

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y BROMATOLÓGICA DEL FRUTO DE XOCONOSTLE EN DIFERENTES ESTADÍOS DE MADURACIÓN²

[MORPHOLOGICAL AND BROMATOLOGICAL CHARACTERIZATION OF XOCONOSTLE FRUITS IN DIFFERENT RIPENING STAGES]

Areli Flores-Morales^{1§}, Lis Mineli Atriano-Hernández, Ángeles Sánchez-Contreras², Tania González-Flores²

¹TecNM-Instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala. Km. 7.5, Carretera Federal. San Martín Texmelucan-Tlaxcala. ²Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Subsección Sureste, Mérida, Yucatán.

[§]Autor para correspondencia: (floresafm@hotmail.com).

RESUMEN

México es el país con mayor riqueza en cactáceas, con 913 taxones, de los cuales el 80% son endémicos del país. El objetivo de la investigación fue realizar la caracterización morfológica, bromatológica y determinar la composición fitoquímica y actividad antioxidante de frutos de xoconostle (*Opuntia* spp.) con diferentes grados de maduración. Se obtuvieron cinco grupos de frutos con diferente grado de maduración (X1, X2, X3, X4, X5). Todos los grupos presentaron diferencias significativas en tamaño, diámetro ecuatorial y polar, color y estado de madurez. El grupo X5 que corresponde a frutos inmaduros presenta un mayor rendimiento en residuos en referencia a los otros grupos. El grupo X1 es el que se destaca por su coloración (16.67 ± 1.78) asociada a su estado de madurez. Presentó un contenido de humedad de $95.34 \pm 0.21\%$, $1.41 \pm 0.27\%$ de minerales, proteína 0.22% , pH de 2.72 ± 0.02 y acidez $2.15 \pm 0.11\%$, glucosa $13.03 \pm 1.56 \text{ g L}^{-1}$, sacarosa $1.05 \pm 0.04 \text{ g L}^{-1}$, de polifenoles $1.54 \pm 0.31 \text{ mg EAG mL}^{-1}$ y $64.33 \pm 0.60 \text{ } \mu\text{g mL}^{-1}$ de ácido ascórbico, a diferencia del grupo X3, que mostró un mayor contenido ($90.17 \pm 0.17 \text{ } \mu\text{g mL}^{-1}$) y un valor intermedio de betalaínas con betacianinas y betaxantinas (60.0 y 72.8 ppm, respectivamente). Todos los grupos con diferente grado de maduración lograron la inhibición del radical libre DPPH, en órdenes del 76 al 86%. Por lo que podrían ser considerados una fuente alternativa de antioxidantes para la elaboración de otros productos benéficos para el ser humano.

Palabras clave: *Opuntia*, cultivo, explotación tecnológica, xoconostle.

ABSTRACT

Mexico is the country with the greatest diversity of cactaceae, with 913 taxa, 80% of these are endemic. The objective of the research was to carry out the morphological characterization, determine the bromatological and phytochemical composition of xoconostle fruits (*Opuntia* spp.) with different degrees of maturation and their antioxidant activity. In these research there was obtained five groups of xoconostle fruits with different ripening stages (X1, X2, X3, X4 and X5). All groups presented significant differences in size, equatorial and polar diameter, color and ripening. Group X5, which corresponds to immature fruits, presents a higher yield in residues in reference to the other groups. Group X1 is the one that stands out for its coloration (16.67 ± 1.78) associated with its state of ripening. These group of fruits presented a moisture content of $95.34 \pm 0.21\%$, minerals $1.41 \pm 0.27\%$, protein 0.22% , pH of 2.72 ± 0.02 and titratable acidity $2.15 \pm 0.11\%$, glucose $13.03 \pm 1.56 \text{ g L}^{-1}$, sucrose $1.05 \pm 0.04 \text{ g L}^{-1}$, total polyphenols $1.54 \pm 0.31 \text{ mg EAG mL}^{-1}$ and ascorbic acid $64.33 \pm 0.60 \text{ } \mu\text{g mL}^{-1}$, while fruits of group X3 showed a higher content of ascorbic acid ($90.17 \pm 0.17 \text{ } \mu\text{g mL}^{-1}$).

²Recibido: 30 de julio de 2021

Aceptado: 14 de septiembre de 2021

ml-1), co-related with a higher inhibition of DPPH free radical and an intermediate value of betalains with betacyanins and betaxanthins (60.0 and 72.8 ppm, respectively). All groups of xoconostle fruits with different stage of ripening achieved inhibition of the free radical DPPH, in the order of 76 to 86%. Therefore, they could be considered an alternative source of antioxidants for the elaboration of other products for human wellness.

Index words: *Opuntia*, culture, technological exploitation, xoconostle.

