

Potencial de Oscurecimiento Enzimático de Variedades de Nopalitos[♦]

Enzymatic Browning Potential of “Nopalitos” Varieties

Laura Aguilar-Sánchez¹, Ma. Teresa Martínez-Damián^{2,4}, Alejandro F. Barrientos-Priego²,
Norman Aguilar-Gallegos², and Clemente Gallegos-Vásquez³.

¹ Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo
Km. 38.5 Carretera México-Texcoco, C. P. 56230, Edo. de México, México

² Posgrado de Horticultura, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo
Km. 38.5 Carretera México-Texcoco, C. P. 56230, Edo. de México, México

³ Centro Regional Universitario Centro Norte, Universidad Autónoma Chapingo, México
Apdo. Postal 196, C.P. 98001. Zacatecas, Zacatecas. México.

⁴ Autor para correspondencia (author to whom correspondence should be addressed).
E-mail: teremd@correo.chapingo.mx

RESUMEN

En México hay una tradición por el cultivo y el uso de cladodios jóvenes de nopal como verdura llamados nopalitos. Sin embargo, la forma de la presentación para su comercialización (mínimamente procesada) es una de las limitantes principales que tiene este producto: El oscurecimiento enzimático llega a ser problemático durante el procesamiento y su conservación, siendo responsable la enzima polifenoloxidasas (PPO). Debido a la existencia de pocos estudios que incluyen la fisiología de poscosecha de los nopalitos, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar algunas características físicas y bioquímicas de 21 variedades de *Opuntia*, así como determinar la actividad de la PPO y su potencial de oscurecimiento. Las variables evaluadas fueron: peso, longitud, anchura, color (L, hue, croma), pH, sólidos solubles totales, la actividad de PPO y el potencial de oscurecimiento. Se encontraron diferencias significativas entre las variedades analizadas, sobresaliendo ‘Chicomostoc’, ‘Negrito’ y ‘Jade’ como las más adecuadas para el procesado mínimo y cuyos atributos en poscosecha son deseables, debido a su potencial bajo de oscurecimiento superando a ‘Milpa Alta’ que es la variedad más cultivada y comercializada en México.

Palabras clave: poscosecha, polifenoloxidasas, *Opuntia*, proceso mínimo, nopalitos.

[♦] Received 28 January 2007; Accepted 1 December 2007

ABSTRACT

In Mexico, there is a tradition in the cultivation and use of young cactus cladodes as a vegetable named “nopalitos”. However, the presentation form for its commercialization (minimally processed) is one of the main problems that this product has. Enzymatic browning caused by the enzyme polyphenoloxidase (PPO) becomes one of the problems during processing and conservation. Because very few studies exist that include postharvest physiology of nopalitos, the present research had the aim to evaluate some physical and biochemical characteristics of 21 varieties of *Opuntia*, as well as to determine the activity of the enzyme polyphenoloxidase (PPO) and its browning potential. Evaluated variables were: weight, length, width, color (L, hue, croma), pH, chlorophyll content, total soluble solids content, and the activity of PPO with the purpose of knowing their browning potential. Significant differences were found among the analyzed varieties. outstanding ‘Chicomostoc’, ‘Negrito’ and ‘Jade’ are the most capable varieties for minimal processing and whose attributes in postharvest are the most desirable due to their low browning potential, surpassing ‘Milpa Alta’ which is the most cultivated and marketed variety in Mexico.

Keywords: postharvest, polyphenoloxidase, *Opuntia*, minimal processing, “nopalitos”

INTRODUCCIÓN

El Nopal verdura (*Opuntia* spp. y *Nopalea* spp.) es una fuente importante de pectina, mucílago y minerales (Feugang *et al.*, 2006); se considera que su consumo tiene efectos benéficos en la salud humana. En México existe una tradición por el cultivo, alcanzando en plantaciones comerciales una superficie de 10,930 ha con una producción de 759,072 t. La producción se concentra en 27 estados de la República Mexicana, siendo Milpa Alta, D.F., la zona productora más importante del país con el 41 % de la producción (SAGARPA, 2006). Las variedades de mayor importancia para la producción comercial de nopal verdura son ‘Milpa Alta’, ‘Atlixco’, ‘Copena V-1’ y ‘Valterrilla’ (Vicente Calva, 2006; Consejo Mexicano del Nopal y Tuna, A.C., comunicación personal).

La demanda de nopalitos es alta, se considera que su consumo *per capita* es superior a los 6 kg (Flores-Valdez, 2001). Comercialmente el nopal se desespina y pica (mínimamente procesado) en los mercados al menudeo, posteriormente se coloca en bolsas de plástico y se mantiene en estantes de enfriamiento (Corrales, 1996).

El proceso mínimo, que incluye las operaciones de pelado, cortado, rebanado, causa rompimiento celular e incrementa la síntesis de metabolitos secundarios (Brecht, 1995). Estas reacciones acortan la vida de anaquel del producto al incluir oscurecimiento enzimático, pérdida de firmeza y desarrollo de microorganismos (Ahvenainen, 1996)

El oscurecimiento enzimático se debe a la oxidación de compuestos fenólicos por la enzima polifenoloxidasas y es una de las causas más importantes de la pérdida de calidad de estos productos, ya que afecta su apariencia, ocasiona malos olores y disminuye su valor nutrimental (Vámos-Vigyazo, 1981; Whitaker y Lee, 1995).

La susceptibilidad al oscurecimiento se ha demostrado que depende de la variedad, lo cual se ha estudiado en varias especies. Por ejemplo, en rodajas de manzana el potencial de oscurecimiento varía tremendamente entre variedades (Sapers *et al.*, 1990; Kim *et al.*, 1993; Luo y Barbosa-Cánovas, 1995). En pera ‘Bartlet’ y ‘Anjou’ se observó que presentaban un menor desarrollo del oscurecimiento tras el procesado, al compararlos con otras variedades (Dong *et al.*, 2000; Gorny *et al.*, 2000). En lechuga se observó una susceptibilidad diferente al oscurecimiento en seis variedades siendo la ‘Iceberg Míkonos’ la

más sensible, mientras ‘Ramona Cazorla’ fue la menos susceptible (Cantos *et al.*, 2001). En estos estudios no se encontró ninguna correlación entre el oscurecimiento y los parámetros bioquímicos fisiológicos.

