

Efecto de Cubiertas Comestibles en la Calidad de Nopal Verdura (*Opuntia* sp) Durante el Almacenamiento Refrigerado[♦]

Effect of Edible Coatings on the Quality of Cactus Stems (*Opuntia* sp) During Cold Storage

Rodríguez-Félix, Armida*¹, Villegas-Ochoa, Mónica A.¹, Fortiz-Hernández, Judith¹

Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Apdo. Postal 1735. Hermosillo, Sonora, México 83000.

e-mail: armida@cascabel.ciad.mx

RESUMEN

La calidad de los cladodios de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) durante el almacenamiento refrigerado es afectada por la pérdida de peso y daño por frío. La aplicación de cubiertas comestibles ha mostrado reducir estos problemas en otros productos hortícolas. En este trabajo se evaluó el efecto de la aplicación de 2 ceras comestibles (Semperfresh[®] y una cera a base de carboximetilcelulosa, CMC, denominada cera 1) en la calidad de los cladodios de dos variedades de nopal verdura (COPENA F-1 y COPENA V-1) durante el almacenamiento por 30 días a 5 y 10°C. Periódicamente se evaluaron las variables pérdida de peso, color (ángulo de matiz, croma y valor L*), permeabilidad al vapor de agua de las cutículas, daño por frío (DF) y pudriciones. Los cladodios de nopal verdura de la variedad COPENA V-1 fueron más susceptibles a daño por frío y pudriciones durante el almacenamiento a 5 y 10°C que los de COPENA F-1. La aplicación de tratamientos con cera a nopal verdura tuvo un efecto diferente en la calidad durante el almacenamiento, dependiendo de la temperatura en cada una de las variedades evaluadas. Los beneficios de la aplicación de la cera Semperfresh fueron disminución en la pérdida de peso, en los cambios en color, en DF y en la pudrición durante el almacenamiento a 5°C de los cladodios de COPENA V-1 y en la pérdida de peso a 10°C en los cladodios de ambas variedades. En cambio, la cera 1 tuvo un efecto benéfico en reducir el daño por frío durante el almacenamiento a 5°C y la pudrición durante el almacenamiento a 10°C de los cladodios de COPENA V-1. Sin embargo, incrementó el daño por frío de los cladodios de COPENA F-1 y favoreció la pérdida de peso durante el almacenamiento a 10°C de los cladodios de ambas variedades.

Palabras clave: *Opuntia ficus-indica*, cubiertas comestibles, calidad, almacenamiento.

ABSTRACT

The quality of tender cactus stems (*Opuntia ficus-indica*) during cold storage is affected by weight loss and chilling injury. These disorders have been reduced in several fruits and vegetables by covering the product with edible coatings. The effect of application of two edible coatings (Semperfresh[®] and another formulation based on carboxymethylcellulose, CMC, named Wax 1) on the quality of tender cactus stems of two cultivars (COPENA F-1 and COPENA V-1) stored for 30 days at 5 and 10°C was evaluated. Weight loss, color (hue angle, chroma and L* value), permeability of cuticles to water vapor, chilling injury (CI), and rot, were recorded periodically. Cladodes of COPENA V-1 were more susceptible to CI and rots during storage at 5 y 10°C than cladodes of COPENA F-1. Wax treatment effect on quality of

[♦] Received 18 November 2006; Accepted 26 May 2007.

cactus stems during storage was different on evaluated cultivars and storage temperature. The beneficial effect of Semperfresh wax use were a reduction in weight loss, color changes (hue), CI and rots during storage at 5°C of cactus stems of COPENA V-1, as well as a reduction in weight loss of cladodes of both cultivars stored at 10°C. Wax 1 reduced CI at 5°C and rots at 10°C of cladodes of COPENA V-1. However, Wax 1 increased CI of cladodes of COPENA F-1 and weight loss of cladodes of COPENA F-1 and COPENA V-1 stored at 10°C.

Key words: *Opuntia ficus-indica*, edible coatings, quality, storage.

INTRODUCCIÓN

Las plantaciones comerciales de nopal verdura ocuparon en el 2005 en México, una superficie de 10 930 hectáreas, con una producción de 759 072 ton, ocupando el tercer lugar en volumen de producción de hortalizas y el octavo lugar en valor de producción después del tomate rojo Saladette, tomate rojo Bola, cebolla blanca, tomate de cáscara o tomate verde, chile verde Jalapeño, tomate rojo Río Grande y espárrago. Las áreas de producción se localizan en 27 Estados de la República, siendo Milpa Alta, D.F., la zona productora más importante del país con el 41 por ciento de la producción (SAGARPA, 2006). Las variedades de importancia comercial para producción de nopal verdura son Milpa Alta, Atlixco, Copenas y Valtierra (Calva, 2006). Ruiz y col. (2006) efectuaron una caracterización sensorial del nopal verdura de tres variedades comerciales (Milpa Alta, Atlixco y Copena V-1) encontrando que estas difieren únicamente en apariencia y textura. Debido a su alto contenido de agua (88 a 85%) el nopal verdura es considerado un alimento bajo en calorías (27 kcal/100 g) (Stintzing y Carle, 2005). Esta hortaliza posee un alto contenido de pectina, mucílago y minerales (calcio), siendo considerada una fuente importante de nutrientes en Latinoamérica (Feugang y col., 2006). Betancourt-Domínguez y col. (2006) indicaron que el nopal verdura parece ser una buena fuente de β -caroteno y luteína. Se ha indicado que los cladodios de nopal verdura poseen diversos efectos benéficos en la salud, tales como efecto anticáncer, antiviral, antioxidante, antiinflamatorio, antidiabético (tipo II), antihiperlipidémico y antihipercolesterolémico (Feugang y col., 2006).

Durante el almacenamiento de nopal verdura a 5°C los daños por frío (DF), que se manifiestan después de 15 días como manchas oscuras y difusas en la superficie del cladodio, son el principal problema que limita su vida postcosecha (Cantwell, 1995; Nerd y col., 1997). A temperaturas superiores (10°C), la incidencia de DF después de 21 días es baja (6%) y lo que reduce la calidad a esta temperatura es la pérdida de peso (Rodríguez-Félix y Villegas-Ochoa, 1997). Estos autores mencionan diferencias en el comportamiento de la pérdida de peso entre las variedades COPENA V-1 y COPENA F-1.

En la mayoría de los productos hortícolas, la pérdida de agua ocurre principalmente por transpiración a través de la cutícula, aunque en algunos casos también ocurre a través de los estomas y lenticelas (Baldwin, 1994). La cutícula cubre las partes aéreas de las plantas superiores tales como hojas, frutos y tallos no leñosos y su función principal es actuar como una barrera para la pérdida de agua (Baldwin, 1994; Heredia, 2003; Vogt y col., 2004). La cutícula es una membrana delgada, flexible e hidrofóbica, constituida por una matriz polimérica denominada cutina y asociados a ella están lípidos solubles en solventes embebidos en la cutina conocidos como ceras intracuticulares y depositados en la superficie de la cutina o ceras epicuticulares. También pueden estar presentes cantidades traza de polisacáridos y aminoácidos (Heredia, 2003; Vogt y col., 2004; Kissinger y col., 2005) Se ha mostrado que la estructura compleja de la cutícula puede variar entre cultivares y durante el almacenamiento y vida en anaquel del producto (Veraverbeke y col., 2003).

La pérdida de agua puede ser controlada condicionando la superficie del producto hortícola mediante la aplicación de cubiertas comestibles o tratamientos térmicos, o con un control adecuado de las condiciones

de almacenamiento a través del mantenimiento de bajas temperaturas y alta humedad relativa (H.R.), o del envasado en películas plásticas (Wills y col., 1998). Entre las técnicas postcosecha que han mostrado reducir los síntomas de DF en productos hortícolas, se encuentran el acondicionamiento de temperatura, el calentamiento intermitente, las atmósferas modificadas y controladas, los tratamientos químicos y la aplicación de reguladores de crecimiento. La reducción del DF mediante el empleo de estas técnicas se atribuye a un incremento en la tolerancia del producto a las bajas temperaturas o al retraso en el desarrollo de los síntomas (Wang, 1994).

Las cubiertas comestibles o ceras utilizadas comercialmente en productos hortícolas, varían grandemente y pueden ser formuladas con diferentes componentes, como ceras naturales o sintéticas, ácidos grasos, aceites, resinas, polisacáridos, proteínas y polímeros sintéticos. Estas proporcionan una barrera semipermeable al O₂ y CO₂ (modificando la atmósfera interna del producto) y al vapor de agua, ayudan a mantener la integridad estructural del tejido, retienen los compuestos volátiles, mejoran la apariencia y pueden contener aditivos tales como agentes antimicrobianos, antioxidantes, reguladores de crecimiento, sustancias para retardar la senescencia, protectores de DF y agentes colorantes (Baldwin, 1994). Entre los factores que afectan la efectividad de las cubiertas comestibles en mantener la calidad de los productos vegetales se encuentran el tipo de fruto, así como el grosor y permeabilidad de la cubierta utilizada, y la temperatura (Amarante y col., 2001).

