

Características Morfométricas y Fisicoquímicas de Frutos de Xoconostle Cultivados y Silvestres en Hidalgo

Mónica Gutiérrez Rojas,¹ Daniel Ruiz Juárez,²
Gilberto Vela Correa³ y Javier L.Olivares Orozco²

Resumen. El objetivo de este trabajo fue comparar las características morfométricas y fisicoquímicas de frutos de xoconostle de *Opuntia matudae* cv. Cuaresmero y de *O. joconostle* cv. Burro, cultivados y silvestres. Los frutos se colectaron en tres municipios del estado de Hidalgo, México. La morfología, pH, grados Brix y contenido nutrimental se evaluaron en el fruto completo, cáscara, pulpa y semillas. Los datos se procesaron estadísticamente mediante un análisis de varianza y comparación de medias (Tukey $p \leq 0.05$). Se observaron diferencias estadísticas significativas en el diámetro longitudinal (67.40 mm), diámetro ecuatorial (52.34 mm), peso del fruto completo (94.28 g), de cáscara (4.75 g), de pulpa (69.34 g) y de semillas (11.93 g); jugosidad de la pulpa (Media), humedad (67.46 %) y proteína de la pulpa (3.03 %); extracto etéreo (14.85 %), fibra (55.27 %) y pH de semillas (5.27); cenizas de cáscara (17.14 %) y grados Brix del fruto (6.65). Las diferencias se debieron a los sitios cultivados y/o silvestres. Los frutos de xoconostle de Chapantongo de origen silvestre obtuvieron valores de calidad más altos en el diámetro longitudinal, peso del fruto completo, peso de la

¹ Programa Maestría en Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma Metropolitana-Conacyt, e-mail: mgracg@yahoo.com.mx.

² Universidad Autónoma Metropolitana, Departamento de Producción Agrícola y Animal, México.

³ Universidad Autónoma Metropolitana, Departamento del Hombre y su Ambiente, México.

pulpa y grados Brix. Estas variables se sugieren como un indicador de calidad en la cosecha.

Palabras clave: *parámetros de calidad, xoconostle, Opuntia matudae cv. Cuaresmero, Opuntia joconostle cv. Burro.*

Abstract. *The objective of this work was to compare the morphometric and physicochemical characteristics of xoconostle fruits of Opuntia matudae cv. Cuaresmero and of O. joconostle cv. Burro cultivated and wild in Hidalgo. Cultivated and wild fruits were collected from three municipalities in the state of Hidalgo, Mexico. The morphology, pH, °Brix and nutritional content were evaluated in the complete fruit, skin, pulp and seeds. The data were processed statistically by means of an analysis of variance and comparison of means (Tukey $p \leq 0.05$). Significant statistical differences were observed in the longitudinal diameter (67.40 mm), equatorial diameter (52.34 mm), weight of the complete fruit (94.28 g), skin (4.75 g), pulp (69.34 g) and seeds (11.93 g), juiciness of pulp (medium), humidity (67.46%) and pulp protein (3.03%), ether extract (14.85%), fiber (55.27%) and pH of seeds (5.27), skin ashes (17.14 %) and °Brix of the fruit (6.65). The differences were due to cultivated and/or wild sites. Chapantongo xoconostle fruits of wild origin obtained higher quality values in the longitudinal diameter, weight of the complete fruit, weight of the pulp and °Brix. These variables are suggested as an indicator of quality in the harvest.*

keywords: *quality parameters, xoconostle, Opuntia matudae cv. Cuaresmero, Opuntia joconostle cv. Burro.*

INTRODUCCIÓN

México es centro de origen de una gran diversidad de especies del género *Opuntia*, en estas especies se encuentran cactáceas productoras de frutos dulces llamados tunas y frutos ácidos denominados xoconostles (*nochtli*=tuna; *xoco*=agria) (Bravo y Scheinvar, 1995; Olivares *et al.*, 2003). Existen 19 especies distribuidas en el norte y centro del territorio mexicano, no obstante, se desconoce la superficie total que ocupan las especies cultivadas y silvestres (Scheinvar, 2011). De estas especies, sólo *O. matudae* cv. Cuaresmero y *O. joconostle* cv. Burro se cultivan y explotan de forma comercial (Scheinvar, 2011). El xoconostle presenta un potencial económico y alimenticio debido a sus múltiples usos como verdura, condimento y alimentos procesados (Fierro *et al.*, 2006; Martínez-Soto *et al.*, 2012), además de sus propiedades medicinales y terapéuticas atribuidas a la alta cantidad de pigmentos y antioxidantes que posee el fruto (Bravo y Sánchez, 1991; Scheinvar *et al.*, 2001; Olivares *et al.*, 2003).

De la producción nacional, 95% se concentra en el Estado de México con un promedio 1250 ha cultivadas con xoconostle, el resto de la producción se ubica en algunos municipios del estado de Hidalgo, con los cultivares Cuaresmero y Burro, que son las especies más representativas de este estado (SIAP, 2015). Aun con las bondades del xoconostle como alimento, a nivel nacional e internacional se desconocen los indicadores de calidad e inocuidad que deberían presentar los frutos para la cosecha y consumo humano (Scheinvar *et al.* 2009), sin embargo, a la fecha, las investigaciones se han centrado en aspectos de cultivo y producción, es el caso de *O. matudae* cv. Cuaresmero y *O. joconostle* cv. Burro (Morales, 2009). Por lo que el objetivo de este trabajo fue comparar características morfológicas y fisicoquímicas de frutos de xoconostle cultivados y silvestres en Hidalgo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características de la zona de estudio

El trabajo se realizó durante los ciclos Primavera-Verano y Otoño-Invierno 2015-2016 en cuatro sitios de tres municipios del estado de Hidalgo. El municipio de Chapantongo se ubica entre los 20°17'07" y 99°24'46" a 2120 msnm, Huichapan, entre los 20°22'24" y 99°38'56" a 2108 msnm y Tula de Allende entre los 20°03'23", a los 99°20'31" a 2020 msnm del Valle del Mezquital, Hidalgo. El clima en los cuatro sitios es templado subhúmedo con lluvias en verano, con una media anual de 550 mm de precipitación y temperatura anual que oscila entre 12 y 30 °C (GEH, 2011; INEGI, 2016). A partir de aquí, los sitios se nombrarán como "Sitio 1Ch-C" Chapantongo (cultivo de *O. matudae* cv. Cuaresmero), "Sitio 2Ch-S" Chapantongo (plantas silvestres de *O. joconostle* cv. Burro), "Sitio 3TA-S" Tula de Allende (plantas silvestres de *O. joconostle* cv. Burro) y "Sitio 4Hu-C" Huichapan (cultivo de *O. joconostle* cv. Burro).

