

# CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE VARIANTES SILVESTRES DE XOCONOSTLE (*Opuntia* spp.) DE ZACATECAS, MÉXICO

## MORPHOMETRIC CHARACTERIZATION OF WILD CULTIVARS OF XOCONOSTLE (*Opuntia* spp.) FROM ZACATECAS, MÉXICO

de Luna-Valadez, J.M.<sup>1</sup>; Gallegos-Vázquez, C.<sup>2\*</sup>; Scheinvar, L.<sup>3</sup>; Valdez-Cepeda, R.D.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Maestría en Ciencias en Desarrollo Rural Regional Centro Regional Universitario Centro Norte, Universidad Autónoma Chapingo. Zacatecas, Zac., México. <sup>2</sup>Centro Regional Universitario Centro Norte, Universidad Autónoma Chapingo. Zacatecas, Zac., México. 98085. <sup>3</sup>Jardín Botánico, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

\*Autor de correspondencia: [cgallegosvazquez@gmail.com](mailto:cgallegosvazquez@gmail.com)

### RESUMEN

Treinta y seis variantes de nopales productores de xoconostles, localizadas y colectadas en territorio del Estado de Zacatecas se caracterizaron al usar 31 atributos cuantitativos. Dichos atributos corresponden a cladodios, flores y fruto de acuerdo a la Guía para Pruebas de Distinción, Uniformidad y Estabilidad de Tuna y Xoconostle de la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV, por sus siglas en inglés). La información se analizó con técnicas de análisis multivariado. Los dos primeros componentes principales (CP's) explicaron el 99% de la variación total de la base de datos; el CP1 explicó el 98.81%, mientras que el CP2 el 0.22%. La estructura del CP1 fue definida principalmente por longitud y ancho de los cladodios. Los valores propios de ambos CP's se usaron para agrupar a las variantes mediante un análisis de conglomerados. Así fueron identificados seis grupos o clases de xoconostles en función de la morfometría de cladodios, flores y fruto. Los resultados confirman que en Zacatecas existe una riqueza genética de xoconostles, digna de ser conservada y aprovechada.

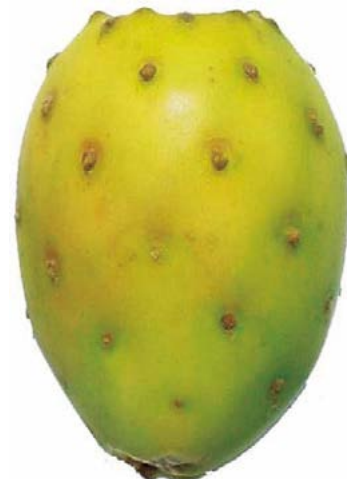


**Palabras clave:** Tuna, xoconostle, UPOV, conglomerados, componentes principales.

### ABSTRACT

Thirty-six cultivars of prickly pear plants that produce xoconostles were characterized, located and collected in the territory of the state of Zacatecas by using 31 quantitative traits. These traits correspond to cladodes, flowers and fruits according to the Guide for Distinction, Uniformity and Stability Tests for Prickly Pear and Xoconostle of the International Union for the Protection of New Varieties of Plants (UPOV). The information was analyzed with multivariate analysis techniques. The two first principal components (PCs) explained 99 % of the total variation of the data base; the PC1 explained 98.81 %, while the PC2, 0.22 %. The structure of PC1 was defined primarily by the length and width of the cladodes. The values of both PCs were used to group the cultivars through a conglomerate analysis. Thus, six groups or classes of xoconostles were identified in function of the morphometry of cladodes, flowers and the fruit. The results confirm that in Zacatecas there is a genetic wealth of xoconostles worthy of being conserved and used.

