

Cuadro 1. Análisis de perfil de textura en frutos de calabacita zucchini durante el almacenamiento a 10 y 20 °C.

Variable	Temperatura (°C)	Almacenamiento (d)				
		0	3	6	9	12
Dureza (N)	10	117.1 ± 35.1	52.9 a ± 13.1	50.4 a ± 8.6	64.4 a ± 16.3	13.1 a ± 1.7
	20		64.5 a ± 16.1	57.2 a ± 24.5	59.1 a ± 24.1	2.2 b ± 1.4
Gomosidad (N s ⁻¹)	10	39.5 ± 9.7	24.1 a ± 4.5	21.1 a ± 5.3	27.2 a ± 7.4	8.7 a ± 0.2
	20		25.3 a ± 4.1	23.5 a ± 10.2	23.1 a ± 8.2	-0.1b ± 0.5
Masticabilidad (N mm ⁻¹)	10	126.8 ± 37.1	89.2 a ± 20.1	69.1 a ± 24.6	89.2 a ± 38.7	12.7 a ± 10.7
	20		92.1a ± 23.7	82.0 a ± 39.9	80.5 a ± 32.9	0.0 b ± 0.1
Cohesividad (mm)	10	0.3 ± 0.0	0.4 a ± 0.0	0.4 a ± 0.1	0.4 a ± 0.1	0.4 a ± 0.3
	20		0.4 a ± 0.1	0.4 a ± 0.1	0.4 a ± 0.0	-0.1 a ± 0.2
Elasticidad (mm)	10	3.2 ± 0.4	3.4 a ± 0.2	3.2 a ± 0.4	3.1 a ± 0.6	1.2 a ± 0.7
	20		3.6 a ± 0.4	3.4 a ± 0.9	3.4 a ± 0.5	0.3 a ± 0.2

Media y desviación estándar de 10 repeticiones. Letras iguales en la hilera señalan promedios estadísticamente iguales entre sí (P>0.05).

Las vainas frescas de okra (*Albelmoschus esculentus*) cv. 'Amarelinho' almacenadas por 4 d a 10 y 25 °C presentaron pérdidas excesivas de agua de 14 y 23 % y valores de CRA de 74 y 71 %, respectivamente (Finger *et al.*, 2008), por lo que se requiere utilizar alguna película comestible que recubra al fruto y reduzca la velocidad de transpiración del fruto. A pesar de la delgada cutícula que tiene la calabacita al cosecharse como fruto inmaduro, esta hortaliza no mostró valores de CRA tan bajos como la okra, pero fueron similares al del pepino 'Pickle' con 92 a 77 % de CRA durante el almacenamiento por 12 d a 93 % HR (Walter *et al.*, 1990), e inferior a los valores reportados en pepino de mesa con CRA de 91 a 88 % a los 12 d a 24 °C (Muy *et al.*, 2004), ambos con desarrollo de tejido esponjoso durante el almacenamiento.

Potenciales hídrico (Ψ_w), osmótico (Ψ_s) y de presión (Ψ_p)

Al inicio del estudio, el Ψ_w de las calabacitas fue de -0.72 MPa y a los 9 d de almacenamiento a 10 y 20 °C el potencial se redujo a -0.79 y -0.86 MPa, respectivamente (Figura 2), descenso que fue significativo (P ≤ 0.05). Valores inferiores de Ψ_w corresponden a calabacitas almacenadas a 9 d a 20 °C, las cuales presentaron la mayor pérdida de peso con 13.5 % (Figura 1). Así mismo, los cambios en los potenciales (Ψ_w , Ψ_s y Ψ_p) de los frutos almacenados a 20 °C se asociaron con la histología del tejido (Figura 3), en los que se observó mayor desorganización celular que en los almacenados a 10 °C.