Considerando que la mayoría de la producción mexicana de nopal verdura se basa en la explotación de solo cuatro variedades y al mismo tiempo tomando en cuenta la riqueza del material genético existente en nuestro país, se planteó como objetivo evaluar la susceptibilidad de 21 variedades de nopal verdura al oscurecimiento, evaluando la actividad de la polifenoloxidasas y el potencial de oscurecimiento, así como algunos aspectos de calidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de la muestra

La obtención de los nopalitos se realizó a los 30 días después de su brotación, con el fin de obtener una muestra homogénea de todas las variedades, se cosecharon cladodios tiernos en forma manual de apariencia turgente, libre de daños y defectos. La cosecha se realizó entre 7 y 8 de la mañana y se programó buscando que los cladodios fueran de la misma edad y que la mayoría de las variedades alcanzaran aproximadamente los 20 cm de longitud. se transportaron inmediatamente hacia el Laboratorio de Fisiología de Frutales del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo estado de México, en bolsas de papel y colocadas en contenedores de plástico. Se manejaron a 20 °C durante su traslado y hasta su evaluación. El tiempo transcurrido desde la cosecha hasta que se hicieron las determinaciones fue de 24 horas y se procuró que éstas fueran al mismo tiempo sobre la determinación de acidez debido a que se sabe que el metabolismo ácido crasuláceo sigue activo a pesar de la cosecha.

Las muestras de nopal verdura (Cuadro 1) se obtuvieron del Banco de Germoplasma del Centro Regional Universitario del Centro Norte (CRUCEN) de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), localizado en Zacatecas, Zacatecas, México (22° 44' 49.6" N y 102° 46' 28.2" O). El clima es BS1kw con precipitación media anual de 382 mm.

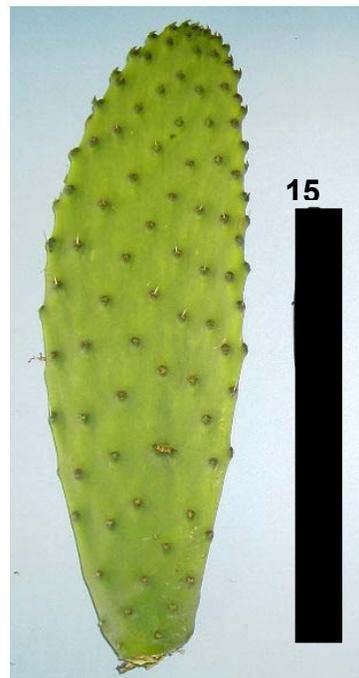
Cuadro 1. Variedades de nopal verdura empleadas en este estudio
 Table 1. Cactus Pear varieties used in this study.

Variedad Variety	Especie Species
‘Amarillo Salinas’	<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.
‘Atlixco’	<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.
‘Cero Espinas’	<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.
‘Chicomostoc’	<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.
‘Copena F-1’*	<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.
‘Crucen 1’	<i>Opuntia</i> sp.
‘Diabetes Zacatecas’	<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.
‘Irapuato’	<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.
‘Italiano Mejorado’	<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.
‘Italiano Morado’	<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.
‘Jade’	<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.
‘Jalpa’	<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.
‘Milpa Alta’	<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.
‘Negrito’	<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.
‘Oreja de elefante’*	<i>Opuntia lindheimeri</i>
‘P. 8 v. Amarilla’	<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.
‘Pabellón Amarillo’	<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.
‘Padre Santo’	<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.
‘Tezontepec Hidalgo’	<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.
‘Tovarito’	<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.
‘Villanueva’	<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.

*Figura 1



'Oreia de Elefante' *Opuntia lindheimeri*



'Copena F-1' *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.

Figura 1.

Pruebas físicas

Peso

Esta medición se realizó en una balanza digital Plus-1000 Adam ACD, registrando el peso en gramos.

Longitud y anchura

Para realizar estas mediciones se utilizó una regla de 30 cm, registrando el resultado en centímetros, para anchura se midió en la parte media del cladodio. Con estos datos se calculó la relación longitud/anchura. Si el valor de esta relación es igual a 1 la forma del cladodio es redonda, si es menor a 1 la forma de cladodio es comprimida en su longitud y si es mayor a 1 la forma es alargada en su longitud.

Firmeza

La resistencia a la penetración se registró mediante un penetrómetro digital Compact Gauge (Cole Palmer, USA) montado en una prensa manual, con punta en forma de cono, altura de cono de 0.6 mm y base de 0.7 mm. La medición se tomó en cladodios con cutículas realizándose en la parte media central del mismo y se registró en Newtons (Nw)

Color

Se utilizó el colorímetro Color Tec-PCM (Cole Palmer, USA). La medición se realizó a 10 cladodios (una medición por cladodio). 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 de tono (hue = arco tan b/a) que es el tono del color ya sea rojo, verde, amarillo o azul; croma (saturación de color) $c^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ y valor L* (luminosidad o brillantez) (McGuire, 1992; Konica Minolta, 2003).

Pruebas químicas

Acidez titulable (%)

La acidez titulable fue determinada utilizando el método de la AOAC (1990), el cual consiste en licuar, 10 g de la muestra con 50 ml de agua destilada, posteriormente se midió el volumen total y se filtró con ayuda de una gasa para eliminar los sólidos; de la muestra obtenida se tomó una alícuota de 10 ml la cual se tituló con hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 N, usando fenoftaleína como indicador. El cálculo de la acidez se realizó con base al ácido que se encuentra en mayor porción de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de ácido (\%)} = \frac{[(\text{ml de NaOH} \times \text{N} \times \text{meq del ácido} \times \text{volumen}) / (\text{peso de muestra} \times \text{alícuota})] \times 100}{100}$$

donde:

N = normalidad de NaOH.

volumen = volumen total (ml de extracto después de moler en licuadora).

meq del ácido = miliequivalente del ácido que se encuentra en mayor proporción.

Para obtener los miliequivalentes se consideró la siguiente fórmula:

$$\text{meq} = \text{peso molecular de ácido orgánico} / \text{valencia} \times 100$$

donde:

Peso molecular del ácido cítrico es 192.1

Valencia es 3

Esta técnica tiene su fundamento en la neutralización de los jugos o extractos de frutas con una base fuerte. La acidez titulable se calcula a partir de la cantidad de base necesaria. bajo estas condiciones, los ácidos orgánicos y sólo una parte del ácido fosfórico y fenoles están involucrados en el resultado final.

Sólidos solubles totales (°Brix)

Para la evaluación de esta variable se empleó un refractómetro digital portátil Pal-1 (ATAGO, USA), utilizando una escala de 0-53 °Brix; realizándose una lectura por cladodio.