El encerado puede reducir los DF ya que reduce la pérdida de agua disminuyendo el desarrollo de los síntomas de DF o modifica la concentración interna del O₂ y CO₂ de producto. Sin embargo, su efecto puede variar dependiendo de la especie y del tipo de cera, lo cual se ha relacionado con la modificación de los niveles de O₂ y CO₂ causados por la cera y la respuesta del producto a esos niveles de gases en la atmósfera (Forney y Lipton, 1990).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación de ceras comestibles en la calidad de cladodios de nopal verdura de dos variedades comerciales durante el almacenamiento a 5 y 10°C por 30 días.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material Vegetal y Cubiertas Comestibles

Se usó nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) de las variedades COPENA F-1 y COPENA V-1, de plantaciones comerciales ubicadas en Hermosillo, Sonora, México. Se cosecharon cladodios tiernos en forma manual y se transportaron inmediatamente hacia los laboratorios del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Hermosillo, Sonora, México. En el laboratorio se seleccionaron cladodios de tamaño uniforme de aproximadamente 20 cm. de longitud, con apariencia fresca y libres de daños y defectos. El material se lavó por inmersión en agua clorada (hipoclorito de calcio, Spectrum Chemical Co, Gardena, CA, EUA) a 200 mg L⁻¹ y se secaron con aire. Los cladodios se dividieron en 3 lotes; cada lote se sumergió por 1 min. en las siguientes soluciones: cera 1 (10% de ácidos grasos, 7% de carbohidratos, 0.75% de carboximetilcelulosa, CMC y 0.1% de polietilén glicol), Semperfresh (AgriCoat Industries Limited, Berkshire, Inglaterra) al 0.7% (ésteres de ácidos grasos, carboximetilcelulosa de sodio y monodiglicéridos de ácidos grasos), y agua (testigo). Se secaron con un ventilador. Posteriormente se colocaron en cajas de cartón y se almacenaron a 5°C y 10°C (80±1% H.R.) por 30 días. Se realizaron muestreos cada 3 días, y se efectuaron determinaciones de las siguientes variables:

Pérdida de peso. El peso del cladodio se registró al inicio del experimento y cada 3 días durante su almacenamiento. Se empleó una balanza digital Sartorius Electronic Toploader 1006 MP9, Goettingen, Alemania). Se pesaron 20 cladodios por tratamiento y fecha de evaluación. Los resultados se expresaron en porcentaje de pérdida de peso (Rodríguez-Félix y Villegas-Ochoa, 1997).

Color. Se utilizó un colorímetro Minolta CR-300 (Ramsey, New Jersey, EUA). La medición se realizó a 20 cladodios por tratamiento (1 medición por cada cladodio) y fecha de evaluación. Se usó la colorimetría de triestímulo o sistema L^* , a^* y b^* . Los resultados se expresaron como los tres atributos del color que son: ángulo del tono ($h = \arctan b/a$) que es el tono del color ya sea rojo, verde, amarillo o azul; croma (saturación del color) $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ y valor L^* (luminosidad o claridad) (McGuire, 1992; Konica Minolta, 2003).

Extracción de cutículas. Primeramente las ceras epicuticulares se removieron de los cladodios empleando la metodología propuesta por Riederer y Schneider (1990). Tres cladodios por tratamiento fueron sumergidos en 200 mL de cloroformo a 45°C durante 1 minuto. Posteriormente, se extrajeron con un sacabocados círculos de la epidermis con un diámetro de 1.1 cm. Estos fueron incubados por un período de 24 a 72 h en una solución con 1 g de $ZnCl_2$ con 1.7 mL de HCl concentrado, agitándose periódicamente. Las cutículas aisladas se lavaron varias veces con agua destilada y posteriormente con ácido bórico (H_3BO_3) al 2% durante 24 h. Con el fin de eliminar los residuos de materia orgánica, las cutículas se lavaron de nuevo con agua destilada, se colocaron en tubos de 13 mL previamente pesados y se incubaron por 12 h a 55 °C (Freeman y col., 1979; Schönherr y Riederer, 1986).

Permeabilidad al vapor de agua (PVA) de las cutículas. Se utilizaron 20 discos de las cutículas extraídas de 1.1 cm de diámetro cada uno (Freeman y col., 1979). Se colocaron sobre láminas de teflón cubriendo orificios de 0.325 cm de diámetro. Las cutículas se adhirieron al teflón utilizando silicona líquida alrededor de los orificios. Las láminas de teflón (con 4 orificios) con las cutículas pegadas, se montaron en cajas petri de plástico de 5 cm. de diámetro a las que previamente se le añadieron 5 mL de agua destilada. Posteriormente, las cajas petri se sellaron herméticamente con silicona líquida y pinzas de presión. Las cutículas se incubaron a $25 \pm 1^\circ C$ durante 8 horas y se pesaron a intervalos de una hora, determinándose de esta forma la pérdida de vapor de agua a través de las cutículas (aproximadamente el 0.1% del peso inicial). Los datos se expresaron como mg de agua perdida en forma de vapor por cm^2 de cutícula por hora (Pérez y col., 2004).

DF. Esta variable se midió de manera subjetiva, mediante la evaluación visual de 20 cladodios por tratamiento. Se registraron los cladodios que presentaron algún síntoma visual característico (manchas oscuras y difusas en la superficie del cladodio) (Cantwell, 1995). Se utilizó una escala de 0 a 3 para calificar la intensidad de los daños, donde: 0 = sin daño, 1 = daño ligero, 2 = daño moderado y 3 = daño severo. Los resultados se expresaron como índice de daño por frío (IDF).

Pudriciones. Esta variable se evaluó visualmente en 20 cladodios, registrándose los que presentaron pudriciones. Se consideró como pudrición cuando el cladodio presentó al menos el 10% de su superficie afectada por hongos. Los resultados se expresaron como porcentaje de cladodios con pudriciones del total de cada tratamiento (Rodríguez-Félix y Villegas-Ochoa, 1997).

Diseño experimental y análisis estadístico. Se utilizó un diseño experimental en bloques con estructura factorial para dos factores: Factor A (efecto de la temperatura) con dos niveles 5 y 10°C y factor B (efecto del encerado) con 3 niveles: testigo, Cera 1 y Semperfresh; y el período de almacenamiento (efecto del tiempo) fue el bloque. Las variedades de nopal se analizaron de manera separada. Se realizó un análisis de varianza por modelos lineales generales (GLM) a un nivel de significancia de 0.05. Se realizó comparación de medias por la prueba de rangos múltiples de Tukey. Se empleó la prueba t para dos muestras para comparación de las variedades estudiadas. Se utilizó el paquete estadístico NCSS (NCSS, 1997). La unidad experimental fue un cladodio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Pérdida de Peso

La pérdida de peso de nopal verdura se incrementó a medida que transcurrió el período de almacenamiento (Figura 1). La pérdida de peso fue menor durante el almacenamiento a 5°C con respecto al almacenamiento a 10°C, observándose una disminución en la pérdida de peso del orden de 42.3% y 50.7% para COPENA V-1 y COPENA F-1, respectivamente. En general, los cladodios de COPENA F-1 perdieron mas peso que los cladodios de COPENA V-1.

El efecto de la cera en la pérdida de peso de nopal verdura fue diferente dependiendo de la temperatura en las variedades estudiadas. En COPENA F-1 almacenado por 30 días a 10°C, la cera Semperfresh redujo la pérdida de peso en un 14% con respecto al testigo, mientras que en el tratamiento con cera 1 se observó mayor pérdida de peso, presentando después de 30 días a 10°C valores 18% superiores al testigo. Durante el almacenamiento a 5°C, no se observó un efecto significativo ($p>0.05$) de las ceras Semperfresh y cera 1 en reducir la pérdida de peso de esta variedad, presentando valores similares al testigo. En los cladodios de COPENA V-1, se observó que la aplicación de cera Semperfresh redujo la pérdida de peso durante el almacenamiento por 30 días a 5°C, presentando un valor 20% menor que el testigo. Los cladodios de COPENA V-1 tratados con cera 1 almacenados a 5°C presentaron valores similares al testigo, mientras que en los almacenados por 30 días a 10°C la pérdida de peso fue 15% superior al tratamiento testigo.

El principal beneficio del encerado de frutas y hortalizas es la reducción de la pérdida de peso durante el almacenamiento (Hagenmaier y Shaw, 1992), causada principalmente por el proceso de transpiración (Baldwin, 1994). Esta disminución de la pérdida de peso puede ser atribuida a la barrera al vapor de agua creada por la cera en la epidermis del producto hortícola (Veraverbeke y col., 2003). La cera Semperfresh y otras ceras similares a base de polisacáridos, aún cuando no constituyen barreras tan efectivas al movimiento de agua como las ceras a base de lípidos, tienen un efecto en la transpiración de los vegetales debido a que bloquean los estomas, lenticelas y cicatrices, lo que resulta en una disminución en la pérdida de agua (Baldwin, 1994). Se ha mostrado que las ceras a base de polisacáridos, como Semperfresh, tienen un efecto importante al reducir la pérdida de peso de diversos productos hortícolas tales como granada almacenada a 8°C (70-75% H.R.) y 25°C (40-60% H.R.) (Nanda y col., 2001) y membrillo almacenado por 35 días a 4°C (90-95% R.H) (Yurdugül, 2005). Sin embargo, este efecto positivo no fue evidente en fruto del pan (*Artocarpus altilis* Parks.) almacenado por 20 días a 13°C (Worrell y col., 2002). Un comportamiento variable del efecto de Semperfresh fue observado en chile verde (*Capsicum annuum* L.), reduciendo la pérdida de peso durante el almacenamiento por 35 días a 12°C (90-95% H.R.) e incrementando la pérdida de peso durante el almacenamiento por 14 días a $23 \pm 2^\circ\text{C}$ (40-50% H.R.) (Özden y Bayindirli, 2002).