Muestreo de frutos de xoconostle

De cada sitio de estudio se tomaron cinco puntos de muestreo distribuidos de forma aleatoria. Cada punto de muestreo cubrió una circunferencia de 25 m²; se seleccionaron 10 plantas de xoconostle integradas dentro del diámetro de la circunferencia. A partir de éstas, se tomaron 10 frutos de color rosado como indicador de madurez fisiológica para la cosecha; por sitio se colectó un total de 50 frutos de xoconostle maduros para la caracterización físico-química. Los frutos de los sitios cultivados con xoconostle se tomaron de plantas de huertos en producción, con una actividad comercial consecutiva de cuatro años. El marco de plantación se encuentra a una distancia de 3 m entre filas y 3 m entre planta y planta, y no cuentan con un programa de fertilización. En los sitios de produc-

ción de xoconostle silvestre, los frutos se tomaron de plantas que son utilizadas como potreros y distribuidas de forma aleatoria. En los diferentes sitios evaluados y de cada planta donde se colectaron las muestras, se registraron las coordenadas con un GPS Magellan 610[®]. Los frutos muestreados se colocaron en bolsas de polipapel estéril previamente etiquetadas y se preservaron en refrigeración para su conservación hasta su análisis en laboratorio.

Calidad de los frutos de xoconostle

Caracterización morfológica y fisicoquímicas del fruto

La caracterización física de los frutos de xoconostle se realizó con base en el Manual Gráfico para la Descripción Varietal del Nopal Tunero y Xocconostle (*Opuntia* spp.) (Gallegos-Vázquez *et al.*, 2005) y la Norma Mexicana Productos Alimenticios no Industrializados para uso Humano – Fruta Fresca – Tuna (*Opuntia* spp.) (NMX-FF-030-SCFI-2006). De cada fruto se midió, con un Vernier Mitutoyo Absolute Digimatic Caliper[®], el diámetro longitudinal (*DL*), ecuatorial (*DE*), del mesocarpio (*DME*), del pedúnculo (*LP*), la cicatriz del receptáculo (*DiaCR*), la depresión de la cicatriz del receptáculo, del pedúnculo (*DCR*) y el espesor de la cáscara (*EC*). Asimismo, se registró la densidad de areólas (*DA*), el número de glóquidas por areola (*NG*), de semillas desarrolladas (*NSD*) y presencia de semillas abortivas (*PSA*), también se observó el color de glóquidas (*CG*), la uniformidad del color de la superficie del fruto (*UCS*), la firmeza (*FP*), jugosidad de la pulpa (*JP*), color de pulpa (*CP*) y forma del fruto (*FF*). El peso del fruto (*PFC*) se obtuvo con una balanza analítica Citizen[®]. Posteriormente, los frutos se disectaron y se determinó el peso de cáscara (*PC*), peso de pulpa (*PP*) y peso de semillas (*PS*). El porcentaje de grados brix (°Brix) se determinó con un refractómetro HANNA Instruments[®] y de cada disección del fruto se midió el pH con un potenciómetro Conductronic pH 120[®].

Contenido nutricional del fruto

Dentro de la caracterización química, se determinó el valor nutrimental de los frutos con base en la técnica de Análisis Químico Proximal de la Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist (AOAC, 1995). Para su análisis nutrimental, los frutos se disectaron en cáscara, pulpa y semillas. La determinación de humedad se basó en la evaporación del agua mediante calor (AOAC, 1995). Las muestras se colocaron en charolas de aluminio en una estufa Riossa® a temperatura constante de 55-65 °C durante 24 h. Posteriormente, las muestras se pulverizaron en un molino IKA® y se colocaron en bolsas de plástico estériles previamente etiquetadas.

Para la determinación de cenizas, la muestra se calcinó en una mufla Felisa® a 550 °C (AOAC, 1995). La determinación del extracto etéreo se determinó con éter de petróleo con un extractor de grasa Labconco®. Para determinar proteína cruda, en la digestión y destilación se utilizó un Microkjeldahl Foss®. La fibra cruda se determinó por el método de Weende mediante una digestión ácida y una digestión alcalina, en un extractor de fibra Labconco®.

Análisis estadístico

Los resultados se analizaron con el paquete estadístico Journal of Mathematical Physics (programa JMP V8). Se determinó la normalidad de las variables con la prueba de Anderson-Darling. Para probar las diferencias entre las medias de los frutos, se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA), en la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey con un nivel de significancia de $p \leq 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización física de los frutos

Los valores promedio de las variables medidas de las características morfológicas de los frutos de *O. joconostle* cv. Burro y *O. matudae* cv. Cuaresmero (*DL*, *DE*, *DiaCR*, *DME*, *LP*, *DCR* y *EC*) mostraron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) (Tabla 1). El *DL* de los frutos de xocostle fue estadísticamente mayor en el Sitio 2Ch-S (plantas silvestres de *O. joconostle* cv. Burro) (67.40 mm) (Tabla 1), valor que fue superior a lo reportado por Guzmán-Maldonado *et al.* (2010) en frutos de xocostle *O. matudae* Cuaresmero del Estado de México y Puebla (59.00 mm), al igual a lo reportado por Gallegos-Vázquez *et al.* (2014) en la variedad de xocostle silvestre "Sainero" (*O. matudae*) del estado de Zacatecas (55.7 mm). Asimismo Pinedo-Espinoza *et al.* (2014) publicaron un valor de 44.50 mm en frutos de *O. joconostle* silvestres del estado de Hidalgo; también Morales (2009) reportó el diámetro longitudinal promedio de 42.5, 45.4 y 44.6 mm en frutos de *O. matudae* Cuaresmero de Hidalgo, Estado de México y Puebla. Finalmente, el valor más bajo para esta característica fue publicado por Guzmán-Maldonado *et al.* (2010) en frutos de xocostle *O. matudae* Cuaresmero del estado de Guanajuato (40.0 mm).