Durante el almacenamiento de los frutos por 6 d a 20 °C y 9 d a 10 °C, el Ψ_s de las calabacitas fue ligeramente menor al Ψ_w , debido posiblemente al incremento en la concentración de sólidos solubles en las células del tejido causado por la degradación de macromoléculas durante la actividad me-

tabólica en postcosecha. Tal respuesta también puede ser atribuida a un aumento en la concentración de solutos por efecto de la pérdida de agua del fruto. En relación con lo anterior, el Ψ_p presentó una disminución significativa (P ≤ 0.05) durante el almacenamiento de los frutos, pues bajó de 0.5 MPa a valores de cero o negativos a los 6 y 9 d a 20 y 10 °C, respectivamente. Los Ψ_p iguales a cero coinciden con la intersección de las líneas de los Ψ_w y Ψ_s (Figura 2); dicha condición fisiológica indica plasmólisis celular del tejido de los frutos, según Salisbury y Ross (2000). Durante este fenómeno se observó mayor pérdida de la integridad celular y la aparición de espacios intracelulares, en comparación con los tejidos que no habían alcanzado ese cambio (Figura 3). La plasmólisis celular de la calabacita se presentó después de una marchitez severa del fruto, con pérdida total de la calidad.

En flor de calabaza, Villalta *et al.* (2004) reportaron colapso celular durante el almacenamiento por 14 d a 5 °C, acompañado de pérdida total de la calidad comercial y el desarrollo de tejido necrótico. En zanahoria (*Daucus carota* L.) cv. 'Eagle', Shibairo *et al.* (1997) observaron un efecto negativo en la apariencia del fruto durante el almacenamiento, lo cual se relacionó con una reducción del Ψ_s de -1.3 a -1.7 MPa a los 7 y 21 a 13 °C, respectivamente, debido a la pérdida de agua del tejido. En frutos de kiwi 'Hayward' (*Actinidia deliciosa*) los cambios en Ψ_w fueron de -1.02 a -1.7 y de -1.08 a -1.6 en Ψ_s , y de +0.06 MPa a valores negativos en Ψ_p , con un CRA de 95 a 90 %, del día cero a los 14 d a 20 °C, en donde el inicio de la plasmólisis celular fue a los 14 d (Burdon y Clark, 2001), contra 6 y 9 d en calabacitas a 20 y 10 °C, respectivamente.