Actividad de la polifenoloxidasas (PPO)

Se determinó mediante la metodología descrita por Lamikanra (1995) donde la enzima se extrajo a partir de un gramo de muestra congelada a -80 °C, la cual se colocó en un mortero congelado, se molió y posteriormente se agregaron 5 ml de amortiguador Tris-HCL 125 mM a un pH 7.0 con 1 % de polivinilpirrolidina (PVP). El extracto se centrifugó a 10,000 x g por 10 min, se filtró y se realizó una segunda centrifugación por 10 minutos, el sobrenadante se utilizó para determinar la actividad de polifenoloxidasas, donde la reacción consistió en 1 ml de catecol + 10 µl del sobrenadante y se midió el cambio de absorbancia en 1 min en un espectrofotómetro Termo Spectronic modelo Genesis 10 UV a una longitud de onda de 420 nm. Una unidad de la actividad de la enzima se presentó como un cambio de una unidad de absorbancia en un minuto en peso fresco ($U \cdot g^{-1}$).

Potencial de oscurecimiento

Esta determinación involucra dos pruebas, la actividad de polifenoloxidasas y compuestos fenólicos (Kader y Chordas, 1984), la primera consiste en agregar a secciones de cladodio pelado de un tamaño de 2 x 2 cm una gota de 0.1 M de solución de catecol, después de 6 min se evaluó el grado de oscurecimiento mediante una escala de 1 a 5, donde 1 representó el menor oscurecimiento o bien la menor actividad de PPO y 5 el mayor oscurecimiento o bien la mayor actividad de PPO. La segunda prueba consistió en agregar de forma consecutiva una gota de nitrato de sodio al 10 %, urea al 20 % y ácido acético a otra sección de cladodio de 2 x 2 cm sin cutícula, para después de 4 min aplicar dos gotas de una solución de hidróxido de sodio al 8 % y se evaluó la intensidad del color rojo cereza desarrollado de acuerdo a una escala de 1 a 5. Cada prueba se realizó por separado en cada una de las repeticiones y variedades.

Los valores de las dos pruebas fueron sumados, donde el potencial de oscurecimiento se considera bajo si la suma de las dos pruebas es menor que 2 (10 K-W), moderada si va de 2 (10 K-W) a 4 (20 K-W), alto si es de 5 (25 K-W) a 7 (35 K-W) y muy alto si excede 7 (35 K-W). Sin embargo, cuando se realiza la prueba no paramétrica de Kruskal y Wallis se hace la suma de las 5 repeticiones y dan valores superiores los cuales se representan entre paréntesis (K-W) de cada intervalo o valor anteriormente indicado.

Diseño experimental

En el análisis de resultados se empleo la herramienta estadística de análisis de varianza y comparación de medias de Tukey al 5 % de probabilidad. Utilizando un diseño experimental completamente al azar, donde los tratamientos fueron las 21 variedades, la unidad experimental estuvo constituida por un cladodio, teniendo así 10 repeticiones para cada tratamiento para las pruebas físicas; en tanto, que para las pruebas químicas, una unidad experimental estuvo constituida por 2 cladodios, teniendo 5 repeticiones. Adicionalmente se calcularon los intervalos de confianza al 95 % dentro de cada muestra (cada variedad) con el fin de indicar la variación de la misma. El potencial de oscurecimiento se analizó empleando la prueba no paramétrica de Kruskal y Wallis. Los análisis estadísticos se realizaron en SAS versión 8.0 y SigmaStat 6.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Peso

El peso de los nopalitos mostró diferencias significativas ($P \leq 0.05$) (Cuadro 2), encontrándose la mayor diferencia entre ‘Cero Espinas’ y ‘Cruce 1’ con los valores más altos 142.83 g y 140.33 g, respectivamente, y ‘Negrito’ con un valor de 80.372 g. Rodríguez-Félix (1999) mencionó que el tamaño comercial para nopalitos es cuando su peso es de 100 a 120 g, respecto a esto, sólo ocho variedades cumplen con el peso comercial, 10 presentan un peso entre 80 y 100 g y tres variedades tienen un peso superior al comercial.

Longitud y anchura

Los resultados muestran que ‘Copena 1’ (23.41 cm) tiene los nopalitos más largos al mismo tiempo de cosecha que nueve variedades lo que la hace más interesante con respecto a las demás porque en menor tiempo alcanza una longitud comercial. Contrasta fuertemente con ‘Irapuato’ (16.92 cm).

Ahora bien según la Norma del Codex STAN 185 (CODEX, 1993), en el cual el calibre se determina por la longitud del nopal se encontró que de nuestras variedades estudiadas sólo una pertenece al calibre B (13 a 17 cm), 16 al calibre C (17 a 21 cm) y 4 al calibre D (21 a 25 cm).

En cuanto anchura ‘Oreja de elefante’ (12.9 cm) es estadísticamente diferente a nueve variedades de nopalitos entre estas destaca ‘Copena F1’ con (7.71 cm).

Relación longitud/anchura

Con base en la relación longitud/anchura se obtuvo que todos los genotipos empleados en el estudio tienen un valor mayor a uno (Cuadro 2), indicando que presentan una forma alargada en conjunto, destacando ‘Copena F1’ con el valor más alto ($P \leq 0.05$). Esto coincide con los resultados reportados por Barrón (2004), quien identificó a ‘Copena F1’ como la variedad con mayor relación longitud/anchura. Mientras que ‘Oreja de Elefante’ presentó el valor más bajo ($P \leq 0.05$).

Firmeza

El sabor y textura son criterios que se utilizan para caracterizar y aceptar o rechazar alimentos. Con frecuencia se asocia la característica crujiente y firme de las frutas y verduras con la turgencia de las células, y cuando desaparecen se pierde la adherencia entre las células (Vincent, 2003). La FAO (1995) mencionó que la gama de texturas que son encontradas en las hortalizas y frutas en fresco y cocidas son amplias y gran cantidad de ellas pueden ser explicadas en términos de cambios de los componentes celulares. Así la turgencia de las células está determinada por las fuerzas osmóticas ya que, juegan un papel importante en la textura de frutas y hortalizas. La pared celular de los tejidos tienen un variado grado de elasticidad y son altamente permeables al agua, a iones, así como a moléculas pequeñas (García, 1997).

Según su firmeza, las variedades estudiadas presentan diferencias significativas ($P \leq 0.05$) donde el valor más alto lo presentó ‘Copena F1’ (15.08 Nw) y la menor firmeza la obtuvo ‘Oreja de Elefante’ (8.14 Nw) (Cuadro 5). Razo-Martínez y Sánchez-Hernández (2002), indicaron que las variedades con mayor firmeza

en su estudio fueron ‘Copena F1’ y ‘Jalpa’, concordando con lo obtenido en este estudio, en donde ‘Copena F1’, ‘Jalpa’ y ‘Pabellón Amarillo’ presentaron la mayor firmeza.

Color

Brillantez

Con relación a la brillantez, las variedades mostraron pocas diferencias (Cuadro 2), la diferencia ($P \leq 0.05$) más visible se observó en ‘Oreja de Elefante’ la cual presentó mayor brillantez, lo cual indica que tiene mayor claridad del tono con respecto a las otras variedades. Por otra parte, ‘Chicomostoc’ y ‘Villanueva’ presentaron los valores más bajos.