Tabla 1. Características morfométricas de frutos de xoconostle cultivados y silvestres de *Opuntia joconostle* cv. Burro y frutos de *O. matudae* cv. Cuaresmero

Sitio	DL ¹	DE ²	DiaCR ³	DME ⁴	LP ⁵	DCR ⁶	EC ⁷
	(mm)						
Sitio 1Ch-C (Cultivo <i>O. matudae</i> cv. Cuaresmero)	54.16 ± 6.95 ^b	44.72 ± 5.94 ^b	24.19 ± 3.12 ^c	12.85 ± 1.98 ^a	13.38 ± 2.75 ^b	6.76 ± 1.51 ^a	0.11 ± 0.03 ^b
Sitio 2Ch-S (silvestres de <i>O.</i> <i>joconostle</i> cv. Burro)	67.40 ± 5.85 ^a	52.34 ± 2.99 ^a	29.36 ± 2.56 ^a	13.57 ± 1.64 ^a	13.04 ± 0.96 ^b	5.35 ± 0.87 ^b	0.25 ± 0.11 ^a
Sitio 3TA-S (silvestres de <i>O.</i> <i>joconostle</i> cv. Burro)	55.77 ± 4.31 ^b	44.12 ± 2.07 ^b	26.19 ± 2.13 ^b	12.99 ± 1.38 ^a	10.78 ± 1.21 ^c	4.56 ± 1.21 ^b	0.14 ± 0.03 ^b
Sitio 4Hu-C (cultivo <i>O. joconostle</i> cv. Burro)	59.29 ± 2.77 ^b	48.75 ± 2.84 ^{ab}	26.12 ± 2.20 ^{bc}	8.21 ± 0.78 ^b	15.87 ± 1.48 ^a	5.12 ± 1.14 ^b	0.11 ± 0.01 ^b

¹Diámetro longitudinal; ²Diámetro ecuatorial; ³Diámetro de la cicatriz del receptáculo;

⁴Diámetro del mesocarpio; ⁵Longitud del pedúnculo; ⁶Depresión de la cicatriz del receptáculo;

⁷Espesor de cáscara.

*Literales diferentes entre las columnas indican diferencias estadísticas significativas (p<0.05).

El *DE* de los frutos de xoconostle fue mayor en el Sitio 2Ch-S (52.34 mm) e igual al Sitio 4Hu-C (Tabla 1), con una diferencia estadística significativa respecto al Sitio 1Ch-C (cultivo de *O. matudae* cv. Cuaresmero) (44.72 mm) y al Sitio 3TA-S (plantas silvestres de *O. joconostle* cv. Burro) (44.12 mm). Los valores del diámetro ecuatorial observados en los tres sitios fueron inferiores a lo reportado por Pinedo-Espinoza *et al.* (2014) en frutos de *O. joconostle* silvestres en Hidalgo (77.80 mm). Valores superiores al Sitio 1Ch-C y Sitio 3TA-S reportaron Gallegos-Vázquez *et al.* (2014) en la variedad de xoconostle silvestre "Sainero" (*O. matudae*) de Zacatecas (46.79 mm); también Guzmán-Maldonado *et al.* (2010) reportaron valores superiores a estos dos sitios en frutos de xoconostle *O. matudae* Cuaresmero del Estado de México y Puebla (45.0 mm en ambos). De la misma manera, Morales (2009) reportó valores similares en frutos de xoconostle Cuaresmero (*O. matudae*) en el Estado de México y Puebla (45.4 y 44.6 mm, respectivamente) con respecto al Sitio 1Ch-C y Sitio 3TA-S.

El *DiaCR* fue estadísticamente mayor en el Sitio 2Ch-S (29.36 mm), en comparación con el Sitio 1Ch-C, Sitio 3TA-S y Sitio 4Hu-C, donde no existieron diferencias estadísticas significativas, (24.19, 26.19 y 26.12 mm, respectivamente) (Tabla 1), sin embargo, Pinedo-Espinoza *et al.* (2014) reportaron un valor inferior en frutos de *O. joconostle* silvestres en Hidalgo (2.98 mm).

El *DME* fue mayor en el Sitio 1Ch-C, Sitio 2Ch-S y Sitio 3TA-S (12.85, 13.57 y 12.99 mm, respectivamente) a diferencia del Sitio 4Hu-C que presentó un valor de 8.21 mm, a la fecha no se han reportado datos relacionados con el diámetro del mesocarpio en frutos de xoconostle *O. joconostle* y *O. matudae* (Tabla 1).

La *LP* fue significativamente mayor en el Sitio 4Hu-C (15.87 mm) y menor en el Sitio 3TA-S (10.78 mm) (Tabla 1), datos similares al Sitio 4Hu-C fueron reportados por Gallegos-Vázquez *et al.* (2014) en frutos silvestres de xoconostle "Sainero" (*O. matudae*) (14.4 mm). Sin embargo, Pinedo-Espinoza *et al.* (2014) reportaron un valor menor en frutos de *O. joconostle* silvestres en Hidalgo (0.37 mm).

Con base en el Manual Gráfico para la Descripción Varietal del Nopal Tunero y Xoconostle (*Opuntia* spp.) (Gallegos-Vázquez *et al.*, 2005), la depresión de la cicatriz del receptáculo de los frutos de xoconostle tiende a disminuir por el índice de madurez. En este sentido, los frutos evaluados con tendencia a color rosa presentaron diferencias, particularmente los del Sitio 1Ch-C mostraron una *DCR* de 6.76 mm, lo que la caracteriza como fuertemente deprimida. En el Sitio 2Ch-S, Sitio 3TA-S y Sitio 4Hu-C mostraron una *DCR* de 5.35, 4.56 y 5.12 mm, respectivamente, lo que las caracteriza como moderadamente deprimidas (Tabla 1); estos resultados difieren a lo reportado por Pinedo-Espinoza *et al.* (2014) en frutos de *O. joconostle* silvestres en Hidalgo, de 0.37 mm con una *DCR* ausente o ligeramente deprimida.

El *EC* fue mayor en el Sitio 2Ch-S (0.25 mm), sin embargo, el Sitio 1Ch-C, Sitio 3TA-S y Sitio 4Hu-C no presentaron diferencias estadísticas significativas (0.11, 0.14 y 0.11 mm, respectivamente) (Tabla 1). Gallegos-Vázquez *et al.* (2014) reportaron valores mucho mayores en una nueva variedad de xoconostle silvestre llamada "Sainero" (*O. matudae*.) de Zacatecas (11.4 mm).