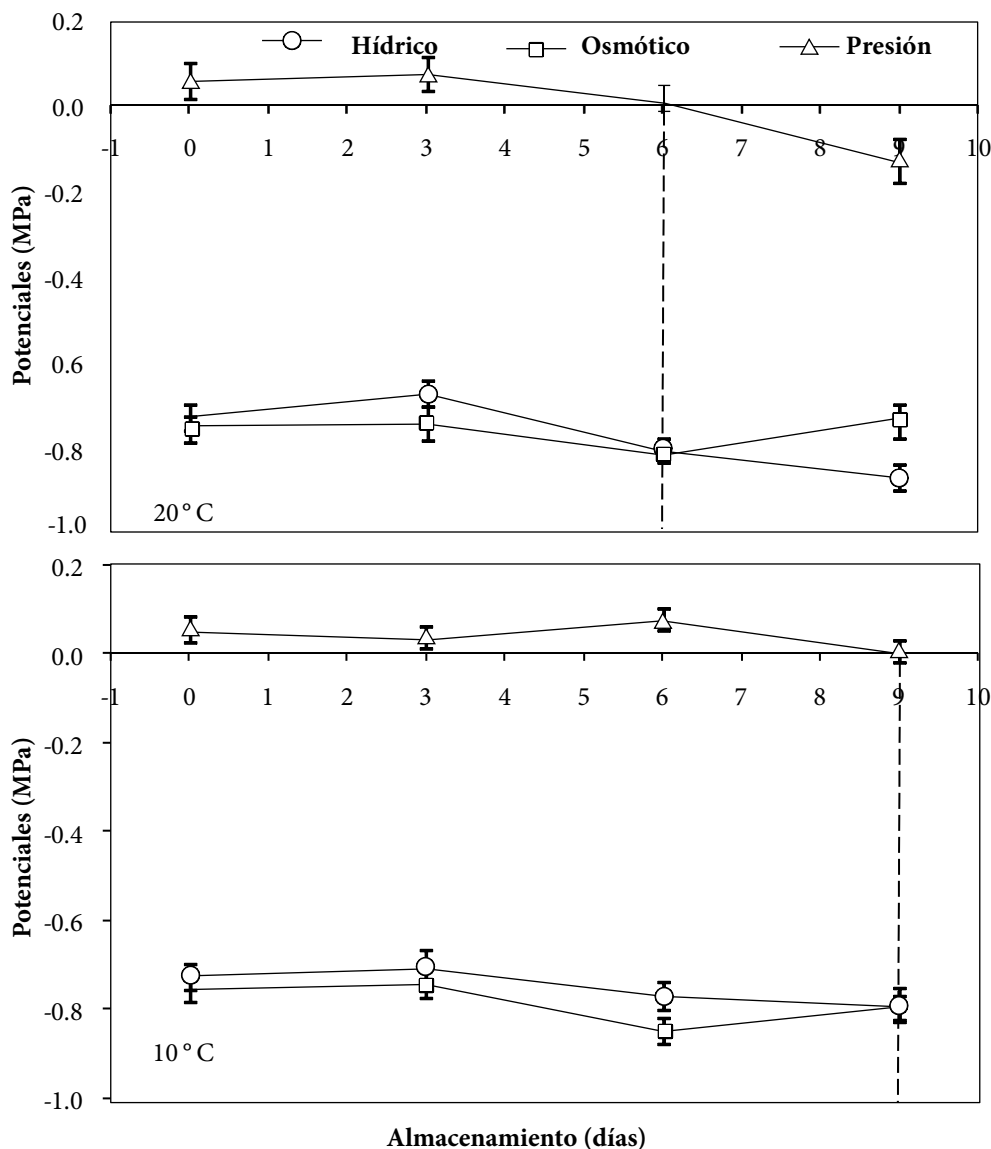


Figura 2. Potenciales hídrico, osmótico y de presión en frutos de calabacita Zucchini almacenados a 20 y 10 °C. Línea vertical discontinua muestra el tiempo donde se presentó el cambio del potencial de presión de valores positivos a negativos, indicativo de plasmólisis celular. Las barras verticales en cada punto son el error estándar de tres frutos.

Análisis histológico

La temperatura y el tiempo de almacenamiento afectaron la integridad celular de los tejidos de calabacita (Figura 3). Al día cero el epicarpio del fruto presentó células compactas sin deterioro (Figura 3-1), totalmente hidratadas y turgentes ($\Psi_p = 0.6$ MPa, Figura 2); mientras que en las células del mesocarpio se apreciaron espacios vacíos (Figura 3-2), los cuales se incrementaron en el endocarpio (Figura 3-3).

A los 12 d de almacenamiento a 10 °C, las células del epicarpio no mostraron cambios considerables con relación al día cero, ni pérdida de integridad celular (Figura 3-1A).

Esto podría explicar el por qué no coincide el tiempo de marchitez de la fruta con la plasmólisis celular, ya que la desintegración celular inició en el interior y luego avanzó hacia al exterior del pericarpio. En los frutos almacenados 12 d a 20 °C se detectó desintegración celular desde el epicarpio (Figura 3-1B). En ambas temperaturas de almacenamiento se observó que en las células del mesocarpio hubo un incremento gradual del aerénquima (Figura 3-2A, 2B), con presencia de tejido colapsado en la sección del endocarpio (3-3A, 3B), con mayor deterioro en los tejidos a 20 °C (Figura 3-3B). Bajo estas dos condiciones (12 d a 10 y 20 °C), los frutos alcanzaron una pérdida de peso mayor a 6 % (Figura 1), presentaron síntomas