Adicionalmente, se ha encontrado un efecto benéfico de otras ceras a base de polisacáridos en reducir la pérdida de peso de los productos hortícolas. Baldwin y col., (1999), encontraron que la cera NatureSeal 2020 (a base de hidroxipropilcelulosa al 5%) redujo la pérdida de peso de mango 'Tommy Atkins' durante el almacenamiento por 17 días a 10°C (90-95% H.R.) más 3 días a 20°C (56% H.R.). Asimismo, Maftoonazad y Ramaswamy (2005) indicaron que la aplicación de cubiertas comestibles a base de metilcelulosa (3% peso/volumen) disminuyó la pérdida de peso de aguacate 'Hass' durante su almacenamiento por 10 días a 20°C.

La menor pérdida de peso observada a 5°C en comparación con 10°C puede atribuirse a la disminución de la actividad biológica, tasa de respiración entre otros, del producto al ser almacenado a una temperatura más baja (5°C) (Thompson, 2002). Adicionalmente, la PVA de las cutículas es mas baja a menor temperatura (datos presentados mas adelante).

El incremento en la pérdida de peso causado por la cera 1 puede deberse a que ésta no se formuló con el contenido adecuado de lípidos para nopal verdura. García y col. (2000) concluyeron que la adición de lípidos a cubiertas comestibles a base de polisacáridos produce buena barrera al vapor de agua debido a su hidrofobicidad. Sin embargo, la concentración de lípidos es un balance entre la relación hidrofílica-hidrofóbica y cuando se incrementa la concentración de lípidos por arriba de la concentración óptima, aunque se incrementa la fracción hidrofóbica también se incrementa la permeabilidad al vapor de agua.

La mayor pérdida de peso de los cladodios de COPENA F-1 con respecto a los de COPENA V-1, puede atribuirse a que los cladodios de esta variedad presentaron mayores valores de permeabilidad al vapor de agua de la cutícula (Figura 5).

Guevara-Arauz y col. (2006) observaron que la permeanza del tejido de nopal al O₂, CO₂ y vapor de agua se incrementa al disminuir la humedad relativa (H.R.) y que una alta HR retrasa la tasa de respiración, disminuye el metabolismo del tejido y prolonga la vida de anaquel.

Color

Angulo del tono (h). El efecto de la temperatura y el tratamiento con cera sobre el valor h de los cladodios fue diferente en las variedades evaluadas en este estudio. Al inicio del experimento esta variable presentó valores de 122.1 a 122.7 para COPENA F-1 y entre 122 a 124 para la variedad COPENA V-1 (Figura 2). Estos valores se ubican en el área de color verde. Se observó una disminución en los valores de h durante el almacenamiento en los distintos tratamientos en ambas variedades, presentando después de 30 días valores de 118.7 a 120.8 para COPENA F-1 y 117.5 a 122.3 para COPENA V-1, manteniendo el color verde del cladodio. En general, el ángulo del tono de los cladodios de ambas variedades fue similar.

En los cladodios de COPENA F-1 no se observó un efecto de la temperatura de almacenamiento ni del tratamiento con cera sobre el valor de h de los cladodios. En COPENA V-1 la interacción de los factores temperatura y tratamiento con cera fue significativa ($p \leq 0.05$). El valor h de los cladodios tratados con cera Semperfresh y almacenados tanto a 5 como a 10°C fue significativamente mayor al del resto de los tratamientos, lo que indica que la cera Semperfresh mantuvo mejor el color verde de los cladodios de esta variedad. Los valores de h más bajos se observaron en los cladodios testigo y en los tratados con cera 1 y almacenados a 5°C. Sin embargo, los valores corresponden a tonos de color verde.

El efecto de la cera Semperfresh en mantener el valor de h de los cladodios de COPENA V-1 coincide con los resultados reportados por Maftoonazad y Ramaswamy (2005), quienes observaron menores cambios en el color total de frutos de aguacate cv. Hass tratados con ceras a base de metilcelulosa. Los menores cambios de color de los cladodios encerados pueden estar relacionados con una modificación de la atmósfera causada por el encerado, ya que se ha observado que las atmósferas modificadas con bajos niveles de O₂ y elevados niveles de CO₂, dentro de los límites tolerados por el producto retrasan la senescencia e inhiben la degradación de clorofila de vegetales verdes (Zagory, 1995).

La degradación de clorofila es el cambio más común que ocurre durante el procesamiento o senescencia de los vegetales verdes. La degradación de este pigmento involucra cinco etapas y se inicia con la remoción de la cadena de fitol de la clorofila por la enzima clorofilasa, resultando en la formación de clorofilida. La pérdida de clorofila causa un cambio en el color de verde brillante a verde olivo en los alimentos procesados y a una amplia variedad de colores (amarillo, café, naranja) en tejidos senescentes (Heaton y Marangoni, 1996).

Guevara y col., (2003) observaron menores cambios en el contenido de clorofila y en la actividad de clorofilasa en cladodios de nopal almacenados por 35 días a 5°C bajo condiciones de atmósferas modificadas con 20 kPa de CO₂, a diferencia de los almacenados a 40 y 80 kPa de CO₂. Estos autores indicaron que existe una clara relación entre la degradación de clorofila y la actividad de clorofilasa en los cladodios, ya que las condiciones que mostraron la mayor degradación de clorofila tuvieron la mayor actividad de clorofilasa. Sin embargo, el producto de esta reacción es clorofilida, la cual aún posee un color verde y para que el color verde desaparezca es necesario que la clorofilida sea degradada a compuestos incoloros de bajo peso molecular (Heaton y Marangoni, 1996). Martins y Silva (2002) indicaron que los porcentajes de degradación de clorofila de ejote congelado deben de ser altos (superiores al 45%), para que esta degradación se refleje en un cambio en el color del tejido.

Valor L*. No se observó un efecto de la temperatura de almacenamiento y del tratamiento con cera en las variedades estudiadas, con valores similares de L* en ambas temperaturas, así como en los diferentes tratamientos con cera en cada variedad (Figura 3). Estos resultados indican que la claridad del color no se vio afectada por estos tratamientos durante el almacenamiento de los cladodios. En general, el valor de L* fue similar en ambas variedades lo que indica igual claridad del tono de los cladodios.

Los resultados del presente estudio concuerdan con lo reportado por Guevara y col., (2001) quienes indicaron que el valor de L* de cladodios de la variedad Milpa Alta se mantuvo durante el almacenamiento por 30 días a 5°C bajo condiciones de envasado en atmósferas modificadas (EAM) pasivas y se incrementó ligeramente (de 50 a 56) en cladodios no envasados (testigo). Así mismo, Guevara y col. (2003) reportaron un ligero incremento en los valores de L* durante el almacenamiento por 25 días a 5°C en cladodios sin envasar y en los mantenidos bajo condiciones de EAM semiactivas (concentración inicial de CO₂ de 40 y 80 kPa), mientras que los valores de L* se mantuvieron en los cladodios bajo condiciones de EAM pasivo y EAM semiactivo (concentración inicial de CO₂ del 20 kPa). Estos resultados sugieren que los valores de L* no son afectados durante el almacenamiento refrigerado de nopal.

Croma (C*). La temperatura de almacenamiento y el tratamiento con cera (Semperfresh y cera 1) no tuvieron un efecto en los valores de croma de los cladodios de las variedades estudiadas, presentando a ambas temperaturas (5 y 10°C) valores similares, así mismo los tratamientos con cera (cera 1 y Semperfresh) presentaron valores similares al testigo (Figura 4). Estos resultados indican que la saturación del color de los cladodios de nopal verdura fue similar en los diferentes tratamientos evaluados para cada variedad.

El croma indica la saturación o viveza del color. Los valores mayores indican un tono de color más vivo y la disminución en este valor indica que el color es más apagado o más pálido (Konica Minolta 2003). Uno de los cambios iniciales que ocurren en la apariencia visual de los cladodios de nopal verdura durante su almacenamiento es el cambio de color verde brillante a verde opaco (Cantwell y col., 1992; Guevara y col., 2003). En base a los resultados obtenidos en el presente estudio puede observarse que los tratamientos con las ceras Semperfresh y cera 1 tuvieron un efecto similar en las variedades estudiadas.

PVA de Cutículas

El efecto de los tratamientos con cera en los valores de PVA de las cutículas durante el almacenamiento fue dependiente de la temperatura en las variedades estudiadas. Los valores iniciales (día 0) de PVA de las cutículas de nopal COPENA F-1 fueron de 4.46 a 4.87 mg cm⁻² h⁻¹, y los de COPENA V-1 presentaron valores de 3.62 a 4.31 mg cm⁻² h⁻¹ (Figura 5). Se observó un efecto muy marcado de la temperatura de almacenamiento sobre los valores de PVA de las cutículas en todos los tratamientos en

ambas variedades, presentando valores significativamente mayores a 10 que a 5°C ($p \leq 0.05$), observándose que a los de 30 días a 10°C los valores se incrementaron hasta casi duplicar los valores iniciales.

En los cladodios de COPENA F-1, la cera Semperfresh redujo significativamente ($p \leq 0.05$) los valores de PVA de las cutículas con respecto a los tratamientos testigo y cera 1 tanto a 5 como a 10°C. Por el contrario, la cera 1 incrementó significativamente los valores de PVA de las cutículas ($p \leq 0.05$) durante el almacenamiento a ambas temperaturas (Fig. 5).