En las 21 variedades evaluadas los valores de “L” oscilaron entre 40 y 46, estos fueron cercanos a los obtenidos por Rodríguez *et al.* (2007) para las variedades Copena F1 y Copena V1, que al inicio de su estudio fue de 45.

Cuadro 2. Medias del peso, longitud, ancho y relación longitud/ancho de 21 variedades de nopalito (*Opuntia*).

Table 2. Means of weight, length, width and length/width ratio of 21 “nopalito” varieties (*Opuntia*).

Variedad Variety	Peso (g) Weight (g)	Longitud (cm) Length (cm)	Anchura (cm) Width (cm)	Relación longitud/ancho Length/width ratio				
‘Atlixco’	100.78 bcd ^z	16.25 ^y	19.60 cdef	1.32	11.09 abcde	0.94	1.73 def	0.12
‘Irapuato’	98.2 cd	18.99	16.92 f	2.14	11.56 abcde	0.96	1.45 f	0.12
‘Jalpa’	114.05 abcd	14.61	18.58 def	1.22	10.19 cde	0.68	1.82 de	0.08
‘Tovarito’	83.54 cd	10.69	19.32 bcdef	0.77	10.61 bcde	0.70	1.83 cde	0.08
‘Chicomostoc’	93.01 cd	14.05	19.75 bcdef	1.48	11.15 abcde	0.88	1.77 de	0.07
‘Villanueva’	91.33 cd	6.70	20.49 abcd	0.95	10.92 abcde	0.49	1.88 bcde	0.12
‘Negrito’	80.32 d	7.51	17.60 ef	0.92	10.00 de	0.65	1.78 de	0.17
‘Tezontepec’	116.95 abc	13.48	21.22 abcd	1.66	12.26 ab	0.51	1.73 def	0.12
‘Italiano Mejorado’	102.62 bcd	12.32	19.75 bcdef	1.31	10.77 bcde	0.75	1.85 bcde	0.16
‘Italiano Morado’	119.01 abc	16.60	20.57 abcde	1.01	9.82 e	0.63	2.14 bc	0.09
‘Cero Espinas’	142.83 a	27.28	20.30 abcde	1.96	10.37 cde	0.71	1.95 bcd	0.13
‘P. 8 V Amarillo’	113.54 abcd	15.25	20.49 abcdef	1.24	11.32 abcde	0.93	1.83 cde	0.17
‘Milpa Alta’	101.49 bcd	16.48	22.44 ab	1.72	10.42 cde	0.69	2.15 b	0.09
‘Jade’	135.12 ab	10.19	20.91 abcde	0.90	11.27 abcde	0.53	1.86 bcde	0.09
‘Oreja de Elefante’	83.39 cd	6.53	18.58 def	0.65	12.69 a	0.47	1.44 f	0.06
‘Amarillo Salinas’	88.62 cd	4.47	19.47 bcdef	0.44	11.67 abcd	0.42	1.67 ef	0.08
‘Padre Santo’	98.70 cd	14.19	20.43 abcde	1.21	11.29 abcde	0.80	1.81 de	0.08
‘Cruceñ 1’	140.43 a	12.79	22.20 abcd	1.33	11.06 abcde	0.50	2.01 bcd	0.15
‘Copena F1’	89.75 cd	10.21	23.41 a	1.00	7.71 f	0.44	3.04 a	0.12
‘Diabetes Zacatecas’	90.51 cd	10.83	20.96 abcde	1.30	10.6 bcde	0.71	1.97 bcde	0.14
‘Pabellón Amarillo’	115.81 abcd	9.54	21.40 abc	1.18	11.83 abc	0.44	1.81 de	0.13
DMHS	35.84		3.36		1.77		0.30	
C.V. (%)	21.12		10.30		10.06		10.13	

^zValores seguidos con la misma letra en cada columna no difieren significativamente según la prueba de Tukey con una $P \leq 0.05$.

^yIntervalo de confianza al 95 % dentro de la muestra.

DMHS: Diferencia mínima significativa honesta; C.V.: Coeficiente de variación

Croma (Pureza)

La pureza o croma del color nos indica la saturación o la intensidad del color, donde se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre ‘Milpa Alta’ de mayor intensidad de color y ‘Cero Espinas’ que fue menor en valor de todas las variedades estudiadas (Cuadro 3), sin embargo hay que destacar que los intervalos de confianza para esta variable son bastante elevados dentro de cada especie, por lo que los resultados no son confiables.

Razo-Martínez y Sánchez-Hernández (2002) en su estudio encontraron que ‘Milpa Alta’ presentó el mayor valor en cuanto a la pureza del color, indicando que fue esta variedad la que tuvo mayor intensidad de color sobrepasando 12 de las variedades estudiadas. Los valores de pureza (croma) encontradas en las diferentes variedades oscilaron entre 20 y 29, indicando los valores más altos un tono de color más vivo y la disminución de este valor indica que el color es más apagado o más pálido (Konica Minolta, 2003).

Cuadro 3. Medias del valor del contenido clorofila y firmeza de 21 variedades de nopalito (*Opuntia*).

Table 3. Means content chlorophyll and firmness of 21 “nopalito” varieties (*Opuntia*).

Variedad Variety	Firmeza (Nw) Firmness (Nw)
‘Atlixco’	11.92 bcde ^z
‘Irapuato’	12.68 bc
‘Jalpa’	13.39 ab
‘Tovarito’	9.48 ef
‘Chicomostoc’	11.39 bcde
‘Villanueva’	11.52 bcde
‘Negrito’	12.46 bc
‘Tezontepec Hidalgo’	11.61 bcde
‘Italiano Mejorado’	11.21 bcde
‘Italiano Morado’	11.61 bcde
‘Cero Espinas’	12.28 bc
‘P. 8 V Amarillo’	12.37 bc
‘Milpa Alta’	11.48 bcde
‘Jade’	12.77 abc
‘Oreja de Elefante’	8.14 f
‘Amarillo Salinas’	9.92 ef
‘Padre Santo’	12.95 abc
‘Cruceñ 1’	10.99 bcde
‘Copena F1’	15.08 a
‘Diabetes, Zacatecas’	10.63 cde
‘Pabellón Amarillo’	13.30 ab
DMHS	2.40
C.V. (%)	12.62

^zValores seguidos con la misma letra en cada columna no difieren según la prueba de Tukey con $P \leq 0.05$.

^yIntervalo de confianza al 95 % dentro de la muestra.