INTRODUCCIÓN

México es el centro más importante del mundo en concentración de cactáceas. Se reconocen 913 taxones, conformando 669 especies, las cuales se encuentran agrupadas en 63 géneros, y se reconocen 244 subespecies. El estado de San Luis Potosí es el que posee una mayor diversidad, con un registro de 151 especies. Le siguen los estados de Coahuila con 126 especies y Nuevo León y Oaxaca con 118 especies cada uno. San Luis Potosí también es el estado con mayor riqueza de géneros (33), seguido por Oaxaca con (32) y Tamaulipas (31) (Guzmán *et al.*, 2003). Por regiones geográficas, encontramos la más alta diversidad en el valle de Tehuacán–Cuicatlán (Puebla y Oaxaca), seguida por la Barranca de Metztitlán y la depresión del Balsas. Dentro de estas especies, se encuentran nopaleras formadas por poblaciones de diversas especies (*O. Streptacantha*, *O. leucotrich*) y Xoconostles o cardones (*Cylindropuntia* spp).

En algunas regiones de San Luis Potosí, Guanajuato e Hidalgo, existen zonas donde dominan los garmbullos (*Myrtillocactus geometrizans*), los pitayos (*Isolatocereus dumortieri* spp.), así como los chilayos (*Marginocereus marginatus*) (Bravo-Hollis, 1978). Los principales estados productores de *Opuntia xoconostle* son: San Luis Potosí, Puebla, Hidalgo, Estado de México, Aguascalientes, Zacatecas y Guanajuato (Guzmán, 2010). Los xoconostles se usan en la cocina tradicional mexicana, en la elaboración de bebidas refrescantes, mermeladas, fruta en almíbar, fruta seca y cristalizada, salsa y licores (Sheinvar, 2009). En medicina tradicional, se utiliza para el tratamiento de diabetes mellitus, (Pimienta *et al.*, 2008), para reducir el nivel de colesterol, pérdida de peso corporal, reducir la presión arterial, el estrés oxidativo por la presencia de vitamina C y antioxidantes (Monroy-Gutiérrez *et al.*, 2017, Cortez-García *et al.*, 2015, Arellano y López, 2011). Serrano y Goñi (2004) indican que los polisacáridos no digeribles por el ser humano, que confieren la fibra se asocian con la disminución del hipercolesterolemia y los factores de riesgo de cáncer de colon. Por sus usos y propiedades se ha convertido en un cultivo socioeconómico rentable en diversos estados de la república donde se explota de forma tradicional y semiindustrial para elaboración de una diversidad de productos artesanales (García, 2020). Sin embargo, aunque el procesamiento de productos de xoconostle ha crecido y diversificado los estudios de su cultivo, fisiología, morfología, composición y propiedades aún son escasos, por lo que el objetivo del presente trabajo ha sido caracterizar a los frutos de xoconostle en diferentes estados de maduración como aporte al conocimiento técnico y tecnológico de explotación agroindustrial de esta especie.

MATERIALES Y MÉTODOS

La materia prima fue adquirida en un mercado de San Martín Texmelucan, Puebla, mientras que otros frutos de xoconostle fueron donados por un productor de la localidad de San Francisco Tlacuilohcan, perteneciente al municipio de Yahauquemecan, Tlaxcala. Los 42 frutos se lavaron, desinfectaron y se midieron los dos anchos que describen la forma tridimensional del fruto, en su diámetro y altura, midiendo su diámetro axial y ecuatorial con un vernier digital Steren Modelo HER-411. A cada fruto se le asignó al azar un código para realizar las mediciones de los parámetros L*, a*, b* con un colorímetro MiniScan EZ, modelo 45000L (HunterLab). Las determinaciones se realizaron por triplicado, en diferentes secciones del fruto, y se calculó el índice de color (IC), la saturación Cromo (C) y el tono Hue° (H°), usando las siguientes ecuaciones:

$$IC = \frac{(1000*a)}{(L*b)} \quad C = \sqrt{a^2 + b^2} \quad H^\circ = \text{ARCOTANG} \left(\frac{a}{b} \right)$$

Se formaron cinco grupos, codificados para su identificación como: X1, X2, X3, X4, X5, en escala descendente de madurez.

Análisis fisicoquímico y proximal del jugo

A cada grupo de frutos se le extrajo la pulpa, la cual fue molida con un procesador manual de alimentos, se efectuó una filtración eliminando las semillas y los residuos de pulpa, para obtener el jugo de xoconostle y calcular el rendimiento con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Rendimiento jugo} = \text{Peso jugo} / \text{Peso fruto} \times 100$$

El contenido de humedad (Método 7.003), cenizas (Método 31.013), extracto etéreo (Método 7.056), proteína total por el método de Kjeldahl-Gunning-Arnold modificado (Método 2.057), técnicas reportadas por AOAC (2000).

La determinación de pH se realizó, de forma directa en el jugo, usando un equipo Orion modelo 301, previamente calibrado. Para la determinación de °Brix, se utilizó el refractómetro Abbe, el cual fue previamente calibrado con agua destilada. La cuantificación de glucosa y sacarosa se realizó con un equipo analizador bioquímico YSI 2900, usando membranas de glucosa oxidasa y beta fructosidasa. La cuantificación de azúcares reductores se realizó mediante la técnica de fenol sulfúrico (Dubois *et al.*, 1956). Se empleó un espectrofotómetro (Shimadzu UV-160^a) a una $\lambda = 490$ nm. Previamente se realizó una curva patrón con un intervalo de concentraciones de 0 a 100 mg mL⁻¹.