El contenido de azúcares totales (°Brix) en los frutos fue mayor en el Sitio 2Ch-S y Sitio 3TA-S (6.65 y 6.17%, respectivamente) (Tabla 2); datos similares fueron reportados por Gallegos-Vázquez *et al.* (2014) en frutos silvestres de xoconostle "Sainero" (6.3%), así mismo, Morales (2009) reportó valores similares en frutos de xoconostle Cuaresmero (*O. matudae*) en el Estado de México (6.32). A diferencia de lo reportado por Guzmán-Maldonado *et al.* (2010), quienes presentaron valores inferiores en frutos cultivados de *O. matudae* Cuaresmero en Guanajuato, Estado de México y Puebla (1.10, 1.19 y 1.35%, respectivamente). Los °Brix de los frutos de xoconostle se ven influenciados por las prácticas agronómicas desde el trasplante, deshierbe, fertilización, aporque, podas sanitarias y formación realizadas al cultivo (Zavaleta-Beckler *et al.*, 2001), a diferencia de los frutos de plantas silvestres, donde la manipulación de la cactácea es nula, en consecuencia la fructificación no es alterada y el fruto llega a

término de cosecha. Lo anterior asienta las bases para generar una línea de investigación donde se evalúe color de fruto y °Brix en diferentes etapas de desarrollo de los frutos de plantas cultivadas y silvestres.

El *pHFC* y *pHP* fueron más ácidos en el Sitio 1Ch-C (3.15 y 3.08, respectivamente) (Tabla 2). En este sentido, Gallegos-Vázquez *et al.* (2014) reportaron valores similares de *pHFC* al Sitio 1Ch-C en el fruto completo con *pH* de 3.1 en xoconostle "Sainero" (*O. matudae*). Datos similares al *pH* de pulpa reportaron Guzmán-Maldonado *et al.* (2010) en frutos de *O. matudae* Cuaresmero, cultivados en Guanajuato, Estado de México y Puebla fueron de 3.0, 3.0 y 3.1, respectivamente. En lo que respecta al Sitio 3TA-S, el *pHC* y *pHS* fueron de 3.81 y 2.77, respectivamente; asimismo Morales (2009) reportó valores similares en frutos de xoconostle Cuaresmero (*O. matudae*) de Hidalgo, Estado de México y Puebla con *pHC* de 3.71, también reportó valores similares al Sitio 1Ch-C en el *pHP* (3.0). Sin embargo, el *pHS* de *O. matudae* de estos estados fue menor (4.8) que el Sitio 2Ch-S (5.27), pero mayor que el Sitio 1Ch-C, Sitio 3TA-S y Sitio 4Hu-C (3.55, 2.77 y 3.52, respectivamente).

El *PFC* fue significativamente mayor en el Sitio 2Ch-S (94.28 g), a diferencia del Sitio 1Ch-C, Sitio 2Ch-S y Sitio 3TA-S, donde se observó un peso promedio de 58.83, 60.71 y 67.38g, respectivamente (Tabla 3), sin embargo, Zavaleta-Beckler *et al.* (2001) reportaron valores superiores al Sitio 2Ch-S en frutos de xoconostle (*O. joconostle* cv Burro) cultivado y con un manejo de fertilización con un peso promedio de 100.4g. Los mismos autores reportaron valores inferiores en frutos de *O. matudae* cv Blanco con 50.0g en promedio para los xoconostles cultivados en el municipio de Chapantongo, Hidalgo. Asimismo, mencionan que los frutos de xoconostle con fertilización orgánica desarrollan un tamaño mayor, a diferencia de los frutos no fertilizados. De la misma manera, Morales (2009) reportó valores inferiores en frutos de xoconostle Cuaresmero (*O. matudae*) del estado de Hidalgo con 41.43 gramos.

Tabla 2. °Brix y pH de frutos de xoconostle cultivados y silvestres de *O. joconostle* cv. Burro y frutos de *O. matudae* cv. Cuaresmero

Sitio	°Brix (%)	pHC ¹	pHS ²	pHP ³	pHFC ⁴
Sitio 1Ch-C (Cultivo <i>O. matudae</i> cv. Cuaresmero)	5.58 ^c	4.14 ^c	3.55 ^b	3.08 ^c	3.15 ^d
Sitio 2Ch-S (silvestres de <i>O. joconostle</i> cv. Burro)	6.65 ^a	4.40 ^a	5.27 ^a	3.13 ^b	3.19 ^b
Sitio 3TA-S (silvestres de <i>O. joconostle</i> cv. Burro)	6.17 ^{ab}	3.81 ^d	2.77 ^c	3.70 ^a	3.17 ^c
Sitio 4Hu-C (cultivo <i>O. joconostle</i> cv. Burro)	5.41 ^{bc}	4.34 ^b	3.52 ^b	3.12 ^b	3.33 ^a

¹pH de cáscara; ²pH de semillas; ³pH de pulpa; ⁴pH del fruto completo; ⁵Desviación estándar.

*Literales diferentes entre las columnas indican diferencias estadísticas significativas (p<0.05).

Tabla 3. Peso del fruto completo, cáscara, pulpa y semillas de frutos de xoconostle cultivados y silvestres de *O. joconostle* cv. Burro y frutos de *O. matudae* cv. Cuaresmero

Sitio	PFC ¹	PC ²	PP ³	PS ⁴
	(g)			
Sitio 1Ch-C (cultivo <i>O. matudae</i> cv. Cuaresmero)	58.83 ± 18.27 ^b	7.30 ± 1.76 ^a	43.50 ± 14.53 ^b	4.29 ± 1.78 ^c
Sitio 2Ch-S (silvestres de <i>O. joconostle</i> cv. Burro)	94.28 ± 16.26 ^a	7.92 ± 2.32 ^a	69.34 ± 11.84 ^a	6.95 ± 1.59 ^b
Sitio 3TA-S (silvestres de <i>O. joconostle</i> cv. Burro)	60.71 ± 7.95 ^b	4.75 ± 1.71 ^b	46.54 ± 6.15 ^b	4.49 ± 1.09 ^c
Sitio 4Hu-C (cultivo <i>O. joconostle</i> cv. Burro)	67.38 ± 8.49 ^b	8.00 ± 1.04 ^a	44.53 ± 5.34 ^b	11.93 ± 2.89 ^a

¹ Peso del fruto completo; ²Peso de cáscara; ³Peso de pulpa; ⁴Peso de semillas; ⁵Desviación estándar.

* Literales diferentes entre las columnas indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

El PC fue significativamente mayor ($p < 0.0001$) en el Sitio 1Ch-C, Sitio 2Ch-S y Sitio 4Hu-C (7.30, 7.92 y 8.00 g, respectivamente), con respecto al Sitio 3TA-S (4.75 g) (Tabla 3). Sin embargo, Gallegos-Vázquez *et al.* (2014) reportaron valores promedio de 9.8 g en frutos silvestres de xoconostle "Sainero" (*O. matudae*), dato superior a los cuatro sitios evaluados.