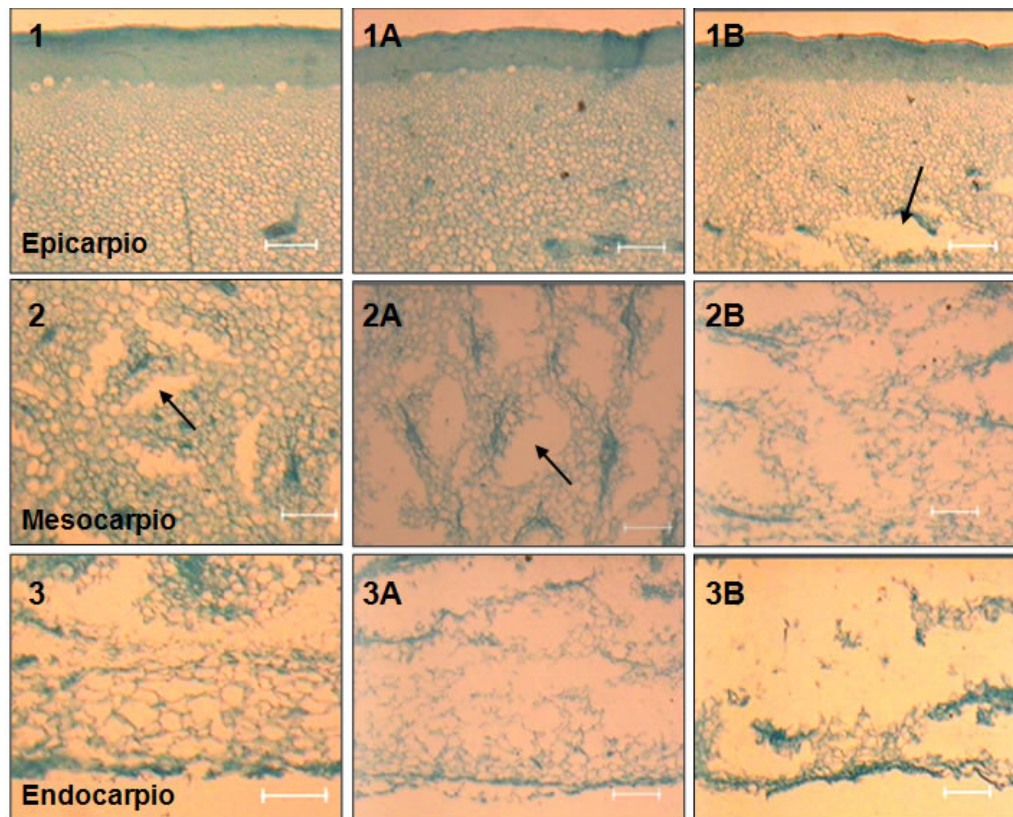


Figura 3. Integridad del tejido de frutos de calabacita durante el almacenamiento. 1 = Epicarpio; 2 = Mesocarpio; 3 = Endocarpio, al día inicial. A = Frutos almacenados por 12 d a 10 °C. B = Frutos almacenados por 12 d a 20 °C. Barra blanca de referencia = 200 μ m. Flechas indican espacios vacíos.

de marchitez, $\Psi_p < 0$ MPa y plasmólisis celular. A pesar de presentar desintegración celular en el mesocarpio y endocarpio, la calabacita almacenada por 12 d a 10 °C mostró menor pérdida de peso y mayor CRA en comparación con las almacenadas a 20 °C.

Walter *et al.* (1990) reportaron que el fruto de pepino var. 'Pickle' almacenado a 15 °C con 93 % HR mostró daño en las células del parénquima debido a la pérdida de agua y a daños en la estructura de los componentes de la pared celular. Después de 9 d de almacenamiento, el fruto alcanzó un CRA menor a 85 % y desarrolló tejido esponjoso, con células plasmolizadas que afectaron la integridad del tejido, similar a lo observado en calabacita a 20 °C. En champiñones (*Agaricus bisporus*), Zivanovic *et al.* (2000) también registraron pérdida de turgencia y contenido del polisacárido quitina en las células del tejido durante el almacenamiento por 9 d a 12 °C y 95 % HR; el daño se relacionó con espacios intracelulares en la superficie del píleo del hongo, células colapsadas en las hifas y pérdida de integridad de la vacuola. En frutos de pèrsimo (*Diospyros kaki* L.) se obser-

vó pérdida de integridad de las paredes celulares y adhesión entre células cuando los frutos se almacenaron por 20 d a 15 °C (Salvadora *et al.*, 2008), similar a las características aquí observadas en el mesocarpio y endocarpio de las células de calabacita durante el almacenamiento a 10 y 20 °C.