Parámetros fitoquímicos y evaluación de actividad antioxidante

La determinación de polifenoles totales, se realizó por el método Folin Ciocalteu. Para la cuantificación se realizó una curva de calibración, con soluciones a concentraciones de 0-0.5 mg mL⁻¹, utilizando ácido gálico como estándar (Monroy-Gutiérrez *et al.*, 2017); y un control de DPPH y metanol. Todas las muestras se realizaron por duplicado. La cuantificación se realizó con la siguiente formula:

$$\% \text{ inhibición} = \frac{\text{abs DPPH} - \text{abs muestra}}{\text{abs DPPH}} * 100$$

La determinación de ácido ascórbico, se utilizó la técnica del ácido tricloroacético, realizando una curva de calibración con una solución de ácido ascórbico en concentraciones de 0 a 225 µg mL⁻¹.

La cuantificación de betalaínas, se realizó por espectrofotometría con la metodología descrita por Castellanos y Yahia (2008), midiendo la absorbancia a 538 nm para betacianinas y 476 nm para betaxantinas.

La actividad antioxidante se evaluó usando el método de radical libre 2,2-difenil-1-picrihidracilo (DPPH). Para cuantificar la capacidad captadora de radicales libres de los extractos se determina espectrofotométricamente el grado de decoloración.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se analizaron un total de 42 frutos frescos en diferentes estados de madurez fisiológica de acuerdo con los parámetros visuales usados en la región respecto al tamaño e índice de color característico, así como la ausencia de defectos y putrefacción, firmes al tacto, características morfológicas más importantes para la descripción de los frutos (Prieto-García *et al.*, 2008; Gallegos-Vázquez *et al.*, 2014), los cuales fueron agrupados por su estado de madurez, generando cinco grupos.

El índice de color (IC) de la cáscara del fruto y el diámetro, son dos parámetros que se relacionaron para la determinación de su grado de maduración. Los resultados de las mediciones respecto al IC, saturación (Croma) y tono (Hue°), se resumen en el cuadro 1.

Cuadro 1. Características morfológicas de los frutos agrupados (X1 a X5) por su índice de madurez, relacionado al valor de IC de color y diámetro.

Grupo	Fruto	Parámetros color de la cáscara			Características morfológicas	
		IC	Croma	Hue °	Diámetro polar (mm)	Diámetro ecuatorial (mm)
X1		18.47±4.46	23.82±4.02	41.73±6.03	53.3±2.85	46.49±2.33
X2		10.69±1.70	26.00±3.21	28.76±3.72	54.29±2.69	49.22±1.97
X3		6.99±0.51	28.87± 4.5	19.24±2.86	55.6±0.43	45.41±0.82
X4		4.18±1.45	27.94±3.66	12.40±4.05	55.35±2.86	45.86±1.31
X5		0.74±0.42	31.14±2.16	2.35±1.32	53.8±0.60	48.3±1.79

Valores promedio de tres repeticiones y su desviación estándar

El grupo X1 presentó el mayor valor de IC con 18.47±4.46 (n=11) y por sus coordenadas rojo/verde (parámetro a*) obtenidas correspondió al de mayor pigmentación roja; el grupo X2 mostró un valor de IC de 10.69±1.70 (n=16) por lo que presentó una pigmentación roja con una ligera pigmentación verde. El grupo X3 con un IC de 6.99±0.51 (n=3) tuvo una pigmentación rosa, el grupo X4 con un IC de 4.50±1.16 (n=9) presentó una pigmentación verde- amarillo con ligeras zonas de coloración rosa. Finalmente, el fruto inmaduro se observó en el grupo X5 con IC de 0.74±0.42 (n=3), con una pigmentación verde, la cual presentó una diferencia significativa en el color.

El ángulo de tono (°Hue) de los diferentes grupos de maduración presentó una gran variación por lo que se obtuvieron ángulos mayores de 2.35° y menores de 50°, presentando el grupo de maduración X1 el valor más alto (41.73°) y el grupo de maduración X5 el más bajo (2.35°). Es de mencionar que aunque el índice de color, calculado a partir de las coordenadas L*, a* y b*, es ampliamente utilizado como indicador de madurez o de deterioro para diversos frutos, para el caso de los xoconostles se usan regionalmente parámetros visuales para describir los distintos cultivares, por ejemplo, Gallegos-Vázquez *et al.* (2014) describen al xoconostle denominado ‘Invierno’ como un fruto con epidermis brillante, verde clara con manchas rojo-anaranjadas; de igual forma, Gallegos-Vázquez *et al.* (2018) indican que los frutos del cultivar ‘Borrego’ en estado de madurez presentan una coloración irregular de la superficie color rojo medio. Por lo que una forma sensible, práctica y rápida de establecer parámetros de madurez en los frutos de xoconostle podría ser la medición del color de la cáscara.