El *PP* fue de 69.34 g para el Sitio 2Ch-S, donde se observó una diferencia estadística significativa de $p < 0.0001$ respecto al Sitio 1Ch-C, Sitio 3TA-S y Sitio 4Hu-C (43.50, 46.54 y 44.53 g, respectivamente) (Tabla 3), sin embargo, Gallegos-Vázquez *et al.* (2014) reportaron un peso promedio mayor (54.1 g) en frutos silvestres de xoconostle "Sainero" (*O. matudae*).

El *PS* fue significativamente mayor ($p < 0.0001$) en el Sitio 4Hu-C (11.93 g) con respecto a los otros sitios (4.29 y 4.49 g). Gallegos-Vázquez *et al.* (2014) reportaron pesos de 9.8 g, inferiores al sitio 4 en frutos silvestres de xoconostle "Sainero" (*O. matudae*). La *FP* de los frutos de xoconostle, de acuerdo al Manual Gráfico para la Descripción Varietal del Nopal tunero y Xoconostle (*Opuntia* spp) (Gallegos-Vázquez *et al.*, 2005), se caracterizó como Firme para los cuatro sitios (Tabla 4). Esta característica de Firmeza concuerda con lo reportado por Gallegos-Vázquez *et al.* (2014) en frutos silvestres de xoconostle "Sainero" (*O. matudae*). La firmeza de la pulpa de los frutos se ve alterada por las condiciones de manejo después de la cosecha. En este sentido, los factores abióticos limitan la calidad de la pulpa. De aquí la importancia de mantener las muestras en condiciones secas y obscuridad total, y realizar las evaluaciones un lapso no mayor a 24 horas.

La *JP* de los frutos de xoconostle se caracterizó como Media en el Sitio 1Ch-C, Sitio 2Ch-S y Sitio 3TA-S, a diferencia del Sitio 4Hu-C que se describió como Alta (Tabla 4). Sin embargo, Gallegos-Vázquez *et al.* (2014) reportaron la jugosidad de la pulpa como Seca a Semiseca en frutos silvestres de xoconostle "Sainero" (*O. matudae*). En esta investigación se cosecharon frutos de cáscara verde y rosa para comparar la *JP*, se observó que los frutos de cáscara verde no presentaban jugosidad, a diferencia de los frutos de coloración rosa. Por lo que se sugiere que la cosecha del fruto sea cuando adquiere esta pigmentación, de lo contrario la *JP* se ve afectada. Además, las prácticas agronómicas juegan un papel importante en la expresión de la calidad del fruto (jugosidad), particularmente en el Sitio 4Hu-C el manejo del cultivo es intensivo.

El NG y el CG en los frutos de los diferentes sitios evaluados se determinaron como Medio y Amarillo, respectivamente (Tabla 4). Pinedo-Espinoza *et al.* (2014) reportaron el número de glóquidas Bajo, sin embargo, coinciden en el color de glóquidas en frutos silvestres de *O. joconostle* Ulapa de Hidalgo.

Tabla 4. Características físicas de frutos de xoconostle cultivados y silvestres de *O. joconostle* cv. Burro y frutos de *O. matudae* cv. Cuaresmero

Sitio	FP ¹	JP ²	NG ³	CG ⁴	NSD ⁵	PSA ⁶
Sitio 1Ch-C (Cultivo <i>O. matudae</i> cv. Cuaresmero)	Firme	Media	Medio	Amarillo	Bajo	Pocas
Sitio 2Ch-S (Silvestres de <i>O. joconostle</i> cv. Burro)	Firme	Alta	Medio	Amarillo	Bajo	Pocas
Sitio 3TA-S (Silvestres de <i>O. joconostle</i> cv. Burro)	Firme	Alta	Medio	Amarillo	Bajo	Pocas
Sitio 4Hu-C (Cultivo <i>O. joconostle</i> cv. Burro)	Firme	Alta	Medio	Amarillo	Bajo	Pocas

¹Firmeza de pulpa; ²Jugosidad de pulpa; ³Número de glóquidas; ⁴Color de glóquidas; ⁵Número de semillas desarrolladas; ⁶Presencia de semillas abortivas.

*Literales diferentes entre las columnas indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

El *NSD* de los frutos evaluados fue Bajo para los cuatro sitios (Tabla 4), a diferencia de lo reportado por Pinedo-Espinoza *et al.* (2014), quienes afirman que el número de semillas desarrolladas en frutos de *O. joconostle* silvestres de Hidalgo fue clasificado como Muy Bajo. De la misma manera, Gallegos-Vázquez *et al.* (2014) reportaron Pocas Semillas desarrolladas en frutos silvestres de xoconostle "Sainero" (*O. matudae*).

La *PSA* en frutos de xoconostle para el Sitio 1Ch-C, Sitio 2Ch-S y Sitio 4Hu-C fueron Pocas, a excepción del Sitio 3TA-S que fue catalogado como Muy Pocas (Tabla 4). El resultado de este último sitio concuerda con lo reportado por Pinedo-Espinoza *et al.* (2014) en frutos de *O. joconostle* silvestres en Hidalgo.

La *UCS* de los frutos de xoconostle fue considerada como Irregular en los cuatro sitios estudiados (Tabla 5), este dato coincide con lo reportado por Pinedo-Espinoza *et al.* (2014) en frutos de *O. joconostle* silvestres de Hidalgo, sin embargo, Gallegos-Vázquez *et al.* (2014) reportaron la *UCS* como Uniforme en frutos silvestres de xoconostle "Sainero" (*O. matudae*).

La *DA* de los frutos de xoconostle fue clasificada como Media para el Sitio 2Ch-S, Sitio 3TA-S y Sitio 4Hu-C (Tabla 5); Gallegos-Vázquez *et al.* (2014) reportan la misma clasificación (Media) en frutos silvestres de xoconostle "Sainero" (*O. matudae*). Asimismo, Pinedo-Espinoza *et al.* (2014) reportaron datos similares en frutos de *O. joconostle* silvestres en Hidalgo.

Tabla 5. Uniformidad del color de la superficie y densidad de aréolas de frutos de xoconostle cultivados y silvestres de *O. joconostle* cv. Burro y frutos de *O. matudae* cv. Cuaresmero

Sitio	UCS ¹	DA ²	CP ³	FF ⁴
Sitio 1Ch-C (Cultivo <i>O. matudae</i> cv. Cuaresmero)	Irregular	Baja	Amarillo	Elíptica
Sitio 2Ch-S (silvestres de <i>O. joconostle</i> cv. Burro)	Irregular	Media	Verde	Elíptica
Sitio 3TA-S (silvestres de <i>O. joconostle</i> cv. Burro)	Irregular	Media	Verde	Elíptica
Sitio 4Hu-C (cultivo <i>O. joconostle</i> cv. Burro)	Irregular	Media	Amarillo	Oboval

¹Uniformidad del color de la superficie; ²Densidad de aréolas; ³Color de pulpa; ⁴Forma del fruto.