CONCLUSIONES

Una pérdida de peso de 6 % en calabacita Zucchini se relacionó con los primeros síntomas de marchitez y pérdida de calidad comercial de los frutos. La temperatura de almacenamiento de 10 °C retrasó significativamente la pérdida de agua y la aparición de plasmólisis celular de los tejidos, en comparación con los frutos almacenados a 20 °C. No se encontró una relación entre el tiempo del desarrollo de la marchitez de la calabaza y la plasmólisis del tejido. La plasmólisis celular de la calabacita se presentó cuando el contenido relativo de agua en los frutos se redujo a valores entre 81 a 82 %, con una pérdida de peso mayor a 10 %. Los principales cambios histológicos en el pericarpio del fruto se desarrollaron del endocarpio hacia el epicarpio, que consistieron en una mayor

presencia de células colapsadas y pérdida de adhesión celular en los frutos almacenados a 20 °C.

AGRADECIMIENTOS

Al apoyo técnico de la M.C. Laura Aracely Contreras Angulo, la M.C. Rosabel Vélez de la Rocha y la Ing. Rosalba Contreras Martínez. Así como al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el apoyo económico otorgado a la Ing. Vania Urias Orona.

BIBLIOGRAFÍA

- Alferez F, B Alquezar, J Burns, L Zacarias (2010)** Variation in water, osmotic and turgor potential in peel of 'Marsh' grapefruit during development of postharvest peel pitting. *Postharv. Biol. Technol.* 56:44-49.
- Balandrán-Quintana R R, A M Mendoza-Wilson, A Gardea-Béjar, I Vargas-Arispuero, M A Martínez-Téllez (2003)** Irreversibility of chilling injury in zucchini squash (*Cucurbita pepo* L.) could be a programmed event long before the visible symptoms are evident. *Biochem. Biophys. Res. Comm.* 307:553-557.
- Ben-Yehoshua S (1987)** Transpiration, water stress, and gas exchange. *In: Postharvest Physiology of Vegetables.* J Weichmann (ed). Marcel Dekker, Inc. New York. USA. pp:113-170.
- Brew B S, A D Berry, S A Sargent, N I Shaw, D J Cantliffe (2006)** Determination of optimum storage conditions for 'baby' summer squash fruit (*Cucurbita pepo*). *Proc. Florida State Hort. Soc.* 119:343-346.
- Bourne M (2002)** Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement. Academic Press. USA. 182 p.
- Burdon J, C Clark (2001)** Effect of postharvest water loss on 'Hayward' Kiwifruit water status. *Postharv. Biol. Technol.* 22:215-225.
- Cantwell M, A Thangaiiah (2001)** Delays to cool affect visual quality, firmness and gloss of bell peppers and eggplants. *Perishables Handling Quarterly.* University of California. Issue N° 107. pp:17-20.
- Carvajal F, C Martínez, M Jamilena, D Garrido (2011)** Differential response of zucchini varieties to low storage temperature. *Sci. Hort.* 130:90-96.
- Finger F L, M Della-Justina, V Dias, M Puiatti (2008)** Temperature and modified atmosphere affect the quality of okra. *Sci. Agric. (Brazil)* 65:360-364.
- MINITAB (2008)** Statically software. Ver. 14.1. Disponible en: <http://www.minitab.com>.
- Mohammed M, J K Brecht (2003)** Immature fruit vegetables. *In: Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables.* A Bartz Jerry y K Brecht Jeffery (eds). Marcel Dekker, Inc. University of Florida Gainesville, Florida, USA. pp:241-256.