En cuanto al tamaño del fruto los valores de diámetro polar y ecuatorial no presentaron diferencias significativas entre los grupos. El grupo X3 presentó el mayor diámetro polar con 55.6 ± 0.43 mm, mientras que el grupo X2 tuvo el mayor diámetro ecuatorial 49.22 ± 1.97 mm. Álvarez y Peña (2009) reportan un diámetro polar de 51.73 mm y diámetro ecuatorial 45.20 mm, concordando con los datos de este trabajo, esto indica que en general el tamaño y color son ideales para la cosecha de frutos destinados a la comercialización, siendo los grupos X1 y X2 los de mayor madurez. Los frutos analizados en éste trabajo, fueron aproximadamente 20 mm más cortos que el cultivar de xoconostle var. Invierno, el cual presentó un tamaño de 76.2 mm (Gallegos-Vázquez *et al.*, 2014); y que los frutos de la variedad Borrego que presentaron un largo de 74.1 mm (Gallegos-Vázquez *et al.*, 2018). En cuanto al diámetro ecuatorial los frutos analizados en las diferentes etapas de madurez se consideran estrechos y fueron similares a la var. Borrego, cuya anchura del fruto fue reportada de 45.8 mm (Gallegos-Vázquez *et al.*, 2018). Monroy-Gutiérrez *et al.* (2017), indican valores de frutos y cáscara de variedades de xoconostle que difieren con respecto a los que se reportan en el presente trabajo.

Análisis fisicoquímico y proximal del jugo

Los frutos fueron tratados para retirar el pericarpio (cáscara) para obtener el mesocarpio (pared interior ancha), es la porción comestible de los frutos, esta fracción fue molida para la eliminación del endocarpio (pulpa) y semillas del fruto para obtener el jugo (Figura 1).



Figura 1. Proceso de extracción del jugo de xoconostle.

Del proceso de molienda y filtración del mesocarpio, endocarpio (pulpa) y semillas, se obtuvieron residuos. El peso promedio de los frutos de los diferentes grupos de maduración, así como la cuantificación de las fracciones obtenidas: jugo, cáscara y residuos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Composición porcentual de las fracciones de los frutos de xoconostle en base fresca.

Grupo	Peso promedio por fruto (g)	Jugo (%)	Cáscara (%)	Residuos (%)
X1	65.91	40.53	29.79	19.86
X2	70.44	47.11	29.01	16.23
X3	85.67	39.35	27.62	33.07
X4	54.0	49.98	19.54	30.45
X5	64.33	51.32	19.17	44.04

Se encontró una gran variación con respecto al peso promedio de los frutos que conforman cada grupo de maduración, siendo los grupos X3 y X2 los que tuvieron frutos con mayor peso (85.67 y 70.44 g, respectivamente). Álvarez and Peña (2014) señalan que los frutos de xoconostle con mayor grado de madurez presentan la mayor biomasa húmeda (81.6 g) en comparación con los frutos inmaduros, lo cual difiere a lo aquí encontrado, siendo que el peso del fruto puede estar influenciado por la variedad de xoconostle analizada.

El grupo X5 (fruto inmaduro) presentó un mayor rendimiento de jugo de $51.32 \pm 0.03\%$ y el grupo X3 (maduración intermedia) solo el $39.35 \pm 0.07\%$ de jugo en relación al total del fruto procesado. Respecto a la cantidad de pericarpio (cáscara) en los frutos, el grupo X1 es el que presentó la mayor cantidad con 29.79% del peso total y el grupo X5 es el que presentó menor cantidad con 19.17% , porcentaje similar al reportado por Gorostiola *et al.* (2015). El mayor contenido porcentual de residuos (semillas, resto de pulpa) se obtuvo en el grupo de frutos inmaduros X5 con 44.04% y el grupo X2 tuvo el menor porcentaje de residuos (16.23%).

El análisis químico proximal del jugo de xoconostle en diferentes estadios de maduración se muestra en el cuadro 3. Cabe mencionar que al grupo X3 no se le realizaron éstos análisis por la escasa cantidad de jugo. Los contenidos de humedad, cenizas y proteínas fueron muy similares entre los distintos grupos evaluados, no observándose una diferencia significativa entre los grupos. El mayor contenido de grasa se obtuvo en el grupo X1 que corresponde a los frutos de mayor madurez.

Cuadro 3. Composición bromatológica del jugo de xoconostle de los grupos clasificados por su estado de maduración.

Grupo	Humedad	Cenizas	Grasas	Proteína
X1	95.34 ± 0.21	1.41 ± 0.27	3.50 ± 0.10	0.22
X2	94.67 ± 0.02	1.42 ± 0.23	1.80 ± 1.18	0.23
X4	93.45 ± 0.27	1.54 ± 0.23	1.79 ± 0.11	0.22
X5	94.64 ± 0.40	1.40 ± 0.07	1.09 ± 0.01	0.23

Los valores se presentan en porcentajes. Promedio de tres repeticiones y su desviación estándar.

En algunos reportes se indica que los frutos contienen una gran cantidad de agua (aproximadamente el 90%), los valores obtenidos en éste estudio concuerdan con lo reportado por Gorostiola *et al.* (2015) en fruto rojo $97.39 \pm 0.1\%$ y $95.08 \pm 0.83\%$ en fruto verde.