**Keywords:** prickly pear, xoconostle, UPOV, conglomerates, principal components.



**Agroproductividad:** Vol. 9, Núm. 4, abril. 2016. pp: 19-27.

**Recibido:** julio, 2015. **Aceptado:** febrero, 2016.

## INTRODUCCIÓN

**Opuntia Mill**, es un género complejo que incluyen especies usadas para el consumo de cladodios tiernos, conocidos en México como nopalitos, obtenidos principalmente de *O. ficus-indica*, o por sus frutos (muchas especies silvestres y domesticadas), llamadas tunas y xoconostles (Gallegos-Vázquez *et al.*, 2011). En México se designa xoconostle (del náhuatl: xoco=ácido; noxtle=tuna) a las tunas ácidas (Bravo-Hollis, 1978), cuyas paredes gruesas se utilizan en la alimentación humana y en la medicina tradicional (Sánchez-Venegas y Ortega-Delgado, 1996; García-Pedraza *et al.*, 2005; Guzmán-Maldonado *et al.*, 2010; Scheinvar *et al.*, 2009). Las especies de *Opuntia* Mill, productoras de xoconostles se distinguen por presentar paredes interiores anchas, comestibles, pared exterior delgada (Figura 1). Presentan semillas dispuestas en el centro del fruto con funículos secos (Scheinvar *et al.*, 2009) o semisecos, con la característica particular de que sus frutos permanecen sobre los cladodios durante todo el año o más, probablemente por las reducidas tasas de producción de etileno al madurar, tal y como lo reportaron Ávalos-Andrade *et al.* (2006). En xoconostle, a pesar de ser una planta con grandes potencialidades, existen pocos trabajos que permitan conocer su diversidad, puesto que solo se tienen 600 ha con plantaciones comerciales de xoconostle cuaresmeño (*Opuntia matudae*) en los estados de México e Hidalgo (Gallegos-Vázquez *et al.*, 2009), pero se desconoce la extensión de nopaleras silvestres con xoconostles en el país (García-Pedraza *et al.*, 2005); además las descripciones de las especies de xoconostles que se encuentran en literatura se refieren a variables morfológicas de fruto. Con base en lo anterior, se caracterizaron grupos (clases) de xoconostle recolectadas para identificar relaciones morfológicas entre 31

atributos cuantitativos de cladodio, flor y fruto, con base a directrices de UPOV (2004).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Variantes de xoconostle

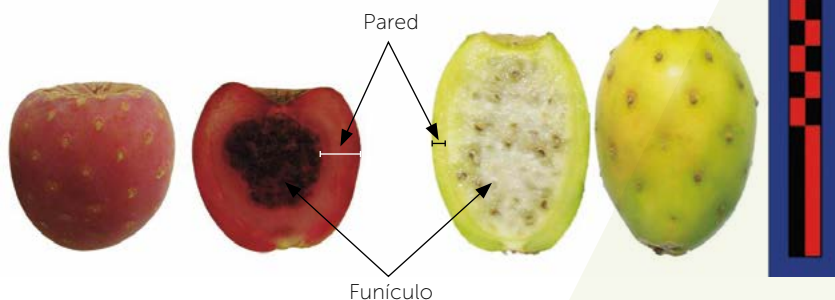
Se exploraron nopaleras silvestres del estado de Zacatecas, México, durante los meses de febrero a noviembre de 2010, con énfasis en variantes de nopal productores de xoconostle, mediante el cual se obtuvieron y documentaron 36 recolectas de xoconostle (Cuadro 1). Las variables evaluadas fueron 31 morfológicas, de las cuales, ocho describían el cladodio; cinco a la flor y 18 al fruto, de acuerdo con las pautas de la prueba para la tuna y xoconostles de UPOV (2004). Diez plantas de cada variante se usaron como repeticiones y en cada planta se midieron 10 cladodios, 20 flores y 20 frutos. Los atributos de peso y longitud se cuantificaron con balanza 'Digital Scout' con capacidad 400×0.1 y un vernier digital 'Performance Tool W m80150', según el caso. El pH y los sólidos solubles totales (°Brix) se midieron con potenciómetro digital 'HANNA®' y refractómetro digital portátil 'PR-101ATAGO PALETTE', respectivamente.

### Análisis estadístico

Se realizaron análisis multivariados de Componentes Principales (CP's) y Conglomerados con base en una matriz de datos conformada por 36 variantes biológicas y 31 atributos de xoconostle. En el primer caso, las variables se estandarizaron (media cero y varianza uno) y la matriz de correlaciones se usó para extraer los componentes principales que explicaran la varianza asociada a una variable (Gutiérrez-Acosta *et al.*, 2002). En el segundo caso, al considerar los valores propios de los dos primeros CP's y la distancia euclidiana y el método de grupos apareados no ponderados como índice de similitud y técnica de agrupamiento respectivamente, y se identificaron los grupos de variantes (Johnson, 1998). Ambos análisis se hicieron con el programa 'Multi-Variate Statistical Package Version 3.13r' (Kovach Computing Services, 2009).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El primer componente principal (CP1) explicó el 98.81% de la variación total de las 36 variantes y los 31 atributos o características cuantitativas; mientras que el CP2 explicó el 0.22% (Cuadro 2). En forma conjunta, los dos primeros



**Figura 1.** Características distintivas entre frutos de nopales productores de tuna (derecha) y xoconostle (izquierda).