No se observó un efecto de los tratamientos con cera Semperfresh y cera 1 en los valores de PVA de las cutículas de COPENA V-1 almacenadas a 5°C, las cuales presentaron valores similares al testigo. Durante el almacenamiento a 10°C el tratamiento con Semperfresh presentó valores de PVA similares al testigo y el tratamiento con cera 1 mostró valores significativamente superiores ($p \leq 0.05$) (Fig. 5).

La PVA de las cutículas de los cladodios de nopal de ambas variedades durante el periodo de almacenamiento a 5 y 10°C estuvieron en el ámbito de 3.6 a 8.2 mg cm⁻² h⁻¹. Estos valores son inferiores a los de naranja 'Navelate' (10.3 mg cm⁻² h⁻¹) (Agustí y col., 2001) y a los determinados durante el almacenamiento por 12 días a 20°C de mango 'Tommy Atkins' (13 a 15 mg cm⁻² h⁻¹) (Pérez y col., 2004).

Las cutículas de los cladodios de COPENA F-1 presentaron valores mayores de PVA que las de COPENA V-1. El comportamiento de la PVA de las cutículas durante el almacenamiento de nopal (Figura 5) fue similar al observado en el comportamiento de la pérdida de peso de los cladodios (Figura 1). Durante el almacenamiento a 10°C, la cera 1 incrementó los valores de PVA de las cutículas y la pérdida de peso de los cladodios de ambas variedades. En cambio, el efecto de la cera 1 es diferente a 5°C, presentando en los cladodios de COPENA V-1 valores de PVA y de pérdida de peso similares al tratamiento testigo. Este comportamiento puede atribuirse a diferencias en la composición de los componentes de la cutícula de los cladodios de estas variedades, ya que se ha mostrado en manzana que la estructura compleja de la cutícula puede variar entre cultivares, durante el almacenamiento y vida de anaquel del producto (Veraverbeke y col., 2003).

La temperatura es considerada como uno de los factores físicos que influyen predominantemente en la permeabilidad de la cutícula y se ha mostrado que los valores de PVA se incrementan por un factor de 2 en el rango de temperatura de 15 a 35°C (Riederer y Schreiber, 2001), lo que explica la mayor permeabilidad en los valores de PVA de los cladodios almacenados a 10°C.

Las diferencias en el efecto de las ceras Semperfresh y cera 1 sobre la PVA de las cutículas de nopal puede ser debido a que la cera 1 no se formuló con la concentración adecuada de lípidos y afectó la cutícula de los cladodios, ya que García y col. (2000) concluyeron que la adición de lípidos a cubiertas comestibles a base de polisacáridos produce buena barrera al vapor de agua debido a su hidrofobicidad. Sin embargo, la concentración de lípidos es un balance entre la relación hidrofílica-hidrofóbica y cuando se incrementa la concentración de lípidos por arriba de la concentración óptima, aunque se incrementa la fracción hidrofóbica también se incrementa la permeabilidad al vapor de agua.

Daños por Frío (DF)

Se observó diferencia en el DF de acuerdo con la temperatura de almacenamiento y tratamiento de encerado (Figura 6).

En COPENA F-1 los síntomas de DF iniciaron hasta los 27 días a 5°C en todos los tratamientos, a los 27 días a 10°C en los tratamientos testigo y cera 1; y hasta los 30 días en el tratamiento con cera

Semperfresh. No se observó un efecto de la temperatura de almacenamiento sobre el DF en los cladodios de esta variedad ($p > 0.05$). El efecto del tratamiento con cera sobre el DF fue diferente dependiendo del tipo de cera. Semperfresh no tuvo un efecto en reducir el DF, mostrando los cladodios de este tratamiento valores similares al testigo, mientras que los cladodios tratados con cera 1 presentaron mayores valores de IDF ($p \leq 0.05$) que el testigo, lo que indica que esta cera permitió que se incrementara la incidencia de DF.

En los cladodios de COPENA V-1 los síntomas se iniciaron a los 15 días a 5°C y a los 24 días a 10°C, observándose valores mayores a 5 que a 10°C. El efecto de los tratamientos con cera fue diferente dependiendo de la temperatura. A 10°C no se observó un efecto de los tratamientos con cera sobre el DF. En cambio a 5°C, tanto los cladodios tratados con Semperfresh como con cera 1 presentaron menores valores de IDF ($p \leq 0.05$). Sin embargo, al final del periodo de evaluación los valores fueron similares.

Los resultados del presente estudio muestran que los cladodios de COPENA V-1 presentaron síntomas de DF antes que los de COPENA F-1, así como valores superiores de IDF durante el almacenamiento a ambas temperaturas, lo que indica que la variedad COPENA V-1 presentó mayor susceptibilidad a este desorden fisiológico.

De acuerdo a Nerd y col. (1997) los cladodios de *Nopalea cochenillifera* desarrollaron daño por frío después de 7 días de almacenamiento a 4°C, lo que sugiere una mayor susceptibilidad a este desorden fisiológico que los cladodios de *Opuntia*.

Rodríguez-Félix y Villegas-Ochoa (1997), informaron que en cladodios de COPENA V-1 y COPENA F-1 sin lavar y sin encerar, el DF se inició a los 15 días a 5°C y a los 21 días a 10°C coincidiendo con los resultados del presente trabajo para COPENA V-1 a 5°C. Sin embargo, el DF observado durante el almacenamiento a 10°C es diferente, ya que en esta variedad el DF se presentó hasta los 24 días. Los síntomas de DF en los cladodios de COPENA F-1 tardaron más en evidenciarse en ambas temperaturas de almacenamiento. La diferencia en susceptibilidad al DF observada en este estudio con respecto a los resultados de Rodríguez-Félix y Villegas-Ochoa (1997) pudieran atribuirse a diferencias en la temperatura ambiental previa a la cosecha, debido a que los estudios se realizaron en años diferentes, y se ha reportado que la respuesta de las frutas y hortalizas al estrés por frío es muy influenciada por las temperaturas ambientales en los días previos a la cosecha. Se ha mostrado que las altas temperaturas previas a la cosecha pueden inducir tolerancia a las bajas temperaturas durante el almacenamiento postcosecha (Ferguson y col., 1999).

El aumento en el DF causado por la cera 1 en los cladodios de COPENA F-1 durante el almacenamiento a 5 y 10°C pudiera atribuirse al incremento causado en la pérdida de peso, ya que se ha mostrado que en chile (*Capsicum annuum*) hay una asociación muy estrecha entre la pérdida de peso y la pérdida de electrolitos de la membrana celular, lo cual indica pérdida de integridad de la membrana celular, siendo esta uno de los síntomas primarios de DF (Kissinger y col., 2005).

El efecto de las ceras evaluadas sobre el daño por frío fue diferente dependiendo de la variedad. Semperfresh no tuvo un efecto en reducir el DF de los cladodios de COPENA F-1, por el contrario, el tratamiento con cera 1 incrementó la incidencia de DF. En COPENA V-1, Semperfresh y cera 1 disminuyeron el DF durante el almacenamiento a 5°C. Este beneficio pudiera atribuirse a la reducción en la pérdida de peso o a la modificación de la atmósfera en el interior de los cladodios causada por el tratamiento con cera, ya que en otros vegetales se ha encontrado que el encerado puede reducir el daño por frío por modificación de la concentración interna de O₂ y CO₂ ó por reducción de la pérdida de peso. El menor efecto en disminuir el DF de los tratamientos con cera en los cladodios de COPENA V-1 pudiera atribuirse a que la susceptibilidad al DF fue mayor en esta variedad.

Entre los factores de mayor importancia que afectan la susceptibilidad de un producto al DF se encuentran la especie, el cultivar, la condición morfológica y fisiológica durante la exposición a bajas temperaturas. Adicionalmente la susceptibilidad al DF puede ser modulada por las condiciones de producción y la nutrición mineral (Kays, 1997). Kissinger y col. (2005) encontraron que la pérdida de electrolitos de la membrana, indicador de pérdida de integridad de la membrana celular y uno de los síntomas primarios de DF, es diferente entre genotipos de chile (*Capsicum annuum*). Adicionalmente, Malalekuu y col. (2006) encontraron que existen diferencias entre cultivares de chile en la actividad de lipoxigenasa (LOX) y contenido de lípidos, observando que los cultivares con mayor actividad de LOX poseen un menor contenido de lípidos, lo que conduce a una mayor pérdida de electrolitos y de peso.

Pudriciones

La incidencia de pudriciones durante el almacenamiento de los cladodios fue diferente dependiendo de la variedad, temperatura y tratamiento de encerado. En los cladodios de COPENA F-1 almacenados a 5°C, la cera Semperfresh no tuvo un efecto en disminuir las pudriciones (Figura 7). En cambio, la cera 1 fue efectiva en el control de pudriciones, ya que no se observó incidencia de este problema durante los 30 días de almacenamiento a 5°C. Los tratamientos con cera 1 y Semperfresh no tuvieron efecto sobre la incidencia de pudriciones durante el almacenamiento a 10°C, mostrando valores similares ($p>0.05$) al testigo.

En los cladodios de COPENA V-1 almacenados a 5°C, las pudriciones iniciaron a los 15 (10%), 21 (5%) y 18 días (5%) en los tratamientos testigo, cera 1 y Semperfresh, respectivamente (Figura 7). La incidencia de pudriciones se incrementó durante el almacenamiento alcanzando a los 30 días valores de 100%, 80% y 45% en los tratamientos testigo, cera 1 y Semperfresh, respectivamente. La incidencia de pudriciones fue mayor a 5 que a 10°C ($p\leq 0.05$). La aplicación de ceras, ya sea cera 1 ó Semperfresh disminuyeron la incidencia de pudriciones de los cladodios de COPENA V-1 durante el almacenamiento tanto a 5 como a 10°C.