*Literales diferentes entre las columnas indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

El CP de los frutos estudiados fue caracterizado como Amarillo para el Sitio 1Ch-C y Sitio 4Hu-C, sin embargo, en el Sitio 2Ch-S y Sitio 3TA-S se observó de color Verde medio (Tabla 5), a diferencia de lo reportado por Gallegos-Vázquez *et al.* (2014) quienes observaron en frutos silvestres de xoconostle "Sainero" (*O. matudae*) una tonalidad Rosa.

La FF de xoconostle evaluados fue determinada como Elíptica en el Sitio 1Ch-C, Sitio 2Ch-S y Sitio 3TA-S, a diferencia del Sitio 4Hu-C, donde se observaron frutos de forma Oboval (Tabla 5). Asimismo Pinedo-Espinoza *et al.* (2014) reportaron datos similares al Sitio 1Ch-C, Sitio 2Ch-S y Sitio 3TA-S en frutos de *O. joconostle* silvestres de Hidalgo, sin embargo, Gallegos-Vázquez *et al.* (2014) reportaron que en frutos silvestres de xoconostle "Sainero" (*O. matudae*) la Forma del Fruto es Oboval.

En los parámetros de calidad considerados durante la evaluación de los frutos de xoconostle que mostraron diferencias significativas ($p < 0.0001$) destacan las variables diámetro longitudinal, cicatriz del receptáculo, pH de cáscara y semillas, peso del fruto completo y pulpa, porcentaje de °Brix. (Tabla 1, 2, 3, respectivamente).

Caracterización química del fruto

Análisis Químico Proximal

Los resultados del Análisis Químico Proximal (Tabla 6) de la cáscara, pulpa y semillas de los frutos de xoconostle, expresados en base seca, mostraron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.0001$) para cada una de las determinaciones químicas. Los porcentajes de humedad en pulpa, la proteína, ceniza y fibra en semillas fueron más altos, respecto al extracto etéreo en pulpa.

Humedad

El contenido de humedad fue significativamente mayor ($p < 0.0001$) en las semillas de xoconostle del Sitio 3TA-S (94.86%). Datos inferiores reportaron Morales *et al.* (2012) para semillas de frutos cultivados de *O. joconostle* F.A.C. Weber y *O. matudae* Scheinvar cv. Rosa (73.95 y 60.44%, respectivamente), sin embargo, Prieto-García *et al.* (2006, 2016) reportaron porcentajes de 3.97, 4.09 y 3.55% en semillas de frutos de *O. heliabravoana*, *O. joconostle* y *O. ficus-indica*, respectivamente, porcentajes mucho más bajos a los observados en los cuatro sitios.

Cenizas

El porcentaje de cenizas fue mayor en la cáscara de los frutos del Sitio 1Ch-C, Sitio 2Ch-C y Sitio 4Hu-C (15.90, 17.14, y 15.94%, respectivamente), a diferencia del Sitio 3TA-S con un valor inferior (10.46%) (Tabla 6). No obstante, Guzmán-Maldonado *et al.* (2010) reportaron valores de 13.57, 14.04 y 13.70% en cáscara de frutos de xoconostle *O. matudae* Cuaresmero de Guanajuato, Estado de México y Puebla, respectivamente. Los valores inferiores de ceniza se observaron en las semillas del Sitio 1 Ch-e, Sitio 3TA-S y Sitio 4Hu-C (2.40, 2.33 y 2.40%, respectivamente). En este sentido, Prieto-García *et al.* (2006, 2016) también reportaron porcentajes bajos de cenizas en semillas de frutos de *O. heliabravoana*, *O. joconostle* y *O. ficus-indica* del estado de Hidalgo, con 0.95, 1.03 y 1.01%, respectivamente. Sin embargo, Scheinvar *et al.* (2009) registraron valores de ceniza de 19.82% en el fruto completo de *O. joconostle* F.A.C. Weber de Hidalgo.

Tabla 6. Análisis Químico Proximal en BS¹ de frutos de xoconostle cultivados y silvestres de *O. joconostle* cv. Burro y frutos de *O. matudae* cv. Cuaresmero

Determinación (%)	Sitio 1Ch-C (Cultivo <i>O. matudae</i> cv. Cuaresmero)			Sitio 2Ch-S (Silvestres de <i>O. joconostle</i> cv. Burro)			Sitio 3TA-S (Silvestres de <i>O. joconostle</i> cv. Burro)			Sitio 4Hu-C (Cultivo <i>O. joconostle</i> cv. Burro)		
	C ³	P ⁴	S ⁵	C ³	P ⁴	S ⁵	C ³	P ⁴	S ⁵	C ³	P ⁴	S ⁵
Humedad²	84.04 ^{bc}	93.01 ^b	48.73 ^c	89.65 ^a	94.27 ^a	63.49 ^{bc}	86.91 ^{ab}	67.46 ^c	94.86 ^a	82.32 ^c	93.21 ^b	71.88 ^b
Proteína	3.10 ^c	2.33 ^b	3.53 ^d	3.61 ^b	0.58 ^d	14.24 ^a	4.13 ^a	3.03 ^a	7.92 ^b	2.65 ^d	1.78 ^c	5.74 ^c
Extracto etéreo	2.40 ^a	1.68 ^a	10.01 ^b	1.36 ^{bc}	0.85 ^a	8.20 ^c	1.56 ^b	1.35 ^a	14.85 ^a	1.27 ^c	0.81 ^a	6.21 ^d
Ceniza	15.90 ^a	12.74 ^a	2.40 ^b	17.14 ^a	12.22 ^a	3.56 ^a	10.46 ^b	9.07 ^b	2.33 ^b	15.94 ^a	13.20 ^a	2.40 ^b
Fibra	22.39 ^b	10.25 ^a	53.91 ^a	25.03 ^a	7.64 ^b	55.27 ^a	24.89 ^a	7.15 ^b	34.58 ^c	26.84 ^a	9.30 ^{ab}	48.12 ^b

¹Base Seca; ²Base Húmeda; ³Cáscara; ⁴Pulpa; ⁵Semilla.