DMHS: Diferencia mínima significativa honesta; C.V.: Coeficiente de variación

Ángulo de tono o Hue

El ángulo de tono es un parámetro que indica la coloración. En el presente estudio se situó en el tono verde-amarillo (ángulos mayores de 90° pero menor de 180°), presentando ‘Atlixco’ el valor más alto e ‘Italiano Mejorado’ el menor valor (Cuadro 4). Las variedades estudiadas presentaron valores ligeramente menores a los encontrados por Quevedo *et al.* (2005) y Rodríguez *et al.* (2007) al inicio de sus experimentos ubicándolos en el color verde.

Cuadro 4. Medias de la brillantez, pureza (croma) y ángulo de tono o Hue de 21 variedades de nopalito (*Opuntia*).

Table 4. Means of brightness, purity (croma) and Hue of 21 “nopalito” varieties (*Opuntia*).

Variedad Variety	Brillantez (L Hunter) Brightness (L Hunter)	Pureza Purity	Hue
‘Atlixco’	43.08 abcd ^z	1.13 ^y	23.47 defg
‘Irapuato’	41.89 abcd	2.11	25.79 bcde
‘Jalpa’	41.19 bcd	1.65	23.87 defg
‘Tovarito’	44.32 abcd	1.92	27.54 abc
‘Chicomostoc’	40.59 d	2.79	23.46 defg
‘Villanueva’	40.33 d	1.74	25.46 cdef
‘Negrito’	41.27 bcd	2.15	26.05 abcd
‘Tezontepec’	43.38 abcd	1.56	27.66 abc
‘Italiano Mejorado’	41.15 bcd	1.53	25.28 bcde
‘Italiano Morado’	41.19 bcd	0.71	22.92 efg
‘Cero Espinas’	40.47 d	2.44	20.93 g
‘P. 8 V Amarillo’	41.75 abcd	2.02	25.59 bcde
‘Milpa Alta’	45.17 abc	1.61	29.42 a
‘Jade’	41.46 bcd	1.68	23.98 cdefg
‘Oreja de Elefante’	46.23 a	1.44	26.82 abcd
‘Amarillo Salinas’	40.88 bcd	1.77	23.80 defg
‘Padre Santo’	40.82 cd	1.43	23.60 defg
‘Crucen 1’	41.80 abcd	1.29	21.99 abcdefg
‘Copena F1’	43.56 abcd	1.23	25.37 bcde
‘Diabetes ‘Zacatecas’	45.32 ab	1.17	28.36 ab
‘Pabellón Amarillo’	42.77 abcd	1.37	25.53 bcde
DMHS	4.48	3.49	5.31
C.V. (%)	6.54	8.61	2.95

^zValores seguidos con la misma letra en cada columna no difieren según la prueba de Tukey con una $P \leq 0.05$.

^yIntervalo de confianza al 95 % dentro de la muestra.

DMHS: Diferencia mínima significativa honesta; C.V.: Coeficiente de variación

Acidez y pH

Las variedades estudiadas mostraron poca variabilidad en el contenido de acidez (Cuadro 5), la mayor diferencia ($P \leq 0.05$) se presentó entre ‘Oreja de Elefante’ con el valor más alto (0.7 %) y ‘Tezontepec’, ‘P 8 V. Amarillo’, ‘Negrito’, ‘Irapuato’, ‘Italiano Morado’ y ‘Jalpa’ que presentaron los valores más bajos (0.47, 0.47, 0.47, 0.44, 0.43 y 0.43 %, respectivamente). Estos resultados coinciden con los valores de otros estudios en la acidez de plantas de nopal (Nobel, 1988, Rodríguez-Felix y Cantwell, 1988, Cantwell, 1991; Cantwell, 1992; Gallegos-Vázquez y Ortega-Escobar, 2007).

Razo-Martínez y Sánchez-Hernández (2002) mencionaron que la acidez de los nopalitos es uno de los atributos sensoriales más importantes que influye en la aceptabilidad del producto por los consumidores, prefiriéndose un contenido de acidez bajo al momento de su consumo considerando como de aceptación moderada los valores de acidez de 0.41 % y altos los de 0.76 %. Con base a lo anterior, los resultados del presente estudio mostraron que las variedades analizadas contienen un porcentaje de acidez moderada, lo que sugiere que pueden tener buena aceptación por el consumidor.

Se ha sugerido que en los productos hortícolas la acidez no solo depende de la especie, si no también de la variedad, zona de producción, manejo del cultivo, hora de corte y tamaño del producto, entre otros factores (Hulme, 1971 y Pantastico, 1979); de esto, se ha comprobado que la hora de corte tiene un efecto en la variación de la acidez durante las horas del día del nopalito y se debe, a que siguen el metabolismo ácido crasuláceo (Cantwell, 1992).

En cuanto al valor del pH la mayor diferencia ($P \leq 0.05$) se presentó entre ‘Padre Santo’ con un valor menor de acidez (4.47) y ‘Oreja de Elefante’ y ‘Crucen 1’ resultaron ser las variedades más ácidas con valores de 4.19 y 4.14, respectivamente. Los valores de pH fueron ligeramente más altos a los indicados por Robles *et al.* (2007) que fue de 3.77 para ‘Copena V1’.

Whitaker (1994) encontró una alta relación entre pH y la actividad de PPO, que es una enzima relacionada con el oscurecimiento de los productos frescos (Vámos-Vigyázó, 1981) y como una causa del deterioro de los nopalitos frescos (Rodríguez-Félix y Soto, 1992). Whitaker (1994) indicó que la actividad óptima de PPO es a un pH de 6 a 6.5 en la mayoría de las hortalizas y frutos, y que se detecta muy poca actividad a un pH de 4.5, existiendo una inactivación irreversible por debajo de un pH de 3 (Richardson y Hyslop, 1985). Lo anterior ubica a las variedades estudiadas como de muy poca actividad de PPO.

Sólidos solubles totales (°Brix)

Es evidente que el buen sabor y gusto de los productos hortícolas están estrechamente relacionados con la cantidad y tipo de constituyentes químicos, así como con la naturaleza físicas del producto en el momento de su cosecha (Pantastico, 1979), donde los sólidos solubles totales es una medida relacionada con el dulzor y su balance con la acidez están muy relacionadas con la preferencia del consumidor.

Al respecto y debido a la naturaleza del cladodio de nopal, el contenido de sólidos solubles tiene valores muy bajos, donde la única diferencia significativa ($P \leq 0.05$) fue entre ‘Oreja de Elefante’, que presentó el valor más alto y ‘Pabellón Amarillo’ el menor.

Actividad de la enzima polifenoloxidasas (PPO)

La actividad de la enzima polifenoloxidasas en nopalito presentó diferencias significativas (Cuadro 5), la mayor diferencia se presentó entre ‘Tovarito’ con $0.45 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$ y ‘Cero Espinas’ con $0.15 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$.