Los jugos de los diferentes grupos tuvieron un bajo contenido de cenizas y se encontraron entre 1.40 ± 0.07 y $1.54 \pm 0.23\%$, valores ligeramente menores al reportado por Guzmán *et al.* (2010) ($1.95 \pm 0.08\%$), aunque nueve veces menores al valor de 13.35% reportado para frutos (Canuto, 2010). Se puede asumir que la variabilidad en el contenido de cenizas puede atribuirse al origen del cultivo, ya que reflejaría la mineralización del suelo absorbida por el fruto. El contenido de grasa de los grupos X2, X4 y X5 fue ligeramente inferior al valor de $2.01 \pm 0.21\%$ reportado por Gorostiola *et al.* (2015), excepto para el grupo X1 que tuvo un valor superior con 3.5%. Respecto al porcentaje de proteína en el jugo, los valores se encontraron entre 0.22 y 0.23% para los todos los grupos, sin observar una diferencia significativa entre ellos, los resultados fueron menores a lo reportado por Sánchez (2018), con un valor de $2.22 \pm 0.06\%$, aunque éste autor empleó fruto entero en su determinación.

Por otra parte, solo se analizó la cantidad de fibra total para el grupo X1, que corresponde a frutos maduros (presentación de consumo), obteniendo un valor de $8.55 \pm 0.12\%$. El valor que se reporta ésta entre 7.52 a 8.99% (Serrano y Goñi, 2004). Contiene una importante cantidad de fibra dietaria no digerible ($1.24 \pm 0.2\%$) la cual podría estar asociada con un buen desempeño metabólico del intestino delgado, ya que ésta favorece la microbiota benéfica del intestino grueso, proveyendo una buena salud por su consumo (Nawirska and Kwasniewska, 2005). Las características fisicoquímicas del jugo de cada grupo (X1 a X5) se muestran en el cuadro 4.

Cuadro 4. Características fisicoquímicas del jugo de xoconostle.

Parámetro	Grupo				
	X1	X2	X3	X4	X5
Color jugo					
IC	91.99 ± 2.08	69.21 ± 2.09	73.32 ± 1.91	42.58 ± 0.26	27.22 ± 0.82
pH	2.72 ± 0.02	2.73 ± 0.01	2.68 ± 0.01	2.73 ± 0.01	2.78 ± 0.02
Acidez titulable(%)	2.15 ± 0.11	2.84 ± 0.09	ND	2.53 ± 0.11	2.48 ± 0.08
Sólidos solubles (°Brix)	5.16 ± 0.28	5.01 ± 0.001	5.06 ± 0.05	5.13 ± 0.15	5.06 ± 0.11

ND: No determinado. Valores del promedio de tres repeticiones y su desviación estándar.

Respecto al jugo, el índice de color de valor superior corresponde al grupo X1 con 91.99 ± 2.08 , a diferencia del grupo X5 con 27.22 ± 0.82 (Cuadro 5). Los valores de pH de los cinco grupos de maduración evaluados fueron muy similares entre sí. Éstos, valores son inferiores a los reportados en la literatura que van desde de 3.37 a 4.5, indicando un jugo muy ácido (Canuto, 2010; Sánchez, 2018 y Osorio *et al.*, 2011). Generalmente este pH bajo permite conservar a los frutos del deterioro causado por los microorganismos, debido a que tienen condiciones más difíciles de crecimiento, por lo cual, el fruto no pierde sus características, teniendo una mayor vida de anaquel después del corte. El valor de pH está relacionado con la acidez titulable, los niveles encontrados fueron de 2.15 a 2.84% expresado como ácido cítrico, mientras que Monroy *et al.* (2017) reportan hasta 3.99% de acidez. Los valores de acidez son característicos del fruto por ser muy ácido.

Cuadro 5. Cuantificación de azúcares reductores, glucosa y sacarosa en jugo de frutos xoconostle.

Grupo	Glucosa (g L ⁻¹)	Sacarosa (g L ⁻¹)	Azúcares reductores
X1	13.03±1.56	1.05±0.04	4.56±0.01
X2	12.25±0.07	0.61±0.20	4.65±0.04
X3	10.95±0.21	0.09±0.13	2.10±0.05
X4	9.32±0.01	0.39±0.21	4.47±0.01
X5	9.24±0.06	0.30±0.20	4.51±0.02

*Promedio de tres repeticiones y su desviación estándar.

El contenido de sólidos solubles en los grupos X1 a X5, tuvo valores entre 5.16 ± 0.28 a 5 ± 0.001 °Brix, estos son superiores al valor reportado por Monroy *et al.* (2017), quienes presentan un valor de 4.52 °Brix en xoconostle variedad Cuaresmeño. El valor de índice de refracción (IR) obtenido fue de 1.34 ± 0.001 para todos los grupos de maduración (X1 a X5). Los componentes de los frutos podrían verse influenciados por las condiciones climáticas y edafológicas, adicionalmente a las condiciones de desarrollo del cultivo, puesto que el género *Opuntia* al estar adaptado a condiciones limitantes del suelo y agua, podría modificar su composición. En el cuadro 5 se presentan los valores obtenidos de los contenidos de azúcares reductores, glucosa y sacarosa para los jugos de xoconostle de los cinco grupos de maduración.