Los principales microorganismos causantes de las pudriciones de nopal verdura son *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp. y *Alternaria* sp. (Rodríguez-Félix, 2002).

De acuerdo a los resultados del presente estudio los cladodios de COPENA V-1 fueron más susceptibles al ataque de microorganismos que causan deterioro del producto que los de COPENA F-1.

Rodríguez-Félix y Villegas-Ochoa (1997), observaron que las pudriciones se iniciaron a los 18 días a 5°C (4%) y a los 24 días a 10°C (2%) durante el almacenamiento de cladodios sin encerar y sin lavar de COPENA F-1 y COPENA V-1, no mostrando diferencias entre las variedades. En cambio, en el presente estudio se encontraron diferencias en la susceptibilidad a pudriciones entre estas variedades. Esta mayor susceptibilidad a pudriciones de los cladodios de COPENA V-1 puede atribuirse a la mayor incidencia de DF en los cladodios de esta variedad, ya que se ha mostrado que las frutas y hortalizas que presentan DF son particularmente susceptibles a pudriciones (Wang, 2004).

No se observó un efecto de la cera Semperfresh en la incidencia de pudriciones en los cladodios de COPENA F-1, en cambio, redujo la incidencia en los cladodios de COPENA V-1.

CONCLUSIONES

Los cladodios de nopal verdura de la variedad COPENA V-1 fueron más susceptibles a DF y pudriciones durante el almacenamiento a 5°C y 10°C que los de COPENA F-1. La aplicación de cubiertas comestibles a nopal verdura tuvo un efecto diferente en la calidad durante el almacenamiento refrigerado dependiendo de la temperatura en cada una de las variedades evaluadas. El uso de Semperfresh tuvo un efecto benéfico en disminuir la pérdida de peso, los cambios en color, los daños por frío y las pudriciones durante el almacenamiento a 5°C de los cladodios de COPENA V-1 y la pérdida de peso a 10°C en los cladodios de ambas variedades. En cambio, la cera 1 tuvo un efecto benéfico en reducir los DF durante el almacenamiento a 5°C y las pudriciones durante el almacenamiento a 10°C de los cladodios de COPENA V-1. Asimismo, este último producto disminuyó las pudriciones durante el almacenamiento a 5°C en ambas variedades. Sin embargo, incrementó los DF de los cladodios de COPENA F-1 y favoreció la pérdida de peso durante el almacenamiento a 10°C de los cladodios de ambas variedades.

Agradecimientos. Los autores agradecen a Reginaldo Báez-Sañudo y a Elsa Bringas Taddei por proporcionar la cera 1 utilizada en este estudio. A Vicente Santos Becerril por proporcionar los cladodios utilizados en el experimento.

BIBLIOGRAFÍA

- Agustí, M., Almela, V., Juan, M., Alferez, F., Tadeo, F.R., Zacarías, L. 2001. Histological and physiological characterization of rind breakdown of 'Navelate' sweet orange. *Annals of Botany* 88:415-422.
- Amarante, C., Banks, N.H., Ganesh, S. 2001. Relationship between character of skin cover of coated pears and permeance to water vapor and gases. *Postharvest Biology and Technology* 21:291-301.
- Baldwin, E.A. 1994. Edible coatings for fresh fruit and vegetables: Past, present and future. Ch. 2. In: *Edible Coatings and Films to Improve Food Quality*. J.M. Krochta, E.A. Baldwin, M. Nisperos-Carriedo, Editores. Technomic Publishing Co. Inc. Lancaster, PA., USA. pp. 25-64.
- Baldwin, E.A., Burns, J.K., Kazokas, W., Brecht, J.K., Hagenmaier, R.D., Bender, R.J., Pesis, E. 1999. Effect of two edible coatings with different permeability characteristics on mango (*Mangifera indica* L.) ripening during storage. *Postharvest Biology and Technology* 17:215-226.
- Betancourt-Domínguez, M.A., Hernández-Pérez, T., García-Saucedo, P., Cruz-Hernández, A., Paredes-López, O. 2006. Physico-chemical changes in cladodes (nopalitos) from cultivated and wild cactus (*Opuntia* spp.). *Plant Foods for Human Nutrition* 61:115-119.
- Calva, V. 2006. Comunicación Personal. Presidente del Consejo Mexicano del Nopal y Tuna, A.C.
- Cantwell, M. 1995. Post-harvest management of fruits and vegetable stems. En: *Agro-ecology, Cultivation and Uses of Cactus Pear*. G. Barbera, P. Inglese, E. Pimienta-Barrios (Eds.). FAO Plant Production and Protection Paper 132. pp. 120-136.
- Cantwell, M., Rodríguez-Félix, A., Robles-Contreras, F. 1992. Postharvest physiology of prickly pear cactus stems. *Scientia Horticulturae* 50:1-9.
- Ferguson, I., Volz, R., Woolf, A. 1999. Preharvest factors affecting physiological disorders of fruits. *Postharvest Biology and Technology* 15:255-262.

- Forney, C.F., Lipton, W.J. 1990. Influence of controlled atmosphere and packaging on chilling sensitive. In: Wang, C.Y. (Ed.). Chilling Injury of Horticultural Crops. CRC Press, Boca Raton. FL. pp. 257-268.
- Freeman, B., Albrigo, L.G., Biggs, R.H. 1979. Ultrastructure and chemistry of cuticular waxes of developing citrus leaves and fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 104:801-808.
- Feugang, J.M., Konarski, P., Zou, D., Stintzing, F.C., Zou, C. (2006). Nutritional and medicinal use of cactus pear (*Opuntia* spp.) cladodes and fruits. *Frontiers in Bioscience* 11:2574-2589.
- García, M.A., Martino, M.N., Zaritzky, N.E. 2000. Lipid addition to improve barrier properties of edible starch-based films and coatings. *Journal of Food Science* 65:941-947.
- Guevara, J.C., Yahia, E.M., Brito de la Fuente. 2001. Modified atmosphere packaging of prickly pear cactus stems (*Opuntia* spp.). *Lebensm.-Wiss.u.-Technology* 34:445-451.
- Guevara, J.C., Yahia, E.M., Brito de la Fuente, E., Biserka, S.P. 2003. Effect of elevated concentrations of CO₂ in modified atmosphere packaging on the quality of prickly pear cactus stems (*Opuntia* spp.). *Postharvest Biology and Technology* 29:167-176.
- Guevara-Arauz, J.C., Yahia, E.M., Cedeño, L., Tijssens, L.M.M. 2006. Modeling the effects of temperature and relative humidity on gas exchange of prickly pear cactus (*Opuntia* spp.) stems. *LWT* 39:796-805.
- Hagenmaier, R.D., Shaw, P.E. 1992. Gas permeability of fruit coating waxes. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 117:105-109.
- Heaton, J.W., Marangoni, A.G. 1996. Chlorophyll degradation in processed foods and senescent plant tissues. *Trends in Food Science & Technology* 7:8-15.
- Heredia, A. 2003. Biophysical and biochemical characteristics of cutin, a plant barrier biopolymer. *Biochimica et Biophysica Acta* 1620:1-7.
- Kays, S.J. 1997. Stress in harvested products. Ch. 6. En *Postharvest Physiology of Perishable Plant Products*. Exon Press. Athens, Georgia, U.S.A. pp. 335-407.
- Kissinger, M., Tuvia-Alkalai, S., Shalom, Y., Fallik, E., Elkind, Y., Jenks, M.A., Goodwin, M.S. 2005. Characterization of physiological and biochemical factors associated with postharvest water loss in ripe pepper fruit during storage. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 130(5):735-741.
- Konica Minolta. 2003. Comunicación Precisa de los Colores. Konica Minolta Sensing Inc. 45 p. <http://www4.konicaminolta.eu/pcc/es/index.html> . Marzo, 2007.
- Maftoonazad, N., Ramaswamy, H.S. 2005. Postharvest shelf-life extension of avocados using methyl cellulose-based coating. *LWT-Food Science and Technology* 38:617-624.
- Maalekuu, K., Elkind, Y., Leikin-Frenkel, A., Lurie, S., Fallik, E. 2006. The relationship between water loss, lipid content membrane integrity and LOX activity in ripe pepper fruit after storage. *Postharvest Biology and Technology* 42:248-255.