*Literales diferentes entre filas indican diferencias estadísticas Significativas $p < 0.0001$.

Proteína

El porcentaje de proteína fue significativamente mayor ($p < 0.0001$) en las semillas del Sitio 2Ch-C (14.24%), respecto al Sitio 1Ch-C, Sitio 3TA-S y Sitio 4Hu-C. Datos inferiores reportaron Guzmán-Maldonado *et al.* (2010) en las semillas de frutos de xoconostle *O. matudae* Cuaresmero de Guanajuato, Estado de México y Puebla, con 6.84, 7.22 y 8.16%, respectivamente. Este dato difiere con lo reportado por Morales *et al.* (2012), quienes determinaron porcentajes de 2.12 y 3.45% en semillas de frutos cultivados de *O. joconostle* F.A.C. Weber y *O. matudae* Scheinvar cv. Rosa. De la misma manera, Prieto-García *et al.* (2006, 2016) reportaron porcentajes

inferiores en semillas de frutos de *O. heliabravoana*, *O. joconostle* y *O. ficus-indica* de Hidalgo, con 2.10, 0.64 y 0.97%, respectivamente. Sin embargo, el porcentaje de proteína más bajo se observó en la pulpa de frutos de xoconostle de los cuatro sitios evaluados (2.33, 0.58, 3.03 y 1.78%, respectivamente) con una diferencia estadística significativa de $p < 0.0001$, entre ellos. El porcentaje de proteína en pulpa del Sitio 4Hu-C se asemeja con lo reportado por Guzmán-Maldonado *et al.* (2010) en la pulpa de frutos de xoconostle *O. matudae* Cuaresmero de Guanajuato, Estado de México y Puebla, con 1.63, 1.78 y 1.66%, respectivamente. Asimismo, los porcentajes de proteína en pulpa del Sitio 2Ch-C se asemejan con lo reportado por Morales *et al.* (2012) en los porcentajes de proteína en pulpa de frutos cultivados de *O. joconostle* F.A.C. Weber y *O. matudae* Scheinvar cv. Rosa en Hidalgo (0.66 y 0.56% respectivamente). Sin embargo, Scheinvar *et al.* (2009) determinaron porcentajes de 7.42% de proteína en el fruto completo de *O. joconostle* F.A.C. Weber.

Extracto etéreo

El porcentaje de extracto etéreo más alto fue de 14.85% en semillas de frutos del Sitio 3TA-S, con una diferencia estadística significativa de $p < 0.0001$ (Tabla 6). Este dato difiere con lo reportado por Prieto-García *et al.* (2006, 2016) en semillas de frutos de *O. heliabravoana*, *O. joconostle* y *O. ficus-indica* en Hidalgo (16.99, 19.24 y 17.22%, respectivamente). Sin embargo, Guzmán-Maldonado *et al.* (2010) reportaron valores menores al Sitio 3 TA-S con 7.23, 8.10 y 7.15%, respectivamente, en semillas de frutos de xoconostle *O. matudae* Cuaresmero en Guanajuato, Estado de México y Puebla. Asimismo Morales *et al.* (2012) reportaron valores menores, con 2.45 y 3.52% en semillas de frutos cultivados de *O. joconostle* F.A.C. Weber y *O. matudae* Scheinvar cv. Rosa en Hidalgo. A diferencia del extracto etéreo observado en las semillas del Sitio 3TA-S, el valor menor se determinó en la pulpa de los frutos de los cuatro sitios evaluados con 1.68,

0.85, 1.35 y 0.81 %, respectivamente. No obstante, Guzmán-Maldonado *et al.* (2010) reportaron porcentajes superiores en la pulpa de frutos de xoconostle *O. matudae* Cuaresmero en Guanajuato, Estado de México y Puebla (5.05, 5.19 y 5.28 %, respectivamente). A diferencia de lo reportado por Scheinvar *et al.* (2009) con 10.42 % en frutos de *O. joconostle* F.A.C. Weber de Hidalgo.

Fibra

El porcentaje de fibra más alto se observó en las semillas de los frutos del Sitio 1 Ch-C y Sitio 2 Ch-S con 53.91 y 55.27 %, respectivamente, con una diferencia estadística significativa de $p < 0.0001$ respecto al Sitio 3TA-S y Sitio 4Hu-C (Tabla 6). Datos inferiores reportaron Prieto-García *et al.* (2006, 2016) en semillas de frutos de *O. Heliabravoana*, *O. joconostle* y *O. ficus-indica* de Hidalgo, con 3.02, 2.56, 2.66 %, respectivamente. Sin embargo, Guzmán-Maldonado *et al.* (2010) reportaron valores más bajos en semillas de frutos de xoconostle *O. matudae* Cuaresmero en Guanajuato, Estado de México y Puebla (0.95, 0.93 y 1.02 %, respectivamente). Asimismo, Morales *et al.* (2012) reportó valores inferiores en semillas (19.22 y 30.17 %, respectivamente) y pulpa (2.31, 1.74 %, respectivamente) de frutos cultivados de *O. joconostle* F.A.C. Weber y *O. matudae* Scheinvar cv. Rosa en Hidalgo. A diferencia de lo reportado por Scheinvar *et al.* (2009) en frutos de *O. joconostle* F.A.C. Weber en Hidalgo con 9.66 %. De acuerdo con Álvarez y Peña (2009), la calidad de los frutos de xoconostle, con base en el contenido de fibra presente, es una alternativa como suplemento para prevenir enfermedades crónicas, además, Morales (2009) sugiere que la calidad de fibra presente en frutos de xoconostle *O. matudae* Cuaresmero pueden ser diferente debido a las etapas de maduración de la fruta.

Las características físicas de los frutos se analizaron con un intervalo de confianza de $p \leq 0.05$. Los parámetros de calidad que presentaron

valores mayores en los frutos de plantas silvestres de *O. joconostle* cv. Burro, de Chapantongo fueron el *DL*, *DiaCR*, °*Brix*, *pHC*, *pHS*, *PFC*, *PP*, porcentaje de humedad en pulpa, proteína en semillas, cenizas en semillas, a diferencia de los frutos cultivados de *O. matudae* cv. Cuaresmero del sitio de Chapantongo, quienes mostraron valores inferiores en *DL*, *pHC*, *pHP*, *pHFC*, la *JP*, la *DA*, el porcentaje de proteína en cáscara, pulpa y semillas, el extracto etéreo de cáscara y semillas, así como el porcentaje de fibra en cáscara.