El jugo del grupo X1 fue el que presentó un mayor contenido tanto de glucosa con 13.03 ± 1.56 g L⁻¹ como de sacarosa 1.05 ± 0.04 g L⁻¹. Estos datos son congruentes con lo esperado en frutos de cactáceas, ya que, a mayor índice de maduración, generalmente el contenido de azúcar es mayor, determinado esencialmente por el tiempo de cosecha, por lo tanto, la acumulación de azúcares durante la maduración de los frutos de *O. ficus-indica*, se relaciona con un aporte del metabolismo de la cáscara y no con una disminución en el contenido de almidón (Barrera y Nobel, 2004). Es importante indicar que los datos que se reportan en el presente trabajo y en la literatura pueden cambiar de acuerdo a la variedad de xoconostle y a la localización de producción del fruto y estado de maduración, además de la región de la que proviene.

Parámetros fitoquímicos y evaluación de actividad antioxidante del jugo

En la literatura existe poca información sobre propiedades antioxidantes en frutos de xoconostle, por lo tanto, es interesante determinar, si el estado de madurez influye en los valores de actividad antioxidante, el cual se evaluó con el radical libre DPPH (% inhibición), así como la medición de compuestos relacionados con ésta (Figura 2).

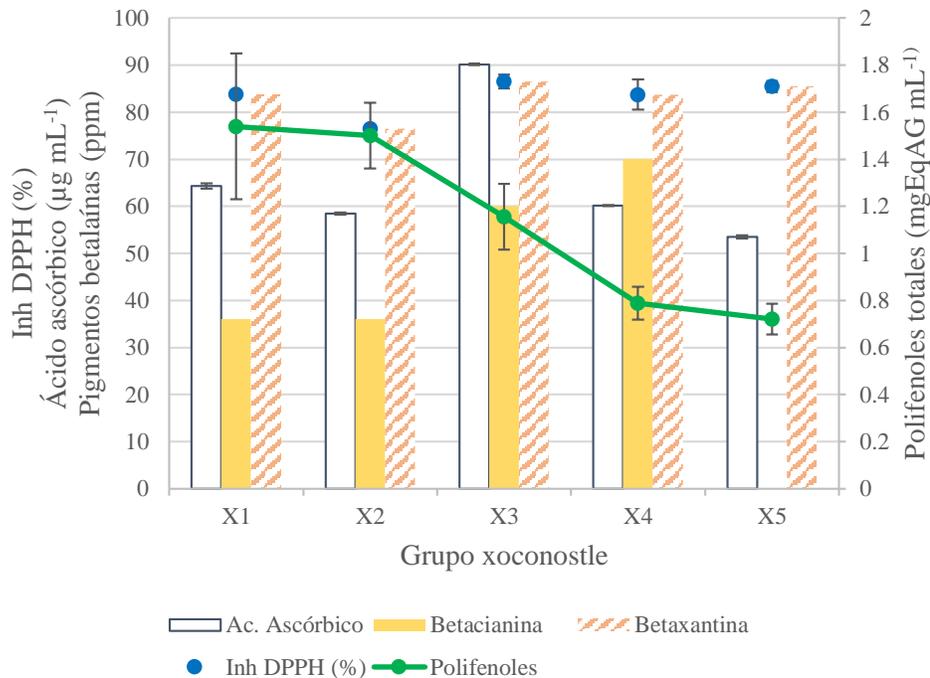


Figura 2. Actividad antioxidante de los jugos de los 5 grupos de frutos de xoconostle

El contenido de polifenoles totales se incrementó conforme aumentó la madurez del fruto, así el jugo del grupo X1 presentó el mayor contenido con 1.54 ± 0.31 mg EAG mL^{-1} , el valor es comparable a lo reportado por Osorio-Esquivel *et al.* (2011) con 1.02 mg EAG g^{-1} . El grupo X3 presenta los valores mayores de inhibición del radical DPPH con $86.55 \pm 0.13\%$ y un contenido de ácido ascórbico de 90.17 ± 0.17 $\mu\text{g mL}^{-1}$, el valor reportado por Monroy-Gutiérrez *et al.* (2017) es de 103.72 mg g^{-1} para la variedad cuaresmeño. Para el caso de pigmentos betalaínas con un valor de betaxantinas de 72.8 ppm y betacianinas 60.0 ppm; sin embargo, el grupo X4 (frutos inmaduros) mostró valores de betacianinas de 70.05 ppm y betaxantinas de 86.41 ppm, mientras que los valores reportados por Gorostiola *et al.* (2015), son valores menores para betaxantinas con 7.24 ± 0.365 mg g^{-1} y betacianinas de 8.03 ± 0.378 mg g^{-1} .