- Martins, R.C., Silva, C.L.M. 2002. Modelling colour and chlorophyll losses of frozen green beans (*Phaseolus vulgaris*, L.). *International Journal of Refrigeration* 25:966-974.
- McGuire, R.G.1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience* 27(12):1254-1255.
- Nanda, S., Sudhakar, R.D.V., Krishnamurthy, S. 2001. Effects of shrink film wrapping and storage temperatura on the shelf life and quality of pomegranate fruits cv. Ganesh. *Postharvest Biology and Technology* 22:61-69.
- Nerd, A., Dumotier, M., Mizrahi, Y. 1997. Properties and postharvest behavior of the vegetable cactus *Nopalea cochenillifera*. *Postharvest Biology and Technology* 10:135-143.
- NCSS. 1997. Number Cruncher Statistical System for Windows. Dr. J.L. Hintze. Kaysville, Utah.
- Özden, C. Bayindirli, L. 2002. Effects of combitional use of controlled atmosphere, cold storage and edible coating applications on shelf life and quality attributes of green peppers. *European Food Research and Technology* 214:320-326.
- Pérez, B., Mendoza, A.M., Bringas, E., Cruz, L., Báez-Sañudo, R. 2004. Aplicación de cera comestible en mango. Parte III. Efecto en las características cuticulares del fruto durante el almacenamiento comercial. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 6:34-42.
- Riederer M., Schneider, G. 1990. The effect of environment in the permeability and composition of citrus leaf cuticles. II. Composition of soluble cuticular lipids and correlation with transport properties. *Planta* 180:154-165.
- Riederer, M., Schreiber, L. 2001. Protecting against water loss: analysis of the barrier properties of plant cuticles. *Journal of Experimental Botany* 52:2023-2032.
- Rodríguez-Felix, A. 2002. Postharvest physiology and technology of cactus pear fruits and cactus leaves. Proc. 4th International Congress on Cactus Pear and Cochineal. A. Nefzaoui and P. Inglese (eds). Oct. 22-28. Hammamet, Tunisia. *Acta Horticulturae* 581:191-199.
- Rodríguez-Félix., A., Villegas-Ochoa, M.A. 1997. Quality of cactus stems (*Opuntia ficus-indica*) during low-temperature storage. *Journal of the Professional Association for Cactus Development* 2:142-152.
- Ruiz Pérez-Cacho, M.P., Galán-Soldevilla, H., Corrales García, J., Hernández Montes A. 2006. Sensory characterization of nopalitos (*Opuntia* spp.). *Food Research International* 39:285-293.
- SAGARPA. 2006. Sistema de Información Agropecuaria de Consulta. Sistema Integral de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comanuar.html. Octubre, 2006.
- Schönherr, K., Riederer, M. 1986. Plant cuticles sorb lipophylic compounds during enzymatic isolation. *Plant Cell and Environment* 9:459-466.
- Stintzing, F.C., Carle, R. (2005). Cactus stems (*Opuntia* spp.): A review on their chemistry, technology, and uses. *Molecular Nutrition and Food Research* 49:175-194.

- Thompson, J.E. 2002. Storage systems. En: Postharvest Technology of Horticultural Crops. A.A. Kader (Ed.). 3rd. Edition. University of California. Agriculture and Natural Resources. Publication 3311. pp. 113-128.
- Veraverbeke, E.A., Verboven, P., Van Oostveldt, P., Nicolaï, B.M. 2003. Prediction of moisture loss across the cuticle of apple (*Malus sylvestris* Subs. *mitis* (Wallr.)) during storage: part 2. Model simulations and practical applications. *Postharvest Biology and Technology* 30:89-97.
- Vogg, G., Fischer, S., Leide, J., Emmanuel, E., Jetter, R., Levy, A., Riederer, M. 2004. Tomato fruit cuticular waxes and their effects on transpiration barrier properties: functional characterization of a mutant deficient in a very-long-chain fatty acid β -ketoacyl-CoA synthase. *Journal of Experimental Botany* 55:1401-1410.
- Wang, C.Y. 1994. Chilling injury of tropical horticultural commodities. *HortScience* 29:986-988.
- Wang, C.Y. 2004. Chilling and freezing injury. En: *The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks*. Agriculture Handbook Number 66. K.C. Gross, C.Y. Wang, M. Saltveit (eds). USDA. ARS. <http://www.ba.ars.usda.gov/hb66/index.html> .
- Wills, E., McGlasson, Graham, D., Joyce, D. 1998. *Postharvest: An Introduction to the Physiology and Handling of Fruit, Vegetables and Ornamentals*. 4th Ed. CABI Publishing 280 p.
- Worrell, D.B., Carrington, C.M.S., Huber, D.J. 2002. The use of low temperature and coatings to maintain storage quality of breadfruit, *Artocarpus altilis* (Parks.) Fosb. *Postharvest Biology and Technology* 25:33-40.
- Yurdugül, S. 2005. Preservation of quinces by the combination of an edible coating material, Semperfresh, ascorbic acid and cold storage. *European Food Research and Technology* 220:579-586.
- Zagory, D. 1995. Principles and practice of modified atmosphere packaging of horticultural commodities. In: *Principles of Modified-Atmosphere and Sous Vide Product Packaging*. Farber. J.M., K.L. Dodds (Eds.). Ch. 8. Technomic Publishing Co., Inc. Lancaster, PA. pp 175-206.

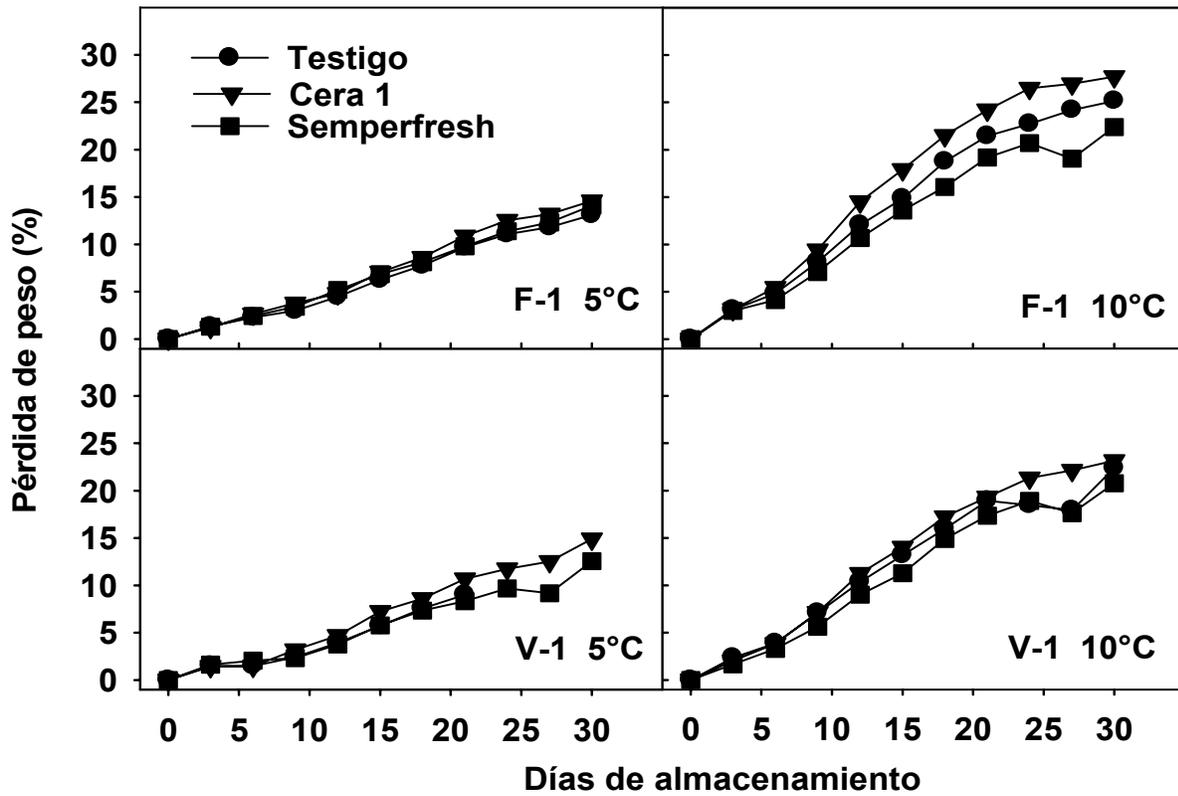


Figura 1. Pérdida de peso de nopal verdura sometido a varios tratamientos con cubiertas comestibles durante el almacenamiento por 30 días a 5 y 10°C. F1= variedad COPENA F-1 y V1= variedad COPENA V-1.

Figure 1. Weight loss of cactus stems with several edible coatings during storage for 30 days at 5 and 10°C. Treatments -●- Control, -▼- Wax 1, -■- Semperfresh. F1= COPENA F-1 cultivar, and V1= COPENA V-1 cultivar

