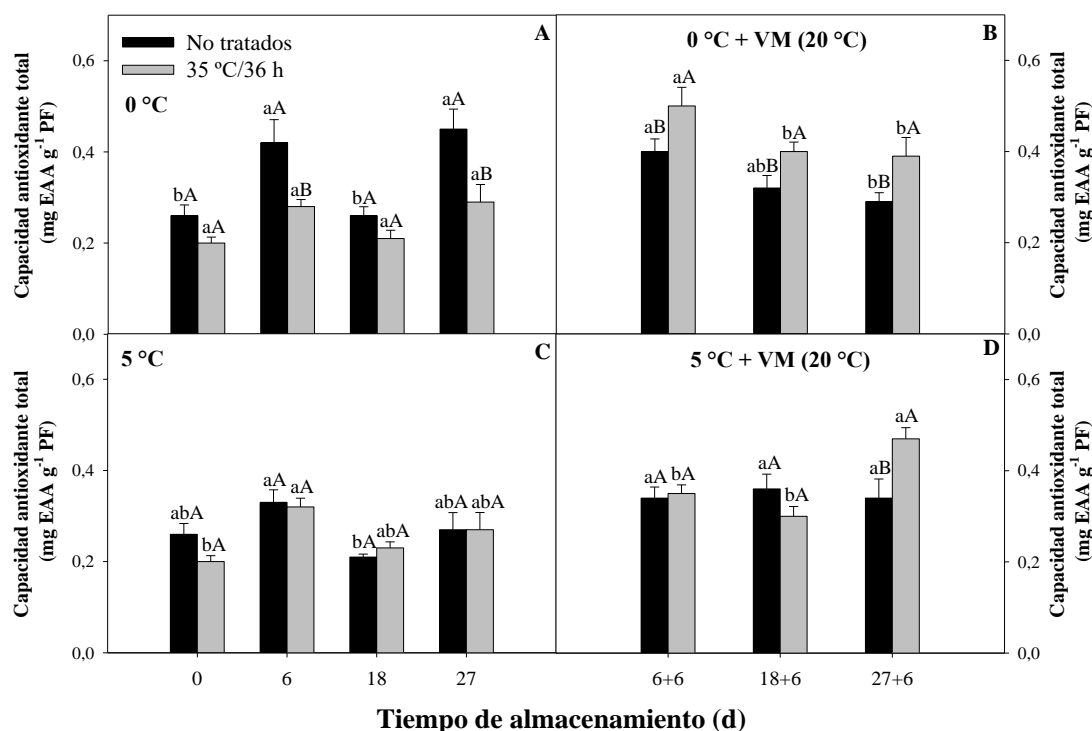


Figura 18. Capacidad antioxidante total en nectarinas var. Big Top durante la conservación a 0 y 5 °C y en vida mostrador (VM) Los valores son medias (n=21) ± error estándar de la media. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey p<0,05).

Cuando se realizó la conservación a 5 °C no se presentaron diferencias entre los frutos tratados y no tratados. Los valores promedios medidos al momento de cosecha y final de la conservación fueron de 0,23 mg EAA g⁻¹ PF y 0,27 mg EAA g⁻¹ PF, respectivamente (Fig. 18C). En este caso, la capacidad antioxidante total tanto de frutos tratados como no tratados, se mantuvo sin grandes variaciones durante la conservación refrigerada. Al final del periodo de vida mostrador (27+6 días) los frutos tratados presentaron valores de capacidad antioxidante 23% mayores que los no tratados (Fig. 18D). Los valores medidos en este momento fueron de casi el doble de los medidos durante la conservación.

Al analizar el efecto de la temperatura en los frutos tratados, no se registraron diferencias entre los conservados a 0 y 5 °C. Sin embargo, cuando fueron transferidos

a vida mostrador, los conservados a 0 °C mantenidos por 6+6 y 18+6 días, presentaron valores de capacidad antioxidante total entre 44% y 25% mayores que los conservados a 5 °C. En los frutos no tratados, los valores más altos se observaron en los conservados a 0 °C (datos no mostrados).

La capacidad antioxidante total de los frutos de la variedad Fantasía presentó diferencias según los frutos fueran o no tratados con calor cuando se conservaron a 0 °C. En esta situación y en los momentos 6 y 27 días, los frutos tratados con calor presentaron valores superiores de capacidad antioxidante total con valores de 0,90 y 0,85 mg EAA g⁻¹ PF respectivamente (Fig. 19A). Considerando el efecto del tiempo de conservación, los valores fueron superiores a los 6 y 27 días, independientemente del tratamiento. En vida mostrador, se presentó un ligero aumento al final del almacenamiento (27+6 días), siendo los frutos tratados los que presentaron un 29% más de capacidad antioxidante total que los frutos no tratados (Fig. 19B).

En el caso de los conservados a 5 °C, la capacidad antioxidante total aumentó durante la conservación sin que se encontraran diferencias entre tratados y no tratados con calor. Al inicio la capacidad antioxidante total alcanzó un valor promedio de 0,16 mg EAA g⁻¹ PF, mientras que al final el valor promedio fue de 0,59 mg EAA g⁻¹ PF (Fig. 19C). En vida mostrador, los valores se mantuvieron estables durante todo el almacenamiento, entre 0,7 y 0,8 mg EAA g⁻¹ PF (Fig. 19D).

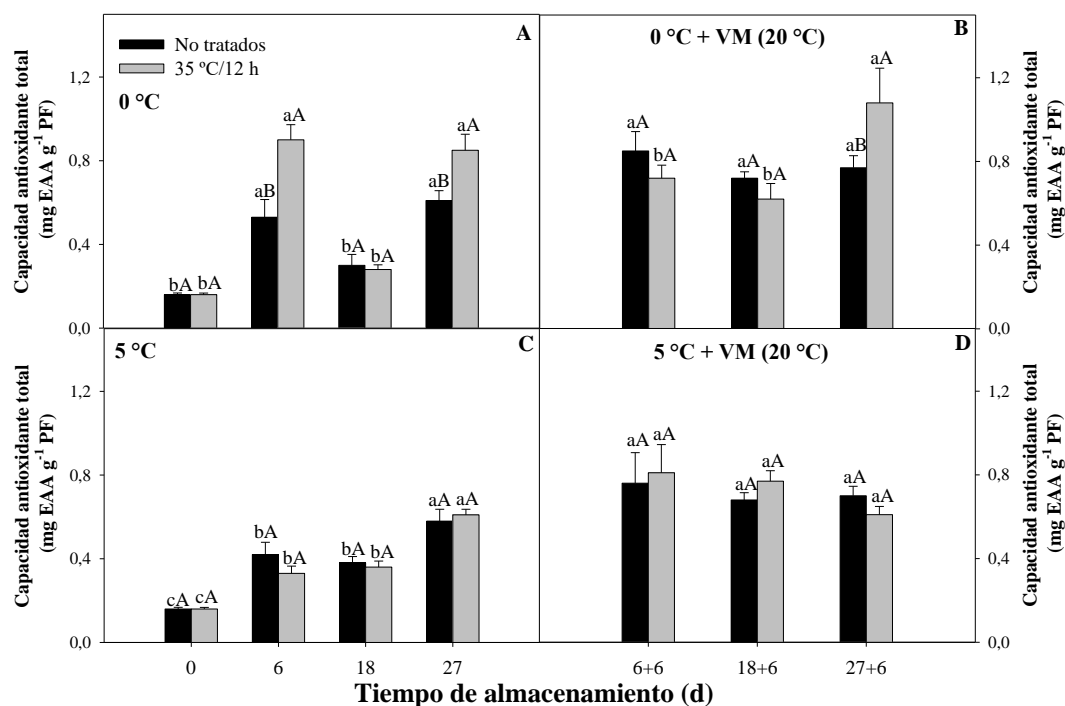


Figura 19. Capacidad antioxidante total en nectarinas var. Fantasía durante la conservación a 0 y 5 °C y en vida mostrador (VM). Los valores son medias (n=21) ± error estándar de la media. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey p<0,05).

Cuando se analizó el efecto de la temperatura en los frutos tratados, los conservados a 0 °C por 6 y 27 días presentaron valores de capacidad antioxidante total 63% y 29% mayores que los conservados a 5 °C. Mientras que, al final del periodo de vida mostrador, los conservados a 0 °C superaron en un 43% a los conservados a 5 °C. En los frutos no tratados, no se presentaron diferencias tanto en conservación como en vida mostrador (datos no mostrados).

Los resultados obtenidos en la variedad Elegant Lady se muestran en la Figura 20, en donde no se presentaron diferencias entre los frutos tratados y no tratados durante la conservación a 0 °C. Cabe mencionar que la capacidad antioxidante total se mantuvo estable hasta los 18 días, con valores de entre 0,35 y 0,40 mg EAA g⁻¹ PF y

disminuyó a los 27 días donde alcanzó valores en torno a 0,4 mg EAA g⁻¹ PF (Fig. 20A).

A 5 °C, luego de 6 días de conservación, los frutos no tratados presentaron valores de capacidad antioxidante total un 33% mayores que los tratados (Fig. 20C). A lo largo de la conservación se observa en los frutos no tratados un mayor valor a los 6 días para disminuir posteriormente. En cambio, en los frutos tratados los valores se mantuvieron estables. Ya en vida mostrador los frutos no tratados mantenidos por 6+6 días presentaron un valor de capacidad antioxidante total superior, de 0,67 mg EAA g⁻¹ PF (Fig. 20D).

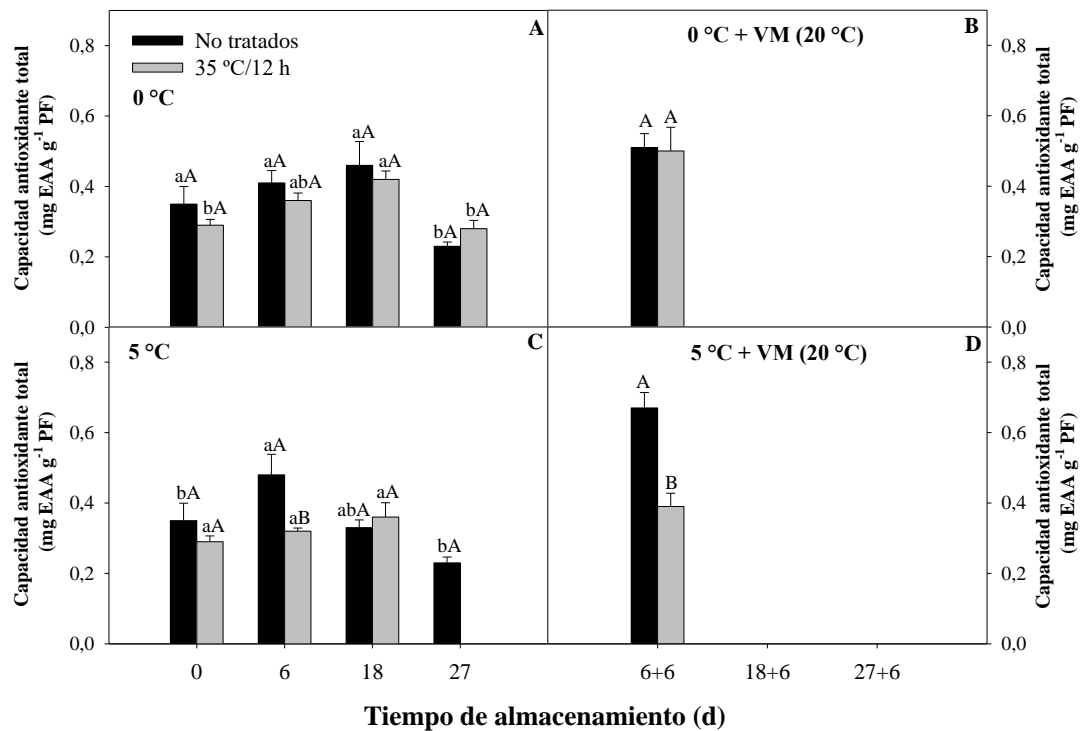


Figura 20. Capacidad antioxidante total en duraznos var. Elegant Lady durante la conservación a 0 y 5 °C y en vida mostrador (VM). Los valores son medias (n=21) ± error estándar de la media. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey p<0,05).

El efecto de la temperatura no registró diferencias en los valores medidos durante todo el periodo de conservación en frutos tratados y no tratados (datos no mostrados).

La mayor parte de la capacidad antioxidante total en frutas y hortalizas se debe, principalmente, a su contenido en vitamina E, C y carotenos, así como diferentes polifenoles, por lo que era esperable que la evolución de la capacidad antioxidante total fuera semejante a la de los PT (Bravo, 1998, Diplock et al., 1998).

En relación a la variedad Big Top, la principal diferencia entre el comportamiento de los PT y la capacidad antioxidante total se observó en los frutos mantenidos a 0 °C donde, el primer caso no se encontraron diferencias y en el segundo caso los frutos no tratados presentaron mayores valores a los 6 y 27 días indicando que incluso a esta temperatura, identificada como menos estresante, hay una situación de estrés que estimularía la producción de compuestos antioxidantes de naturaleza no fenólica. Otro aspecto que reforzaría esta hipótesis es el hecho de que, en vida mostrador, los frutos tratados mostraron mayores niveles de capacidad antioxidante total en todos los momentos de análisis y no solo a los 27 días que fue el momento en que se diferenciaron por su contenido de PT.

En la variedad Fantasía también se observó una mayor capacidad antioxidante total en los frutos tratados con calor luego de 6 días de conservación a 0 °C que corresponde con la variación de los PT ya que en este momento no se registraron diferencias para estos compuestos. Por lo tanto, también en este caso existirían compuestos de naturaleza no fenólica que estarían explicando el aumento de la capacidad antioxidante total. Considerando a la capacidad antioxidante total y a los PT, podría decirse que en esta variedad el tratamiento con aire caliente presentó un efecto de estimulación del sistema antioxidante no enzimático, pero este no fue claro para el caso de las otras dos variedades evaluadas.

La participación de otros compuestos en la capacidad antioxidante total de los frutos fue previamente reportada en otros trabajos. En este sentido, Elhadi et al. (2007) encontraron que, tomates tratados con aire caliente (34 °C/24 h) presentaron un

aumento en los valores de capacidad antioxidante total, evidenciado por la acumulación del contenido de ácido ascórbico y licopeno.

Con relación al efecto de los tratamientos térmicos en general, Vicente et al. (2006) encontraron que los valores de capacidad antioxidante total fueron, mayores en frutillas tratadas con aire caliente (45 °C/3 h), lo que ayudaría a la fruta a sobrellevar la sobreproducción de las EROS.

3.6. FUGA DE ELECTROLITOS

Los resultados de la permeabilidad de la membrana, determinada como porcentaje de fuga de electrolitos (%FE) en la variedad Big Top, se presentan en la Figura 21. De acuerdo a ellos, el % FE medido en los frutos tratados con calor, fue superior al de los frutos no tratados en el caso de los frutos conservados a 0 °C. Los frutos tratados conservados a 0 °C luego de 0, 6 y 27 días presentaron valores 11%, 6% y 9% mayores que los frutos no tratados respectivamente (Fig. 21A). Con relación a la evolución en el tiempo, en los frutos que fueron tratados con calor ya desde el inicio el % FE era elevado y se mantuvo prácticamente sin cambios. En el caso de los frutos no tratados, se observó un aumento a los 18 días, aunque en el día 27 bajó nuevamente hasta alcanzar los valores iniciales (0 y 6 días).

Con relación al comportamiento en vida mostrador, en ambos casos (tratados y no tratados) luego de 27+6 días, se observó un aumento que fue de un 3% mayor en el caso de los frutos tratados con calor (Fig. 21D).

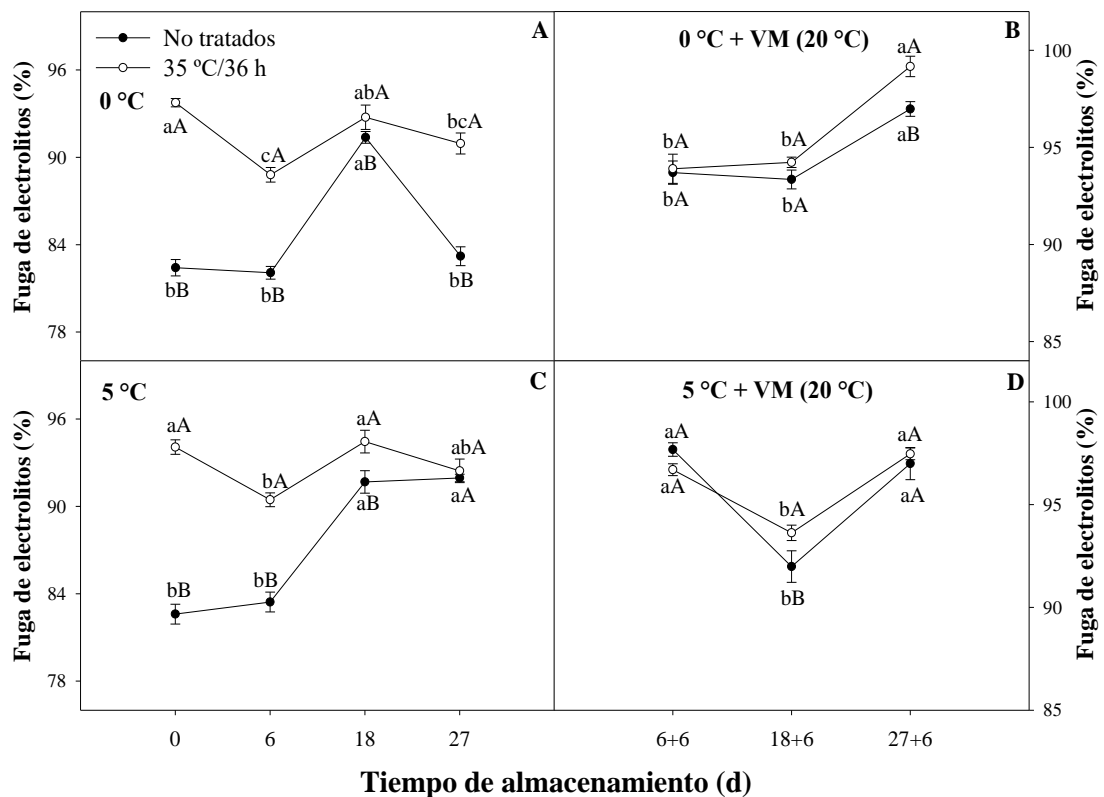


Figura 21. Fuga de electrolitos (%) en nectarinas var. Big Top durante la conservación a 0 y 5 °C y en vida mostrador (VM). Los valores son medias (n=21) ± error estándar de la media. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey $p < 0,05$).

Cuando se realizó la conservación a 5 °C, se observó un comportamiento similar al observado a 0 °C, ya que los frutos tratados presentaron mayores % FE desde el inicio hasta los 18 días de conservación. Luego de 27 días, no se encontraron diferencias entre tratados y no tratados (Fig. 21C). En vida mostrador, los frutos tratados mantenidos por 18+6 días mostraron un 2% más de fuga que los no tratados. Sin embargo, en los restantes momentos de evaluación no se encontraron diferencias entre tratados y no tratados (Fig. 21D).

Al analizar el efecto de la temperatura, no se encontraron diferencias entre ambas en el caso de frutos que fueron tratados con calor. Esto indica que los frutos tuvieron su membrana afectada en igual magnitud y que la temperatura no jugó un papel

importante en este caso. En vida mostrador aparecieron ciertas diferencias donde al final de dicho periodo, los conservados a 5 °C presentaron valores 3% mayores que los conservados a 0 °C. En los frutos no tratados, al final del almacenamiento los conservados a 5 °C presentaron 8% más de % FE, lo que estaría indicando que la temperatura de 5 °C afecta en mayor medida la permeabilidad de la membrana. En vida mostrador, inicialmente los valores más altos de % FE correspondieron a los conservados a 5 °C, pero esta diferencia inicial no se mantuvo con el tiempo (datos no mostrados).

En la variedad Fantasía, las diferencias entre frutos tratados y no tratados conservados a 0 °C fue bastante similar a lo observado para Big Top. Tanto luego de 18 como 27 días de conservación los frutos que no fueron sometidos al tratamiento térmico superaron el % FE de los no tratados en un 8 y 3% respectivamente. La excepción fue lo observado luego de 6 días de conservación donde sucedió lo contrario, siendo los no tratados los que mostraron una mayor permeabilidad de la membrana con un valor 7% superior (Fig. 22A). En general se observó un aumento de la permeabilidad de la membrana con el transcurso del tiempo, a excepción de lo que sucedió en el día 6. En vida mostrador, inicialmente el mayor % FE se presentó en los frutos tratados, mientras que a los 18+6 y 27+6 días, los frutos no tratados mostraron un % FE 2% y 3% mayor que los tratados (Fig. 22B).

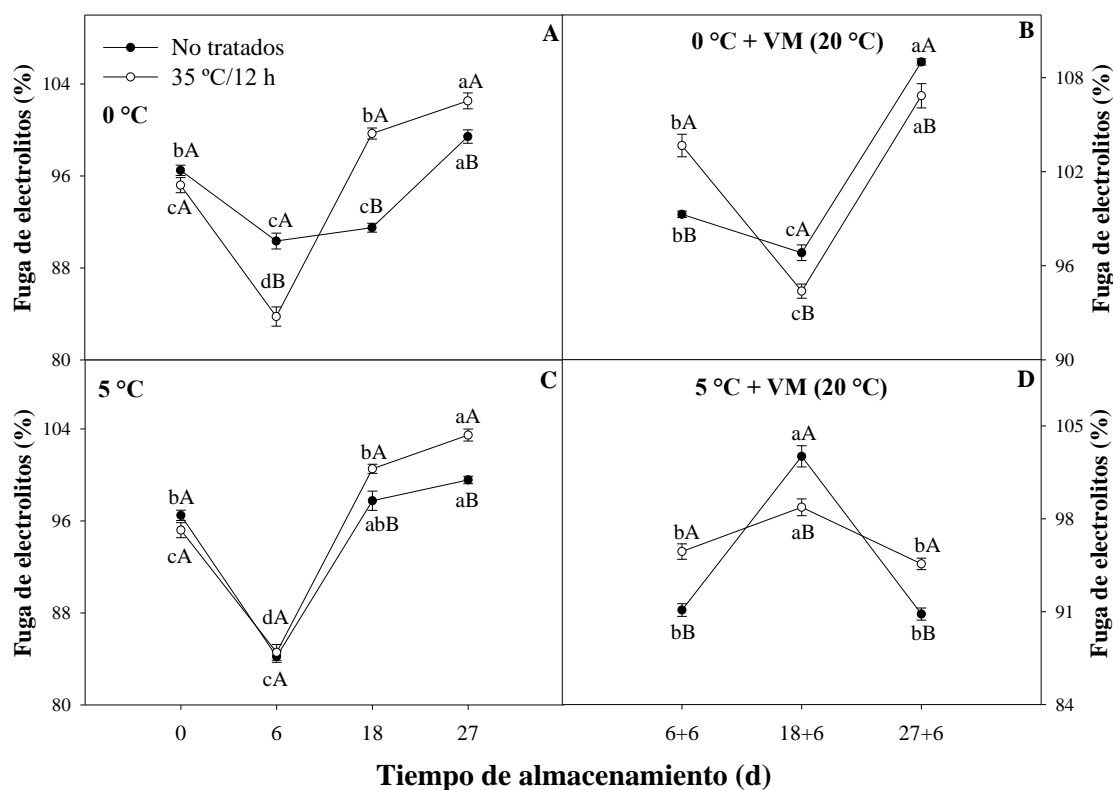


Figura 22. Fuga de electrolitos (%) en nectarinas var. Fantasía durante la conservación a 0 y 5 °C y en vida mostrador (VM). Los valores son medias ($n=21$) \pm error estándar de la media. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey $p < 0,05$).

También para el caso de los frutos tratados conservados a 5 °C por 18 y 27 días, el % FE fue de 3% y 4% más que en los no tratados (Fig. 22C). Con relación a la evolución en el tiempo, en ambos casos se observa una tendencia al aumento hacia el final de la conservación y también en este caso aparece la disminución en los valores luego de 6 días de conservación en relación a los valores medidos inicialmente.

En vida mostrador, los tratados mantenidos por 6+6 y 27+6 días presentaron mayor % FE, mientras que a los 18+6 días los frutos no tratados mostraron un % FE 4% mayor (Fig. 22D).

En la variedad *Elegant Lady* puede decirse que fue la situación donde se encontraron diferencias más claras entre los frutos tratados y no tratados con calor (Fig. 23). A 0 °C hubo un comportamiento a los 6 días y otro a partir de este momento y hasta el final de la conservación refrigerada. Al cabo de 6 días el % FE medido en los frutos tratados con calor fue un 3% mayor que el medido en los frutos no tratados. No obstante, a los 18 y 27 días, los frutos no tratados mostraron 6% y 2% mayor % FE que los tratados respectivamente (Fig. 23A). Claramente aquí se registra un aumento en el % FE tanto en los tratados y los no tratados con el transcurso de la conservación indicando una pérdida progresiva de la permeabilidad de la membrana.