Morales *et al.* (2014 y 2015) indican que los frutos de xoconostle muestran excelentes propiedades antioxidantes que le permite ser una fuente de compuestos bioactivos y reportan valores inferiores a los que se reportan en este trabajo. Gómez-Covarrubias (2020) también reportaron valores bajos de betaxantinas 0.005 ± 0.004 $\mu\text{g g}^{-1}$ y de betacianinas 0.070 ± 0.003 $\mu\text{g g}^{-1}$ en jugos de xoconostle. Para el xoconostle 'Invierno', el valor encontrado de ácido ascórbico fue de 42.49 mg fue ligeramente mayor al encontrado por Gurriery *et al.* (2000), con un valor de 31 a 38 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ peso fresco. En el presente trabajo se cuantificó casi tres veces el valor de ácido ascórbico con 90.17 ± 0.17 $\mu\text{g mL}^{-1}$ que corresponde al grupo X3 con un índice de madurez intermedia. El valor de ésta vitamina para frutos maduros fue de 64.33 ± 0.60 $\mu\text{g mL}^{-1}$ y para frutos inmaduros de 53.50 ± 0.35 $\mu\text{g mL}^{-1}$. Por lo tanto, por el contenido de vitamina C, compuestos fenólicos y actividad antioxidante en los frutos de xoconostle, su consumo puede apoyar en la salud humana (Saénz *et al.*, 2012).

CONCLUSIONES

Las características morfológicas de los frutos de xoconostle clasificados por su grado de maduración (X1, X2, X3, X4 y X5), no muestran diferencias significativas, en color destaca el grupo X1, en diámetro polar el grupo X3 y diámetro ecuatorial X2. El mayor rendimiento de jugo, se obtuvo en el grupo X5

(51.32±0.03%) y el menor fue del grupo X3 (39.35%), indica un mayor contenido de residuos. Los jugos presentaron bajo contenido de proteína y de cenizas. El valor de pH es de 2.7, con acidez alrededor de 2%, sin presentar diferencias significativas. El grupo X1 presenta el mayor contenido de glucosa y sacarosa. El contenido de polifenoles fue mayor en los grupos X1, X2 con 1.54±0.31 mg EAG mL⁻¹ y 1.50±0.14 mg EAG mL⁻¹. El grupo X3 presenta mayor cantidad de ácido ascórbico con 90.17 ±0.17 µg mL⁻¹. El grupo X4 tiene mayor contenido de betalaínas, presentes como betacianinas (70.05 ppm) y betaxantinas (86.41 ppm). En la inhibición de radicales libres de DPPH destaca el grupo X3 con 86.55 ±0.13%. Los frutos de xoconostle presentan una excelente capacidad antioxidante. Por lo tanto, el presente trabajo es un aporte al conocimiento del grado de maduración del fruto, sus características y su posible uso como sustrato para obtención de bebidas con actividad prebiótica.

LITERATURA CITADA

- Álvarez-Armenta, R. and C.B. Peña-Valdivia. 2009. Structural polysaccharides in xoconostle (*Opuntia matudae*) fruits with different ripening stages. Association for Cactus Development. 11:26-44.
- Association of Official Analytical Chemist (AOAC). 2000. Official methods of analysis of AOAC International. 17th ed. MD. USA.
- Arellano, C. y C. López. 2011. *Opuntia joconostle*. Research Signpost, 2:101-123.
- Barrera, E. and P.S. Nobel. 2004. Carbon and water relations for developing fruits of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller, including effects of drought end gibberellic acid. J. Exp. Bot. 55(397):719-729.
- Bravo-Hollis, H. 1978. Las cactáceas de México. 2ª Edición. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México, D. F. 1:743.
- Canuto, P. 2020. Evaluación de las características fisicoquímicas de dos especies de xoconostle (*Opuntia oligacantha* y *joconostle*) para evidenciar sus cualidades nutritivas. Tesis de licenciatura. Saltillo, Coahuila, México.
- Castellanos-Santiago, E. and E.M. Yahia. 2008. Identification and quantification of betalains from the fruits of 10 Mexican prickly pear cultivars by high-performance liquid chromatography and electrospray ionization mass spectrometry. J. Agric. Food Chem. 56: 5758-5764.
- Cortez-García, R.M., A. Ortiz-Moreno, L.G. Zepeda-Vallejo y H. Necochea-Mondragón. 2015. Effects of Cooking Methods on Phenolic Compounds in Xoconostle (*Opuntia joconostle*). Plant Foods Hum Nutr. 70:85–90. DOI 10.1007/s11130-014-0465-2.
- Dubois, M., K.A. Gilles, J.K. Hamilton, P.T. Rebers and F. Smith, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Analytical Chemistry 28(3): 350-356.
- Gallegos-Vazquez, C., C.R. Martínez-González, A.D. Hernández-Fuentes, M.R. Mateos García, y N.A. Gallegos-Luevano. 2018. Borrego: nueva variedad de xoconostle con valor nutricional y funcional para la región Mesa Central de México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 9 (1): 259-265.
- Gallegos-Vázquez, C., L. Scheinvar, H. Silos-Espino, A.D. Fuentes-Hernández, C.C. Núñez-Colín y G. Olalde-Parra. 2014. Invierno, cultivar de xoconostle para la región central de México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Pub. Esp. 7:1349-1354.
- García, K. 2020. El poder de el xoconostle. Consultado en: <https://elpoderdelconsumidor.org/2020/09/el-poder-de-el-xoconostle/>.
- Gómez-Covarrubias, S.I., F. Rivera-Cabrera, J.I. Mendoza-Gastelum, V.H. Oidor-Chan, R.C. Aarland, F. Cruz-Sosa, F. Díaz de León-Sánchez and J.A. Mendoza-Espinoza. 2020. Effect of pasteurization on chemical and functional properties of Xoconostle (*Opuntia joconostle*) juice. Journal of Food Quality and Hazards Control 7. 11-17. DOI: 10.18502/jfqhc.7.1.2447.
- Gorostiola, H., Yáñez, J. y M.G. Ramírez. 2015. Efecto del secado por aspersión en la actividad hipoglucemiante de jugo de Xoconostle (*Opuntia joconostle*) UPIBI-IPN. México, D.F. Consultado en: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/24114/Gorostiola%20Espinosa%2c%20Heidi.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