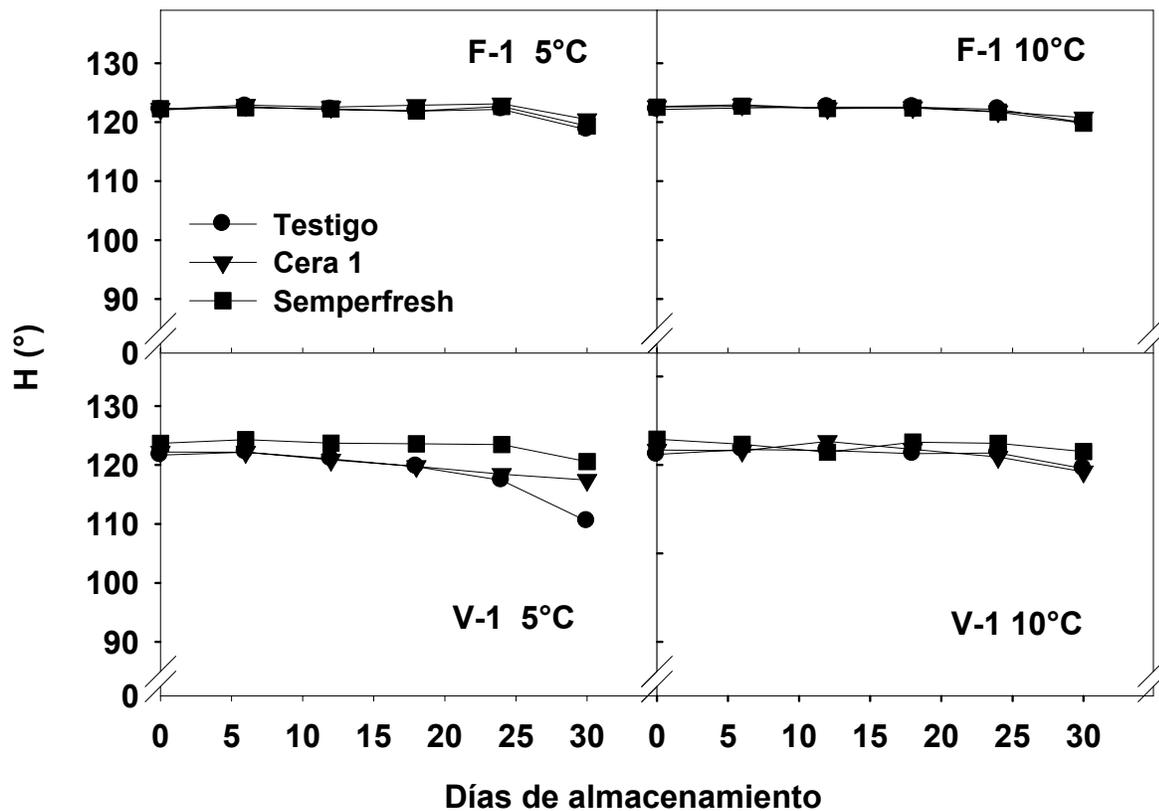


Figura 2. Ángulo del tono de nopal (H) verdura sometido a varios tratamientos con cubiertas comestibles durante el almacenamiento por 30 días a 5 y 10°C. F1= variedad COPENA F-1 y V1= variedad COPENA V-1.

Figure 2. Hue angle (H) of cactus stems with various edible coatings during storage for 30 days at 5 and 10°C. Treatments -●- Control, -▼- Wax 1, -■- Semperfresh. F1= COPENA F-1 cultivar, and V1= COPENA V-1 cultivar.

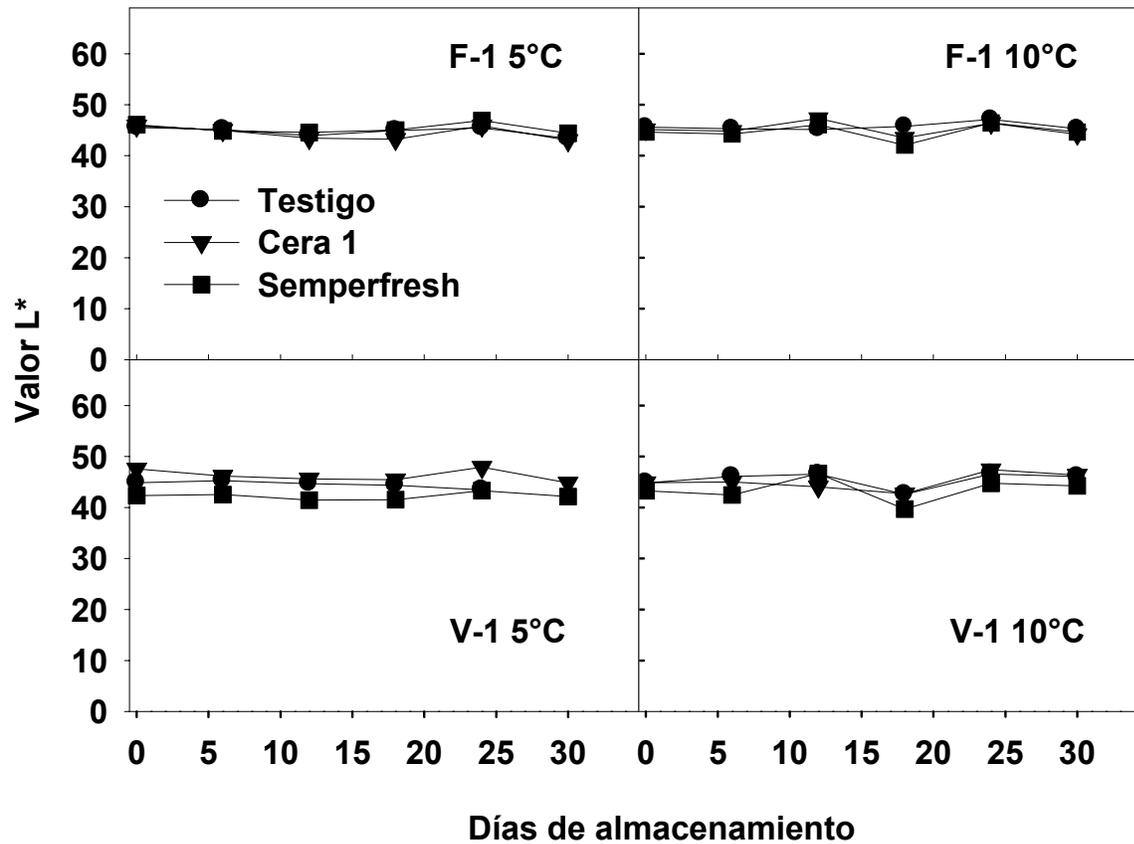


Figura 3. Valor L de nopal verde sometido a varios tratamientos con cubiertas comestibles durante el almacenamiento por 30 días a 5 y 10°C. F1= variedad COPENA F-1 y V1= variedad COPENA V-1.

Figure 3. L*-value of cactus stems with various edible coatings during storage for 30 days at 5 and 10°C.

Treatments -●- Control, -▼- Wax 1, -■- Semperfresh. F1= COPENA F-1 cultivar, and V1= COPENA V-1 cultivar.

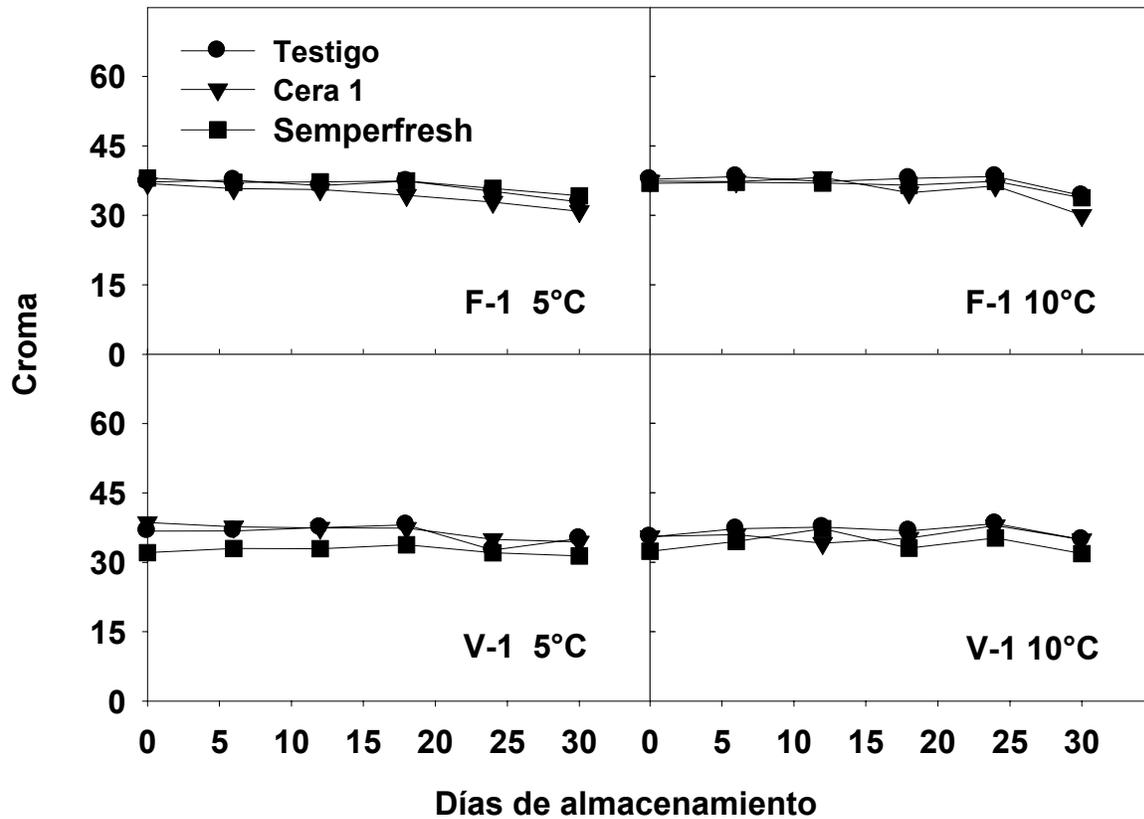


Figura 4. Valores de croma C* de nopal verdura sometido a varios tratamientos con cubiertas comestibles durante el almacenamiento por 30 días a 5 y 10°C. F1= variedad COPENA F-1 y V1= variedad COPENA V-1.

Figure 4. Chroma C* value of cactus stems with various edible coatings during storage for 30 days at 5 and 10°C. Treatments -●- Control, -▼- Wax 1, -■- Semperfresh. F1= COPENA F-1 cultivar, and V1= COPENA V-1 cultivar.