**Cuadro 1.** Datos de pasaporte de las variantes silvestres de Xoconostle (*Opuntia* spp.).

Variante	Especie	Coordenadas		Altitud (m)
		Latitud	Longitud	
Chocho	<i>O. matudae</i> Scheinvar	23° 32' 10"	103° 14' 3.2"	2171
Cuaresmeño Zacatecano	<i>O. matudae</i> Scheinvar	23° 33' 7.28"	103° 12' 3.33"	2125
Apastillado	<i>O. oligacantha</i> Förster	23° 33' 37.8"	103° 12' 17"	2104
Arroyo Hondo	<i>Opuntia</i> sp.	23° 33' 57"	103° 11' 52"	2120
Café	<i>Opuntia</i> sp.	23° 33' 37.8"	103° 12' 17"	2014
Chaveñito	<i>O. sainaltense</i> sp. Nov.	23° 33' 39.9"	103° 12' 11.1"	2105
Ranchito	<i>O. joconostle</i> F.A.C. Weber	23° 33' 37.8"	103° 12' 17.3"	2104
Cuerón	<i>O. matudae</i> Scheinvar	23° 32' 07"	103° 13' 03"	2173
Cenizo	<i>O. joconostle</i> F.A.C. Weber	23° 33' 01"	103° 12' 01"	2118
Cambray	<i>O. duranguensis</i> B&R	23° 32' 16.2"	103° 14' 55"	2174
Guerito	<i>O. oligacantha</i> Förster	23° 33' 55"	103° 11' 56"	2125
Sainero	<i>O. matudae</i> Scheinvar	23° 33' 7.26"	103° 12' 3.18"	2125
Rosita	<i>Opuntia</i> sp.	23° 33' 7.26"	103° 12' 3.18"	2125
sardo	<i>O. galleguiana</i> Scheinvar & Olalde	23° 33' 55"	103° 11' 56"	2125
CV-5	<i>Opuntia</i> sp.	23° 33' 37.8"	103° 12' 17"	2104
La Virgen	<i>O. duranguensis</i> Briton & Rose	23° 33' 45.8"	103° 12' 52.3"	2147
Turbinado	<i>Opuntia</i> sp.	23° 32' 12"	103° 14' 01"	2178
Jaspeado	<i>O. duranguensis</i> × <i>O. joconostle</i>	23° 32' 04"	103° 14' 03"	2171
E-1	<i>Opuntia</i> sp.	22° 29' 33.6"	101° 59' 26.9"	2115
G-1	<i>Opuntia</i> sp.	22° 26' 7.8"	101° 51' 0.1"	2227
J-1	<i>Opuntia</i> sp.	22° 27' 16"	101° 51' 8.6"	2223
J-2	<i>Opuntia</i> sp.	22° 27' 13.7"	101° 51' 6.7"	2229
J-3	<i>Opuntia</i> sp.	22° 27' 15.5"	101° 51' 4.9"	2223
J-4	<i>Opuntia</i> sp.	22° 26' 50.6"	101° 50' 57.7"	2220
T-1	<i>Opuntia</i> sp.	22° 27' 5.9"	101° 51' 31.5"	2239
T-2	<i>Opuntia</i> sp.	22° 27' 3.3"	101° 51' 33.7"	2245
T-3	<i>Opuntia</i> sp.	22° 27' 4.3"	101° 51' 30.5"	2239
T-4	<i>O. matudae</i> Scheinvar	22° 27' 04"	101° 51' 30.6"	2238
T-6	<i>Opuntia</i> sp.	22° 27' 4.2"	101° 51' 33.6"	2245
S-1	<i>Opuntia</i> sp.	22° 25' 39.6"	101° 51' 45.9"	2254
SP1	<i>O. matudae</i> Scheinvar	21° 57' 16.6"	101° 35' 7.1"	2198
SPC1	<i>Opuntia</i> sp.	21° 56' 40"	101° 35' 33.3"	2227
SPC2	<i>Opuntia</i> sp.	21° 56' 39.5"	101° 35' 33.6"	2229
SPC3	<i>Opuntia</i> sp.	21° 56' 38.2"	101° 35' 32.3"	2232
SPC4	<i>Opuntia</i> sp.	21° 56' 39.5"	101° 35' 30.4"	2237
SPC5	<i>Opuntia</i> sp.	21° 56' 4.1"	101° 35' 38.8"	2238