CONCLUSIONES

Los frutos de xoconostle cultivados y silvestres *Opuntia joconostle* cv. Burro y *O. matudae* cv. Cuaresmero del estado de Hidalgo mostraron diferencias estadísticas significativas entre sitios.

Los frutos de plantas de xoconostle silvestres de *O. joconostle* cv. Burro, del municipio de Chapantongo presentaron mejor calidad en los parámetros morfométricos, físicos y contenido nutricional, y los frutos de xoconostle *O. matudae* cv. Cuaresmero presentaron parámetros de calidad inferiores a la media general.

Las características físicas y morfométricas con valores que sobresalieron de la media, se observaron en el diámetro longitudinal y de la cicatriz del receptáculo, pH de cáscara y semillas, peso del fruto completo y pulpa porcentaje de °*Brix*, humedad en pulpa, proteína en semillas y cenizas en las semillas de los frutos de plantas silvestres de *O. joconostle* cv. Burro, del municipio de Chapantongo.

Los frutos cultivados de *O. matudae* cv. Cuaresmero del sitio de Chapantongo mostraron valores inferiores en el diámetro longitudinal, pH de cáscara, pH de pulpa, pH del fruto completo, jugosidad de la pulpa, densidad de aréolas, el porcentaje de proteína en cáscara, pulpa y semillas, extracto etéreo de cáscara y semillas y fibra en cáscara. El contenido nutrimental de los frutos de xoconostle silvestres de *O. joconostle* cv.

Burro, del municipio de Chapantongo, presentaron valores superiores de humedad en pulpa; proteína en semillas; cenizas en semillas. Las semillas de los frutos de xoconostle del sitio de Tula de Allende presentaron valores superiores en humedad y extracto etéreo. Estos frutos presentan un gran potencial económico debido a sus múltiples usos como alimento, propiedades medicinales y terapéuticas.

Los frutos de xoconostle cultivados de *O. matudae* cv. Cuaresmero de Chapantongo, y silvestres de *O. joconostle* cv. Burro de Huichapan mostraron valores inferiores de humedad y cenizas en semillas y extracto etéreo en pulpa.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos a los productores que nos facilitaron trabajar en sus cultivos para llevar a cabo la presente investigación. Asimismo a la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, por proporcionarnos las instalaciones, materiales y equipos, así como a la maestría en Ciencias Agropecuarias de la UAM-X.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, A. y B. Peña, 2009, "Structural polysaccharides in xoconostle (*Opuntia matudae*) fruits with different ripening stages", en *Journal of Professional Association of Cactus Development*, 11:26-44.
- AOAC, 1995, *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist*, Vols. I y II. K., Herlich (ed.), AOAC International, Minneapolis, MN.
- Bravo, H. y H. Sánchez, 1991, *Las Cactáceas de México*, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

- Bravo, H. y L. Scheinvar, 1995, *El interesante mundo de las cactáceas*, Fondo de Cultura Económica, México.
- Fierro, A. et al., 2006, *Cultivo del Nopal Verdura (Opuntia ficus-indica (L.) Mill.) en el sur del Distrito Federal*, Universidad Autónoma Metropolitana, México.
- Gallegos, C. et al., 2005, *Manual Gráfico para la Descripción Varietal del Nopal Tunero y Xoconostle (Opuntia spp.)*, Sagarpa, México.
- Gallegos, C. et al., 2014, "Sainero: new variety of xoconostle for the northern región of central Mexico", en *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(6): 1125-1131.
- GEH, Gobierno del estado de Hidalgo, 2011, *Enciclopedia de los municipios del estado de Hidalgo: Chapantongo*, Gobierno del Estado de Hidalgo, Secretaría de Planeación Desarrollo Regional y Metropolitano, Pachuca de Soto, México.
- Guzmán-Maldonado, S. et al., 2010, "Physicochemical, Nutritional, and Functional Characterization of fruits Xoconostle (*Opuntia matudae*) Pears from Central-México Region", en *Journal of Food Science*, 75(6): C485-C492.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2016, *Anuario Estadístico y Geográfico de Hidalgo*, INEGI, México.
- Martínez, G. et al., 2012, "Modelación matemática del secado solar del xoconostle", en *Revista Salud Pública y Nutrición*, 2: 339-347.
- Morales, A., 2009, *Caracterización fitoquímica funcional del fruto de xoconostle cuaresmeño (Opuntia matudae), y el efecto de su consumo en parámetros bioquímicos de ratas diabéticas*, tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Facultad de Química-UAQ, México.
- Morales, P. et al., 2012, "Nutritional and antioxidant properties of pulp and seeds of two xoconostle cultivars (*Opuntia joconostle* F.A.C. Weber ex Diguet and *Opuntia matudae* Scheinvar) of high consumption in Mexico", en *Food Research International*, 46: 279-285.
- Norma Mexicana NMX-FF-030-SCFI-2006, Productos alimenticios no industrializados para uso humano – fruta fresca – tuna (*Opuntia* spp.).

- Olivares, L. *et al.*, 2003, *Xoconostle: biología y manejo agronómico*, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, México.
- Pinedo, J. *et al.*, 2014, "Caracterización morfométrica de 10 genotipos de nopales productores de Xoconostle (*Opuntia* spp.) de Hidalgo y Zacatecas", en *Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 2(2): 71-79.
- Prieto, F. *et al.*, 2006, "Caracterización física y química de semillas de Opuntias (*Opuntia* spp.) cultivadas en el Estado de Hidalgo, México", en *Bioagro*, 18(3): 163-169.
- Prieto, F. *et al.*, 2016, "Chemical and physical characterization of *Opuntia* spp. Sedes grown in Hidalgo State, México", en *Ciencia e Investigación Agraria*, 43(1): 143-150.
- Scheinvar, L. *et al.*, 2001, Estudio bioecológico de los xoconostles mexicanos *Opuntia* spp. y su potencial económico, en *Memorias del XV Congreso mexicano de Botánica*. Querétaro, México.
- Scheinvar, L. *et al.*, 2011, *Estado del conocimiento de las especies del nopal (Opuntia spp.) productoras de xoconostles silvestres y cultivadas*, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Scheinvar, L. *et al.*, 2009, *Diez Especies Mexicanas de Xoconostles: Opuntia spp. y Cylindropuntia imbricata (Cactácea)*, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2015, en *Atlas Agroalimentario*, Sagarpa, México.
- Zavaleta, P. *et al.*, 2001, "Organic fertilization in sour prickly pear (*Opuntia joconostle* and *O. matudae*)", en *Agrociencia*, 35(6): 609-614.