En el caso de la conservación a 5 °C, los frutos tratados mantenidos a 6 y 18 días presentaron una menor permeabilidad de la membrana, evidenciada como un mayor % FE (Fig. 23C). A los 27 días los frutos tratados no pudieron ser evaluados porque se habían perdido en su totalidad como consecuencia de podredumbres. También en este caso hay un claro aumento del % FE con el transcurso de la conservación, independientemente del tratamiento considerado.

Cuando se analizó el efecto de la temperatura en los frutos tratados, los conservados a 5 °C presentaron una membrana más afectada, es decir con mayor permeabilidad. Con respecto a los frutos no tratados, a los 6 días los frutos conservados a 5 °C presentaron valores 5% superiores en relación a los conservados a 0 °C. En los demás periodos de análisis no se encontraron diferencias (datos no mostrados).

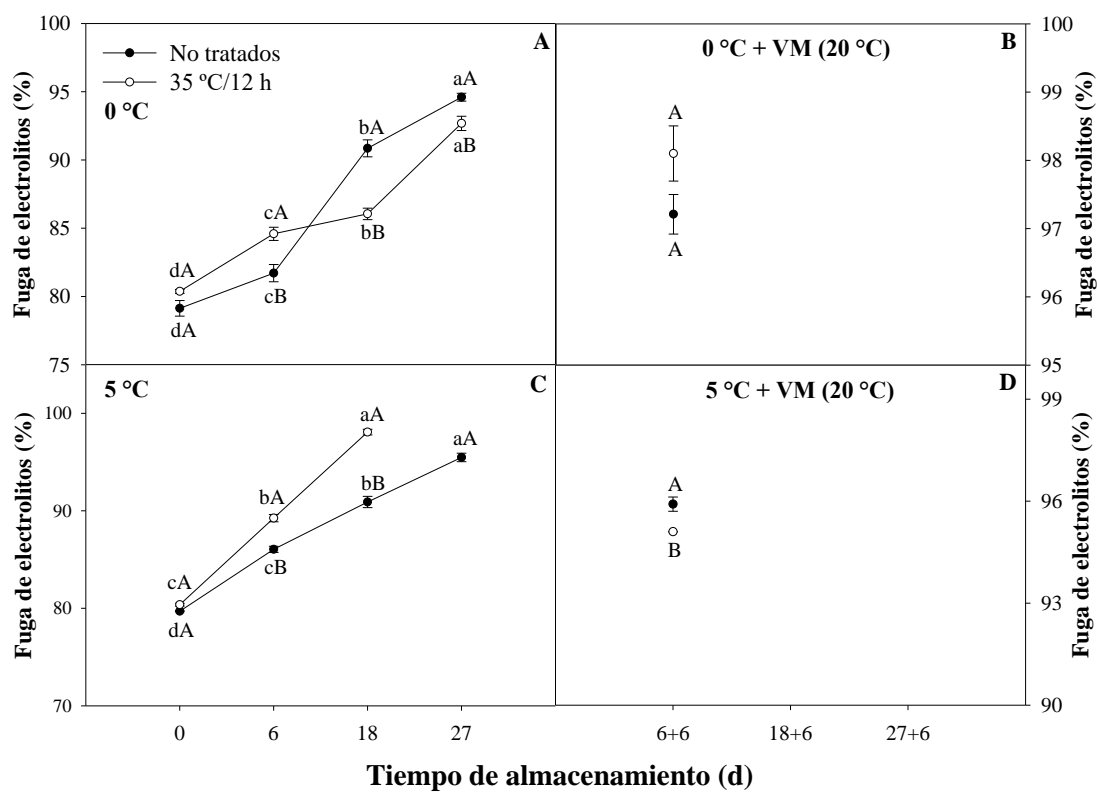


Figura 23. Fuga de electrolitos (%) en duraznos var. *Elegant Lady* durante la conservación a 0 y 5 °C y en vida mostrador (VM). Los valores son medias (n=21) ± error estándar de la media Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey p<0,05).

La fuga de electrolitos es un indicador indirecto de la integridad de la membrana plasmática de los frutos y el aumento de éste, están asociados con pérdidas de la misma (Zhou et al., 2011).

Según He et al. (2012), los tratamientos con aire caliente permiten reducir la incidencia de los daños por frío ya que lograrían una mayor estabilidad de las membranas evidenciada a través del menor %FE. Sin embargo, en nuestros resultados, específicamente en la variedad *Big Top*, el tratamiento térmico determinó un aumento en el %FE, lo que podría deberse a que el tratamiento fue excesivo, es decir que los frutos fueron expuestos demasiado tiempo al calor lo que podría haber provocado daño a nivel de la membrana, afectando así su estabilidad y en consecuencia facilitando el

aumento de la fuga de iones. Resultados similares se encontraron en el estudio realizado por Chen Huan et al. (2017), donde la aplicación del tratamiento térmico con aire caliente (38 °C/3 h) en duraznos, ocasionó daños en la integridad de las membranas, provocando un aumento en los niveles de fuga de electrolitos. A pesar de que el tiempo de exposición del tratamiento aplicado en ese estudio fue menor con respecto al nuestro, concluyen que el periodo prolongado de exposición de los frutos al aire caliente pudo haber provocado daños en la integridad de las membranas.

Si bien el tiempo de exposición empleado en las variedades Fantasía fue menor al utilizado en Big Top, los resultados tampoco fueron satisfactorios puesto que los frutos tratados resultaron más afectados. En el caso de Elegant Lady puede decirse que el tiempo de exposición si resultó adecuado ya que en este caso se observó un mantenimiento de las membranas hacia el final de la conservación en los frutos mantenidos a 0 °C. Esto podría estar indicando que existe diferente susceptibilidad entre las variedades analizadas al desarrollo del daño por frío. En este sentido existen varios reportes que indican un fuerte componente genético (Lurie y Crisosto, 2005, Peace et al., 2005). El hecho de que a 5 °C haya sucedido lo contrario podría estar asociado a que los frutos de durazno son más resistentes al daño cuando se conservan a 0 °C (Zhang y Tian 2009). Por lo tanto, en una situación de temperatura desfavorable el tratamiento térmico no sería suficiente para mantener la estabilidad de las membranas e incluso podría resultar hasta negativo. Para confirmar esta hipótesis sería necesario realizar más trabajos.

3.7. CONTENIDO DE MALONDIALDEHÍDO (MDA)

En la Figura 24 se presentan los resultados de la evolución del contenido de MDA en la variedad Big Top, según tratamiento. De los resultados obtenidos en este trabajo, puede decirse que, independientemente de la temperatura de almacenamiento, se observó un incremento en los niveles de MDA, a partir de los 18 días de conservación, tanto en los frutos tratados como en los no tratados. Los valores al

momento de cosecha fueron de alrededor de 6 mmol kg⁻¹ mientras que al final de la conservación se alcanzaron valores de 25,7 mmol kg⁻¹ PF (Fig. 24A-D).

Los frutos tratados conservados a 0 °C por 6 días presentaron valores de MDA 24% mayores que los no tratados, pero a los 27 días, los no tratados presentaron 12% más de MDA (Fig. 24A). En vida mostrador, los tratados mantenidos por 18+6 días presentaron un contenido de MDA 21% mayor que los no tratados, mientras que, a los 27+6 días los no tratados mostraron 14% más de MDA (Fig. 24B).

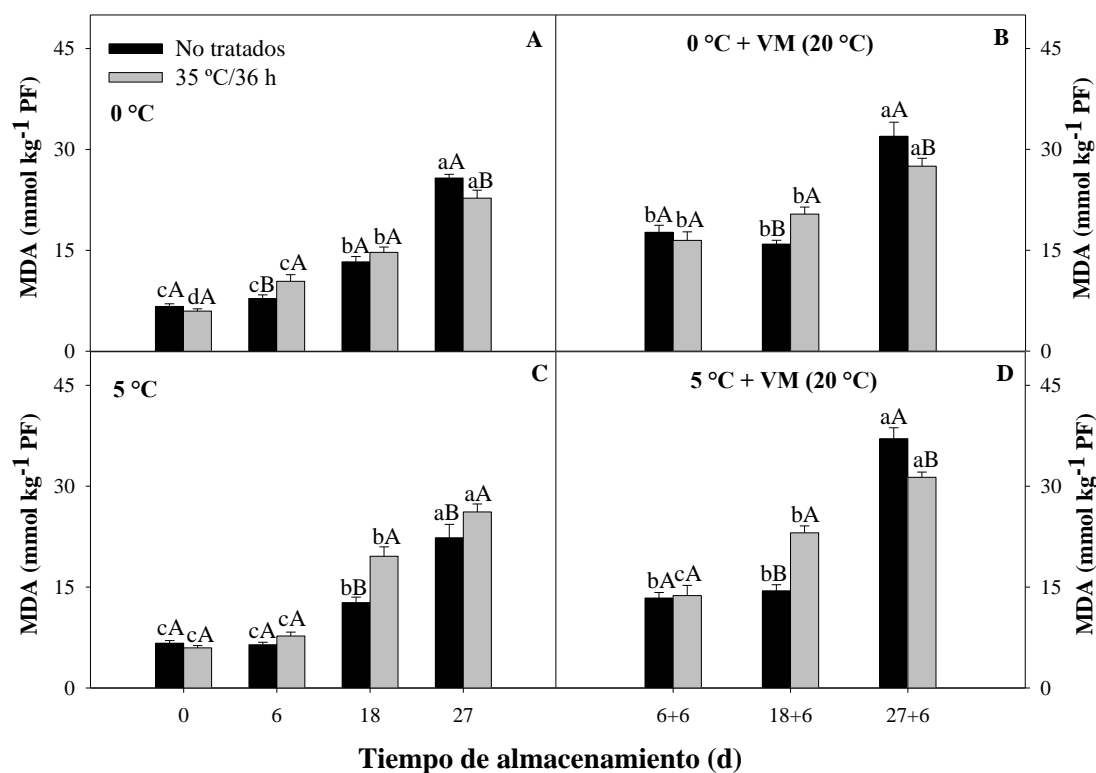


Figura 24. Contenido de malondialdehído (MDA) en nectarinas var. Big Top durante la conservación a 0 y 5 °C y en vida mostrador (VM). Los valores son medias (n=21) ± error estándar de la media. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey p<0,05).

Los frutos tratados conservados a 5 °C por 18 y 27 días presentaron mayor contenido de MDA que los no tratados, con valores de 19,5 y 26,1 mmol kg⁻¹ PF respectivamente (Fig. 24C). En vida mostrador, los frutos tratados mantenidos por

18+6 días presentaron valores de MDA 37% mayores que los no tratados, mientras que, a los 27+6 días, los frutos no tratados mostraron 14% más de MDA (Fig. 24D).

Con relación al efecto de la temperatura en los frutos tratados, los almacenados por 6 días a 0 °C presentaron un contenido de MDA 24% mayor que los mantenidos a 5 °C. Sin embargo, al final del periodo de conservación (18 y 27 días) los frutos conservados a 5 °C registraron un 25 y 13% más de MDA respectivamente. Cuando fueron transferidos a vida mostrador, inicialmente los frutos provenientes de 0 °C presentaron un contenido de MDA 16% mayor que los de 5 °C, en los periodos 18+6 y 27+6 días los frutos provenientes de 5 °C presentaron 11 y 12% más de MDA.

En los frutos no tratados, solo se registraron diferencias al final del periodo de conservación (27 días), siendo los frutos conservados a 0 °C los que presentaron un contenido de MDA 13% mayor que los mantenidos a 5 °C. En vida mostrador, los frutos conservados a 0 °C presentaron más MDA, pero al final del periodo de almacenamiento (27+6 días). Los conservados a 5 °C presentaron 13% más de MDA (datos no mostrados).

En la Figura 25, se muestran los resultados para la variedad Fantasía, en donde los niveles de MDA se mantuvieron estables hasta los 18 días de conservación a 0 °C, con un valor en torno a 11 mmol kg⁻¹ PF, aumentando al final del almacenamiento alcanzando valores en torno a 32 mmol kg⁻¹ PF (Fig. 25A). No se encontró efecto del tratamiento para los frutos conservados a esta temperatura. En vida mostrador, inicialmente los frutos tratados presentaron 27% más MDA, mientras que al final del almacenamiento (27+6 días), los no tratados presentaron niveles de MDA 20% mayores que los no tratados (Fig. 25D).

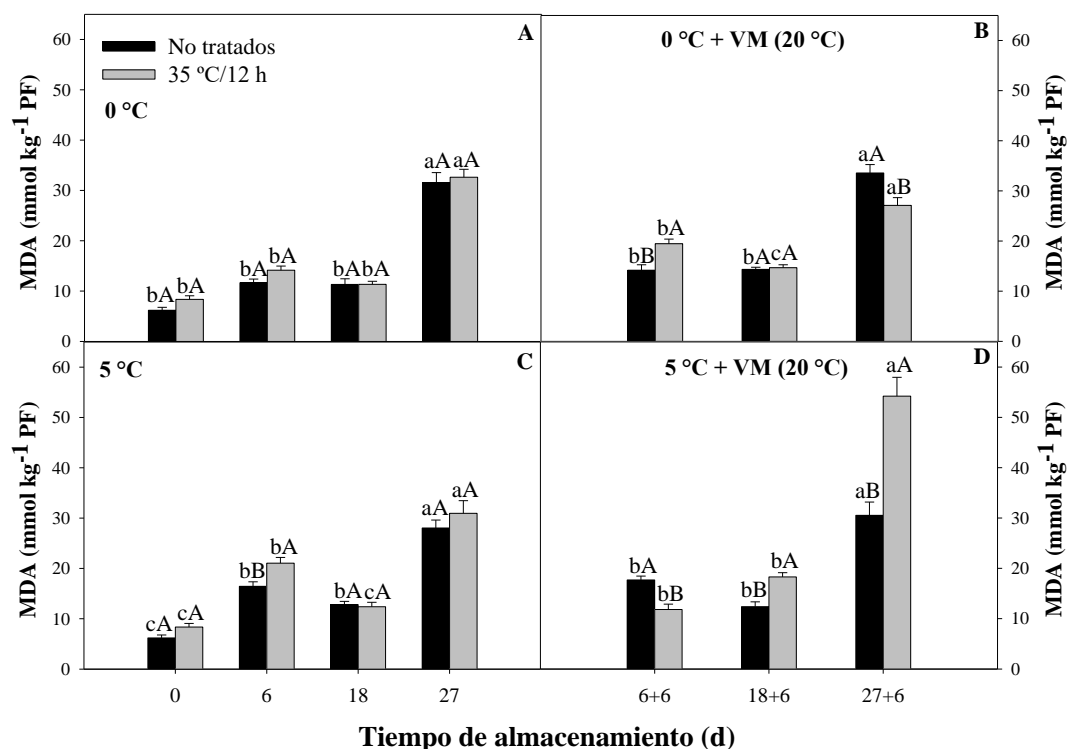


Figura 25. Contenido de malondialdehído (MDA) en nectarinas var. Fantasía durante la conservación a 0 y 5 °C y en vida mostrador (VM). Los valores son medias (n=21) ± error estándar de la media. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey p<0,05).

A los 6 días de conservación a 5 °C, el contenido de MDA fue 21% mayor en los frutos que recibieron tratamiento térmico, tal como se muestra en la Figura 25B. En vida mostrador, inicialmente los niveles más altos de MDA correspondieron a los frutos tratados, pero luego de 18+6 y principalmente a los 27+6 días, el contenido de MDA medido en los tratados fue superior, con valores de 18,3 y 54,22 mmol kg⁻¹ PF (Fig. 25D).

Con relación al efecto de la temperatura en los frutos tratados, solo se registró diferencia a los 6 días de conservación, siendo los conservados a 5 °C los que presentaron 32% más de MDA que los conservados a 0 °C. En vida mostrador, inicialmente los frutos conservados a 0 °C presentaron un contenido de MDA 29%

mayor, mientras que a los 27+6 días ocurrió lo contrario, donde los conservados a 5 °C presentaron 50% más de MDA que los conservados a 0 °C (datos no mostrados).

En los frutos no tratados, el efecto de la temperatura presentó diferencias en los frutos mantenidos a 6 y 27 días de conservación. A los 6 días, los frutos conservados a 5 °C presentaron 29% más de MDA, mientras que a los 27 días los conservados a 0 °C presentaron contenidos de MDA 11% mayor con relación a los conservados a 5 °C. Cuando los frutos fueron transferidos a vida mostrador, no se presentaron diferencias en todos los momentos evaluados (datos no mostrados).

Para el caso de la variedad *Elegant Lady*, los resultados se presentan en la Figura 26. En esta variedad ocurrió un aumento hasta los 18 días de conservación, tanto a 0 como a 5 °C y tanto en frutos con o sin tratamiento térmico, y al final del periodo los valores bajaron considerablemente.

Para el caso de los frutos no tratados conservados a 0 °C por 18 días, el contenido de MDA fue considerablemente superior al de los frutos tratados. A los 27 días sucedió lo contrario pasando a ser los tratados los que presentaron un 21% más de MDA (Fig. 26A).

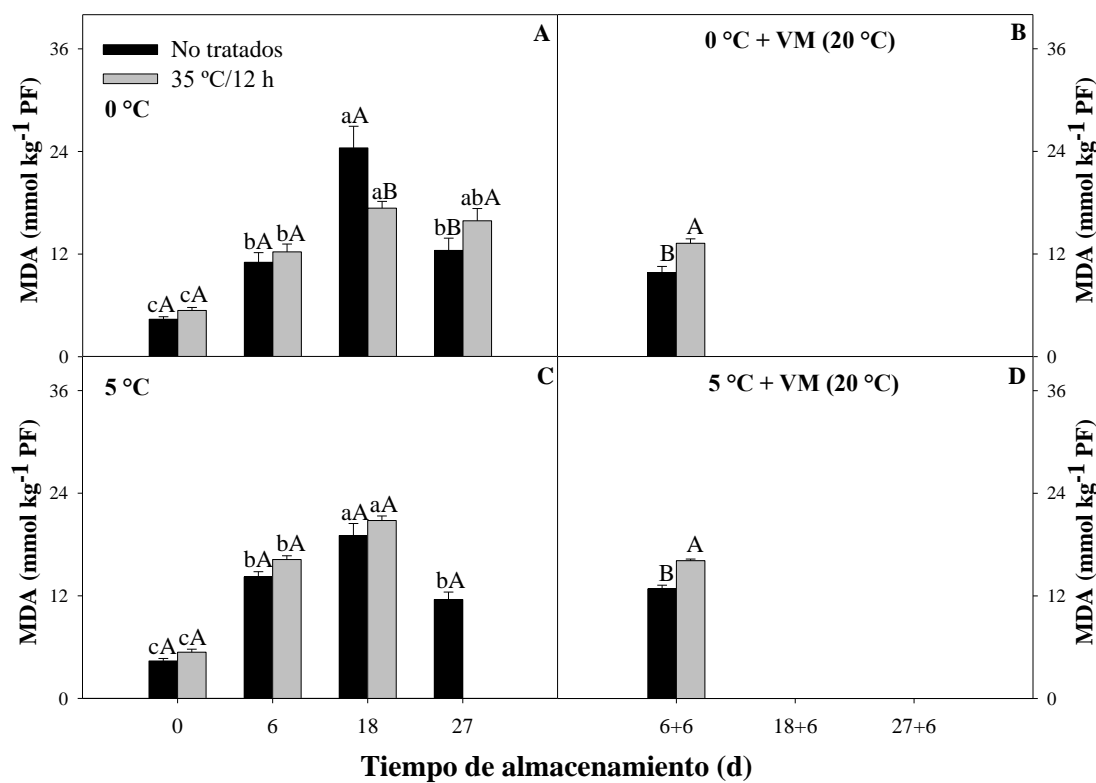


Figura 26. Contenido de malondialdehído (MDA) en duraznos var. Elegant Lady durante la conservación a 0 y 5 °C y en vida mostrador (VM). Los valores son medias (n=21) ± error estándar de la media. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey p<0,05).

Los frutos conservados a 5 °C presentaron un comportamiento similar a los conservados a 0 °C, donde los niveles de MDA aumentaron hasta los 18 días de conservación sin presentarse diferencias entre tratados y no tratados, los valores más altos estuvieron en torno a 20 mmol kg⁻¹ PF (Fig. 26C).

En vida de mostrador tanto a 0 como 5 °C y para el único momento en que fue posible hacer determinaciones, los valores de los tratados superaron al de los no tratados (Fig. 26D).

Al analizar el efecto de la temperatura en los frutos tratados, los conservados a 5 °C por 6 y 18 días presentaron un contenido de MDA 24% y 16% mayor que los

conservados a 0 °C. En los frutos no tratados se registraron diferencias a los 6 y 18 días de conservación. A los 6 días los frutos conservados a 5 °C presentaron más contenido de MDA, mientras que a los 18 días ocurrió lo contrario. En vida mostrador, tanto en frutos con o sin tratamiento térmico, los conservados a 5 °C presentaron mayor contenido de MDA (datos no mostrados).

El MDA es un marcador de oxidación en la membrana plasmática (Xing et al., 2011). La acumulación puede deberse a un aumento en la producción de EROS o bien, a una disminución en los sistemas antioxidantes, o a una combinación de estos factores.

Si bien en diferentes trabajos se han utilizado los tratamientos térmicos (aire y agua caliente) con el fin de suprimir la sobreproducción de las EROS (Yun et al., 2013), según los resultados de este trabajo, el tratamiento térmico no fue capaz de proteger a las membranas tanto en conservación como en vida mostrador, ya que no se observó un efecto constante durante todo el periodo de almacenamiento. De acuerdo a esto sería esperable que en los frutos que fueron tratados con calor el contenido de MDA fuera menor, lo que se observó en algunos momentos y en especial a 0 °C. Cabe destacar también que no se observó una relación entre el % FE y el contenido de MDA como hubiera sido esperable.

Chen Huan et al. (2017) encontraron que los tratamientos térmicos con aire caliente (38 °C/3 h) y agua caliente (48 °C/10 min) aplicados a frutos de durazno (cv. Xiagui 5) provocaron un efecto positivo en la disminución de la acumulación de MDA durante la conservación. Los valores obtenidos al final de la conservación a 1 °C estuvieron en torno a los 2,8 $\mu\text{mol g}^{-1}$ PF para ambos casos. Los autores lo asociaron a que el tratamiento logró suprimir la acumulación y sobreproducción de las EROS por lo que hubo una menor peroxidación de lípidos de las membranas. Resultados similares se encontraron el estudio realizado por Shao et al. (2013), donde la aplicación de aire caliente (45 °C/3 h) redujo la incidencia de daño por frío en los frutos de níspero, evidenciado por el menor contenido de MDA y fuga de electrolitos en los frutos tratados.

3.8. ACTIVIDAD ENZIMÁTICA

3.8.1. Superóxido dismutasa (SOD)

En la variedad Big Top y de acuerdo con los resultados obtenidos, se observó que, en los frutos no tratados conservados a 0 °C, la mayor actividad de la enzima ocurrió a los 6 días y a partir de ahí bajó casi 10 veces y se mantuvo estable. En los frutos que fueron tratados con calor se observaron mayores fluctuaciones con bajadas y subidas durante la conservación. En cuanto a las diferencias entre tratamientos, a los 6 días la actividad de la SOD fue superior en no tratados. Sin embargo, los frutos tratados mantenidos por 18 y 27 días presentaron una actividad 77% y 42% mayor a los no tratados (Fig. 27A).

En vida mostrador, la actividad tendió a bajar con el transcurso del tiempo. Inicialmente la mayor actividad correspondió a los frutos no tratados, pero en los restantes momentos de análisis no se registraron diferencias entre los tratados y no tratados (Fig. 27B).

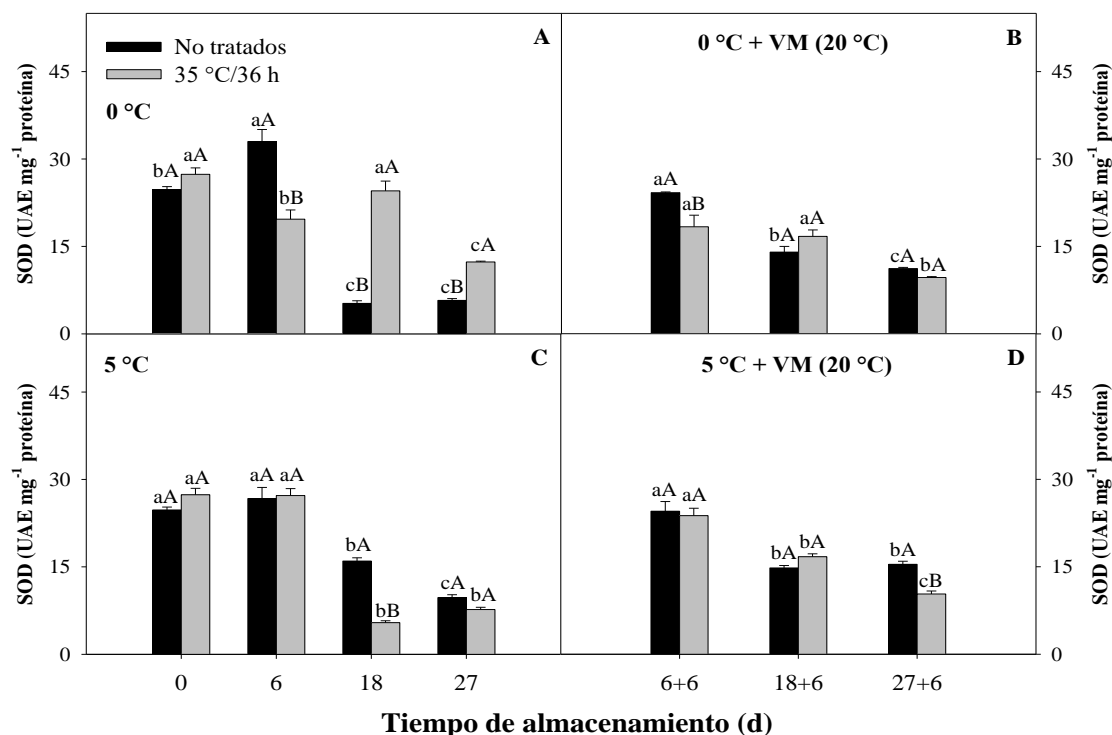


Figura 27. Actividad de Superóxido dismutasa (SOD UAE mg⁻¹ proteína) en nectarinas var. Big Top durante la conservación a 0 y 5 °C y en vida mostrador (VM). Los valores son medias (n=21) ± error estándar de la media. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey p<0,05).