Dada la complejidad de la taxonomía de *Opuntia* Mill, 21 variantes recolectadas no fueron identificadas en el marco del presente estudio. Todas están resguardadas en el Depositario Nacional de *Opuntia*, donde son objeto de estudio y documentación, incluyendo su identificación taxonómica.

CP's explicaron poco más del 99% de la variación total, de manera que la variación de su estructura puede proveer conocimiento básico sobre las relaciones entre variables y entre éstas y componentes principales. El CP1 fue definido estructuralmente por longitud y

ancho del cladodio, la relación entre ambas, grosor del cladodio, número de hileras de areolas, número de areolas en la hilera central, número de espinas en la areola central, longitud de la espina central, longitud de la flor, longitud del pericarpelo, ancho del pericarpelo,

**Cuadro 2.** Matriz de correlaciones entre las variables y los Componentes Principales.

Clave	Significado	CP1	CP2
%	Porcentaje de varianza explicado	98.811	0.222
Lc	Longitud del cladodio	<b>0.206</b>	0.058
Rc	Anchura del cladodio	<b>0.208</b>	0.056
RL/A	Relación Longitud/Anchura	<b>0.295</b>	<b>0.139</b>
GC	Grosor del cladodio	<b>0.106</b>	<b>0.114</b>
Nha	Número de hileras de Areolas	<b>0.124</b>	<b>0.193</b>
Nhac	Número de areolas en la hilera central	<b>0.146</b>	<b>0.298</b>
Nea	Número de espinas en la areola central	<b>0.105</b>	<b>0.247</b>
Lec	Longitud de la espina central (mm)	<b>0.118</b>	0.020
Nf	Número de flores	0.066	0.056
Lf	Longitud de la flor (mm)	<b>0.231</b>	0.042
Lp	Longitud del pericarpelo (mm)	<b>0.219</b>	0.024
Ap	Ancho del pericarpelo (mm)	<b>0.307</b>	0.063
Nle	Número de lóbulos del estigma	<b>0.197</b>	<b>0.192</b>
Lfr	Longitud del fruto (mm)	<b>0.158</b>	<b>-0.156</b>
Dmf	Diámetro máximo del fruto (mm)	<b>0.237</b>	<b>-0.200</b>
RL/Dm	Relación Longitud/Diámetro Máximo del fruto	<b>0.250</b>	-0.072
Daf	Densidad de las areolas del fruto	<b>0.118</b>	<b>0.199</b>
Lpf	Longitud del pedúnculo del fruto (mm)	0.030	<b>0.122</b>
Dcr	Depresión de la cicatriz del receptáculo (mm)	0.077	<b>0.194</b>
Dicr	Diámetro de la cicatriz del receptáculo (mm)	<b>0.206</b>	<b>-0.165</b>
Ec	Espesor de la cáscara (mm)	<b>0.125</b>	<b>-0.211</b>
Pt	Peso total (g)	0.084	<b>-0.273</b>
Pcf	Peso de la cáscara del fruto (g)	0.083	<b>-0.325</b>
Pp	Peso de la pulpa (g)	0.058	<b>-0.222</b>
RPp/C	Relación peso de la pulpa/cáscara	0.069	0.058
Nsd	Número de semillas completamente desarrolladas	0.054	<b>-0.298</b>
Nsa	Número de semillas abortivas	0.022	<b>-0.176</b>
Nts	Número total de semillas	0.054	<b>-0.354</b>
Ts	Tamaño de la semilla (mm)	<b>0.301</b>	<b>-0.109</b>
°Bx	Total de sólidos solubles	<b>0.212</b>	-0.061
pH	Acidez del fruto	<b>0.361</b>	0.010
Eigen- values	Valores propios	2113.58	4.747