- Muy R D, J Siller-Cepeda, J Díaz-Pérez, B Valdez-Torres (2004)** Efecto de las condiciones de almacenamiento y el encerado en el estado hídrico y la calidad poscosecha de pepino de mesa. *Rev. Fitotec. Mex.* 27:157-165.
- Osuna E T, R G Valenzuela, R D Muy, B A Gardea, R M Villareal (2008)** Expresión del sexo y anatomía floral del litchi (*Litchi chinensis* Sonn.). *Rev. Fitotec. Mex.* 31:51-56.
- Paul R E (1999)** Effect of temperature and relative humidity on fresh commodity quality. *Postharv. Biol. Technol.* 15:263-277.
- Pomper K W, P J Breen (1997)** Expansion and osmotic adjustment of strawberry fruit during water stress. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 122:183-189.
- Salisbury F B, C W Ross (2000)** Osmosis. *In: Fisiología de las Plantas.* F B Salisbury, C W Ross (eds). Thomson Learning. España. pp:65-93.
- Salvadora A, L Arnala, C Besadaa, V Larreab, I Hernandoc, I Pérez-Munuerac (2008)** Reduced effectiveness of the treatment for removing astringency in persimmon fruit when stored at 15 °C physiological and microstructural study. *Postharv. Biol. Technol.* 49:340-347.
- Sargent A S, D N Maynard (2002)** Cucurbits. *In: Crop Post-harvest: Science and Technology.* P Golob (ed). Perishables 3. John Wiley & Sons. England. pp:286-326.
- Serrano M, M Pretel, M Martínez-Madrid, F Félix, F Riquelme (1998)** CO₂ treatment of zucchini squash reduces chilling-induced physiological changes. *J. Agric. Food Chem.* 46:2465-2468.
- Shackel K A, C Greve, J M Labavitch, H Ahmadi (1991)** Cell turgor changes associated with ripening in tomato pericarp tissue. *Plant Physiol.* 97:814-816.
- Shibairo S I, M K Upadhyaya, P M Toivonen (1997)** Postharvest moisture loss characteristics of carrot (*Daucus carota* L.) cultivars during short-term storage. *Sci. Hort.* 71:1-12.
- Shibairo S I, M K Upadhyaya, P M Toivonen (2002)** Changes in water potential, osmotic potential, a tissue electrolyte leakage during mass loss in carrots stored under different conditions. *Sci. Hort.* 95:13-21.
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2012)** Producción agrícola de calabacita, 2010. Disponible en: http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=351. (Marzo 2012).
- Sunil R R, P L Hurst, L D Melton (1999)** Texture and the cell wall polysaccharides of buttercup squash 'Delica' (*Cucurbita maxima*). *New Zeal. J. Crop Hort. Sci.* 27:133-143.
- Suslow T, M Cantwell (2009)** Squash (soft rind). *Postharvest Technology.* Research Information Center. Produce/ProduceFacts/veg/squash.shtml. Department of Plant Sciences. University of California. pp:1-4.
- Turner N C (1981)** Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. *Plant Soil* 58:339-366.
- Villalta A M, M Ergun, A D Berry, N Shaw, S A Sargent (2004)** Quality changes of yellow summer squash blossoms (*Cucurbita pepo*) during storage. *Acta Hort.* 659:831-834.
- Waldron K W, M L Parker, A C Smith (2003)** Plant cell walls and food quality. *Food Sci. Food Safety* 2:101-1149.
- Walter W M, D G Epley, R F McFeeters (1990)** Effect of water stress on stored pickling cucumbers. *J. Agric. Food Chem.* 38:2185-2191.
- Zivanovic S, R W Buescher, K S Kim (2000)** Textural changes in mushrooms (*Agaricus bisporus*) associated with tissue ultrastructure and composition. *J. Food Sci.* 65:1404-1408.