Cuando se realizó la conservación a 5 °C, la actividad se mantuvo estable hasta los 6 días de conservación, periodo en el que no se encontraron diferencias entre tratamientos. Luego la actividad bajó considerablemente. Solamente a los 18 días los frutos no tratados presentaron mayor actividad, con un valor de 16,32 UAE mg⁻¹ proteína (Fig. 27C). Al final del periodo de vida mostrador (27+6 días) los frutos no tratados presentaron una actividad 33% mayor que los no tratados (Fig. 27D).

Con relación al efecto de la temperatura, los frutos tratados conservados a 5 °C por 6 días presentaron mayor actividad. Sin embargo, a los 18 y 27 días, los conservados a 0 °C presentaron una actividad 77% y 37% mayor que los conservados a 5 °C. En vida mostrador, solo a los 6+6 días se presentaron diferencias, siendo los

frutos conservados a 5 °C los que presentaron una actividad 22% mayor (datos no mostrados).

En el caso de los frutos no tratados conservados a 0 °C por 6 días presentaron más actividad. A los 18 y 27 días, los frutos conservados a 5 °C presentaron una actividad 67% y 41% mayor que los conservados a 0 °C. En vida mostrador, las diferencias se presentaron solamente al final del periodo de almacenamiento (27+6 días), siendo los frutos conservados a 5 °C los que presentaron una actividad 27% mayor (datos no mostrados).

Los resultados para la variedad Fantasía se presentan en la Figura 28, donde se observó un comportamiento totalmente diferente al observado en la variedad anterior. En esta variedad al final de la conservación ocurrió un aumento importante de casi cuatro veces el medido al inicio del experimento. Por otra parte, los valores medidos fueron inferiores a los medidos en la variedad anterior lo que puede deberse a una diferencia genética.

Para el caso de los frutos conservados a 0 °C y sometidos al tratamiento térmico, ya al inicio se observó una mayor actividad de la SOD como consecuencia del propio tratamiento y tal como era esperado. A los 6 días la actividad fue de más del doble con relación a los no tratados, con valores de 2,27 y 4,47 UAE mg⁻¹ proteína, respectivamente. Sin embargo, a los 18 días ocurrió lo contrario, los frutos no tratados pasaron a ser los de mayor actividad, siendo de 28% más que los tratados (Fig. 28A). En vida mostrador, los valores medidos a los 6+6 días fueron cuatro veces superiores al de los restantes momentos. Tanto en este momento como a los 18+6 días su actividad fue 13% y 55% mayor (Fig. 28B).

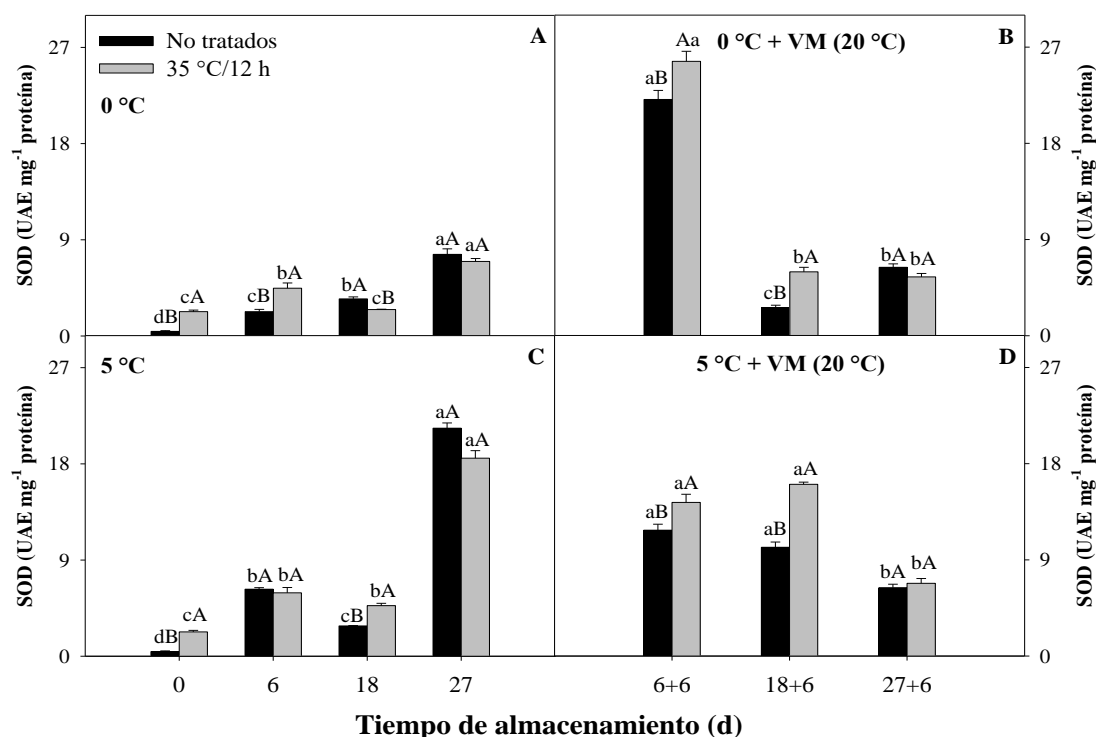


Figura 28. Actividad de Superóxido dismutasa (SOD UAE mg⁻¹ proteína) en nectarinas var. Fantasía durante la conservación a 0 y 5 °C y en vida mostrador (VM). Los valores son medias (n=21) ± error estándar de la media. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey p<0,05).

A 5 °C también la actividad de la SOD tanto en frutos tratados como no tratados se cuadruplicó luego de 27 días. También en este caso el tratamiento térmico determinó un aumento de la SOD inmediatamente de realizado. Las diferencias entre los tratamientos se observaron a los 18 días con mayor actividad en los tratados, con valores 2,27 y 4,73 UAE mg⁻¹ proteína, respectivamente (Fig. 28C). En vida mostrador, los frutos tratados mantenidos por 6+6 y 18+6 días presentaron una actividad 18% y 36% mayor que los no tratados (Fig. 28D).

Con relación al efecto de la temperatura en los frutos tratados, los conservados a 5 °C mantenidos por 18 y 27 días presentaron una actividad 47% y 62% mayor que los conservados a 0 °C. En vida mostrador, inicialmente (6+6 días) los frutos conservados a 0 °C presentaron una actividad 44% mayor, mientras que a los 18+6

días ocurrió lo contrario, siendo los conservados a 5 °C los que registraron una actividad 64% mayor (datos no mostrados).

En el caso de los frutos no tratados, los conservados a 5 °C mantenidos por 6 y 27 días presentaron mayor actividad de la SOD. Los valores medidos fueron de 6,27 y 21,33 UAE mg⁻¹ proteína, respectivamente. En vida mostrador, los conservados a 0 °C mantenidos por 6+6 días presentaron mayor actividad de la SOD, con un valor medido de 22,10 UAE mg⁻¹ proteína que representa un 53% más actividad que la medida en los frutos conservados a 5 °C. Sin embargo, a los 18+6 días los conservados a 5 °C presentaron una actividad 58% mayor (datos no mostrados).

Para el caso de la variedad Elegant Lady, se encontró un aumento con el transcurso de la conservación tanto a 0 como 5 °C que fue muy notorio luego de los 27 días, en especial en los frutos mantenidos a 5 °C (Fig. 30). Para los frutos no tratados 0 °C por 6 y 27 días, la actividad de la SOD fue mayor con valores de 12,33 y 15,19 UAE mg⁻¹ proteína respectivamente, mientras que al inicio y a los 18 días la actividad medida en los frutos tratados fue superior.

Durante la conservación a 5 °C, los frutos no tratados conservados por 6 días presentaron una actividad 53% mayor que los tratados, pero a los 18 días los frutos tratados presentaron una actividad 27% mayor (Fig. 30B).

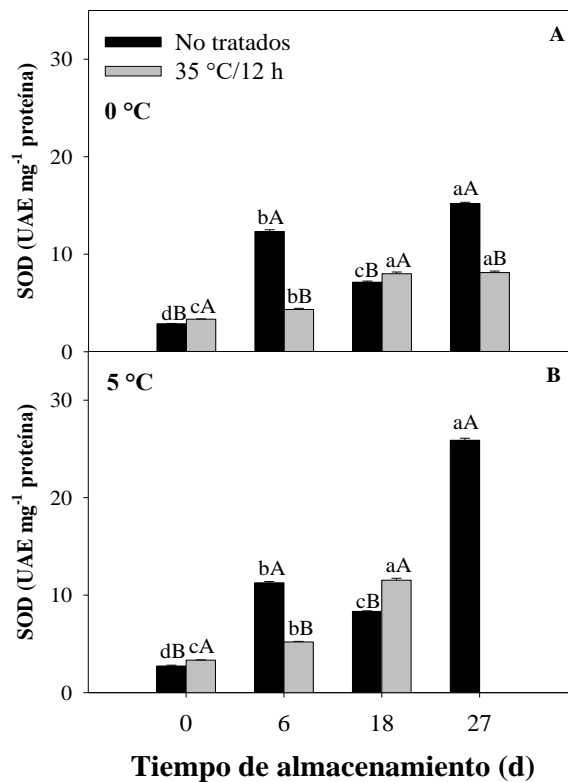


Figura 29. Actividad de Superóxido dismutasa (SOD UAE mg⁻¹ proteína) en duraznos var. Elegant Lady durante la conservación a 0 y 5 °C y en vida mostrador (VM). Los valores son medias (n=21) ± error estándar de la media. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey p<0,05).

En relación al efecto de la temperatura sobre los frutos tratados, los conservados a 5 °C mantenidos por 6 y 18 días de conservación presentaron una actividad 16% y 30% mayor que los conservados a 5 °C respectivamente. En el caso de los no tratados, los conservados a 5 °C mantenidos por 18 y 27 días, también presentaron una actividad 14% y 41% de mayor actividad respectivamente (datos no mostrados).

En mago y banana, dos frutos sensibles al frío, se evaluó la actividad de la SOD a dos temperaturas de almacenamiento (6 °C y 12 °C). La actividad de la SOD fue casi el doble en los frutos almacenados a 12 °C, pero en ambos casos se observó una caída abrupta después de 2 días para la banana y de 5 para el mango. Según los autores, esto

indicaría que existe un fuerte vínculo entre la actividad de la enzima y el poder de eliminar radicales $O_2^{\bullet-}$. La actividad baja a medida que se da la reacción con el sustrato (Kondo et al., 2005). En un trabajo más reciente, en papaya, donde los frutos fueron sumergidos en agua caliente (42 °C/30 min y luego 49 °C/20 min) y almacenadas por 3 semanas a 6 y 12 °C, se observó un aumento de la actividad de la SOD mayor a 12 que, a 6 °C en la primera semana, pero después una reducción. Estos autores también lo explican por lo mismo que en el caso anterior (Shadmani et al., 2015). En nuestro caso las diferencias en cuanto a la temperatura solo se observaron en Fantasía a 5 °C, que es la temperatura más estresante de las evaluadas, donde la actividad fue mucho mayor. En cuanto a la evolución en el tiempo hay bastante coincidencia, en Big Top hay una reducción de la actividad con el transcurso de la conservación y también en Fantasía y Elegant Lady, pero hasta los 18 días de almacenamiento. En el caso de estas dos últimas variedades, el importante aumento que se observó al día 27 puede deberse a un aumento en la producción de radicales libres, no solo derivados de la situación de estrés sino también asociados al proceso de senescencia.

Con relación al efecto de los tratamientos térmicos sobre la actividad de esta enzima, Peng et al. (2009) encontraron un aumento en la enzima en duraznos tratados con aire caliente (38 °C/12 h) pero a partir de las 3 semanas de almacenamiento a 0 °C. Antes de este momento no se observaron diferencias entre tratados y no tratados. Por su parte, Cao et al. (2010), también en duraznos tratados con aire caliente (38 °C/12 h), no observaron diferencias con la actividad de los no tratados hasta los 21 días de almacenamiento a 0 °C. Sin embargo, luego de 28 y 35 días de almacenamiento, la actividad de la SOD de los que habían recibido tratamiento térmico superó a la de los no tratados o sea que también fue necesario un periodo de inducción para que se observaran las diferencias. Este comportamiento se observó en Big Top a 0 °C y en Fantasía, pero en vida mostrador tanto para los frutos procedentes de la conservación a 0 como 5 °C.

3.8.2. Catalasa (CAT)

La actividad de la catalasa en los frutos variedad Big Top se muestra en la Figura 30, en donde no se presentaron diferencias entre frutos tratados y no tratados, mientras que los valores de actividad se mantuvieron estables a lo largo de la conservación, siendo de entre 0,3 y 0,4 UAE mg⁻¹ proteína (Fig. 30A). En vida mostrador, solo al inicio del almacenamiento la mayor actividad correspondió a los frutos no tratados, que fue un 58% mayor que en los tratados (Fig. 30B).

Cuando se realizó la conservación a 5 °C, tampoco fueron encontradas diferencias entre frutos tratados y no tratados, registrando valores promedios al inicio y final de la conservación de 0,36 y 0,32 UAE mg⁻¹ proteína respectivamente (Fig. 30C). Al final del periodo de vida mostrador, los frutos no tratados presentaron una actividad 35% mayor que los tratados, tal como se muestra en la Figura 30D.

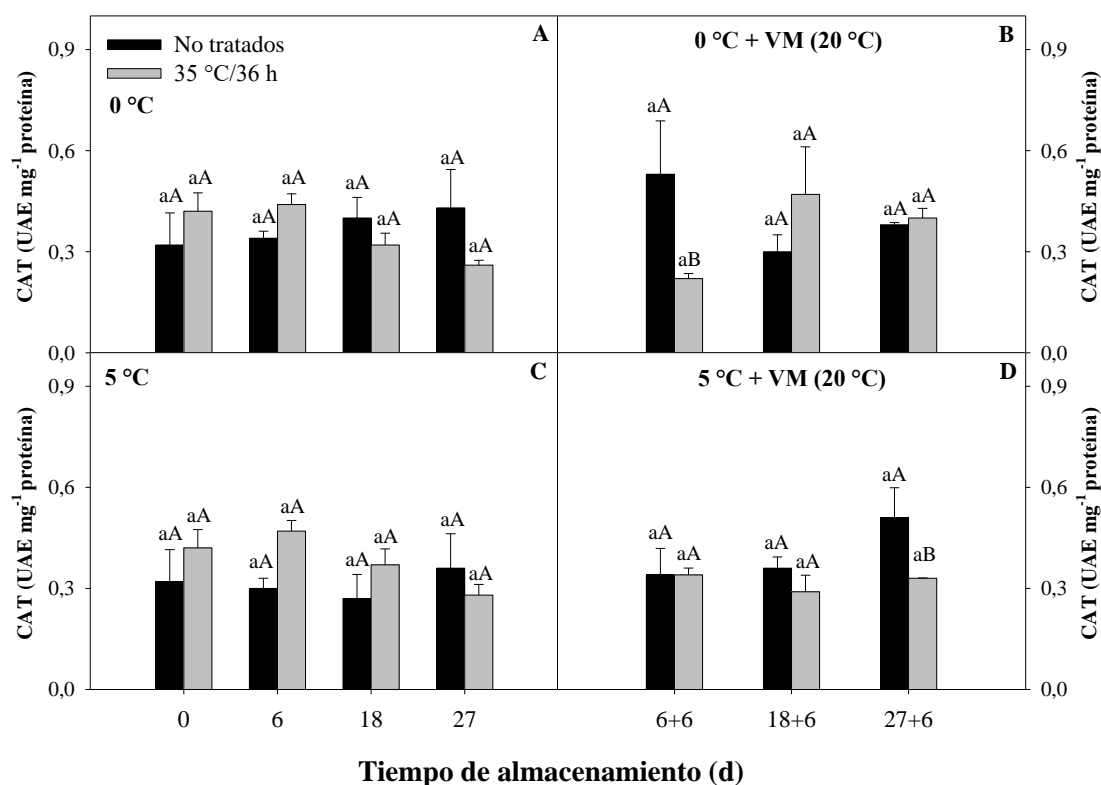


Figura 30. Actividad de la catalasa (CAT UAE mg⁻¹ proteína) en nectarinas var. Big Top durante la conservación a 0 y 5 °C y en vida mostrador (VM). Los valores son medias (n=21) ± error estándar de la media. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey p<0,05).

Al analizar el efecto de la temperatura, los frutos tratados y no tratados conservados a 0 y 5 °C, no presentaron diferencias significativas tanto en conservación como en el periodo de vida mostrador (datos no mostrados).

Para la variedad Fantasía, la actividad de la CAT fue mayor en los frutos sometidos al tratamiento térmico, en todos los momentos de análisis cuando fueron mantenidos a 0 °C (Fig. 31A). En cuanto a la evolución en el tiempo hubo una tendencia a la reducción tanto en los frutos tratados como en los no tratados. En vida mostrador, los tratados mantenidos por 18+6 días presentaron una actividad 60% mayor que los no tratados. No se observaron variaciones con el transcurso del tiempo (Fig. 31B).

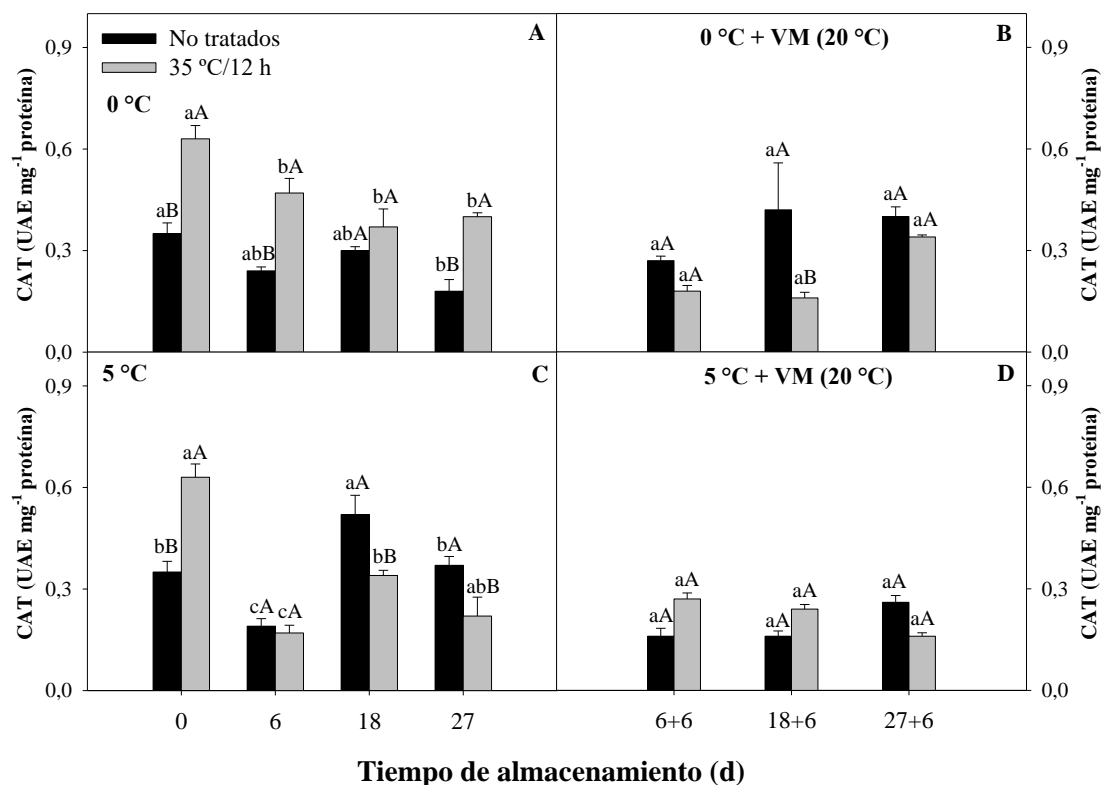


Figura 31. Actividad de la catalasa (CAT UAE mg⁻¹ proteína) en nectarinas var. Fantasía durante la conservación a 0 y 5 °C y en vida mostrador (VM). Los valores son medias (n=21) ± error estándar de la media. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey p<0,05).

Durante la conservación a 5 °C, se observaron mayores diferencias entre tratados y no tratados. Inicialmente los frutos tratados fueron los de mayor actividad enzimática pero luego de 18 y 27 días la actividad medida en los frutos no tratados fue superior, con valores de 0,52 y 0,37 UAE mg⁻¹ proteína, tal como se muestra en la Figura 31C. En cuanto a la evolución en el tiempo se destaca una reducción en el periodo de 6 días de conservación con un aumento a los 18 días y en el caso de los no tratados una nueva reducción a los 27 días. En vida mostrador, no se presentaron diferencias entre momentos y entre tratamientos (Fig. 31D).

Cuando se analizó el efecto de la temperatura en los frutos tratados, se observó que la mayor actividad se presentó en los conservados a 0 °C al inicio y final del almacenamiento. Sin embargo, en vida mostrador, los frutos conservados a 5 °C presentaron una actividad 33% mayor que los conservados a 0 °C. En los frutos no tratados, la mayor actividad se presentó al final del almacenamiento en los frutos conservados a 5 °C. En vida mostrador, los frutos mantenidos a 5 °C presentaron mayor actividad durante todo el almacenamiento, con un valor inicial y final de 0,27 y 0,41 UAE mg⁻¹ proteína (datos no mostrados).

En la variedad *Elegant Lady*, la actividad de la CAT aumentó durante la conservación sin presentarse diferencias entre los frutos tratados y no tratados. Los valores promedio medidos al inicio y final del almacenamiento fueron de 0,23 y 0,41 UAE mg⁻¹ proteína respectivamente (Fig. 32A). Cuando se realizó la conservación a 5 °C, no se presentaron diferencias entre tratados y no tratados, registrando valores entre 0,26 y 0,33 UAE mg⁻¹ proteína (Fig. 32B).

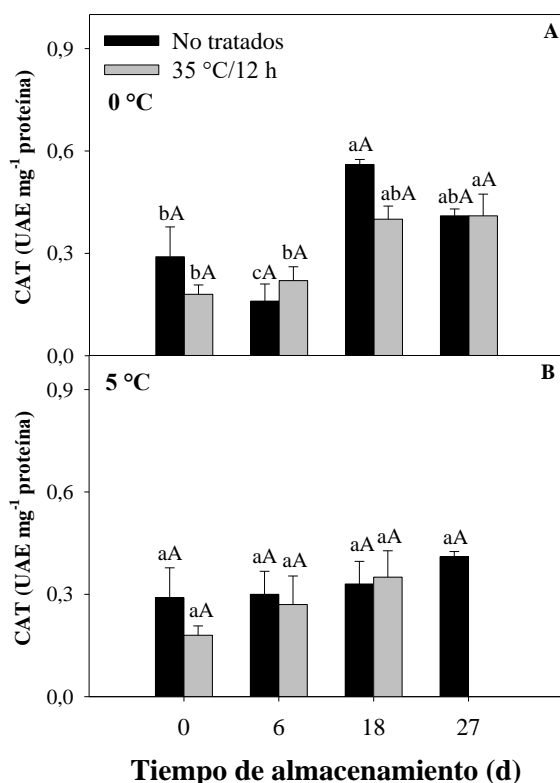


Figura 32. Actividad de la catalasa (CAT UAE mg⁻¹ proteína) en duraznos var. Elegant Lady durante la conservación a 0 y 5 °C y en vida mostrador (VM). Los valores son medias (n=21) ± error estándar de la media. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey p<0,05).

La CAT es una enzima que forma parte del sistema antioxidante y que protege a las membranas celulares del daño que originan las EROS que se forman durante el periodo de estrés (Wang, 1995). Los tratamientos empleados para reducir la incidencia al daño por frío, como los tratamientos térmicos, producen un aumento en la actividad de las enzimas antioxidantes que protegerían a las membranas de las EROS.

Con relación a la actividad de la CAT hay diferencias distintas en la bibliografía donde en algunos casos aumenta, se mantiene constante e incluso disminuye. Esto sucedería porque los aumentos en los niveles de H₂O₂ desencadenarían una mayor actividad de la enzima para proteger a las membranas (Huang et al., 2008). Esto sería

la causa de las fluctuaciones que se observan vinculadas al tiempo y la temperatura de conservación.