Lo obtenido en esta evaluación corresponde a lo indicado por Rodríguez-Félix (1999) quien reportó que en nopalito se han observado diferencias en la actividad específica de PPO entre especies y durante el desarrollo. Rodríguez-Félix y Villegas-Ochoa (datos no publicados, citados por Rodríguez-Félix, 1999) muestran en sus estudios preeliminares, diferencias en la susceptibilidad al oscurecimiento y en la actividad de la PPO en ‘Copena F1’ y ‘Copena V1’, observando que es mayor la susceptibilidad al oscurecimiento y mayor la actividad de la PPO en ‘Copena F1’ y menor en ‘Copena V1’.

Los valores reportados son similares a los obtenidos por (Ramírez, 2006) quien encontró actividad de la polifenoloxidasas para frutos de pitahaya almacenados a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ de 10 a $40 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$ y por debajo para los valores encontrados por Herrera (2007) para aguacate de $135 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$.

Cuadro 5. Medias del valor del contenido de acidez, pH y grados Brix de 21 variedades de nopalito (*Opuntia*).

Table 5. Means content of acidity, pH and °Brix of 21 “nopalito” varieties (*Opuntia*).

Variedad Variety	Acidez (%) Acidity (%)		pH	Sólidos totales solubles (°Brix) Total soluble solids (°Brix)		
‘Atlixco’	0.60 abc ^z	0.08 ^y	4.28 cdefg	0.07	2.64 ab	0.19
‘Irapuato’	0.442c	0.08	4.38 abcde	0.12	2.64 ab	0.19
‘Jalpa’	0.43 c	0.07	4.38 abcd	0.04	2.88 ab	0.16
‘Tovarito’	0.57 abc	0.02	4.42 abc	0.04	3.04 ab	0.31
‘Chicomostoc’	0.58 abc	0.05	4.38 abcde	0.06	3.20 ab	0.25
‘Villanueva’	0.53 abc	0.05	4.42 abc	0.04	2.80 ab	0.35
‘Negrito’	0.47 c	0.09	4.45 ab	0.06	2.96 ab	0.19
‘Tezontepec Hidalgo’	0.47 c	0.05	4.38 abcd	0.05	2.72 ab	0.16
‘Italiano Mejorado’	0.53 abc	0.05	4.36 abcdef	0.06	2.72 ab	0.29
‘Italiano Morado’	0.43 c	0.04	4.31 bcdefg	0.04	2.72 ab	0.46
‘Cero Espinas’	0.53 abc	0.05	4.36 abcdef	0.02	3.12 ab	0.38
‘P. 8 V Amarillo’	0.47 c	0.07	4.45 ab	0.06	2.64 ab	0.31
‘Milpa Alta’	0.68 ab	0.09	4.22 fgh	0.09	3.04 ab	0.31
‘Jade’	0.54 abc	0.07	4.31 bcdefg	0.03	2.96 ab	0.19
‘Oreja de Elefante’	0.69 a	0.03	4.19 gh	0.05	3.28 a	0.16
‘Amarillo Salinas’	0.60 abc	0.08	4.39 abcd	0.01	3.12 ab	0.16
‘Padre Santo’	0.53 abc	0.04	4.47 a	0.03	3.04 ab	0.19
‘Cruce 1’	0.66 ab	0.06	4.14 h	0.02	3.12 ab	0.29
‘Copena F1’	0.60 abc	0.06	4.33 abcdefg	0.03	3.12 ab	0.16
‘Diabetes Zacatecas’	0.594abc	0.04	4.23 efg	0.08	3.20 ab	0.25
‘Pabellón Amarillo’	0.51 bc	0.11	4.25 defgh	0.05	2.56 b	0.19
DMHS	0.17		0.14		0.69	
C.V. (%)	13.57		1.44		10.10	

^zValores seguidos con la misma letra en cada columna no difieren significativamente según la prueba de Tukey con una $P \leq 0.05$.

^yIntervalo de confianza al 95 % dentro de la muestra.

DMHS: Diferencia mínima significativa honesta; C.V.: Coeficiente de variación.

Potencial de oscurecimiento

Las variedades presentaron altas diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre ellas en cuanto a su potencial de oscurecimiento (Cuadro 6), los valores mayores (90.50) se encontraron en ‘Jalpa’, ‘Copena F1’ y ‘Diabetes Zacatecas’ y los menores en ‘Chicomostoc’, ‘Negrito’ y ‘Jade’ con un valor de 11.00. Al respecto Rodríguez-Félix (2002) señaló que el total de contenido de compuestos fenólicos presenta diferencias entre variedades, respecto a esto encontraron que ‘Copena F1’ presentó un total de compuestos fenólicos de $9.19 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ y la variedad Copena V1 $7.93 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$, lo que indicaba que ‘Copena F1’ tenía un potencial de oscurecimiento mayor, de manera similar en nuestro estudio encontramos a ‘Copena F1’ como una variedad de alto potencial de oscurecimiento.

Cuadro 6. Medias del valor de la actividad de la polifenoloxidasa (PPO) y potencial de oscurecimiento de 21 variedades de nopalito (*Opuntia*).

Table 6. Means of polyphenoloxidase activity (PPO) and browning potential of 21 “nopalito” varieties (*Opuntia*).

Variedad Variety	Actividad PPO (U·g ⁻¹) PPO Activity (U·g ⁻¹)	Potencial de oscurecimiento (unidades arbitrarias) Browning potential (arbitrary units)
‘Atlixco’	28.86 abcdefg ^z	10.77 ^y
‘Irapuato’	38.92 abc	4.59
‘Jalpa’	35.26 abcde	6.83
‘Tovarito’	45.66 a	5.97
‘Chicomostoc’	27.68 abcdefg	2.97
‘Villanueva’	27.74 abcdefg	6.07
‘Negrito’	20.00 efg	9.11
‘Tezontepec Hidalgo’	17.18 fg	5.87
‘Italiano Mejorado’	21.88 cdefg	1.98
‘Italiano Morado’	21.34 cdefg	6.66
‘Cero Espinas’	15.58 g	6.22
‘P. 8 V Amarillo’	26.92 bcdefg	6.22
‘Milpa Alta’	40.96 ab	9.28
‘Jade’	26.04 bcdefg	4.93
‘Oreja de Elefante’	22.12 cdefg	5.81
‘Amarillo Salinas’	25.22 bcdefg	8.80
‘Padre Santo’	34.16 abcdef	8.52
‘Crucen 1’	17.38 fg	2.90
‘Copena F1’	31.16 abcdefg	4.68
‘Diabetes Zacatecas’	35.24 abcde	5.54
‘Pabellón Amarillo’	37.90 abcd	6.37
DMHS	17.45	DM 2.38
C.V. (%)	26.31	

^zValores seguidos con la misma letra en cada columna no difieren según la prueba de Tukey con una $P \leq 0.05$.