- Gurreri, S.; L. Miceli, C.M. Lanza, F. Tomaselli, R.P. Bonomo and E. Rizzarelli. 2000. Chemical characterization of Sicilian prickly pear (*Opuntia ficus indica*) and perspectives for the storage of its juice. *J. Agric Food Chem* 51:5424-31.
- Guzmán, M. 2010. El xoconostle: el fruto con alto valor nutricional y nutraceutico, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INUIFAP). México. 4(2).
- Guzmán, U., Arias, S. y Dávila, P. 2003. Catálogo de cactáceas mexicanas. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). México, D.F.
- Guzmán-Maldonado, S.H; A.L. Morales-Montelongo, C. Mondragón-Jacobo, G. Herrera-Hernández, F. Guevara-Lara and R. Reynoso-Camacho. 2009. Physicochemical, nutritional, and functional characterization of fruits Xoconostle (*Opuntia matudae*) pears from Central-México Region. *J. Food Sci.* 75, 6, 485-492.
- Monroy-Gutiérrez, T., M. Martínez, A. Barrientos, C. Gallegos, O. Cruz y H. Vargas. 2017. Compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en frutos de xocotuna, tuna y xoconostle (*Opuntia* spp.). *Agro-Ciencia*, 33 (3): 263-272.
- Monroy-Gutiérrez, T., M.T. Martínez-Damián, A.F. Barrientos-Priego, C. Gallegos-Vázquez, J.E. Rodríguez-Pérez y M.T.B. Colinas-León. 2017. Evaluación de algunas características físicas y químicas de frutos de xocotuna, tuna y xoconostle en poscosecha. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8: 189-197.
- Morales, P., L. Barros, M.C. Ramírez and I. Ferreira. 2014. Exploring xoconostle by products as sources of bioactive compounds. *Food Res. Int.* 65, 437-444.
- Morales, P., L. Barros, M. Ramírez, C. Santos e I. Ferreira, I. 2015. Xoconostles fruit (*Opuntia madudae* Scheivar cv. Rosa) by-products as potential functional ingredients. *Food Chem.* 185, 289-297.
- Nawirska, A. and M. Kwasniewska. 2005. Dietary fibre fractions from fruit and vegetable processing waste. *Food Chemistry.* 91: 221-225.
- Osorio-Esquivel, O., A. Ortiz-Moreno, V.B. Álvarez, L. Dorantes-Álvarez and M.M. Giusti. 2011. Phenolics, betacyanins and antioxidant activity in *Opuntia joconostle* fruits. *Food Res. Int.*, 44: 2160-2168.
- Pimienta-Barrios, E., L. Méndez-Morán, J.E. Ramírez-Hernández, J.E. Alba-García y R.M. Domínguez-Arias. 2008. Efecto sobre la ingestión del fruto de xoconostle (*Opuntia joconostle* Web.) sobre la glucosa y lípidos séricos. *Agrociencia*, 42: 645-653.
- Prieto-García, F., M.A. Méndez-Marzo, E. Pérez-Cruz, S. Filardo-Kerstupp and B.R. Cruz-Martínez. 2008. Morfología, tamaño y distribución de partículas en semillas de cinco especies del género *Opuntia*. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo* 24, 2: 159-162.
- Saénz, C., B. Cancino and P. Robert. 2012. Red betalains from *Opuntia* spp.: Natural colorants with potential applications in foods. *Israel J Plant Sci.* 60: 291-299.
- Sánchez, G. 2018. Extracción y caracterización de los principales pigmentos del *Opuntia joconostle* c.v. (xoconostle). Tesis Maestría. Tec. Avanzada. CICATA-IPN. México, D.F. 3(2018) 182-187.
- Scheinvar, L. 2009. Biosistemas de los Xoconostles Mexicanos y su potencial económico. En Memoria del VIII Congreso Nacional y VI Internacional sobre Conocimientos y Aprovechamiento del Nopal. San Luis Potosí, México. 255-274.
- Serrano, J. e I. Goñi. 2004. Papel del frijol *Phaseolous vulgaris* en el estado nutricional de la población guatemaltecas. *Arch. Lat. Nut.* 54 (1): 36-44.