En el trabajo realizado por Cao et al. (2010), donde los frutos de durazno fueron expuestos al aire caliente (38 °C/12 h), se encontró una reducción tanto en los frutos tratados como no tratados desde los 7 a los 28 días y un aumento a los 35 días en especial en los tratados con calor. Esta evolución en el tiempo se asemeja a lo observado en la variedad Fantasía donde la actividad se reduce con el transcurso de la conservación. Las diferencias entre tratamientos fueron reportadas por Khademi et al. (2014) en caqui rojo brillante donde la exposición a agua caliente (45 °C/3 min y 50 °C/20 min) determinó un aumento de la actividad de la CAT de los frutos conservados a 1 °C por 30 días. Más recientemente Nasef (2018) en pepino, encontraron que la actividad de la CAT fue superior en los frutos tratados con agua caliente tanto a 45 como a 55 °C por 5 min en comparación con los que se sumergieron en agua a 25 °C. Ambas situaciones coinciden con lo observado en la variedad Fantasía conservada a 0 °C.

3.8.3. Ascorbato peroxidasa (APX)

Los resultados de la variedad Big Top se muestran en la Figura 33. Para los frutos conservados a 0 °C, las diferencias entre tratamientos se observaron a los 18 días donde los frutos no tratados mostraron una actividad 63% mayor que los tratados (Fig. 33A). También en vida mostrador los frutos no tratados registraron mayor actividad, con un valor en torno a 0,64 UAE mg⁻¹ proteína luego de 27+6 días (Fig. 33B). En general la actividad de la APX se mantuvo prácticamente constante.

En el caso de los conservados a 5 °C también las diferencias se observaron a los 18 días donde al contrario de lo sucedió a 0 °C fueron los frutos tratados los que presentaron una actividad 40% mayor (Fig. 33C). En vida mostrador, la actividad medida se mantuvo estable durante todo el almacenamiento, con un valor en torno a 3,6 UAE mg⁻¹ proteína (Fig. 33D). También en este caso la actividad, tanto en los que

fueron tratados como en los no tratados con calor, se mantuvo prácticamente sin variaciones.

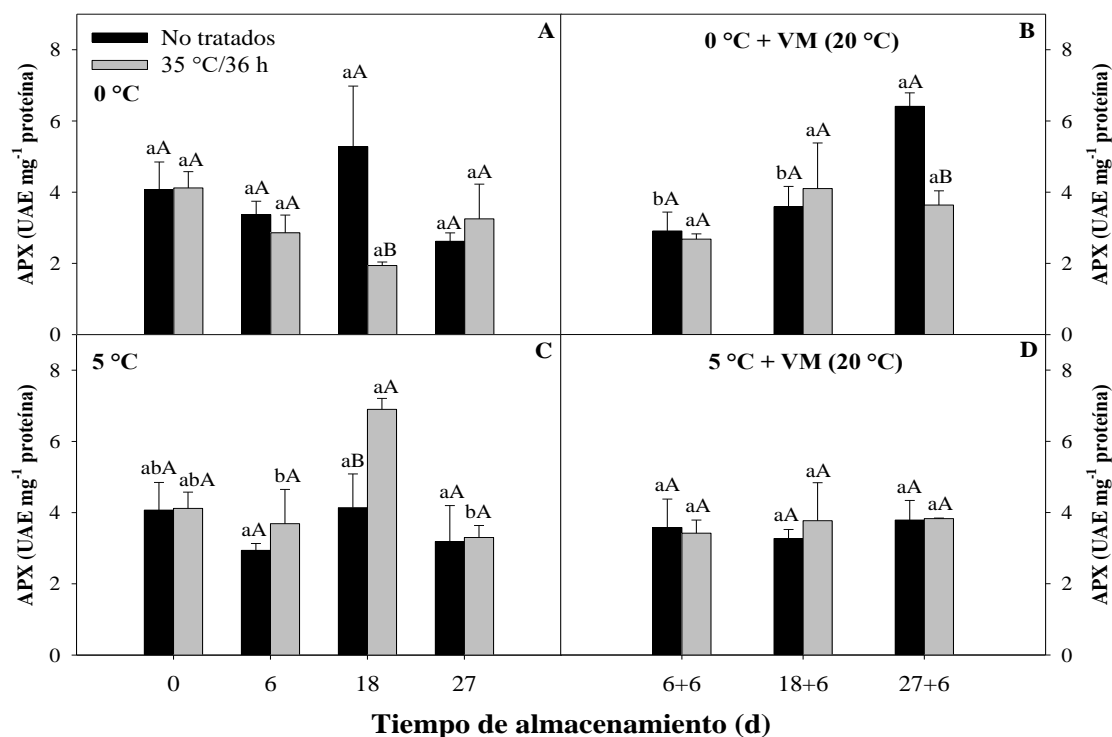


Figura 33. Actividad de la Ascorbato peroxidasa (APX UAE mg⁻¹ proteína) en nectarinas var. Big Top durante la conservación a 0 y 5 °C y en vida mostrador (VM). Los valores son medias (n=21) ± error estándar de la media. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey p<0,05).

En los frutos tratados el efecto de la temperatura presentó diferencias significativas a los 18 días donde los conservados a 5 °C mostraron una actividad 71% mayor que los conservados a 0 °C. En los frutos no tratados, solo se presentaron diferencias al final del periodo de vida mostrador (27+6 días), siendo los conservados a 0 °C los de mayor actividad (datos no mostrados).

Para el caso de la variedad Fantasía, los resultados se muestran en la Figura 34. De acuerdo a ellos el tratamiento térmico determinó un aumento de la actividad de esta enzima en los días 6 y 27 y cuando la temperatura de conservación fue de 0 °C,

registrándose una actividad 53% y 21% mayor que los no tratados (Fig. 34A). En vida mostrador, inicialmente los frutos tratados presentaron diferencias. La evolución en el tiempo mostró una reducción en el periodo 18+6 días y un posterior aumento al final del experimento. Esto se observó tanto en los tratados como en los no tratados (Fig. 34B).

Durante la conservación a 5 °C, no se presentaron diferencias entre tratados y no tratados. Los valores al inicio y final del almacenamiento fueron de 2,9 y 4,36 UAE mg⁻¹ proteína, tal como se muestra en la Figura 34C. La actividad en los diferentes tratamientos se mantuvo constante hasta los 18 días y aumentó al final. Durante el periodo de vida mostrador, la mayor actividad se observó en los frutos tratados, con un valor inicial de 3,11 UAE mg⁻¹ proteína y final de 5,68 UAE mg⁻¹ proteína (Fig. 34D). En ambos casos y con relación a la evolución en el tiempo, la actividad prácticamente se duplicó en el periodo 27+6 días.

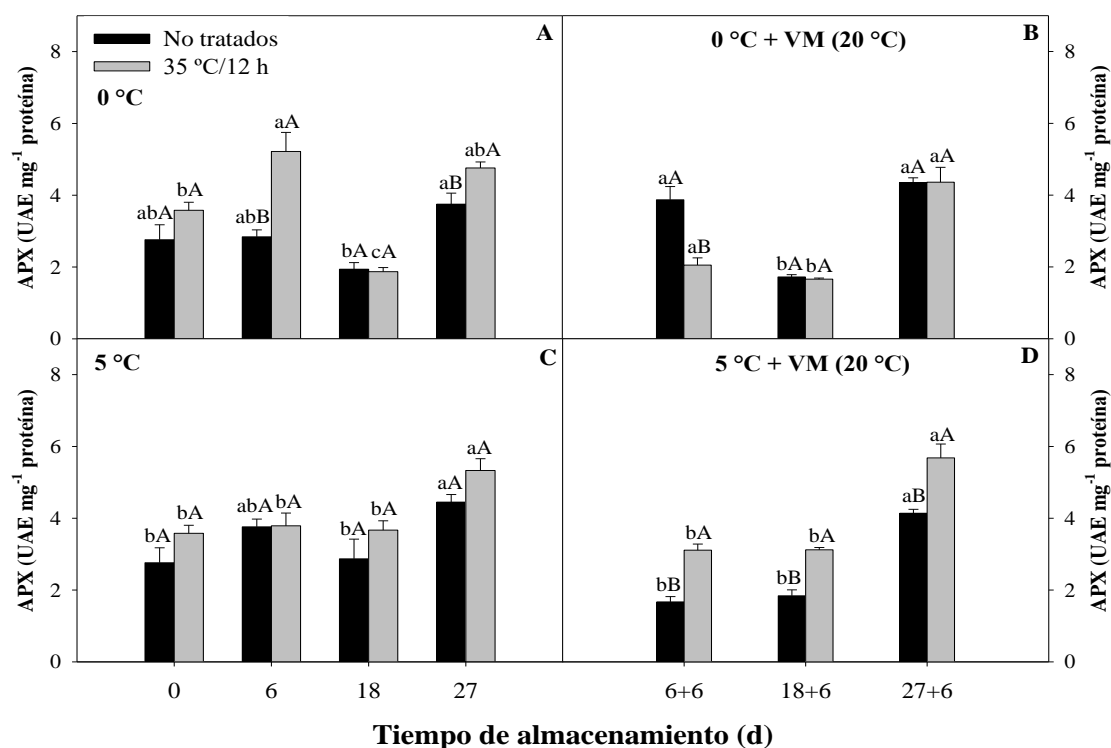


Figura 34. Actividad de la Ascorbato peroxidasa (APX UAE mg⁻¹ proteína) en nectarinas var. Fantasía durante la conservación a 0 y 5 °C y en vida mostrador (VM). Los valores son medias (n=21) ± error estándar de la media. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey p<0,05).

Al analizar el efecto de la temperatura en los frutos tratados, la mayor actividad se presentó en los frutos conservados a 5 °C durante todo el periodo de vida mostrador, con un valor inicial y final de 3,11 y 5,68 UAE mg⁻¹ proteína. En los frutos no tratados, no se presentaron diferencias entre los conservados a 0 y 5 °C (datos no mostrados).

Los resultados de la variedad Elegant Lady se presentan en la Figura 35, en donde independientemente del tratamiento térmico y la temperatura de conservación, los valores medidos de actividad no presentaron diferencias durante todo el tiempo de almacenamiento, mostrando valores entre 0,48 y 0,54 UAE mg⁻¹ proteína (Fig. 35 A-B). Esta variedad presentó una actividad muy baja en comparación con los anteriores.

Con relación al efecto de la temperatura sobre los frutos tratados, no se presentaron diferencias durante todo el periodo de conservación. En cambio, en los frutos no tratados, los conservados a 0 °C por 18 días presentaron una actividad 18% que los conservados a 0 °C (datos no mostrados).

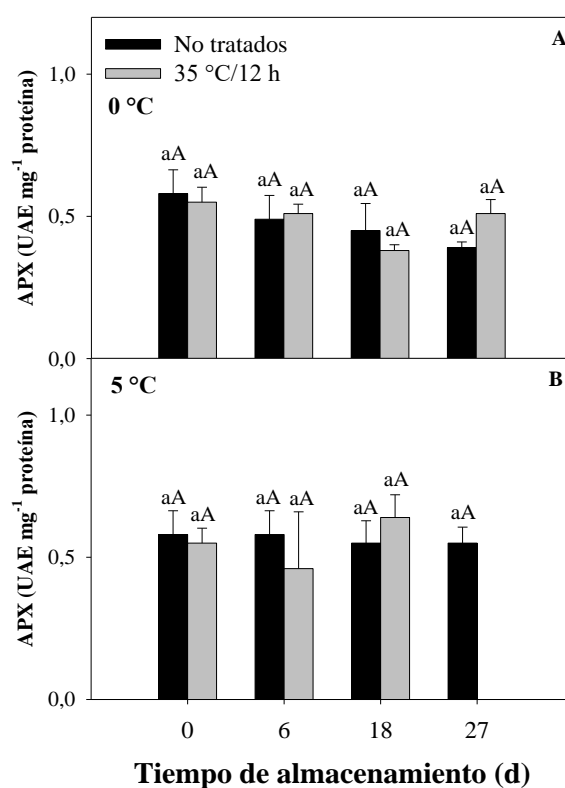


Figura 35. Actividad de la Ascorbato peroxidasa (APX UAE mg⁻¹ proteína) en duraznos var. Elegant Lady durante la conservación a 0 y 5 °C y en vida mostrador (VM). Los valores son medias (n=21) ± error estándar de la media. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey p<0,05).

La APX forma parte del ciclo ascorbato-glutación de los vegetales y tiene como función eliminar el H₂O₂ y regenerar los antioxidantes no enzimáticos ascorbato y glutación (Imahori, 2014). En el experimento de Cao et al. (2010) observaron una

reducción de la actividad de la APX con el transcurso de la conservación sin diferencias entre los duraznos tratados con calor (38 °C/12 h) y los testigos hasta los 21 días de conservación 0 °C. Sin embargo, después de los 28 días la reducción fue mayor en los duraznos no tratados por lo que la APX protegería a los frutos de los radicales libres. En este trabajo la APX fue la enzima menos afectada de todas las evaluadas, la principal diferencia entre los frutos tratados y no tratados se observó en la variedad Fantasía y en vida mostrador de frutos conservados a 5 °C. Esto puede deberse al hecho de que esta enzima es la última que actúa, posiblemente los radicales libres fueron controlados previamente por las otras enzimas o por los antioxidantes no enzimáticos.

En tomates tratados con agua caliente (52 °C/15 min) y conservados a 20 °C por 4 días, no se observaron diferencias con el testigo, pero si con el que se conservó a 5 °C (temperatura estresante) donde la actividad fue mayor. En este caso, la situación de estrés desencadenó la actividad de la enzima (Imahori et al., 2016). Este efecto inductor de la temperatura estresante se observó en algunos casos, como en Big Top y Fantasía, en especial en los frutos que recibieron tratamiento térmico, donde hubo mayor actividad a 5 °C.

Por otra parte, se han descrito varios estudios sobre el efecto positivo de la aplicación de aire caliente en el aumento y activación de los sistemas antioxidantes (SOD, APX, CAT) en otros cultivares durante el periodo poscosecha. Shao y Tu (2013) informaron que el tratamiento con aire caliente (38 °C/36 h) reduce la incidencia de daños por frío en frutos de níspero, esto podría atribuirse a la disminución de la acumulación de H₂O₂ mediante el aumento de las actividades enzimáticas antioxidantes. También, Peng et al. (2016) en frutillas tratadas con aire caliente (45 °C/3,5 h), encontraron que el tratamiento térmico estimuló el aumento en las actividades de las enzimas CAT y APX. Del mismo modo, Zhang et al. (2013) informaron que el tratamiento con aire caliente (38 °C/16 h) mitigó la incidencia de daños por frío en tomates, lo que se acompañó con un aumento en las actividades de las enzimas antioxidantes SOD, CAT y APX.

3.8.4. Pectinmetilesterasa (PME)

Los resultados de la variedad Fantasía se muestran en la Figura 36, en donde los frutos tratados presentaron una actividad 56% y 10% mayor que los no tratados al inicio y final del almacenamiento a 0 °C respectivamente. Luego de 6 días, se observó lo contrario ya que los frutos no tratados fueron los de más actividad, con un valor 80% mayor que los tratados (Fig. 36A). En vida mostrador, los frutos tratados mantenidos por 6+6 y 27+6 días presentaron una actividad 36% y 29% mayor que los no tratados respectivamente (Fig. 36B).

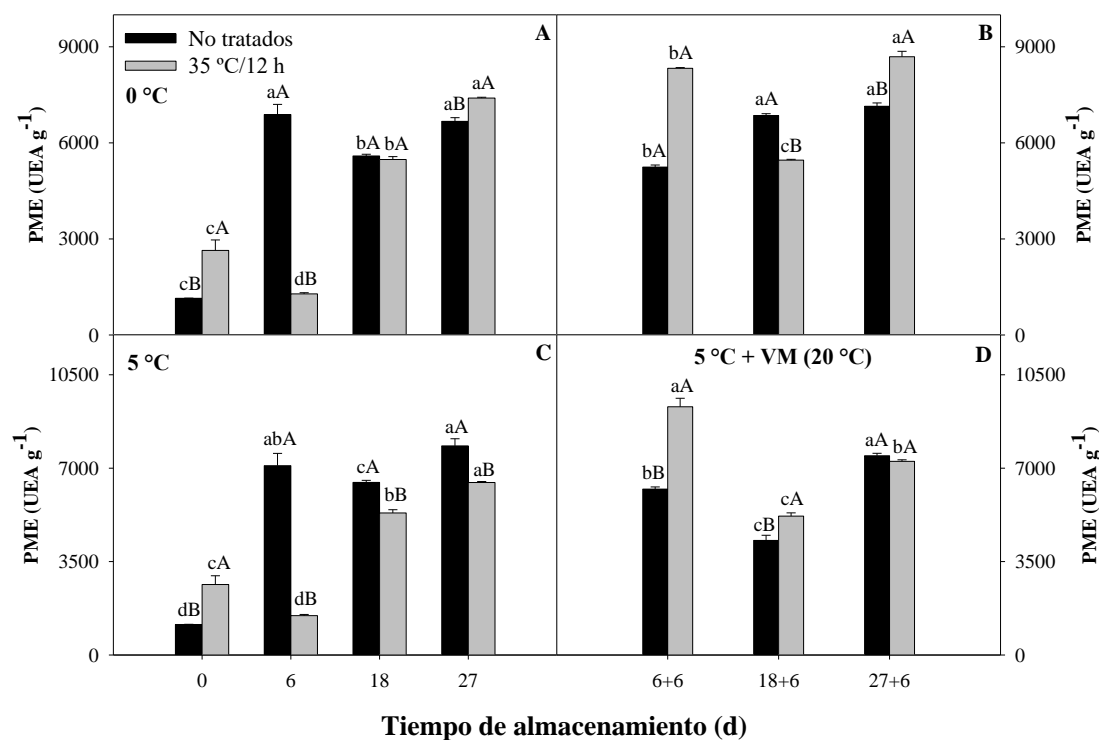


Figura 36. Actividad de la Pectinmetilesterasa (PME UEA g⁻¹) en nectarinas var. Fantasía durante la conservación a 0 y 5 °C y en vida mostrador (VM). Los valores son medias (n=21) ± error estándar de la media. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey p<0,05).

Durante la conservación a 5 °C, inicialmente la mayor actividad correspondió a los frutos tratados, pero luego de los 6, 18 y 27 días la actividad medida en los frutos no tratados fue superior (Fig. 36C). En vida mostrador, los frutos tratados mantenidos por 6+6 y 18+6 días presentaron una actividad 43% y 18% mayor que los no tratados (Fig. 36D).

Cuando se analizó el efecto de la temperatura en los frutos tratados, se observó que al final del almacenamiento, los frutos conservados a 0 °C presentaron una actividad 13% mayor que los conservados a 5 °C. En los frutos testigos, la mayor actividad se presentó en los frutos conservados a 5 °C (datos no mostrados).

3.8.5. Poligalacturonasa (PG)

Los resultados para la variedad Fantasía se muestran en la Figura 37, en donde los frutos tratados mostraron mayor actividad a partir de los 6 días y hasta el final de la conservación a 0 °C, con valores entre 407,1 y 431,64 UEA g⁻¹ (Fig. 37A). En vida mostrador, los tratados mantenidos por 6+6 y 18+6 días presentaron una actividad 45% y 41% mayor que los testigos, respectivamente (Fig. 37B).

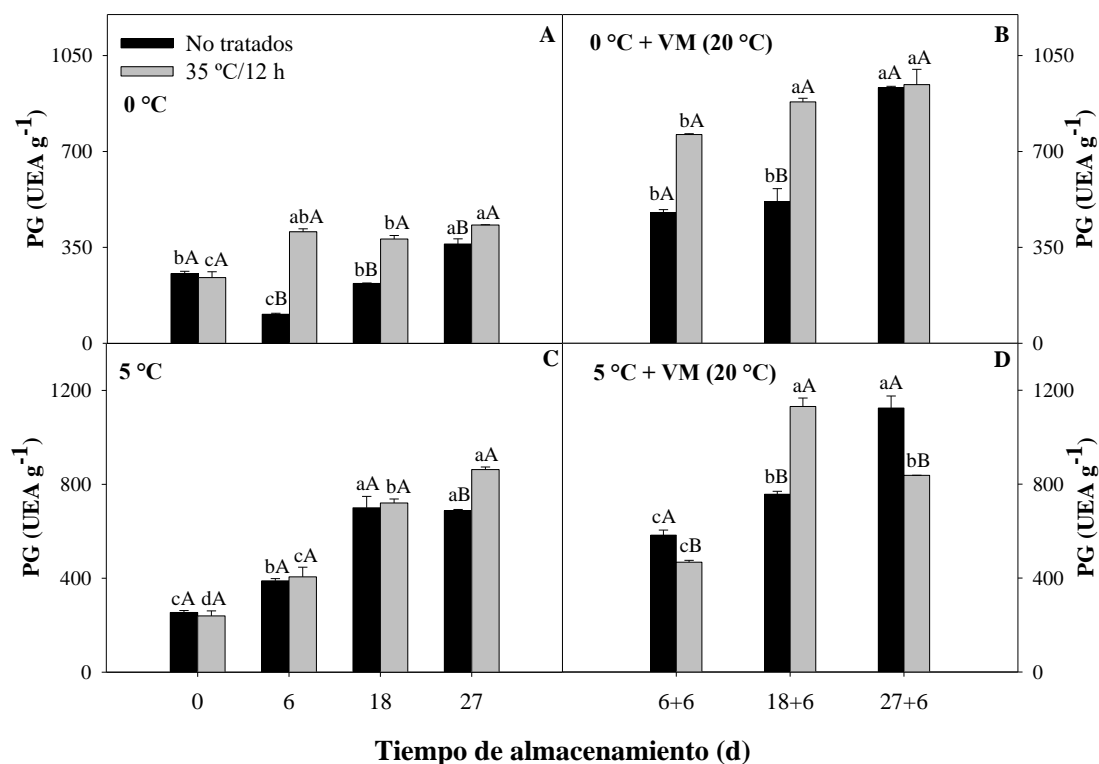


Figura 37. Actividad de la Poligalacturonasa (PG UEA g⁻¹) en nectarinas var. Fantasía durante la conservación a 0 y 5 °C y en vida mostrador (VM). Los valores son medias (n=21) ± error estándar de la media. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey p<0,05).

La actividad de la PG aumentó durante el transcurso de la conservación a 5 °C, pero solamente a los 27 días los frutos tratados mostraron una actividad 20% mayor que los no tratados (Fig. 37C). En vida mostrador, los no tratados mantenidos por 6+6 y 27+6 días presentaron una actividad 20% y 25% mayor que los tratados, mientras que a los 18+6 días, los tratados registraron más actividad (Fig. 37D).

Cuando se analizó el efecto de la temperatura en los frutos tratados, los mantenidos a 5 °C presentaron una actividad promedio 48% mayor que los conservados a 0 °C. Sin embargo, cuando los frutos fueron transferidos a vida mostrador, los conservados a 0 °C presentaron mayor actividad al inicio y final del almacenamiento. En los frutos no tratados, la mayor actividad tanto en conservación

como en vida mostrador, correspondió a los frutos conservados a 5 °C (datos no mostrados).

Si bien el proceso de maduración se desacelera durante la conservación refrigerada, los cambios continúan ocurriendo. Es por eso por lo que la actividad de las enzimas PME y PG, en la mayoría de los casos aumentó, tanto durante la conservación refrigerada como en vida mostrador, siendo en este último caso donde se observó el mayor aumento. El aumento de la actividad de estas enzimas, pero en forma desbalanceada, está vinculado al desarrollo de harinosidad en los frutos (Hu et al., 2012). Si la actividad de la PME aumenta, pero la actividad de la PG disminuye, se acumulan moléculas de ácido galacturónico de mayor tamaño y de reducida metilación y como consecuencia, pueden formar un gel bajo de ésteres, dejando un tejido seco, sin jugo o harinoso (Brummell et al., 2004).

A pesar de que en este trabajo no se evaluó el grado de harinosidad en los frutos, sí fue evaluado la evolución de estas enzimas implicadas en este síntoma, donde con los resultados encontrados, se puede decir que el tratamiento térmico podría reducir la incidencia de la harinosidad, pues la actividad de la PG aumentó en los frutos tratados con calor y mantenidos a 0 °C por lo que se esperaría una menor manifestación de los síntomas en los no tratados conservados a la misma temperatura. Sin embargo, dado que la temperatura de almacenamiento no fue adecuada, 5 °C, no se observaron diferencias por lo que los síntomas deberían aparecer tanto en frutos tratados como no tratados.

Resultados similares encontraron Zhu et al. (2008), donde la mayor actividad correspondió a los frutos de durazno variedad Feicheng tratados con aire caliente. También, Vicente et al. (2005), encontraron que el tratamiento térmico (aire caliente 45 °C/3 h) aplicado a frutillas determinó un aumento en la actividad de la PME con respecto a los frutos no tratados. Sin embargo, otros autores como Peng et al. (2009), encontraron que el tratamiento térmico (38 °C/12 h) no fue capaz de provocar un aumento de estas enzimas durante el periodo de conservación.