^yIntervalo de confianza al 95 % dentro de la muestra.

DMHS: Diferencia mínima significativa honesta; C.V.: Coeficiente de variación.

DM: Diferencia mínima entre medias para la prueba no paramétrica.

Los valores encontrados indican que de las 21 variedades evaluadas ‘Chicomostoc’, ‘Negrito’ y ‘Jade’ son las más aptas para el mínimo procesado en cuanto a potencial de oscurecimiento, ya que esta característica es una de las principales causas de pérdidas en la posrecolección de los productos hortofrutícolas y es en particular, el principal problema sin resolver en los productos frescos cortados, ya que el oscurecimiento en sí disminuye la calidad visual y nutricional, además de acortar la vida útil de los mismos (Gil *et al.*, 2005).

La susceptibilidad al oscurecimiento se ha demostrado que depende de la variedad, esto se ha encontrado en rodajas de manzana donde el potencial de oscurecimiento varía mucho entre variedades (Sapers *et al.*, 1990).

En pera se observó que ‘Barlet’ y ‘Anjou’ desarrollaban menor oscurecimiento tras el procesado, comparándolas con otras estudiadas (Dong *et al.*, 2000; Gorny *et al.*, 2000). En lechuga también se observó una susceptibilidad diferente al oscurecimiento entre seis variedades estudiadas, siendo ‘Iceberg Mikonos’ la más susceptible (Cantos *et al.*, 2001).

Varios autores han intentado correlacionar la integridad del oscurecimiento con los principales parámetros involucrados en él (contenido de compuestos fenólicos y actividad de PPO). Numerosos estudios han demostrado que el grado de oscurecimiento de las frutas y hortalizas está influenciado por la interacción compleja entre el contenido de compuestos fenólicos y la actividad de la PPO, y sus cambios durante el crecimiento, la maduración y la conservación (Amiot *et al.*, 1997) y uno de los principales problemas que presentan estos estudios, se debe al método usado para determinar la susceptibilidad al oscurecimiento, ya que se emplean técnicas subjetivas como en nuestro caso u objetivas como la espectrofotometría o midiendo el color de la superficie de la mancha, lo que hace difícil comparar los con otras hortalizas.

Es importante mencionar que en nuestro estudio se realizaron correlaciones entre el potencial de oscurecimiento y los parámetros evaluados (datos no mostrados), no encontrándose ninguna relación entre estos, lo cual coincide con los resultados encontrados por Cantos *et al.* (2001).

CONCLUSIONES

1. En general las variedades involucradas en nuestro estudio se ubican como de muy poca actividad de la PPO, sin embargo, esto no es un factor determinante que las distinga a todas por la poca susceptibilidad al oscurecimiento.
2. La menor actividad de la PPO la presentó la variedad ‘Cero Espinas’ no siendo de las menos susceptibles al oscurecimiento, como resultaron ser ‘Chicomostoc’, ‘Negrito’ y ‘Jade’, las cuales son ampliamente recomendables para el procesado mínimo por esta característica.
3. En cuanto a la calidad los nopalitos ‘Cero Espinas’ y ‘Crucen 1’ presentaron el mayor peso, ‘Copena F1’ presentó la forma más alargada, ‘Oreja de Elefante’ presentó la mayor brillantez, ‘Milpa Alta’ el valor de mayor intensidad de color y ‘Atlixco’ fue el nopalito más verde, ‘Copena F1’ fue más firme que las demás variedades.
4. Las variedades ‘Tezotepec’, ‘P8 v. Amarillo’, ‘Negrito’, ‘Irapuato’, ‘Italiano Morado’ y ‘Jalpa’ presentaron menor acidez lo que los hace más agradables para el consumidor, y en su mayoría todas las variedades no variaron en cuanto a sólidos solubles totales.

LITERATURA CITADA

- Ahvenainen, R. 1996. New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruits and vegetables. *Trends Food Sci. Technol.* 7: 179-187.
- Amiot, M. J., A. Fleuriet, V. Cheynier, and J. Nicolas. 1997. Phenolic compounds and oxidative mechanisms in fruit and vegetables, pp. 51-85. *In: Phytochemistry of fruits and vegetables.* F.A. Tomas-Barberán and R.J. Robins (eds.). Proceedings of Phytochemical Society Europe. Clarendon Press. Oxford, UK.
- A.O.A.C. 1990. Official methods of analysis. Décimo sexta edición, Vol. 2. International Association of Official Agricultural Chemist. Maryland, USA. 1114 p.
- Barrón-Macías, M. 2004. Caracterización morfológica de 40 cultivares de nopal de uso hortícola del banco de germoplasma del CRUCEN-UACH. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Unidad Regional de Zonas Áridas. Bermejillo, Durango, México. 52 p.
- Brecht, J. K. 1995. Physiology of lightly processed fruits and vegetables *HortScience* 30(1): 18-21.
- Cantos, E., J. C. Espin and F. A. Tomás-Barberán. 2001. Effect of wounding of phenolic enzymes in six minimally processed lettuce cultivars upon storage. *J. Agric. Food Chem.* 49: 322-330.
- Cantwell, M. 1991. Quality and postharvest physiology of “nopalitos” and “tunas”. Proc. Second Annual Texas Prickly Pear Conference. Texas Prickly Pear Council, Mc Allen, Texas, USA. pp. 50-66.
- Cantwell, M. 1992. Aspectos de calidad y manejo postcosecha de los nopalitos. Conocimiento y Aprovechamiento 5° Congreso Nacional y 3° Congreso Internacional. Memorias de Resúmenes. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México, México. 110 p.
- CODEX. 1993. Norma Mundial del CODEX para el nopal CODEX STAN 185. Normas Alimentarias FAO/OMS. Roma, Italia. 4 pp.
(http://www.codexalimentarius.net/download/standards/316/CXS_185s.pdf). Noviembre, 2007.
- Corrales, G. J. 1996. Postcosecha de la tuna y del nopal verdura. Memorias VII Congreso Nacional y V Congreso Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Monterrey, N.L. México. pp. 88-98.
- Dong, X., R. E. Wrolstand, and D. Sugar. 2000. Extending shelf life of fresh-cut pears. *J. Food Sci.* 65: 185-196.
- FAO. 1995. Fruit and vegetables processing. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. Bulletin No. 119. 382 p.
- Feugang, J. M., P. Konarski, D. Zou, F. C. Stintzing, and C. Zou. 2006. Nutritional and medicinal use of cactus pear (*Opuntia* spp.) cladodes and fruits. *Frontiers in Bioscience* 11: 2574-2589.
- Flores-Váldez, C. A. 2001. Producción, industrialización y comercialización de nopalitos. CIESTAAM. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 28 p.
- García Olivares, D. 1997. Conservación del nopal mínimamente procesado. Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México, México. 111 p.