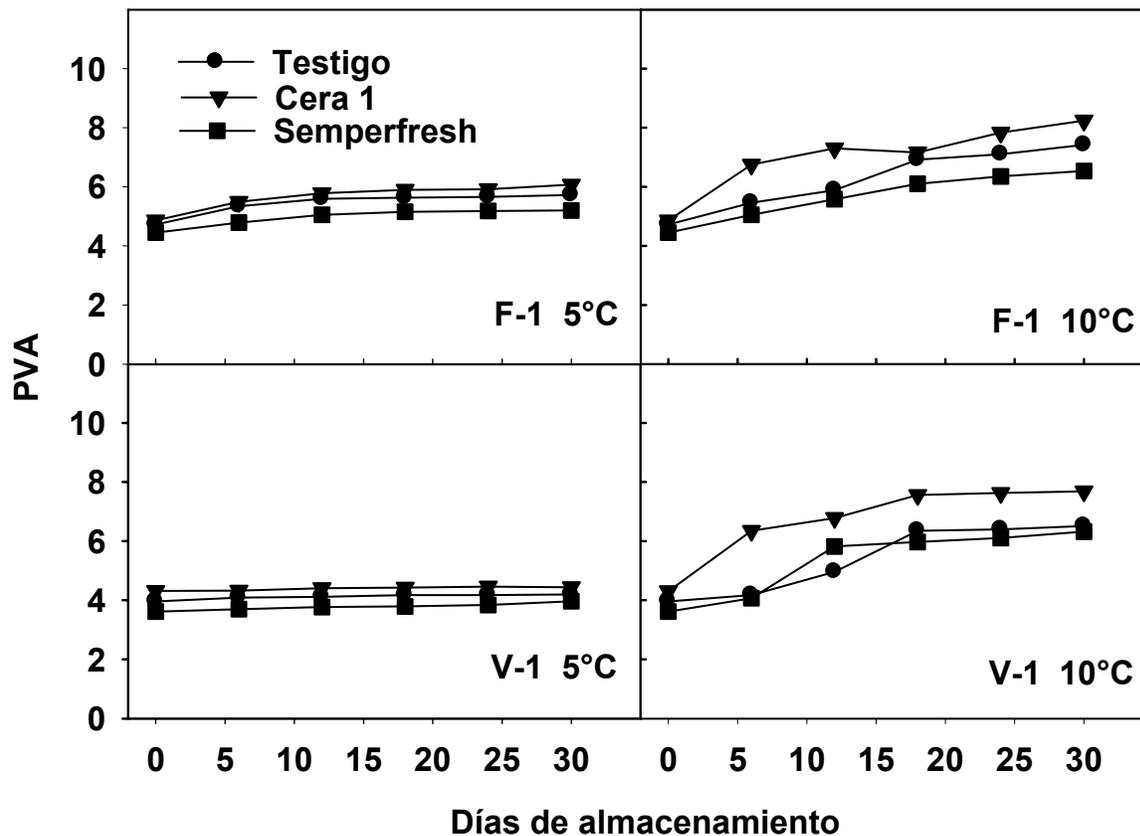


Figura 5. Permeabilidad al vapor de agua de cutículas de nopal verdura sometido a varios tratamientos con cubiertas comestibles durante el almacenamiento por 30 días a 5 y 10°C. Variedades: F1= COPENA F-1 y V1= COPENA V-1.

Figure 5. Water vapor permeability of cuticles of cactus stems with various edible coatings during storage for 30 days at 5 and 10°C. Wax treatments -●- Control, -▼- Wax 1, -■- Semperfresh. F1= COPENA F-1 cultivar, and V1= COPENA V-1 cultivar.

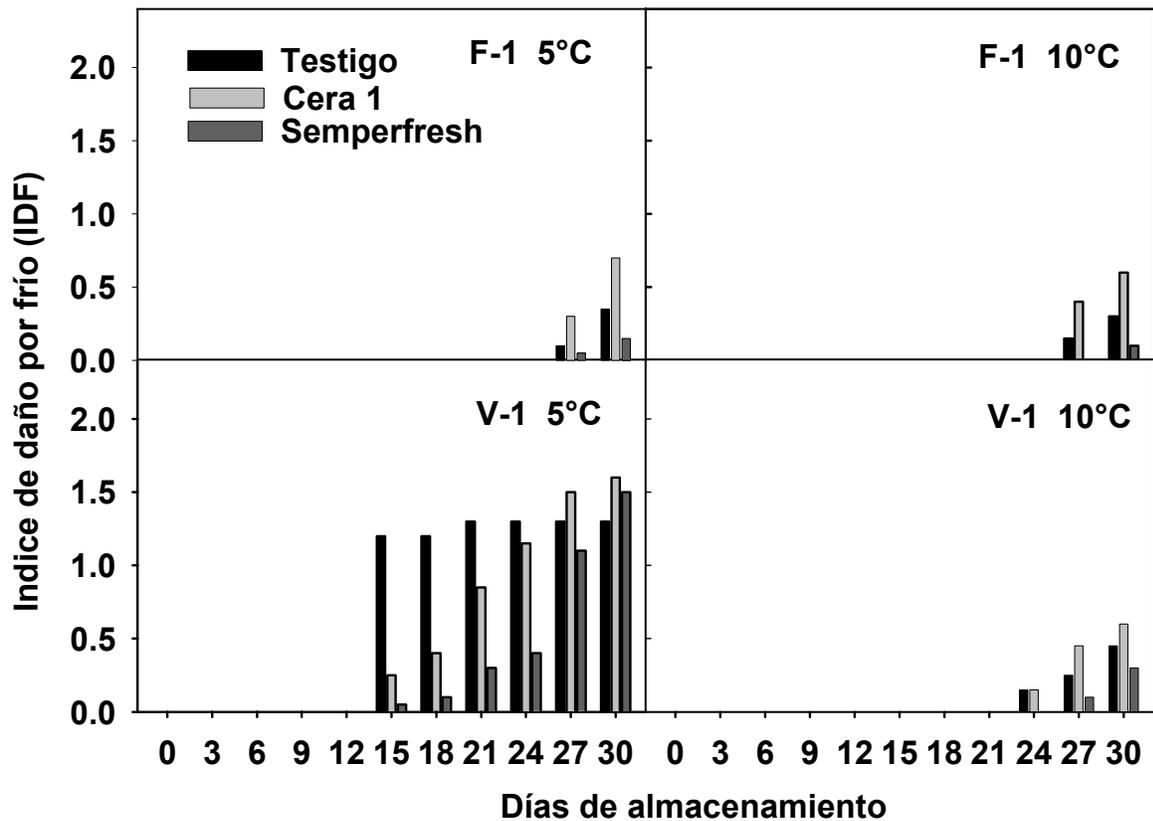


Figura 6. Índice de daños por frío (IDF) de nopal verdura sometido a varios tratamientos con cubiertas comestibles durante el almacenamiento por 30 días a 5 y 10°C. F1= variedad COPENA F-1 y V1= variedad COPENA V-1.

Figure 6. Chilling injury (CI) of cactus stems treated with various edible coatings during storage for 30 days at 5 and 10°C. Treatments -●- Control, -▼- Wax 1, -■- Semperfresh. F1= COPENA F-1 cultivar, and V1= COPENA V-1 cultivar.

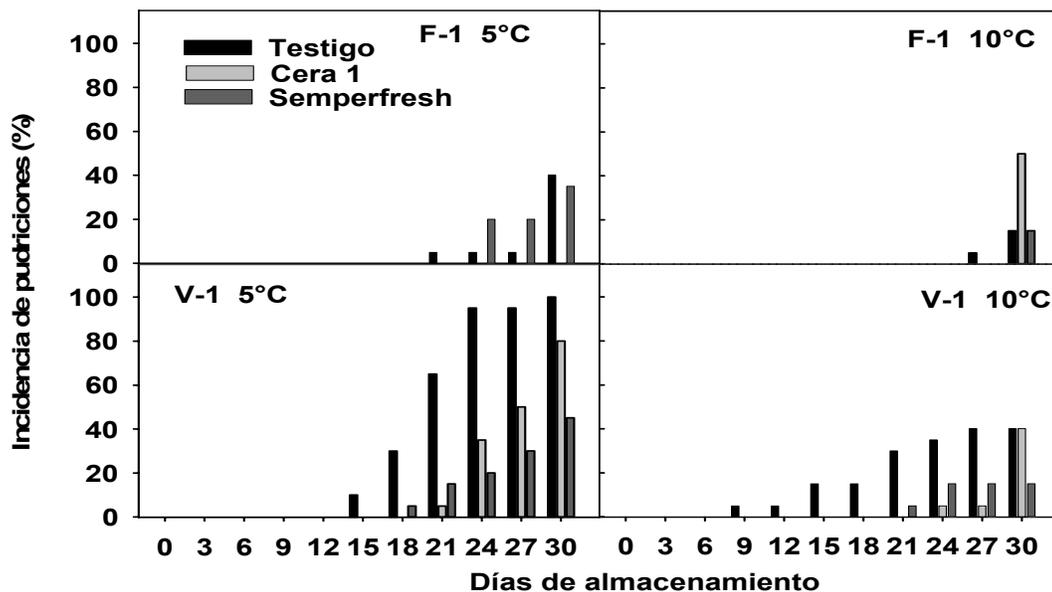


Figura 7. Incidencia de Pudriciones (%) de nopal verde sometido a varios tratamientos con cubiertas comestibles durante el almacenamiento por 30 días a 5 y 10°C. F1= variedad COPENA F-1 y V1= variedad COPENA V-1.

Figure 7. Rot Incidence (%) of cactus stems treated with various edible coatings during storage for 30 days at 5 and 10°C. Treatments -●- Control, -▼- Wax 1, -■- Semperfresh. F1=COPENA F-1 cultivar, and V1=COPENA V-1 cultivar.