4. CONCLUSIONES

1. El almacenamiento poscosecha provocó un aumento de la tasa respiratoria en las 3 variedades evaluadas, independientemente de la temperatura de almacenamiento (0 y 5°C). En algunas variedades existió un aumento asociado con el tratamiento térmico (Big Top y Elegant Lady), lo que no sucedió en la var. Fantasía.
2. La pérdida de peso aumentó con el tiempo de almacenamiento en las tres variedades evaluadas a ambas temperaturas estudiadas (0 y 5°C). El tratamiento térmico redujo la pérdida de peso en Big Top, Fantasía y Elegant Lady almacenados a 0°C mientras que a 5°C solo existió una reducción en Big Top y Fantasía en momentos puntuales.
3. Las variedades mostraron diferencias en la tolerancia a bajas temperaturas: Big Top y Fantasía desarrollaron pardeamiento interno tanto a 0°C como a 5°C, no así en Elegant Lady. El tratamiento térmico con aire caliente presentó un efecto positivo en Big Top y Fantasía, con una reducción del pardeamiento interno a ambas temperaturas (0 y 5°C).
4. El tratamiento térmico afectó negativamente la firmeza de los frutos en Big Top y Fantasía a ambas temperaturas (0 y 5°C). Sin embargo, en Elegant Lady se observó el efecto inverso al final del almacenamiento.
5. No se observó un efecto del tratamiento térmico sobre las variables de color (Luminosidad, Cromo, Tono) de las 3 variedades estudiadas, mientras que los sólidos solubles totales aumentaron únicamente en los frutos de la variedad Big Top almacenados a 0°C en respuesta este tratamiento con aire caliente.

6. El tratamiento térmico con aire caliente provocó un efecto positivo en los polifenoles totales de los frutos almacenados a 0°C de Big Top y a 5°C de Fantasía. Mientras que la capacidad antioxidante en estas variedades registro un efecto inverso, donde la mayor capacidad antioxidante se observó en los frutos almacenados a 5°C de Big Top y 0°C de Fantasía. Sin embargo, en Elegant Lady independientemente de la temperatura y el tratamiento térmico no hubo un efecto sobre el contenido de estos compuestos.
7. La fuga de electrolitos se vio afectada negativamente por el tratamiento térmico en los frutos de Big Top y Fantasía a ambas temperaturas (0 y 5°C). En los frutos de Elegant Lady se observó un efecto positivo del tratamiento con aire caliente pero solamente en algunos momentos puntuales a 0°C.
8. El contenido de MDA aumento con el tiempo de almacenamiento en las 3 variedades evaluadas a ambas temperaturas (0 y 5°C). El tratamiento térmico solo provocó un efecto positivo en los frutos de Big Top y Fantasía almacenados a 0°C, mientras que en Elegant Lady se registró un comportamiento errático.
9. El tratamiento térmico provocó un efecto positivo en la actividad de la CAT y APX únicamente en los frutos de Fantasía almacenados a 0°C. Contrario a los que se observó en los frutos de Big Top y Elegant Lady, donde no se registraron diferencias durante el almacenamiento a ambas temperaturas. Por otra parte, también la actividad de la SOD fue mayor en los frutos tratados con aire caliente en Big Top a 0°C y Fantasía a 5°C.
10. El efecto de la temperatura se observó bien marcado en la actividad de PME y PG. Además, el tratamiento térmico provocó un efectivo positivo solamente a 0°C.

11. El potencial de almacenamiento para cada variedad fue diferente. En el caso de los frutos variedad Big Top, los síntomas de DF se observaron a partir de los 18 días, tanto los frutos tratados como en los no tratados y para ambas temperaturas evaluadas (0 y 5 °C). En Fantasía, se observó un efecto notorio de la temperatura, ya que, en los frutos tratados y no tratados conservados a 5 °C los daños aparecieron a partir de los 18 días, mientras que a 0 °C los daños se manifestaron al final de la conservación.

12. En general, las variedades evaluadas registraron diferentes respuestas tanto por el efecto de la temperatura como del tratamiento térmico. En el caso de las variedades de nectarinas (Big Top y Fantasía) a pesar de que el tratamiento térmico fue diferente, los resultados fueron similares en algunos parámetros (por ejemplo: el aumento de los sistemas antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos, reducción del pardeamiento de la pulpa). En el caso de Elegant Lady, el tratamiento térmico no generó un gran impacto ya que en la mayoría de las variables no se encontraron diferencias entre los frutos tratados y no tratados, mientras que en otros casos los resultados fueron erráticos.

13. Finalmente, estos resultados pueden ser un punto de partida para realizar futuras investigaciones en el país, ya que la información generada aportaría en el desarrollo y/o aplicación de nuevas líneas de investigación para definir con mayor precisión los elementos claves de la diferente sensibilidad al frío que presentan estas variedades, y así dirigir programas de mejora o de actuación en otras tecnologías poscosecha que sean aplicables para disminuir la incidencia de los DF en los frutos de durazno y nectarinas u otros cultivares.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Africano KL, Almanza-Merchán PJ, Balaguera-López HE. 2009. Fisiología y bioquímica de la maduración del fruto de durazno (*Prunus pérsica* (L.) Batsch). Una Revisión. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 9: 161-172.
- Barkai-Golan R, Phillips DJ. 1991. Postharvest heat treatments of fresh fruits and vegetables for decay control. Plant Disease Journal, 75: 1085-1089.
- Ben-Yehoshua S, Rodov V. 2003. Transpiration y water stress. In: Postharvest physiology y pathology of vegetables. New York. Bartz, J., Brecht, J. (eds.). Marcel Dekker, pp. 111-159.
- Borsani J, Budde CO, Porrini L, Lauxmann MA, Lombardo VA, Murray R, Andreo SO, Drincovich MF, Lara MV. 2009. Carbon metabolism of peach of peach fruit after harvest: changes in enzymes involved in organic acid and sugar level modifications. Journal of Experimental Botany, 60: 1823-1837.
- Bradford MM. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle-dye binding. Analytical Biochemistry, 72: 248-254.
- Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C. 1995. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. Lebensm. Wiss. Food Science and Technology, 28: 25-30.
- Bravo L. 1998. Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism and nutritional significance. Nutrition Reviews, 11: 317-333.
- Brummell DA, Dal Cin V, Crisosto CH, Labavitch JM. 2004. Cell wall metabolism during maturation, ripening and senescence of peach fruit. Journal of Experimental Botany, 55: 2029-2039.
- Budde CO, Polenta G, Lucangeli CD, Murray RE. 2006. Air and immersion heat treatments affect ethylene production and organoleptic quality of 'Dixiland' peaches. Postharvest Biology and Technology, 4: 32-7.
- Cantín CM, Crisosto CH, Ogundiwin EA, Gradziel T, Torrents J, Moreno MA, Gogorcena Y. 2010. Chill injury susceptibility in an intra-specific peach

- [*Prunus persica* (L.) Batsch] progeny. *Postharvest Biology and Technology*, 58: 79-87.
- Cao S, Hu Z, Zheng Y, Lu B. 2010. Synergistic effect of heat treatment and salicylic acid on alleviating internal browning in cold-stored peach fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 58: 93-97.
- Carocho M, Ferreira ICFR. 2013. A review on antioxidants, prooxidants and related controversy natural and synthetic compounds, screening and analysis methodologies and future perspectives. *Food and Chemical Toxicology*, 51: 15-25.
- Chen H, Shuai H, Li JX, Mingliang Y, Yin X, Ruijuan Ma, Zhifang Y. 2017. Postharvest hot air and hot water treatments affect the antioxidant system in peach fruit during refrigerated storage. *Postharvest Biology and Technology*, 126: 1-14.
- Chen SC, Jin WJ, Liu AR, Zhang SJ, Liu DL, Wang FH, Lin XM, He CX. 2014. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) increase growth and secondary metabolism in cucumber subjected to low temperature stress. *Scientia Horticulturae*, 160: 222-229.
- Cheyrier V. 2005. Polyphenols in foods are more complex than often thought. *American Journal of Clinical Nutrition*, 81(1): 223-229.
- Crisosto CH, Labavitch JM. 2002. Developing a quantitative method to evaluate peach (*Prunus persica*) flesh mealiness. *Postharvest Biology and Technology*, 25: 151-158.
- Crisosto CH, Mitchell FG, Ju Z. 1999. Susceptibility to chilling injury of peach, nectarine, and plum cultivars grown in California. *HortScience*, Alexandria, 34(6): 1116-1118.
- Cunha L, M. Berlingieri, B. Mattiuz, R. Nogueira y J. Durigan 2007. Caracterização da curva de maturação de pêssegos ‘Aurora-1’, na região de Jaboticabal-Sp. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 29(3): 661-665.
- Degl'Innocenti E, Guidi L, Pardossi A, Tognoni F. 2005. Biochemical study of leaf browning in minimally processed leaves of lettuce (*Lactuca sativa* L. Var. Acephala). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 9980-9984.

- Delwiche M, Baumgardner RA. 1983. Ground color as a peach maturity index. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 110: 53-57.
- Diplock AT, Charleux JL, Crozier-Willi G, Kok FJ, Rice-Evans C, Roberfroid M, Stahl W, Viña-Ribes. 1998. Functional food science and defence against reactive oxidative species. *British Journal of Nutrition*, 80: S77-S112.
- Duan X, Zhang H, Zhang D, Sheng J, Lin H, Jiang Y. 2011. Role of hydroxy radical in modification of cell wall polysaccharides and aril breakdown during senescence of harvested longan fruit. *Food Chemistry*, 128: 203-207.
- Durst RW, Weaver GW. 2013. Nutritional content of fresh and canned peaches. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93: 593-603.
- Elhadi MY, Gloria Soto-Zamora, Jeffrey KB, Alfonso Gardea. 2007. Postharvest hot air treatment effects on the antioxidant system in stored mature-green tomatoes. *Postharvest Biology and Technology*, 44: 107-115.
- Fallik E. 2004. Pre-storage hot water treatments (immersion, rinsing and brushing). *Postharvest Biology and Technology*, 32: 125-134.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2016. Anuario estadístico.
- Gao H, Zhang ZK, Lv XG, Cheng N, Peng BZ, Cao W. 2015. Effect of 24-epibrassinolide on chilling injury of peach fruit in relation to phenolic and proline metabolisms. *Postharvest Biology and Technology*, 111: 390-397.
- García-Limones C, Hervás A, Navas-Cortes JA, Jiménez-Días RM, Tena M. 2002. Induction of an antioxidant enzyme system and other oxidative stress markers associated with compatible and incompatible interactions between chickpea (*Cicer arietinum* L.) and *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 61: 325-337.
- Ghasemnezhad M, Marsh K, Shilton R, Babalar M, Woolf A. 2008. Effect of hot water treatments on chilling injury and heat damage in 'Satsuma' mandarins: antioxidant enzymes and vacuolar ATPase, and pyrophosphatase. *Postharvest Biology and Technology*, 48: 364-371.
- Giovannoni JJ. 2001. Molecular biology of fruit maturation and ripening. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 52: 725-749.

- Hansen JD, Johnson JA, Winter DA. 2011. History and use of heat in pest control: *International Journal of Pest Management*, 57: 267-289.
- Hayama H, Shimada T, Fujii H, Ito A, Kashimura Y. 2006. Ethylene-regulation of fruit softening and softening-related genes in peach. *Journal of Experimental Botany*, 57(15): 4071-4077.
- He LH, Chen JY, Kuang JF, Lu WJ. 2012. Expression of three sHSP genes involved in heat pretreatment-induced chilling tolerance in banana fruit. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92: 1924-1930.
- Henríquez C, González R, Krarup C. 2005. Tratamientos térmicos y progresión del daño por enfriamiento y de la pigmentación de tomates en poscosecha. *Ciencia e Investigación Agraria*, 32(2): 113-123.
- Heredia JB, Cisneros-Zeballos L. 2009. The effects of exogenous ethylene and methyl jasmonate on the accumulation of phenolic antioxidants in selected whole and wounded fresh produce. *Food Chemistry*, 115(4): 1500-1508.
- Hiwasa K, H Ezura. 2014. Part I. Physiology and metabolism. Fruit ripening: Physiology, signaling and genomics. In: Nath P, Bouzayen M, Pech J, Mattoo A. London, UK. CABI. pp 1-99.
- Hu LY, Hu SL, Wu J, Li YH, Zheng JL, Wei ZJ, Liu J, Wang HL, Liu YS, Zhang H. 2012. Hydrogen sulfide prolongs postharvest shelf life of strawberry and plays an antioxidative role in fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60: 8684-8693.
- Huang RH, Liu JH, Lu YM, Xia RX. 2008. Effect of salicylic acid on the antioxidant system in the pulp of 'Cara cara' navel orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) at different storage temperatures. *Postharvest Biology and Technology*, 47: 168-175.
- Hung D, Tong S, Tanaka F, Yasunaga E, Hamanaka D, Hiruma N, Uchino T. 2011. Controlling the weight loss of fresh produce during postharvest storage under a nano-size mist environment. *Journal of Food Engineering*, 106(4): 325-330.
- Imahori Y, Bai J, Baldwin E. 2016. Antioxidative responses of ripe tomato fruit to postharvest chilling and heating treatments. *Scientia Horticulturae*, 198: 398-406.

- Imahori Y. 2014. Role of ascorbate peroxidase in postharvest treatments of horticultural crops. In: Ahmad, P. (Ed.), *Oxidative Damage to Plants: Antioxidant Networks and Signaling*. San Diego, USA. Elsevier Inc. pp. 425-451.
- Kader A. 2002. *Biología y tecnología poscosecha: Un panorama*. En: Kader, A., Pelayo-Saldivar, C. (eds.). *Tecnología Postcosecha de Cultivos Hortofrutícolas*. Universidad de California. Davis. 3ra Edición. Capítulo 4. pp. 43-54.
- Kalinowska M, Bielawska A, Lewandowska-Siwkiewicz H, Priebe W, Lewandowski, W. 2014. Apples: Content of phenolic compounds vs. variety, part of apple and cultivation model, extraction of phenolic compounds, biological properties. *Plant Physiology and Biochemistry*, 84: 169-188.
- Khademi O, Besada C, Mostofi Y, Salvador A. 2014. Changes in pectin methylesterase, polygalacturonase, catalase and peroxidase activities associated with alleviation of chilling injury in persimmon by hot water and 1-MCP treatments. *Scientia Horticulturae*, 179: 191-197.
- Kondo S, Kittikorn M, Kanlayanarat S. 2005. Preharvest antioxidant activities of tropical fruit and the effect of low temperature storage on antioxidants and jasmonates. *Postharvest Biology and Technology*, 36: 309-318.
- Lara MV, Borsani J, Budde CO, Lauxmann MA, Lombardo VA, Murray R, Andreo CS, Drincovich MF. 2009. Biochemical and proteomic analysis of 'Dixiland' peach fruit (*Prunus persica*) upon heat treatment. *Journal of Experimental Botany*, 60: 4315-4333.
- Liu C, Zhao Y, Li X, Jia J, Chen Y, Hua Z. 2014. Antioxidant capacities and main reducing substance contents in 110 fruits and vegetables eaten in China. *Food and Nutrition Sciences*, 5: 293-307.
- Liu Z, Wang X. 2012. Changes in color, antioxidant, and free radical scavenging enzyme activity of mushrooms under high oxygen modified atmospheres. *Postharvest Biology and Technology*, 69: 1-6.

- Luo ZS, Chen C, Xie J. 2011. Effect of salicylic acid treatment on alleviating postharvest chilling injury of ‘Qingnai’ plum fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 62: 115-120.
- Lurie S, Pedreschi R. 2014. Fundamental aspects of postharvest heat treatments. *Hortscience, Res.* 1: 14030.
- Lurie S, Vanoli M, Dagar A, Weksler A, Lovati F, Eccher Zerbini P. 2011. Chilling injury in stored nectarines and its detection by time resolved reflectance spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*, 59: 211-218.
- Lurie S, Crisosto CH. 2005. Chilling injury in peach and nectarine. *Postharvest Biology and Technology*, 37: 195-208.
- Lurie S. 1998. Postharvest heat treatments. *Postharvest Biology and Technology*, 14: 257-269.
- Ma Y, Zhang Y, Lu J, Shao H. 2009. Roles of plant soluble sugars and the irresponse to plant cold stress. *African Journal of Biotechnology*, 8: 2004-2010.
- MacDougall DB. 2002. Colour measurement of food: principles and practice. In: MacDougall DB (Eds). *Colour in food Improving quality*. USA. CRA Press, LLC. 378.
- Meng XY, Zhang M, Adhikari B. 2012. Extending shelf-life of fresh-cut green peppers using pressurized argon treatment. *Postharvest Biology and Technology*, 71: 13-20.
- MGAP-DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca - Dirección de Investigaciones Económicas Agropecuarias). 2018. Encuesta frutícola de hoja caduca. Serie Encuestas N° 338. Montevideo, Uruguay. 22p. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/unidad-organizativa/oficina-de-programacion-y-politicas-agropecuarias/estadisticas/produccion-vegetal/fruticultura/encuesta-fruticola-de-hoja-caduca-zafra-2016-338>
- Mirdehghan SH, Rahemi M, Serrano M, Guillen F, Martinez-Romero D, Valero D. 2006. Prestorage heat treatment to maintain nutritive and functional properties during postharvest cold storage of pomegranate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54: 8495-8500.

- Mittler R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science*, 7: 405-410.
- Møller IM. 2001. Plant mitochondria and oxidative stress: electron transport, NADPH turnover, and metabolism of reactive oxygen species. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 52: 561-591.
- Morteza SA, Samad B. 2014. Postharvest Heat Treatment for Mitigation of Chilling Injury in Fruits and Vegetables. *Food Bioprocess Technology*, 7: 37-53.
- Nasef IN. 2018. Short hot water as safe treatment induces chilling tolerance and antioxidant enzymes, prevents decay and maintains quality of cold-stored cucumbers. *Postharvest Biology and Technology*, 138: 1-10.
- Nourian F, Ramaswamy HS, Kushalappa AC. 2003. Kinetics of quality change associated with potatoes stored at different temperatures. *LWT-Food Science and Technology*, 36: 49-65.
- Peace CP, Crisosto CH, Gradziel TM. 2005. Endopolygalacturonase: a candidate gene for Freestone and Melting flesh in peach. *Molecular Breeding*, 15: 420-427.
- Peng J, Cong Z, Yu-ping H, Xiao-li W, Zi-sheng L, Yong-hua Z. 2016. Hot air treatment activates defense responses and induces resistance against *Botrytis cinerea* in strawberry fruit. *Journal of Integrative Agriculture*, 15(11): 2658-2665.
- Peng J, Shang HT, Chen JJ, Zhu H, Zhao YY, Zheng YH. 2011. Effect of 1-methylcyclopropene on chilling injury and quality of peach fruit during cold storage. *Journal of Food Science*, 76: S485-S491.
- Peng J, Zheng YH, Tang SS, Rui HJ, Wang CY. 2009. A combination of hot air and methyl jasmonate vapor treatment alleviates chilling injury of peach fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 52: 24-29.
- Pesis E, Aharoni, D, Aaron Z, Ben-Arie R. 2000. Modified atmosphere and modified humidity packaging alleviates chilling injury symptoms in mango fruits. *Postharvest Biology and Technology*, 19: 93-101.
- Raju P, Chauhan O, Bawa A. 2011. Postharvest Handling Systems and Storage of Vegetables. In: *Handbook of Vegetables and Vegetable Processing*, Sinha, N. (ed.), Wiley-Blackwell, pp. 185-197.

- Reitter RJ. 1995. Oxidative process and antioxidative mechanism. *FASEB J*, 9: 526-535.
- Rodriguez-Casado A. 2016. The health potential of fruits and vegetables phytochemicals: notable examples. *Critical Review in Food Science and Nutrition*, 56 (7): 1097-1107.
- Rodríguez-Félix A, Fortiz-Hernández J, Villegas-Ochoa M. 2011. Cambios en enzimas pectolíticas durante la maduración del durazno 'Flordaprince'. *Interciencia*, 36(1): 65-70.
- Romojaro MC. 2016. Tratamientos Poscosecha para el control de los daños por frío en frutos climatéricos y no climatéricos. Tesis Dra. Murcia, España. Facultad de Química. Universidad de Murcia. 218 p.
- Rui H, Cao S, Shang H, Jin P, Wang K, Zheng Y. 2010. Effects of heat treatment on internal browning and membrane fatty acid in loquat fruit in response to chilling stress. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90: 1557-1561.
- Sairam RK, Srivastava GC, Saxena DC. 2000. Increased antioxidant activity under elevated temperatures: a mechanism of heat stress tolerance in wheat genotypes. *Plant Biology*, 43: 245-251.
- Sala JM, Lafuente MT. 2004. Antioxidant enzymes activities and rind staining in 'Navelina' oranges as affected by storage relative humidity and ethylene conditioning. *Postharvest Biology and Technology*, 31: 277-285.
- Schirra M, D'hallewin G, Ben-Yehoshua S, Fallik E. 2000. Host-pathogen interactions modulated by heat treatment. *Postharvest Biology and Technology*, 21: 71-85.
- Schirra M, D'Aquino S, Cabras P, Angioni A. 2011. Control of postharvest diseases of fruit by heat and fungicides: efficacy, residue levels, and residue persistence. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59 (16): 8531-8542.
- Seibert E, González S, Orellana A, Luchsinger L, Bender RJ. 2009. Calidad postcosecha y daños por frío en duraznos 'nos 21'. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 10: 51-60.

- Sevillano L, Sanchez-Ballesta MT, Romojaro F, Flores FB. 2009. Physiological, hormonal and molecular mechanisms regulating chilling injury in horticultural species. Postharvest technologies applied to reduce its impact. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89: 555-573.
- Shadmani N, Ahmad SH, Saari N, Ding P, Tajidin NE. 2015. Chilling injury incidence and antioxidant enzyme activities of *Caricacapaya* L. 'Frangi' as influenced by postharvest hot water treatment and storage temperature. *Postharvest Biology and Technology*, 99: 114-119.
- Shao X, Tu K. 2013. Hot air treatment improved the chilling resistance of loquat fruit under cold storage. *Journal of Food Processing and Preservation*. doi:10.1111/jfpp.12019.
- Shao X, Zhu Y, Cao S, Wang H, Song Y. 2013. Soluble sugar content and metabolism as related to the heat-induced chilling tolerance of loquat fruit during cold storage. *Food and Bioprocess Technology*, 6: 3490-3498.
- Sharom M, Willemot C, Thompson JE. 1994. Chilling injury induces lipid phase changes in membranes of tomato fruit. *Plant Physiology*, 105: 305-308.
- Singleton VL, Rossi JA. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolibdic-phosphotungstic acid reagent. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16: 144-158.
- Soria J, Pisano J. 2014. Variedades de duraznero y nectarina para el Uruguay. Manual del cultivo del duraznero. La planta y la cosecha. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Boletín de Divulgación N°108. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/8748/1/bd-108-p.85-163.pdf>
- Spadoni A, Guidarelli M, Sanzani SM, Ippolito A, Mari M. 2014. Influence of hot water treatment on brown rot of peach and rapid fruit response to heat stress. *Postharvest Biology and Technology*, 94: 66-73.
- Tareen MJ, Abbasi NA, Hafiz IA. 2012. Postharvest application of salicylic acid enhanced antioxidant enzyme activity and maintained quality of peach cv.

- 'Flordaking' fruit during storage. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 142: 221-228.
- Toivonen, PMA. 2004. Postharvest storage procedures and oxidative stress. *Hortscience*, 39: 938-942.
- Tomás-Barberán F, Gil MI, Cremin P, Waterhause AL, Hess-Pierce B, Kader AA. 2001. HPLC-DAD-ESIMS analysis of phenolic compounds in nectarines, peaches and plums. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49: 4748-4760.
- Tonutti P, Bonghi C, Ramina A. 1996. Fruit firmness and ethylene biosynthesis in three cultivars of peach (*Prunus persica* L., Batsch). *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 71: 141-147.
- Tonutti P, Casson P, Ramina A. 1991. Ethylene biosynthesis during peach fruit development. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 116 (2): 274-279.
- Trainotti L, Zanin D, Casadoro G. 2003. A cell wall-oriented genomic approach reveals a new and unexpected complexity of the softening in peaches. *Journal of Experimental Botany*, 54: 1821-1832.
- Vicente AR, Martínez GA, Chaves AR, Civello PM. 2006. Effect of heat treatment on strawberry fruit damage and oxidative metabolism during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 40: 116-122.
- Vicente AR, Costa ML, Martinez GA, Chaves AR, Civello PM. 2005. Effect of heat treatments on cell wall degradation and softening in strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 38: 213-222.
- Vicente AR, Martínez GA, Civello PM, Chaves AR. 2002. Quality of heat-treated strawberry fruit during refrigerated storage. *Postharvest Biology and Technology*, 25: 59-71.
- Vithana MDK, Singh Z, Johnson S. 2018. Cold storage temperatures and durations affect the concentrations of lupeol, mangiferin, phenolic acids and other health-promoting compounds in the pulp and peel of ripe mango fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 139: 91-98.