- Gallegos-Vázquez, C. y M. Ortega-Escobar. 2007. La relación N-NO₃:N-NH₄ sobre la acumulación nocturna de ácido en plantas de *Opuntia ficus-indica* (L.). Mill. Revista Chapingo Serie Horticultura (en prensa).
- Gil, M. I., J. A. Tudela y J. C. Espín. 2005. Pardeamiento. pp. 115-176. *In*: Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. (CIAD, A.C.). Hermosillo, México.
- Gorny, J. R., B. H. Hess-Pierce, R. A. Cifuentes and A. Kader. 2000. Quality changes in fresh-cut pear slices as affected by controlled atmospheres and chemical preservatives. *Postharvest Biol. Technol.* 24: 271-278.
- Herrera Basurto, J. 2007. El calcio y su efecto en postcosecha de aguacate 'Hass' y 'Fuerte'. Tesis de Doctorado en Ciencias en Horticultura. Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México, México. 178 p.
- Hulme, A. C. 1971. *The Biochemistry of fruits and their products*. Vol. 1. Academic Press. New York, USA. 620 p.
- Kader, A. and A. Chordas. 1984. Evaluating the browning potential of peaches. *California Agriculture* 14: 3-4.
- Kim, D. M., Smith, N. L. and Lee, C. Y. 1993. Apple cultivar variations in response to heat treatments and minimal processing. *J. Food. Sci.* 58(5):1111-1124.
- Konika Minolta. 2003. Comunicación precisa de los colores. Konika Minolta Sensing Engineering. 45 p. (<http://www.konicaminolta.eu/pcc/es/index.html>). Marzo, 2007.
- Lamikanra, O. 1995. Enzymatic browning of muscadine grapes products, pp. 166-177, Ch.13. *In*: Enzymatic browning and its prevention. Lee, C. Y. and J. R. Whitaker (eds.). ACS Symposium Series 600; American Chemical Society. Washington, D.C., USA.
- Luo, Y. and G.V. Barbosa-Canovas. 1995. Inhibition of apple slice browning by 4-hexylresorcinol, pp. 240-250. *In* Enzymatic browning and its prevention. Lee C. Y. and J.R. Whitaker (eds.). A.C.S. Symposium Ser. 600; American Chemical Society. Washington, D.C., USA.
- McGuire, R. G. 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience* 27(12): 1254-1255.
- Nobel, P. S. 1988. *Environmental biology of agaves and cacti*. Cambridge University Press. Cambridge, UK. 270 p.
- Pantastico, E. R. 1979. Fisiología de postcosecha, manejo y utilización de frutas y hortalizas tropicales y subtropicales. CECOSA. D.F., México. 663 p.
- Quevedo Preciado, K. L., M. A. Villegas Ochoa, H. González Ríos, A. Rodríguez Félix. 2005. Calidad de nopal verdura mínimamente procesado, efecto de temperatura e inhibidores del oscurecimiento. *Rev. Fitotecnia. Mex.* 28(3): 261-270.

Ramírez Ramírez, S. P. 2006. Atmósferas modificadas y frigoconservación de frutos de *Hylocereus undatus* Haw. Tesis en Doctorado en Ciencias en Horticultura, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. Edo. de México, México. 109 p.

Razo-Martínez, Y. y M. Sánchez-Hernández. 2002. Acidez de 10 variantes de nopalito (*Opuntia* spp.) y su efecto en las propiedades químicas y sensoriales. Tesis de Licenciatura. Departamento de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 104 p.

Richardson, T. and D. B. Hyslop. 1985. Enzymes, pp. 371-476. *In: Food chemistry*. O. R. Fennema, (ed.), 2nd ed., Marcel Dekker. New York, USA.

Robles Ozuna, L. E., F. M. Goycoolea, M. I. Silveira y L. C. Montoya B. 2007. Uso del quitosano durante el escaldado del nopal (*Opuntia ficus indica*) y efecto sobre su calidad. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 6(2): 193-201.

Rodríguez-Félix, A. 1999. Fisiología y tecnología postcosecha de nopalitos. Memoria del VIII Congreso Nacional y VI Internacional sobre conocimiento y aprovechamiento del nopal. Del 6 al 10 de septiembre de 1999. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México. pp. 211-227.

Rodríguez-Félix, A. 2002. Postharvest physiology and technology of cactus pear fruits and cactus leaves. *Acta Horticulturae* 581: 191-199.

Rodríguez-Félix, A. and M. Cantwell. 1988. Developmental changes in composition and quality of prickly pear cactus cladodes (nopalitos). *Plant Foods for Human Nutrition* 38: 83-93.

Rodríguez-Félix, A. and H. Soto Valdez, 1992. Quality changes of sliced nopal during storage in polyethylene bags. *Proceedings of the Third Annual Texas Prickly Pear Council*, Kingsville, Texas, USA. pp. 29-34.

Rodríguez Félix, A., M. A. Villegas Ochoa, J. Fortiz Hernández. 2007. Efecto de cubiertas comestibles en la calidad de nopal verdura (*Opuntia* sp.) durante el almacenamiento refrigerado. *Journal of the Professional Association for Cactus Development* 9: 22-42.

SAGARPA. 2006. Sistema de información agropecuaria de consulta. Sistema Integral de Información Agroalimentaria y Pesquera, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. D.F., México (http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comanuar.html). Octubre, 2006.

Sapers, G. M., L. Garzarella and V. Pilizota. 1990. Application of browning inhibitors to cut apple and potato by vacuum and pressure infiltration. *J. Food Sci.* 55: 1049-1053.

Vámos-Vigyázó, L. 1981. Polyphenol oxidase and peroxidase in fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 15(1): 49-127.

Vincent, J. F. V. 2003. Application of fracture mechanics to the texture of food. *Anales de Mecánica de la Fractura* 20: 1-7.

Whitaker, J. R. 1994. *Principles of enzymology for the food sciences*. Marcel Dekker, 2^{en} ed. New York, USA. 648 p.

Whitaker, J. R. and C. Y. Lee. 1995. Recent advances in chemistry of enzymatic browning and overview, pp. 1-7. *In*: Enzymatic browning and its prevention. Lee, C. Y. and J. R. Whitaker (eds.). ACS Symposium Series 600; American Chemical Society. Washington, D.C., USA.

Zamora M., M. T. 1997. Estudio del “rozamiento” y comportamiento en postcosecha en fruto de aguacate (*Persea americana* Mill.) “Hass”. Tesis de Maestría en Ciencias, Programa de Fruticultura, Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Postgraduados. Montecillos, México. 112 p.