- Voss DH. 1992. Relating colorimeter measurement of plant color to the royal. Horticultural Society Color Chart. HortScience, 27 (12): 1256-1260.
- Wang CY. 2000. Postharvest techniques for reducing low temperature injury in chilling-sensitive commodities. In Artés., Gil., & Conesa. (Eds.), Improving postharvest technologies for fruits, vegetables and ornamentals. Edit. Intern. Institute of Refrigeration. pp. 367-473.
- Wang CY. 1995. Effect of temperature preconditioning on catalase, peroxidase, and superoxide dismutase in chilled zucchini squash. Postharvest Biology and Technology, 5: 67-76.
- Wang K, Shao X, Gong Y, Zhu Y, Wang H, Zhang X, Yu D, Yu F, Qiu Z, Lu H. 2013. The metabolism of soluble carbohydrates related to chilling injury in peach fruit exposed to cold stress. Postharvest Biology and Technology, 86: 53-61.
- Wang Q, Lai TF, Qin GZ, Tian SP. 2009. Response of jujube fruits to exogenous oxalic acid treatment based on proteomic analysis. Plant and Cell Physiology, 50: 230-242.
- Wills R, McGlasson B, Graham D, Joyce D. 1998. Postharvest. An Introduction to the Physiology and Handling of Fruit, Vegetables and Ornamentals. CABI Publishing, Wallingford, Oxon, UK, 262.
- Wisniewski M, Nassuth A, Teulieres C, Marque C, Rowland J, Cao PB, Brown A. 2014. Genomics of cold hardiness in woody plants. Critical Reviews in Plant Sciences, 33: 92-124.
- Xing Y, Li X, Xu Q, Yun J, Lu Y, Tang Y. 2011. Effects of chitosan coating enriched with cinnamon oil on qualitative properties of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). Food Chemistry, 124(4): 1443-1450.
- Yan S, Yang T, Luo Y. 2015. The mechanism of ethanol treatment on inhibiting lettuce enzymatic browning and microbial growth. LWT-Food Science and Technology, 63: 383-390.
- Yu L, Hangxing L, Xingfeng S, Fang Y, Yanzhen E, Zhiming N, Feng X. 2016. Effects of hot air and methyl jasmonate treatment on the metabolism of soluble sugars

- in peach fruit during cold storage. *Postharvest Biology and Technology*, 113: 8-16.
- Yun Z, Gao H, Liu P, Liu S, Luo T, Jin, S, Xu Q, Xu J, Cheng Y, Deng X. 2013. Comparative proteomic and metabolomic profiling of citrus fruit with enhancement of disease resistance by postharvest heat treatment. *BMC Plant Biology*, 13: 1-16.
- Zhang C, Ding Z, Xu X, Wang Q, Qin G, Tian S. 2010. Crucial roles of membrane stability and its related proteins in the tolerance of peach fruit to chilling injury. *Journal Amino Acids*, 39: 181-194.
- Zhang CF, Tian SP. 2009. Crucial contribution of membrane lipids unsaturation to acquisition of chilling-tolerance in peach fruit stored at 0°C. *Food Chemistry*, 115: 405-411.
- Zhang X, Shen L, Li F, Meng D, Sheng J. 2013. Arginase induction by heat treatment contributes to amelioration of chilling injury and activation of antioxidant enzymes in tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 79: 1-8.
- Zhou H, Ye ZW, Su MS, Du JH. 2015. Effect of heat treatment on protein content and quality of Hujingmilu peach (*Prunus persica* (L.) Batsch). *Hortscience*, 50(10): 1531-1536.
- Zhou HJ, Zheng-wen Y, Ming-shen S, Ji-hong D, Xiong-wei L. 2015. Effect of Heat Treatment on Protein Content and the Quality of 'Hujingmilu' Peach [*Prunus persica* (L.) Batsch]. *Hortscience*, 50(10): 1531-1536.
- Zhou R, Zhang G, Hu Y, Wu H, Xie J, Lou Y. 2012. Reductions in flesh discolouration and internal morphological changes in Nanhui peaches (*Prunus persica* (L.) Batsch, cv. Nanhui) by electrolysed water and 1-methylcyclopropene treatment during refrigerated storage. *Food Chemistry*, 135: 985-992.
- Zhou R, Li YF, Yan LP, Xie J. 2011. Effect of edible coatings on enzymes, cell membrane integrity, and cell-wall constituents in relation to brittleness and firmness of Huanghua pears (*Pyrus pyrifolia* Nakai, cv. Huanghua) during storage. *Food Chemistry*, 124: 569-575.
- Zhou R, Cheng L, Dandekar AM. 2006. Down-regulation of sorbitol dehydrogenase and up-regulation of sucrose synthase in shoot tips of the transgenic apple trees

with decreased sorbitol synthesis. *Journal of Experimental Botany*, 57: 3647-3657.

Zhou T, Shiyong X, Da-Wen S, Zhang W. 2002. Effects of heat treatment on postharvest quality of peaches. *Journal of Food Engineering*, 54: 17-22.

Zhu S, Sun L, Liu M, Zhou J. 2008. Effect of nitric oxide on reactive oxygen species and antioxidant enzymes in kiwifruit during storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2324-2331.

6. **TRATAMIENTO CON AIRE CALIENTE Y SU EFECTO SOBRE EL METABOLISMO DE NECTARINA VAR. BIG TOP ALMACENADA A DIFERENTES TEMPERATURAS**

González Victor David¹, Cuozzo Vanessa¹, Torres Eva¹, Pariani Yanina¹, Silveira Ana Cecilia¹

Poscosecha de Frutas y Hortalizas, Departamento de Producción Vegetal, Facultad de Agronomía. Garzón 780, 12900 Montevideo, Uruguay. Correo electrónico:

acsilver@fagro.edu.uy

Aire caliente y respuesta metabólica en nectarina

Artículo publicado en la Revista Agrociencia Uruguay.

Resumen

Se evaluó el efecto del tratamiento con aire caliente (35 °C/36 h) sobre nectarinas Big Top, previo a la conservación a 0 y 5 °C durante 6, 18 y 27 días seguidos de 6 días a 20 °C (vida de mostrador, VM). La actividad respiratoria en los frutos a 5 °C, fue el doble (24 CO₂ kg⁻¹h⁻¹) de la medida en los frutos a 0 °C durante el pico respiratorio. A 0 °C, los frutos tratados mostraron entre un 2 y 5 % más de actividad respiratoria. Los polifenoles totales no fueron afectados por temperatura ni tratamiento en conservación (0,22 y 0,24 mg equivalente ácido gálico g⁻¹ PF), pero aumentaron casi el doble en VM sobretudo en frutos procedentes de 0 °C. En algunos momentos de análisis la capacidad antioxidante total de los frutos no tratados a 0 °C (0,42 y 0,45 mg equivalente ácido ascórbico g⁻¹ PF), duplicó a la de los tratados, aunque esta situación se revirtió en VM. La actividad de la superóxido dismutasa fue considerablemente mayor en frutos tratados a 0 °C (15-30 unidades de actividad mg⁻¹ de proteína) contrariamente a lo que ocurrió a 5 °C. La actividad de la poligalacturonasa y pectinmetil esterasa, así como el desarrollo de harinosidad en VM y en frutos no tratados procedentes de 5 °C indicaría que el tratamiento térmico tuvo un efecto protector reduciendo la ocurrencia del daño. Sin embargo, la poca o nula respuesta observada en otras variables, hacen necesario la confirmación del efecto en trabajos futuros.

Palabras clave: tratamiento térmico, daño por frío, antioxidantes, enzimas de estrés oxidativo, respiración.

Hot air treatment and its effect on nectarine metabolism var. Big Top stored at different temperature

Summary

The effect of hot air treatment (35 °C / 36 h) on Big Top nectarines prior the storage at 0 and 5 °C for 6, 18 and 27 days followed by 6 days at 20 °C (shelf life, SL) was evaluated. Respiratory activity was double in fruits at 5 °C (24 mg CO₂ kg⁻¹h⁻¹), compared to the fruits maintained at 0 °C, when the respiratory peak occurred. At 0 °C, the treated fruits showed between 2 and 5% more respiratory activity. The total polyphenols were not affected by temperature or treatment (0.22 and 0.24 mg galic acid equivalent g⁻¹ FW), but almost doubled in SL, especially in fruits from 0 °C. At some analysis moments, the total antioxidant capacity of untreated fruits stored at 0 °C (0.42 and 0.45 mg equivalent ascorbic acid g⁻¹ FW), doubled the values measured on the treated ones, although this situation was reversed in SL. The superoxide dismutase activity was considerably higher in fruits treated and stored at 0 °C (15-30 units of activity mg⁻¹ of protein) contrary to the observed at 5 °C. The activity of polygalacturonase and pectinmethyl esterase, as well as the development of mealiness in VM and in untreated fruits from 5 °C, would indicate that the heat treatment had a protective effect reducing the occurrence of the damage. However, the little or no response observed in other variables, make it necessary to confirm the effect of the heat treatment in future works.

Keywords: heat treatment, chilling injury, antioxidants, oxidative stress enzymes, respiration.

Introducción

La producción de duraznos y nectarinos en Uruguay es de alrededor de 12.858 y 1.550 toneladas, ocupando una superficie de 1.388 y 160 ha respectivamente, explotadas por unos 600 productores y destinada en un 97% al mercado interno; 2,8% a la industria y 0,2% a la exportación⁽¹⁾.

Ambos frutos son de tipo climatérico, lo que determina que se deterioren rápidamente después de la cosecha si permanecen a temperatura ambiente (15-20 °C), debido al aumento de la tasa respiratoria y producción de etileno (C₂H₄). Por lo tanto, el almacenamiento en frío se ha utilizado como una herramienta para la extensión de su vida útil⁽²⁾⁽³⁾. Se ha demostrado que la temperatura óptima de conservación es de 0 °C mientras que la humedad relativa debe estar entre 95-98%. Bajo estas condiciones la tasa respiratoria es entre 2-3 mL de CO₂ kg⁻¹h⁻¹ y la producción de C₂H₄ entre 0,5-5 µL kg⁻¹h⁻¹.

Por otro lado, los frutos de durazno y nectarino son sensibles al frío, por lo que el almacenamiento a temperaturas no óptimas, entre 2 y 8 °C pueden provocar desórdenes fisiológicos denominados daños por frío⁽⁴⁾. Entre los síntomas de daño por frío están el pardeamiento interno, harinosidad de la pulpa, enrojecimiento o sangrado, translucencia de la pulpa, incapacidad para madurar entre otros⁽⁵⁾ que, si bien se producen durante el almacenamiento refrigerado, se expresan cuando los frutos son transferidos a temperatura ambiente (vida de mostrador, VM). Por lo tanto, el problema no se presenta hasta que la fruta llega a los consumidores, lo que limita la vida útil y conlleva a una reducción de la aceptación del consumidor y en consecuencia una pérdida en el valor⁽⁶⁾. El grado de susceptibilidad tiene un fuerte componente genético, indicándose que en general los duraznos son más sensibles de desarrollar daños por frío (DF) que los nectarinos⁽⁴⁾⁽⁷⁾. En el caso de la variedad Big Top,

Candir y otros⁽⁸⁾ indican que tiene un potencial de conservación de 30 días a 0°C, seguido de 2 días de VM a 20 °C.

Desde el punto de vista fisiológico el primer efecto de los DF ocurren a nivel de la membrana celular que pasa de un estado cristalino-líquido a una estructura de gel afectando su permeabilidad selectiva, lo que provoca la fuga del contenido citoplasmático, iones y metabolitos⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾. Un indicador de la estabilidad de la membrana es el contenido de malondialdehído (MDA), que se conoce como el producto final de la peroxidación de los lípidos que la constituyen. Como consecuencia de esta pérdida de permeabilidad también entran en contacto la enzima polifenol oxidasa (PPO) y los polifenoles que en presencia de oxígeno (O₂) forman pigmentos oscuros responsables del pardeamiento, uno de los síntomas de daño por frío⁽¹¹⁾.

Otro de los síntomas del DF es la harinosidad de la pulpa, relacionada a un desequilibrio entre la actividad de las enzimas involucradas en la degradación de la pared celular, la pectinmetilesterasa (PME) y poligalacturonasa (PG)⁽¹²⁾⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾.

Durante el almacenamiento en condiciones de temperatura inductoras, se generan especies reactivas de oxígeno (EROS) como el superóxido (O₂⁻), el hidroxilo (OH⁻) y el peróxido de hidrógeno (H₂O₂) que se acumulan al producirse un desequilibrio entre su producción y agotamiento por fallas en el sistema antioxidante de los frutos. La producción de EROS contribuye también a generar daños en la membrana⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾. El sistema antioxidante está formado por enzimas que incluyen a la superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT), ascorbato peroxidasa (APX) y glutatión reductasa⁽¹⁷⁾. Estas enzimas actúan como antioxidantes directos, que eliminan al O₂⁻ y H₂O₂⁽¹⁸⁾. La SOD, cataliza la dismutación del O₂⁻ a H₂O₂ y O₂, mientras que, la CAT y APX, catalizan la descomposición del H₂O₂ en O₂ y H₂O⁽¹⁹⁾. Además de las

enzimas existe un sistema antioxidante no enzimático que comprenden un amplio grupo de sustancias que pueden actuar como captadores o como quelantes de iones metálicos y donde se incluyen los polifenoles totales, ácido ascórbico, flavonoides y otros. La elevada actividad antioxidante de estos compuestos se debe fundamentalmente a que poseen una potente capacidad reductora, oxidándose ellos preferentemente en presencia de sustancias oxidantes y protegiendo de esta manera, las estructuras celulares⁽²⁰⁾.

Existen diferentes tratamientos que se utilizan para mitigar la ocurrencia de daños por frío, que pueden ser de tipo químico, como el uso de 1-metilciclopropeno (1-MCP), ácido salicílico y jasmónico, entre otros; y/o físicos como las atmósferas controladas o modificadas, radiación UV-C y los tratamientos térmicos⁽²¹⁾⁽²²⁾. Los tratamientos térmicos en poscosecha pueden ser aplicados como agua caliente (40-60 °C durante 7-10 min), aire caliente (30-40 °C durante 24 a 48 h) o como vapor⁽³⁾. La reducción de la incidencia de los DF en frutas tratadas térmicamente podría atribuirse a la mejora de la integridad de la membrana, de la expresión de los genes que codifican a las proteínas de choque térmico y/o a la mejora de la actividad del sistema antioxidante entre otros⁽²³⁾.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del tratamiento con aire caliente sobre la actividad metabólica y los sistemas antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos de frutos de nectarina, var. Big Top, conservados a dos temperaturas, una considerada óptima (0 °C) y otra considerada estresante (5 °C).

Materiales y métodos

Material vegetal y tratamiento térmico

Se utilizó la variedad de nectarina Big Top cosechada el 20 de diciembre en un predio comercial de Melilla (Montevideo, Uruguay). Los frutos presentaron un peso promedio de 125 g. El momento de cosecha fue definido en base al color de fondo, los sólidos solubles totales (°Brix) y la firmeza de la pulpa, cosechándose frutos con una coloración amarillo-verdosa, 14° Brix y una firmeza promedio de 45 N medida en la zona ecuatorial del fruto.

Inmediatamente después de la cosecha los frutos fueron trasladados al laboratorio de Poscosecha de Frutas y Hortalizas de la Facultad de Agronomía, situado a aproximadamente 15 km. Una vez en el laboratorio fueron seleccionados y colocados en cajas plásticas (7 frutos por caja) y posteriormente divididos en cuatro grupos dos de los cuales fueron colocados en un recinto cerrado de 3,5 x 2,5 m calefaccionado a 35 ± 3 °C por 36 h, con monitoreo de la temperatura. Los grupos que no recibieron tratamiento térmico fueron inmediatamente almacenados en cámaras refrigeradas a 0 ± 1 y 5 ± 1 °C respectivamente con un 95% de HR. Luego del tratamiento térmico los frutos se dividieron en dos grupos y también se almacenaron 0 ± 1 y 5 ± 1 °C junto a los no tratados. Luego de 6, 18 y 27 días de conservación se tomaron 3 cajas por tratamiento (21 frutos totales) para los análisis correspondientes a salida de la conservación, mientras que otras 3 cajas se dejaron durante 6 días a 20 °C para realizar las evaluaciones correspondientes a vida de mostrador (VM).

Tasa respiratoria

Para la determinación se colocaron 2 frutos en frascos de vidrio provistos de tapa hermética y un septum de silicona. Luego de 2 h se extrajeron 10 mL de gas mediante una jeringa, que se

inyectaron en un cromatógrafo de gases (Agilent Technologies 7890B, CG System, Estados Unidos), con temperatura del inyector, horno y detector de 20, 60, 200 °C respectivamente. Se realizaron 3 repeticiones por tratamiento (frutos tratados y testigos) y por temperatura de conservación (0 y 5 °C) y los valores se expresaron como mg CO₂ kg⁻¹h⁻¹.

Pérdida de peso

Los frutos se pesaron al momento de la cosecha (peso inicial) y en cada momento de análisis, tanto en conservación como en vida de mostrador, utilizando una balanza digital (Acculab, VI-10 kg, USA). Los datos fueron expresados como % de pérdida de peso.

Polifenoles totales

Los PT se determinaron en 100 µL de extracto obtenido a partir de 3 g de pulpa procedentes de muestras congeladas (-80 °C), homogenizadas con 9 mL de metanol mediante un dispersor (Ultraturrax XHD-D High-Speed Disperser, China) durante 1 min a 13.500 rpm⁽²⁴⁾. A este extracto se le añadieron 150 µL del reactivo Folin-Ciocalteu (en relación 1;1 con agua destilada, Merck, Alemania) y luego de 3 min se le agregaron 1.000 µL de una solución de hidróxido de sodio (NaOH, PM: 39,99 g mol⁻¹; Carlo Erba, Italia) al 0,4% y carbonato de sodio (Na₂CO₃, PM: 105 g mol⁻¹; Merck, Alemania) al 2%. Luego, se midió la absorbancia mediante un espectrofotómetro UV-visible (Unico, S-2150, Estados Unidos) a 750 nm. Se realizaron 3 repeticiones por tratamiento. Los resultados fueron expresados en mg EAG g⁻¹ PF empleándose como patrón ácido gálico (PM: 170,12 g mol⁻¹; Merck, China).

Capacidad antioxidante total

Para ello se mezclaron 25 µL del mismo extracto usado para los PT con 675 µL del reactivo DPPH (PM: 394,32 g mol⁻¹; Sigma-Aldrich, Alemania) que se dejó reaccionar durante 1 h para

medir la absorbancia a 515 nm⁽²⁵⁾. Se realizaron 3 repeticiones por tratamiento. Los resultados fueron expresados en mg EAA g⁻¹ PF, ya que se empleó ácido ascórbico (PM: 176,12 g mol⁻¹; Merck, China) como patrón.

Contenido de malonildialdehído

El contenido de MDA se determinó a partir de 3 g de tejido que se homogenizaron con 15 mL de ácido tricloroacético (TCA, Merck, Alemania) al 5% (p/v). Luego se centrifugó a 13.000 rpm durante 30 min⁽²⁶⁾. Se tomaron 2 mL de sobrenadante y se les añadió 2 mL TCA al 67%. Posteriormente se calentó a 100 °C durante 30 min, se enfrió rápidamente y se centrifugó a 10.000 rpm durante 10 min. Se midió la absorbancia a 532, 600 y 450 nm respectivamente. Se realizaron 3 repeticiones por tratamiento. El contenido de MDA se calculó usando la siguiente fórmula:

$$(\text{mmol kg}^{-1} \text{ PF}) = \frac{[6,45 \times (A_{532} - A_{600}) - 0,56 \times A_{450}] \times V_t \times V_r}{(V_s \times m)}$$

Siendo V_t (volumen del extracto); V_r (volumen de la mezcla de reacción); V_s (volumen del extracto contenido en el mezcla de reacción y m (masa).

Actividad de enzimas de estrés oxidativo

Para la extracción se homogeneizó 1 g de pulpa liofilizada con 0,2 g de Polivinilpirrolidona (PVPP, Merck, Alemania); 5 mL de buffer de extracción (TPK, 50 mM y pH 7,8); ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) 0,1 mM; L-cisteína 5 mM; tritón X-100 al 0,2% y fenil metil sulfonil fluoruro 1 mM. La actividad de la catalasa (CAT) se midió en una cubeta de cuarzo con 50 µL del extracto enzimático y 1450 µL de buffer de reacción tampón potásico 50 mM y pH 7

con H₂O₂ 10 mM, registrándose los valores de absorbancia durante 5 min a 240 nm. Para el cálculo se tomó como valor el incremento de la absorbancia de la parte lineal de la curva de reacción. La actividad se expresó como unidades de actividad enzimática (UA mg⁻¹ de proteína).

En el caso de la ascorbato peroxidasa (APX) se usaron 505 µL del extracto y 960 µL de buffer de reacción (TPK 50 mM y pH 7; EDTA 0,1 mM; ácido ascórbico 0,5 mM y H₂O₂ 1,54 mM), midiéndose cada 30 s a 290 nm hasta que la absorbancia se mantuvo constante. Los cálculos se realizaron tomando como valor el descenso de la absorbancia de la parte lineal. La actividad se expresó como UA mg⁻¹ de proteína.

Para la determinación de la superóxido dismutasa (SOD), se pesaron 2 g de pulpa liofilizada que se homogenizaron con 5 mL de buffer de extracción (Tris-HCl 50 mM y pH 7,5; cloruro de magnesio y EDTA 1 mM) durante 1 min. La mezcla se centrifugó a 3.000 rpm por 20 min a 4°C. Se prepararon 2 cubetas idénticas con 6 µL de extracto con 351 µL de buffer de reacción (tampón fosfato 50 mM y pH 7,8; metionina 13 mM; cloruro de nitroazul de tetrazolio 75 mM y riboflavina 2 µM). Una se dejó en oscuridad y la otra expuesta a la luz de una lámpara de 15 W a 30 cm de distancia por 15 min midiéndose luego la absorbancia a 560 nm. En todos los casos se realizaron 3 repeticiones por tratamiento.

Para determinar la actividad específica de cada una de las enzimas, se determinó la concentración de proteínas de cada uno de los extractos según la metodología de Bradford⁽²⁶⁾. Para esto se tomaron 50 µL de extracto de cada enzima que se colocaron en cubetas de cuarzo junto a 2.500 µL de reactivo Bradford (Sigma-Aldrich, USA). Al cabo de 30 min se midió la absorbancia a 595 nm. Para determinar la concentración de proteína se realizó una curva de

estándar para cada enzima con albumina de suero bovino disuelta en el buffer de extracción correspondiente a cada enzima.

Actividad de enzimas que degradan la pared celular

En el caso de la PME se pesó 1 g de muestra de fruta liofilizada que se homogenizó con 10 mL de cloruro de sodio (NaCl, PM: 54,44 g mol⁻¹; Merck, Alemania) 1M que contenía 10 g L⁻¹ de polivinilpirrolidona (PVPP, Merck, Alemania) y cisteína 1 mM. Luego los homogenizados se agitaron a 4 °C durante 4 h y se centrifugaron a 10.000 rpm durante 20 min.

La actividad se determinó en la mezcla que contenía 600 µL de pectina al 0,15% p/v (grado de esterificación 70%), 150 µL de azul bromotimol al 0,01% en tampón de fosfato 0,0003 (M pH 7,5), 100 µL de agua (pH 7,5) y 200 µL de extracto procedente del sobrenadante. Luego, se midió la absorbancia a 620 nm y la actividad enzimática se expresó como UA g⁻¹ de proteína.

Para la extracción de la PG se pesó 1 g de muestra liofilizada que se homogenizó con 10 mL de HAc-NaAc (50 mM pH 5,5) que contenía 10 g L⁻¹ de PVPP, cisteína 1 y NaCl 1 M. Luego, los homogenizados se agitaron a 4 °C durante 3 h y se centrifugaron a 10.000 x g durante 20 min. Los sobrenadantes recogidos se dializaron frente a NaAc (50 mM y pH 5,5) durante 12 h.

La actividad se determinó mediante una mezcla de reacción que contenía HAc-NaAc (50 mM y pH 5,5), 400 µL de ácido poligalacturónico 0,15% p/v y 200 µL de extracto enzimático. Las muestras se incubaron a 40 °C por 30 min. Luego se tomaron alícuotas de 200 µL y se añadieron 1.000 µL de borato de sodio 1 M; 2-cianoacetamida y se colocaron en agua hirviendo durante 10 min. Una vez frías se midió la absorbancia a 295 nm y la actividad se expresó como UA g⁻¹ de proteína.

En todos los casos se realizaron 3 repeticiones por tratamiento.

Análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con estructura factorial. En primer lugar se analizaron los factores tratamiento térmico (tratados y no tratados) y tiempo de conservación en cada una de las temperaturas consideradas y posteriormente los factores temperatura de conservación (0 y 5 °C) y tratamiento. Se realizó un análisis de varianza al 5% de significancia utilizando el programa estadístico INFOSTAT Profesional (Universidad Nacional de Córdoba, Argentina).

Resultados y discusión

Tasa respiratoria

La actividad respiratoria para los frutos almacenados a 5 °C y a 0 °C presentó valores iniciales de alrededor de 6 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹. Sin embargo, a los 20 días, cuando se produjo el pico respiratorio, la magnitud de la respiración de los frutos a 0 °C fue de alrededor de 12 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ mientras que en los conservados a 5 °C fue de 24 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ (Figura 1). Esto puede deberse no solamente a que la respiración es función de la temperatura, sino al hecho de que a 5 °C los frutos se encuentran en una situación de estrés por lo que su respiración podría también aumentar debido a esto. En otros productos sensibles al frío como el tomate Micro-Tom, también se observó este comportamiento donde la respiración fue superior luego de 28 días a 4 °C en relación a cuando fue conservado a una temperatura superior⁽²⁸⁾.

Considerando la temperatura de 0 °C, los frutos tratados mostraron en general entre un 2 y 5 % más de actividad respiratoria que los no tratados. Esto puede deberse a que el tratamiento térmico fue demasiado intenso, determinando un estrés por calor que derivó en el aumento de la respiración. Según lo encontrado por otros autores, los tratamientos térmicos, tanto de agua

como de aire caliente (35-50 °C) por tiempos variables, inhibirían los procesos de maduración de los frutos, reduciendo la actividad respiratoria y la producción de C₂H₄ en el periodo poscosecha⁽²⁹⁾, lo que no fue observado en este trabajo. Por otra parte, no se encontró efecto del tratamiento térmico cuando los frutos se conservaron a 5 °C. Por lo tanto, el tratamiento térmico no fue efectivo en disminuir la actividad respiratoria de los frutos de durazno Big Top como sí sucedió en la variedad Hujingmilu, cuando se expusieron a aire caliente (46 °C por 10, 20 y 30 min) previo a la conservación a 0 °C. En este caso, los tratamientos lograron reducir la tasa respiratoria y desfasar la ocurrencia del pico respiratorio climatérico de manera proporcional al tiempo de exposición⁽¹⁴⁾.

Según Paull y Chenn⁽³⁰⁾, la respuesta de los frutos a los tratamientos térmicos, en relación a la preservación de la calidad durante la conservación, incluyendo la menor susceptibilidad a desarrollar daño por frío, es muy variable y depende de varios factores como el tiempo de exposición, la temperatura, especie, variedad, grado de madurez, forma y tamaño del fruto entre otros.

Pérdida de peso

Independientemente de la temperatura de almacenamiento, la pérdida de peso aumentó con el transcurso de la conservación, alcanzándose luego de 27 días, valores entre 14-20 % y en vida mostrador valores de entre 15-25 % (datos no mostrados). Estos valores son considerados altos, ya que con valores de entre 5-10 % se reduce la calidad visual de los frutos⁽³¹⁾. Por lo tanto, ya a los 18 días había síntomas visibles de deshidratación que afectaron notoriamente la apariencia de los frutos.

Los frutos mantenidos a 0 °C no mostraron un efecto claro del tratamiento térmico ya que, luego de 18 días, los no tratados perdieron un 2 % más de peso, situación que era esperable

ya que el tratamiento térmico protegería las membranas y reduciría la pérdida de agua. No obstante, el efecto no se mantuvo y a los 27 días fueron los tratados los de mayor deshidratación (datos no mostrados). Sin embargo, en vida mostrador, las mayores pérdidas correspondieron a los frutos no tratados siendo de 4 y 3 % más que en los frutos sometidos al tratamiento térmico en los momentos 18+6 y 27+6 días respectivamente (datos no mostrados). En el caso de los frutos mantenidos a 5 °C, los no tratados perdieron un 2 % más de peso que los tratados a los 18 y 27 días, mientras que en vida mostrador no se presentaron diferencias (datos no mostrados).

Según diferentes autores, los tratamientos térmicos pueden causar aumentos o disminuciones en la pérdida de agua, lo que dependerá de sus características (método, temperatura y tiempo de exposición) así como de las características del producto. La exposición al calor puede dañar la piel de la fruta determinado un aumento en la pérdida de agua por cualquiera de los factores antes mencionados, temperaturas o tiempos de exposición excesivos que creemos fue lo que sucedió en este caso⁽³²⁾.

Polifenoles totales (PT)

Según los resultados del análisis tratamiento térmico x tiempo de conservación, en los frutos conservados a 0°C, los valores se mantuvieron estables y en torno a 0,24 mg EAG g⁻¹ PF sin que se observara un efecto del tratamiento térmico (Figura 2 A).

Sin embargo, en vida mostrador, el tratamiento térmico determinó un aumento en los PT en los periodos de 6+6 y 27+6 días. Al comparar el contenido de PT durante la conservación y en vida de mostrador, se observó un aumento donde los contenidos pasaron a ser de casi el doble, independientemente del tratamiento (Figura 2 B).

De manera similar, no fueron encontradas diferencias en el contenido de PT en los frutos tratados y no tratados conservados a 5 °C con valores iniciales y finales de entre 0,22 y 0,32 mg EAG g⁻¹ PF respectivamente (Figura 2 C). Al final del periodo de vida mostrador (27+6 días), los frutos tratados presentaron un 15% más de PT que los no tratados (Figura 2 D). En este caso, el contenido de PT no mostró diferencias entre los valores registrados durante la conservación y en vida mostrador.

Al analizar el efecto de la temperatura (0 y 5 °C) y el tratamiento térmico, no se encontró interacción ni efecto de la temperatura. Solo fue observado un efecto del tratamiento térmico que determinó un mayor contenido de PT con valores de 0,28 y de 0,26 mg EAG g⁻¹ PF. Con relación a la evolución en el tiempo de los PT de frutos sensibles al frío y almacenados a temperaturas no adecuadas presentan un aumento progresivo durante la primera semana, considerada como una etapa de alarma donde se ha reportado que aumenta la producción de EROS y antioxidantes como mecanismo para paliar el estrés⁽³³⁾. Este comportamiento se observó en los frutos no tratados de Big Top a 5 °C, situación considerada como propicia para el desarrollo del DF. El aumento en el contenido de PT observados en el periodo de vida mostrador en relación a conservación, puede estar vinculado al hecho de que el aumento de la temperatura acelera el metabolismo y el daño se manifiesta en mayor medida. En esta situación también se activan en mayor medida los mecanismos del fruto para protegerse del daño, que en este caso implican un aumento de los PT.

Resultados similares se observaron en el estudio realizado por Huan y otros⁽³⁴⁾, donde los PT de duraznos tratados con calor (aire caliente 38 °C/ 3 h) antes de almacenarse en frío, aumentaron de manera considerable en relación a los niveles medidos en los frutos no tratados. Según Spadoni y otros⁽³⁵⁾, la síntesis de PT se vió favorecida en duraznos tratados con agua

caliente (60 °C/ 20 s), proceso vinculado a la activación de las enzimas responsables de su síntesis.

En pepinos tratados con agua caliente (45-55 °C/ 5 min), los niveles de PT aumentaron tanto en conservación a 4 °C (7 y 21 días) y principalmente en vida mostrador a 20 °C (7+4 y 21+4 días). Los autores atribuyen este comportamiento no solo a la síntesis sino principalmente a la reducción de la actividad de las enzimas que participan en su degradación, la polifenoloxidasas y la peroxidasa⁽³⁶⁾.

Capacidad antioxidante total

A diferencia de lo observado en los PT, que son uno de los responsables de la capacidad antioxidante total, en este caso sí se observaron diferencias en el análisis factorial que consideraba momentos y tratamientos para cada una de las temperaturas de conservación. Los duraznos no tratados conservados a 0 °C por 6 y 27 días presentaron mayor capacidad antioxidante total, con valores de 0,42 y 0,45 mg EAA g⁻¹ PF respectivamente, que correspondían casi al doble de los valores medidos en los frutos tratados (Figura 3 A). Considerando el efecto del tiempo de conservación, en los frutos no tratados conservados a la misma temperatura (0 °C), se observó un aumento a los 6 días, una reducción a los 18 y finalmente un nuevo aumento a los 27 días. Por su parte, en los frutos sometidos al tratamiento térmico la capacidad antioxidante total, se mantuvo sin cambios durante los 27 días de conservación. Cuando estos frutos fueron transferidos a vida de mostrador, los tratados presentaron una capacidad antioxidante total entre 20 y 25 % mayor que los no tratados durante todo el periodo de almacenamiento (Figura 3 B). Tanto en los frutos tratados como en los no tratados, la capacidad antioxidante total, disminuyó con el transcurso del tiempo.

Cuando se realizó la conservación a 5 °C no se presentaron diferencias entre los frutos tratados y no tratados. Los valores promedios medidos al momento de cosecha y final de la conservación fueron de 0,23 y 0,27 mg EAA g⁻¹ PF respectivamente (Figura 3 C). En este caso, la capacidad antioxidante total, tanto de frutos tratados como no tratados, se mantuvo sin grandes variaciones durante la conservación refrigerada. Al final del periodo de vida mostrador (27+6 días) los frutos tratados presentaron valores de capacidad antioxidante 23 % mayores que los no tratados (Figura 3 D). Los valores medidos en este momento fueron de casi el doble de los medidos durante la conservación.

La principal diferencia entre el comportamiento de los PT y la capacidad antioxidante total se observó en los frutos mantenidos a 0 °C donde, en el primer caso no se encontraron diferencias y en el segundo caso los frutos no tratados presentaron mayores valores a los 6 y 27 días indicando que incluso a esta temperatura, recomendada para la conservación de los frutos de carozo, entre ellos los nectarinos, igualmente ocurre una situación de estrés que estimularía la producción de compuestos antioxidantes de naturaleza no fenólica. Otro aspecto que reforzaría esta hipótesis es el hecho de que en vida mostrador, los frutos tratados mostraron mayores niveles de capacidad antioxidante total en todos los momentos de análisis y no solo a los 27 días que fue el momento en que se diferenciaron por su contenido de PT. Podemos decir que si bien ambos compuestos participan del sistema antioxidante de los frutos, su respuesta al estrés es diferente. En este sentido, en un trabajo donde se estudió el comportamiento de los PT y la capacidad antioxidante total en frutos de mango, conservados a una temperatura estresante (5 °C por 12 y 24 días) se encontró un aumento de la capacidad antioxidante total en relación a los mantenidos a una temperatura no estresante (13°C) por el mismo periodo, mientras que los PT no fueron afectados⁽³⁷⁾. Vicente y otros⁽³⁸⁾ encontraron que los valores de

capacidad antioxidante total medidos por el método del DPPH, fueron mayores en frutillas tratadas con aire caliente (45 °C/3 h), lo que ayudaría a la fruta a sobrellevar la sobreproducción de las EROS.

Contenido de MDA

Los resultados del análisis de tratamiento x tiempo de conservación, indicaron que el contenido de MDA aumentó luego de los 18 días de conservación independientemente de la temperatura y del tratamiento. Los valores al momento de cosecha fueron de entre 6 mmol kg⁻¹ mientras que al final de la conservación se alcanzaron valores de 25,7 mmol kg⁻¹ PF (Figura 4). Para los frutos conservados a 0 °C se observó un mayor contenido en frutos tratados luego de 6 días de conservación pero a los 18 días, los no tratados presentaron 12 % más de MDA (Figura 4 A). Cuando estos frutos fueron transferidos a vida mostrador, las diferencias entre tratamiento aparecieron a los 18+6 y 27+6 días (Figura 4 B). En el primer caso los frutos tratados mostraron mayores niveles de MDA, indicando que su membrana estaba más afectada y en el segundo fueron los del testigo los más afectados.

En la condición de conservación a 5 °C se observaron diferencias entre tratamientos luego de 18 y 27 días de conservación y en los periodos 18+6 y 27+6 de vida mostrador (Figura 4 C y 4 D). En conservación los frutos tratados presentaron mayores niveles de MDA en ambos momentos mientras que en vida mostrador el comportamiento fue igual al observado en los frutos procedentes de 0 °C. Con relación al efecto de la temperatura (temperatura x tratamiento), los niveles de MDA medidos en frutos tratados y no tratados fueron iguales a ambas temperaturas de conservación con valores de 17,18 y 16,94 mmol kg⁻¹ PF para 5 y 0 °C respectivamente.

El MDA es un marcador de oxidación de la membrana plasmática que se acumula como consecuencia del aumento en la producción de EROS y/o por la disminución en los sistemas antioxidantes⁽³⁹⁾. También Huan y otros⁽³⁴⁾ encontraron que los tratamientos térmicos con aire caliente (38 °C/3 h) y agua caliente (48 °C/10 min) aplicados a frutos de durazno (cv. Xiagui 5) determinaron una menor acumulación de MDA durante la conservación, siendo del 15% menos en los frutos no tratados con calor. Los autores lo asociaron a que el tratamiento logró suprimir la acumulación y sobreproducción de las EROS por lo que hubo una menor peroxidación de lípidos de las membranas.

En el caso de la variedad Big Top y para las condiciones de este trabajo, se observó un comportamiento errático que no permite concluir sobre el efecto protector del tratamiento térmico en las membranas. Si bien era esperable que en los frutos que fueron tratados con calor el contenido de MDA fuera menor, esto solo se observó en algunos momentos y en especial a 0 °C, considerada como una temperatura menos favorecedora de la ocurrencia del daño.

Actividad de enzimas de estrés oxidativo

La actividad de la SOD medida en los frutos conservados a 0 °C, muestra claras diferencias entre tratados y no tratados (tratamiento x tiempo de conservación). En el caso de los tratados los valores bajan a los 6 y 27 días mientras que en los del testigo hay un aumento a los 6 días y a partir de ahí una reducción muy importante, de casi 10 veces con relación al valor inicial medido en los momentos de evaluación restantes (Figura 6 5). Al comparar entre tratamientos lo más notorio es la considerable mayor actividad de los frutos tratados a los 18 y 27 días evidenciando que el tratamiento térmico permitió mantener activo y/o incluso estimuló el

sistema de protección antioxidante enzimático. En vida de mostrador y tanto para tratados como no tratados, la actividad tendió a bajar con el transcurso del tiempo (Figura 5 B).

El comportamiento observado a 5 °C fue totalmente distinto. En este caso los niveles bajan a partir de los 6 días de conservación para ambos tratamientos, pero la actividad de la SOD a los 18 y 27 días es menor en los frutos que recibieron tratamiento térmico (Figura 5 C). En vida de mostrador el comportamiento fue igual al observado en los frutos provenientes de 0 °C sin grandes diferencias entre tratamientos (Figura 5 D).

El comportamiento que ocurre en VM en ambas temperaturas, estaría vinculado al hecho de que el daño se manifiesta en mayor medida en VM, cuando aumenta la temperatura y se acelera la actividad metabólica y por tanto en estas condiciones el sistema antioxidante enzimático es superado por la producción de EROS.

Según los resultados del análisis de temperatura x tratamiento, a los 18 y 27 días de conservación a 0 °C los frutos tratados presentaron una actividad 77 % y 37 % mayor que los conservados a 5 °C. En los no tratados pasó exactamente lo contrario siendo los mantenidos a 5 °C los de una actividad 67 % y 41 % mayor. En ninguna de las dos condiciones de conservación se observaron diferencias importantes entre tratamientos durante el periodo de vida mostrador (datos no mostrados). Este comportamiento es contrario al esperado ya que sería deseable que la actividad de la SOD aumentara en los frutos tratados con calor.

Jin y otros⁽⁴⁰⁾ encontraron un aumento en la SOD de duraznos tratados con aire caliente (38 °C/12 h) pero recién a partir de las 3 semanas de almacenamiento a 0 °C. Por su parte, Cao y otros⁽²⁾ también en duraznos tratados con aire caliente (38 °C/12 h), no observaron diferencias entre la actividad medida en los no tratados y tratados hasta los 21 días de almacenamiento a 0 °C. Sin embargo, luego de 28 y 35 días de almacenamiento, la actividad

de la SOD de los que habían recibido tratamiento térmico superó a la de los no tratados o sea que también fue necesario un periodo de inducción para que se observaran las diferencias al igual que lo que sucedió en este trabajo.

La actividad de la CAT no mostró diferencias entre frutos tratados y no tratados, tanto a 0 como a 5 °C, manteniéndose estable a lo largo de la conservación, siendo de entre 0,3 y 0,4 UA mg⁻¹ proteína (datos no mostrados). En vida mostrador, los frutos que provenían de 0 °C y no habían sido tratados presentaron una actividad 58 % mayor solo al inicio (6+6 días). En el caso de los que provenían de 5 °C y que tampoco recibieron tratamiento térmico, la actividad fue un 35 % mayor pero recién a los 27+6 días. Al analizar el efecto de la temperatura (temperatura x tratamiento), los frutos tratados y no tratados conservados a 0 y 5 °C, no presentaron diferencias tanto en conservación como en el periodo de vida mostrador (datos no mostrados). Por el contrario, Khademi y otros⁽⁴¹⁾ reportan que en caqui Rojo Brillante, la actividad de la CAT de los frutos tratados con calor (agua caliente a 45 °C/3 min y 50 °C/20 min) aumentó durante la conservación a 1 °C por 30 días. Más recientemente Nasef⁽³⁶⁾ en pepino, encontraron que la actividad de la CAT fue superior en los frutos tratados con agua caliente por 5 min tanto a 45 como a 55 °C, en comparación con los que se sumergieron en agua a 25 °C.

La actividad de la APX medida en los frutos conservados a 0 °C y no tratados fue 63 % superior a los 18 días sin que se registraran diferencias entre tratamientos en los demás momentos de análisis (datos no mostrados). En vida de mostrador se observó el mismo comportamiento pero solo a los 27+6 días (datos no mostrados).

Para los conservados a 5 °C también las diferencias entre tratamientos aparecieron a los 18 días solo que en este caso fueron los frutos tratados los de mayor actividad (datos no mostrados). En vida de mostrador la actividad de la APX se mantuvo prácticamente sin

variaciones a lo largo del tiempo sin que se observaran diferencias entre tratamientos (datos no mostrados).

El análisis de temperatura x tratamiento, determinó que en los frutos tratados el efecto de la temperatura presentó diferencias a los 18 días donde los conservados a 5 °C mostraron una actividad 71 % mayor que los conservados a 0 °C. En los frutos no tratados solo se presentaron diferencias al final del periodo de vida mostrador (27+6 días), siendo los conservados a 0 °C los de mayor actividad (datos no mostrados).

La APX forma parte del ciclo ascorbato-glutación de los vegetales y tiene como función la de eliminar el H₂O₂ y regenerar los antioxidantes no enzimáticos ascorbato y glutación⁽⁴²⁾. En el experimento de Cao y otros⁽²⁾ observaron una reducción de la actividad de la APX con el transcurso de la conservación sin diferencias entre los duraznos tratados con calor (38 °C/12 h) y los testigos hasta los 21 días de conservación 0 °C. Sin embargo, después de los 28 días la reducción fue mayor en los duraznos no tratados por lo que la APX protegería a los frutos de los radicales libres. En tomates tratados con agua caliente (52 °C/15 min) y conservados a 20 °C por 4 días, no se observaron diferencias con el testigo, pero sí con el que se conservó a 5 °C (temperatura estresante) donde la actividad fue mayor. En este caso, la situación de estrés desencadenó la actividad de la enzima⁽⁴²⁾. Este efecto inductor de la temperatura estresante se corresponde con el observado en este trabajo en especial en los frutos que recibieron tratamiento térmico, donde hubo mayor actividad a 5 °C.

Actividad de enzimas de la pared

La actividad de la PME, obtenida del análisis de tratamiento x tiempo de conservación, medida en los frutos tratados tanto conservados a 0 °C como a 5 °C, prácticamente se duplicó (14.000

UE/g) luego de 18 días de conservación manteniéndose estable a los 27 días, salvo en el caso de los conservados a 5 °C donde se observó una reducción (Figura 6 A y 6 C).

En los frutos del testigo conservados a 0 °C el comportamiento fue muy similar al observado en los tratados mientras que a 5 °C la actividad aumentó hasta los 18 días para bajar considerablemente al final de la conservación donde alcanzó los valores iniciales (6.000 UE g⁻¹).

En cuanto a las diferencias entre tratamientos, a 0 °C los tratados presentaron mayor actividad inicial pero a los 27 días la actividad de los del testigo fue superior alcanzando valores de alrededor de 13.600 UE g⁻¹. A 5 °C los frutos tratados con calor presentaron mayor actividad en casi todos los momentos evaluados especialmente al final de la conservación donde el valor fue casi el doble del medio en los no tratados.

En vida mostrador, los frutos tratados procedentes de 0 °C presentaron mayor actividad a los 6+6 y 27+6 días. En los procedentes de 5 °C en todos los momentos analizados fueron los frutos del testigo los de mayor actividad (Figura 6 B y 6 D).

La actividad de la PG medida en los frutos del tratamiento testigo mantenidos a 0 °C se mantuvo sin cambios hasta los 18 días aumentando solamente al final de la conservación (Figura 7 A). Por el contrario en los frutos tratados se observó un aumento progresivo hasta los 18 días observándose una reducción a los 27 días donde los valores medidos fueron del entorno de los medidos al inicio (180 UE g⁻¹). En vida mostrador se observa una reducción en la actividad siendo siempre superior en los frutos del testigo.

A 5 °C el comportamiento es bastante errático ya que al inicio, 6 y 27 días la actividad de los frutos tratados es mayor pero en el día 18 se observa una importante reducción. En vida

mostrador la actividad también bajó con el transcurso del tiempo pero contrario a lo observado a 0 °C fue siempre mayor en los frutos que recibieron tratamiento térmico.

Si bien el proceso de maduración se enlentece durante la conservación refrigerada, los cambios continúan ocurriendo por lo que se espera que la actividad de las enzimas PME y PG aumente con el transcurso de la conservación. Si la actividad de la PME aumenta, pero la actividad de la PG disminuye, se acumulan moléculas de ácido galacturónico de mayor tamaño y de reducida metilación y como consecuencia, pueden formar un gel bajo de ésteres, dejando un tejido seco, sin jugo o harinoso⁽⁴³⁾.

A pesar de que en nuestro trabajo no evaluamos el grado de harinosidad en los frutos, se determinó la presencia o no del daño en los diferentes momentos de evaluación y se evaluó la evolución de las enzimas implicadas en el desarrollo de este síntoma. Los resultados encontrados indican el desarrollo de este desorden en especial en vida de mostrador y en frutos no tratados que al ser cortados para los demás análisis, mostraron textura pastosa y pérdida de jugosidad. El comportamiento observado a 5 °C, donde el desfasaje fue más pronunciado en los frutos no tratados con calor, podría indicar un cierto efecto paliativo de los tratamientos térmicos.

Conclusiones

El tratamiento térmico afectó al sistema antioxidante de los frutos aumentando los niveles de PT y la capacidad antioxidante total en VM. En el sistema enzimático el efecto se observó en la SOD mientras que en las demás enzimas prácticamente no hubo efecto del tratamiento. Los mayores efectos se observaron cuando la temperatura de conservación fue de 0 °C, indicando que sin un manejo adecuado de la temperatura el tratamiento térmico no funcionaría. Los altos

valores de deshidratación indican que se debe seguir trabajando en el ajuste del tiempo de exposición, así como en la confirmación de los resultados obtenidos.

Agradecimientos

Agradecemos a la empresa Macadel S.A y en especial a la Ing. Agr. Grisel Moizo por la donación de la fruta utilizada en este trabajo. También a la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII, Uruguay), por la concesión de la beca de maestría a Victor David González López.

Bibliografía

- 1) **MGAP-DIEA** (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca-Dirección de Investigaciones Económicas Agropecuarias). 2016. Encuesta frutícola de hoja caduca. Montevideo, Uruguay. 22p.
- 2) **Cao S, Hu Z, Zheng Y, Lu B.** 2010. Synergistic effect of heat treatment and salicylic acid on alleviating internal browning in cold-stored peach fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 58: 93-97.
- 3) **Lurie S y Pedreschi R.** 2014. Fundamental aspects of postharvest heat treatments. *Horticultural Research*, 1: 14030.
- 4) **Cantín CM, Crisosto CH, Ogundiwin EA, Gradziel T, Torrents J, Moreno MA, Gogorcena Y.** 2010. Chilling injury susceptibility in an intra-specific peach [*Prunus persica* (L.) Batsch] progeny. *Postharvest Biology and Technology*, 58: 79-87.
- 5) **Wang Q, Lai TF, Qin GZ, Tian SP.** 2009. Response of jujube fruits to exogenous oxalic acid treatment based on proteomic analysis. *Plant and Cell Physiology*, 50: 230-242.
- 6) **Lurie S, Vanoli M, Dagar A, Weksler A, Lovati F, Eccher Zerbini P.** 2011. Chilling injury in stored nectarines and its detection by time resolved reflectance spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*, 59: 211-218.
- 7) **Peace CP, Crisosto CH, Garner D, Dandekar AM, Gradziel TM, Bliss FA.** 2006. Genetic control of internal breakdown in peach. *Acta Horticulturae* 713: 489-496.
- 8) **Candir EE, Temizyürek F, Özdemir AE.** 2009. The effects of hot water dip treatments on the cold storage of Big Top nectarines. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 82: 136-140.
- 9) **Rui H, Cao S, Shang H, Jin P, Wang K, Zheng Y.** 2010. Effects of heat treatment on internal browning and membrane fatty acid in loquat fruit in response to chilling stress. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90: 1557-1561.
- 10) **Sevillano L, Sanchez-Ballesta MT, Romojaro F, Flores FB.** 2009. Physiological, hormonal and molecular mechanisms regulating chilling injury in horticultural species. Postharvest technologies applied to reduce its impact. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89: 555-573.
- 11) **Hu LY, Hu SL, Wu J, Li YH, Zheng JL, Wei ZJ, Liu J, Wang HL, Liu YS, Zhang H.** 2012. Hydrogen sulfide prolongs postharvest shelf life of strawberry and plays an antioxidative role in fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60: 8684-8693.
- 12) **Lurie S y Crisosto C.** 2005. Chilling injury in peach and nectarine. *Postharvest Biology and Technology*, 37: 195-208.
- 13) **Fruk G, Cmelik Z, Jemric T, Hribar J, Vidrih R.** 2014. Pectin role in woolliness development in peaches and nectarines: A review. *Scientia Horticulturae*, 180: 1-5.

- 14) Zhou H, Ye ZW, Su MS, Du JH.** 2015. Effect of heat treatment on protein content and quality of Hujingmilu peach [*Prunus persica* (L.) Batsch]. *Hortscience*, 50(10): 1531-1536.
- 15) Sairam RK, Srivastava GC, Saxena DC.** 2000. Increased antioxidant activity under elevated temperatures: a mechanism of heat stress tolerance in wheat genotypes. *Plant Biology*, 43: 245-251.
- 16) Sala JM y Lafuente MT.** 2004. Antioxidant enzymes activities and rindstaining in 'Navelina' oranges as affected by storage relative humidity and ethylene conditioning. *Postharvest Biology and Technology*, 31: 277-285.
- 17) Gao H, Zhang ZK, Lv XG, Cheng N, Peng BZ, Cao W.** 2015. Effect of 24-epibrassinolide on chilling injury of peach fruit in relation to phenolic and proline metabolisms. *Postharvest Biology and Technology*, 111: 390-397.
- 18) Mittler R.** 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science*, 7: 405-410.
- 19) Ghasemnezhad M, Marsh K, Shilton R, Babalar M, Woolf A.** 2008. Effect of hot water treatments on chilling injury and heat damage in 'Satsuma' mandarins: antioxidant enzymes and vacuolar ATPase, and pyrophosphatase. *Postharvest Biology and Technology*, 48: 364-371.
- 20) Rodriguez-Casado A.** 2016. The health potential of fruits and vegetables phytochemicals: notable examples. *Critical Review in Food Science and Nutrition*, 56 (7): 1097-1107.
- 21) Peng J, Shang HT, Chen JJ, Zhu H, Zhao YY, Zheng YH.** 2011. Effect of 1-methylcyclopropene on chilling injury and quality of peach fruit during cold storage. *Journal of Food Science*, 76: S485-S491.
- 22) Vicente AR, Costa ML, Martinez GA, Chaves AR, Civello PM.** 2005. Effect of heat treatments on cell wall degradation and softening in strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 38: 213-222.
- 23) Morteza SA y Samad B.** 2014. Postharvest heat treatment for mitigation of chilling injury in fruits and vegetables. *Food Bioprocess Technology*, 7: 37-53.
- 24) Singleton VL y Rossi JA.** 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolibdic-phosphotungstic acid reagent. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16: 144-158.
- 25) Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C.** 1995. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology*, 28: 25-30.
- 26) Meng XY, Zhang M, Adhikari B.** 2012. Extending shelf-life of fresh-cut green peppers using pressurized argon treatment. *Postharvest Biology and Technology*, 71: 13-20.
- 27) Bradford MM.** 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72: 248-254.
- 28) Malacrida CR, Valle EM, Boggio SB.** 2006. Postharvest chilling induces oxidative stress response in the dwarf tomato cultivar 'Micro-Tom'. *Physiologia Plantarum*, 127: 10-18.

- 29) Lurie S.** 1998. Postharvest heat treatments. *Postharvest Biology and Technology*, 14: 257-269.
- 30) Paull RE, Chen NJ.** 2000. Heat treatments and fruit ripening. *Postharvest Biology and Technology*, 21: 21-37.
- 31) FAO.** 1993. Prevención de pérdidas de alimentos en poscosecha: frutas, hortalizas, raíces y tubérculos. Roma. Colección FAO: Capacitación, N° 17/2.
- 32) Schirra M, D'hallewin G, Ben-Yehoshua S, Fallik E.** 2000. Host-pathogen interactions modulated by heat treatment. *Postharvest Biology and Technology*, 21: 71-85.
- 33) Toivonen, PMA.** 2004. Postharvest storage procedures and oxidative stress. *Hortscience*, 39: 938-942.
- 34) Huan, C, Han, S, Jiang, L, An, X, Yu, M, Xu, Y, Ma, R, Yu, Z.** 2017. Postharvest hot air and hot water treatments affect the antioxidant system in peach fruit during refrigerated storage. *Postharvest Biology and Technology*, 126: 1-14.
- 35) Spadoni A, Guidarelli M, Sanzani SM, Ippolito A, Mari M.** 2014. Influence of hot water treatment on brown rot of peach and rapid fruit response to heat stress. *Postharvest Biology and Technology*, 94:66-73.
- 36) Nasef IN.** 2018. Short hot water as safe treatment induces chilling tolerance and antioxidant enzymes, prevents decay and maintains quality of cold-stored cucumbers. *Postharvest Biology and Technology*, 138: 1-10.
- 37) Vithana M, Singh Z, Johnson S.** 2018. Cold storage temperatures and durations affect the concentrations of lutein, mangiferin, phenolic acids and other health-promoting compounds in the pulp and peel of ripe mango fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 139: 91-98.
- 38) Vicente AR, Martínez GA, Chaves AR, Civello PM.** 2006. Effect of heat treatment on strawberry fruit damage and oxidative metabolism during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 40: 116-122.
- 39) Xing Y, Li X, Xu Q, Yun J, Lu Y, Tang Y.** 2011. Effects of chitosan coating enriched with cinnamon oil on qualitative properties of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Food Chemistry*, 124(4): 1443-1450.
- 40) Jin P, Zheng YH, Tang SS, Rui HJ, Wang CY.** 2009. A combination of hot air and methyl jasmonate vapor treatment alleviates chilling injury of peach fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 52:24-29.
- 41) Khademi O, Besada C, Mostofi Y, Salvador A.** 2014. Changes in pectin methylesterase, polygalacturonase, catalase and peroxidase activities associated with alleviation of chilling injury in persimmon by hot water and 1-MCP treatments. *Scientia Horticulturae*. 179: 191-197.
- 42) Imahori, Y, Bai J, Baldwin E.** 2016. Antioxidative responses of ripe tomato fruit to postharvest chilling and heating treatments. *Scientia Horticulturae*, 198: 398-406.

43) Brummell DA, Dal Cin V, Crisosto CH, Labavitch JM. 2004. Cell wall metabolism during maturation, ripening and senescence of peach fruit. *Journal of Experimental Botany*, 55: 2029-2039.

Figuras

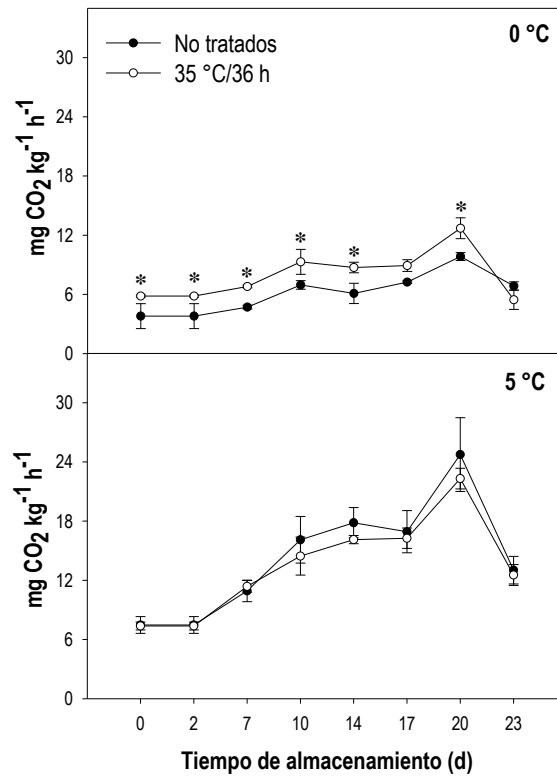


Figura 1. Tasa respiratoria en nectarinas var. Big Top durante la conservación a 0 y 5 °C. Los valores son medias (n=3) ± error estándar de la media. El símbolo (*) indica diferencias significativas para el tratamiento (Tukey p<0,05).

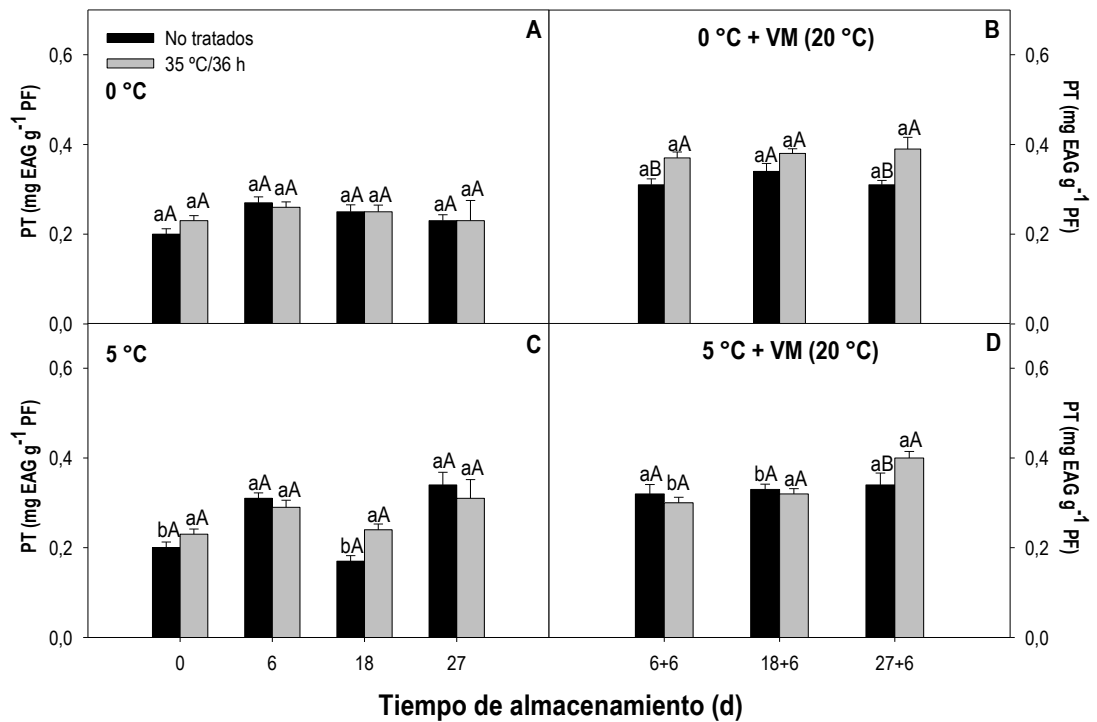


Figura 2. Polifenoles totales en nectarinas var. Big Top durante la conservación a 0 y 5 °C y en vida mostrador (VM). Los valores son medias (n= 3) ± error estándar de la media. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey p<0,05).

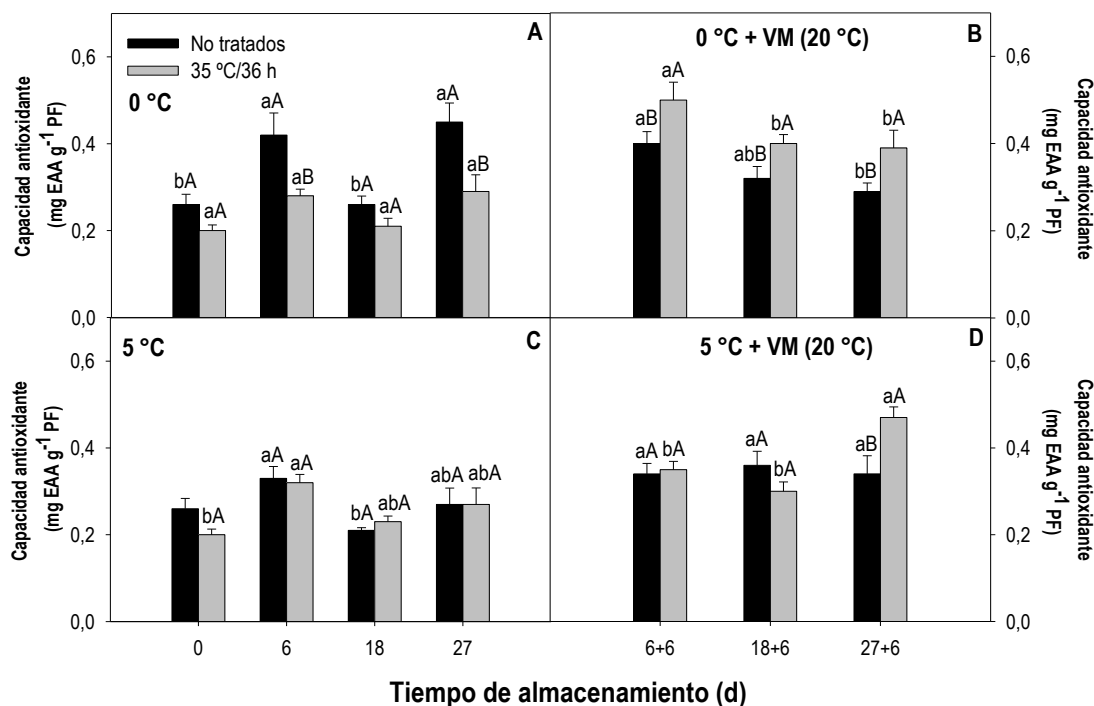


Figura 3. Capacidad antioxidante total en nectarinas var. Big Top durante la conservación a 0 y 5 °C y en vida mostrador (VM). Los valores son medias (n= 3) ± error estándar de la media. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey p<0,05).

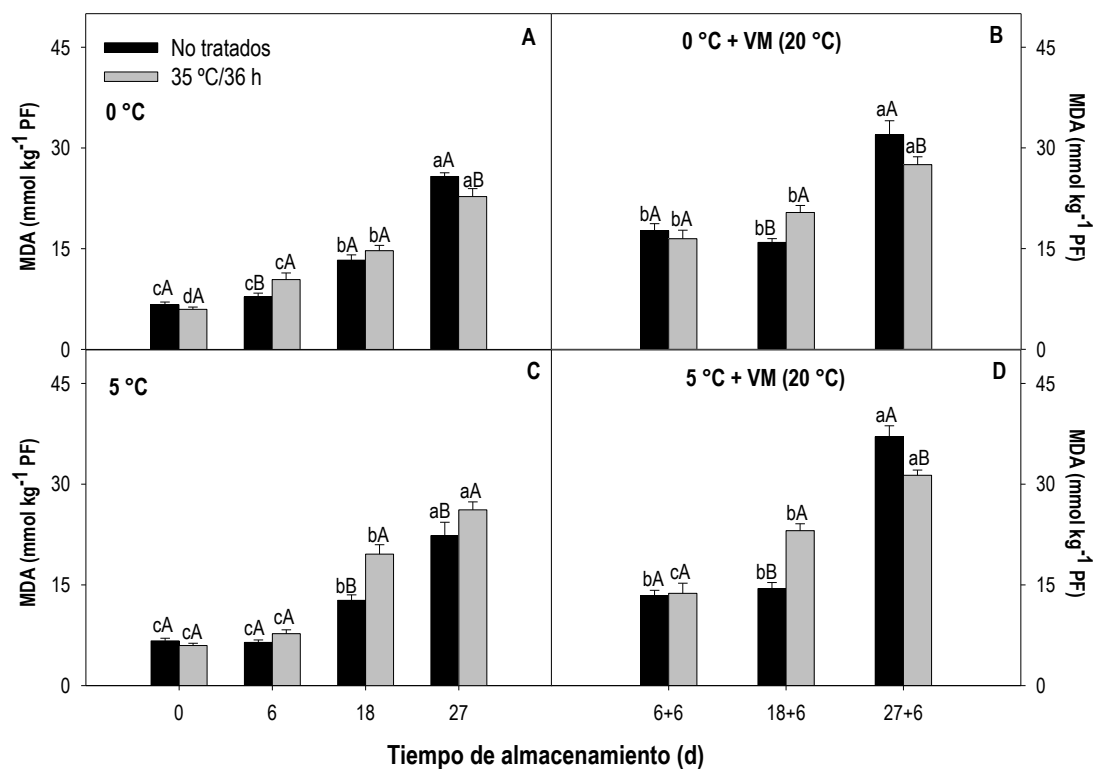


Figura 4. Contenido de MDA en nectarinas var. Big Top durante la conservación a 0 y 5 °C y en vida mostrador (VM). Los valores son medias (n= 3) ± error estándar de la media. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey p<0,05).

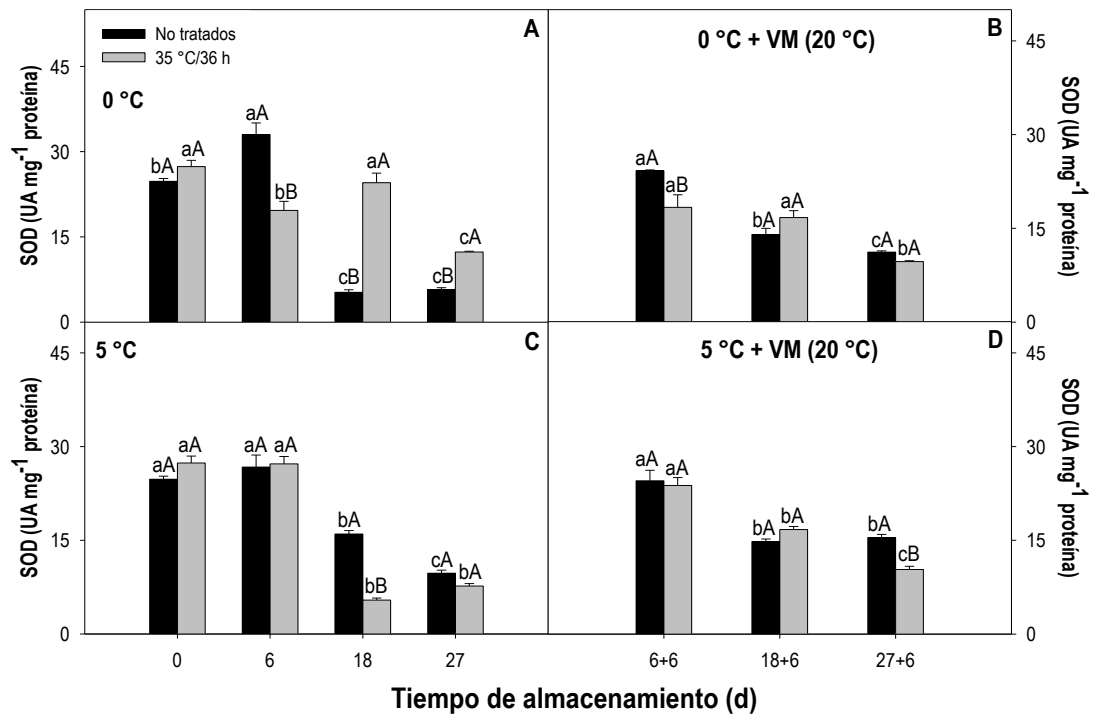


Figura 5. Actividad de la SOD en nectarinas var. Big Top durante la conservación a 0 y 5 °C y en vida mostrador (VM). Los valores son medias (n= 3) ± error estándar de la media. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey p<0,05).

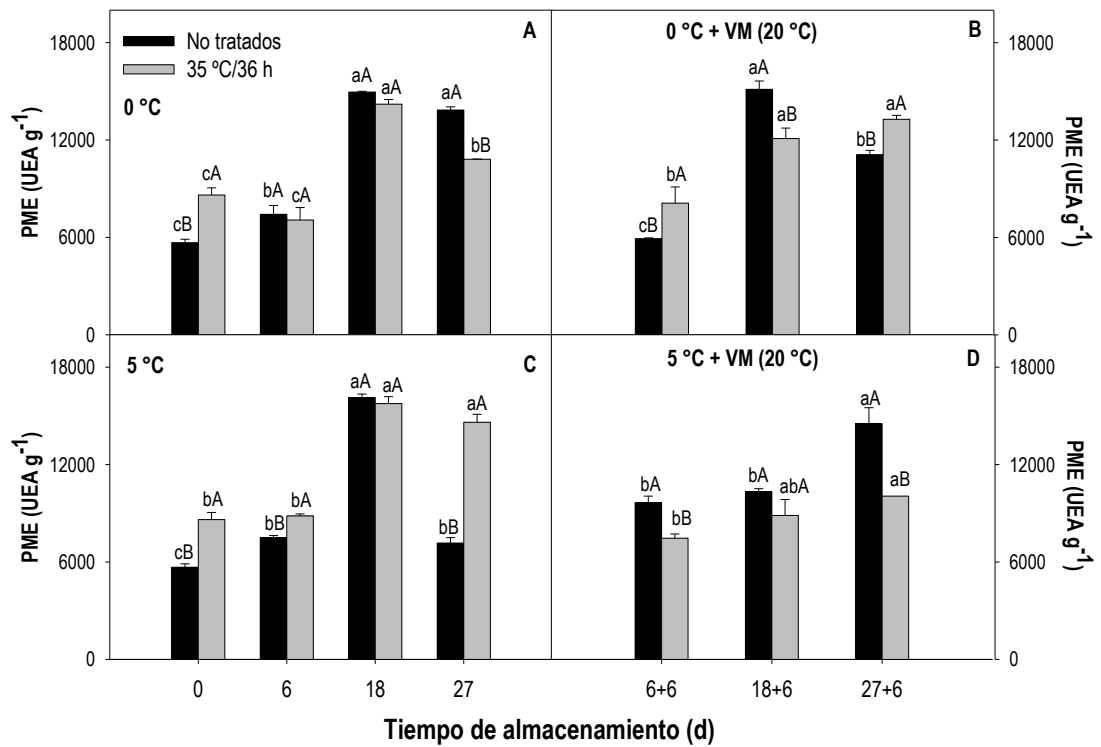


Figura 6. Actividad de la PME en nectarinas var. Big Top durante la conservación a 0 y 5 °C y en vida mostrador (VM). Los valores son medias (n= 3) ± error estándar de la media. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey p<0,05).

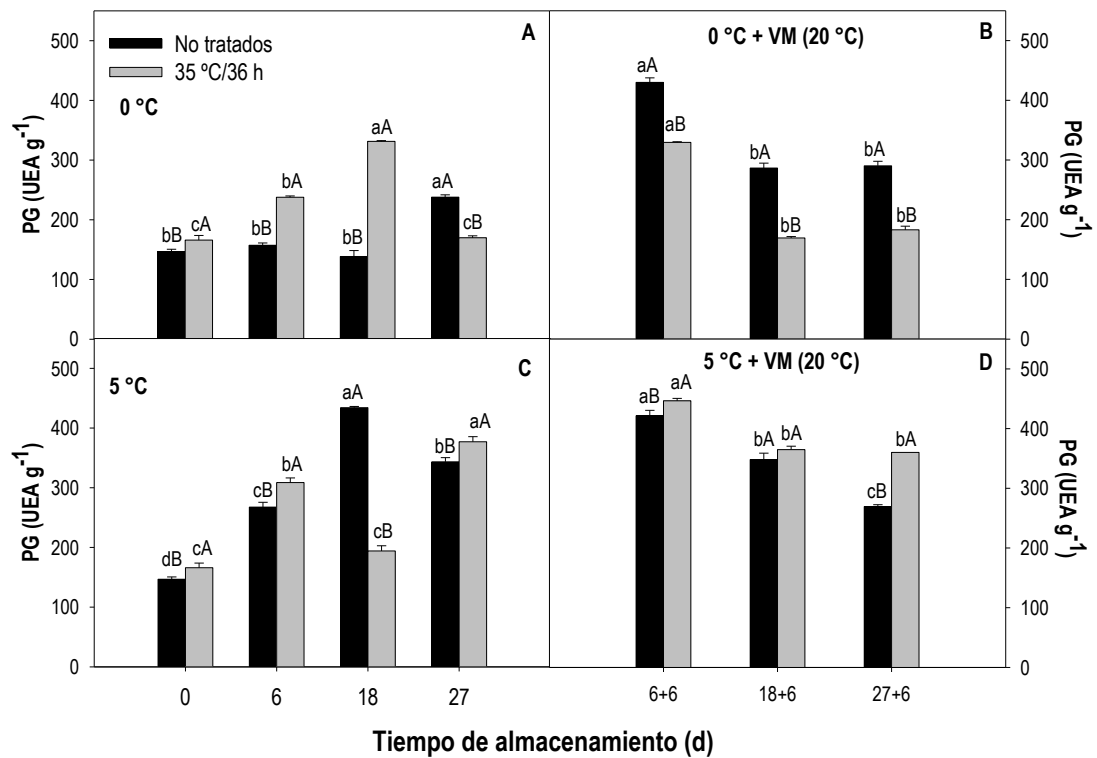


Figura 7. Actividad de la PG en nectarinas var. Big Top durante la conservación a 0 y 5 °C y en vida mostrador (VM). Los valores son medias ($n=3$) \pm error estándar de la media. Letras mayúsculas indican diferencias para el factor tratamiento y minúsculas para el factor tiempo según la temperatura de almacenamiento (Tukey $p<0,05$).