número de lóbulos del estigma, longitud del fruto, diámetro máximo del fruto, relación longitud y diámetro máximo de fruto, densidad de las areolas del fruto, diámetro de la cicatriz del receptáculo, espesor de la cáscara, tamaño de la semilla, total de sólidos solubles de la pulpa y acidez de la cáscara. Todos estos atributos se correlacionaron positivamente entre sí. En este componente se observó que los atributos longitud de fruto y diámetro máximo del fruto se correlacionaron de manera positiva con espesor de cáscara, diámetro

de la cicatriz del receptáculo, tamaño de semilla, total de sólidos solubles de la pulpa y pH de la cáscara; es decir, a mayor longitud y diámetro del fruto, también se incrementaron estos atributos.

La estructura del CP2 fue definida por la relación longitud y anchura del cladodio, grosor del cladodio, número de hileras de areolas, número de areolas en la hilera central, número de espinas en la areola central, número de lóbulos del estigma, longitud del fruto,

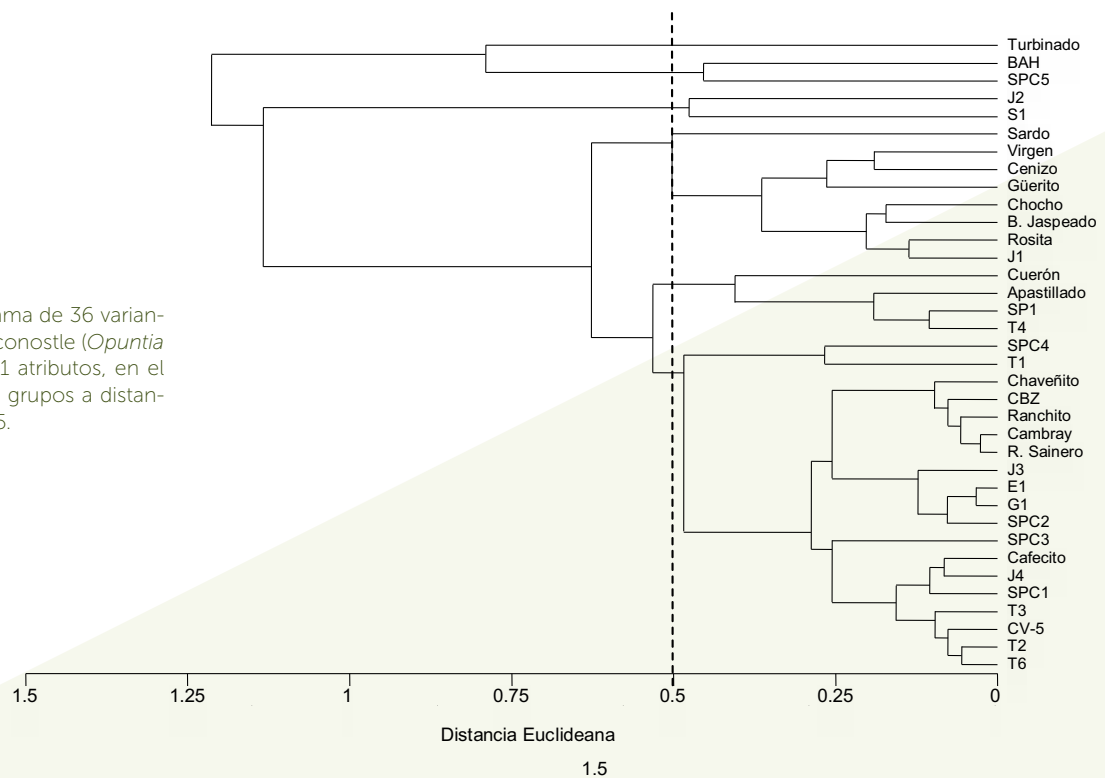
diámetro máximo del fruto, densidad de las areolas del fruto, longitud del pedúnculo del fruto, depresión de la cicatriz del receptáculo, espesor de la cáscara, peso total del fruto, peso de la cáscara del fruto, peso de pulpa, número de semillas completamente desarrolladas, número de semillas abortivas, número total de semillas y tamaño de la semilla. Estos atributos formaron dos grupos; uno integrado por atributos con signo positivo y otro por atributos con signo negativo. De esta forma, los integrantes de cada grupo se correlacionaron de manera positiva entre sí, pero negativamente con los del otro grupo. El grupo con valores positivos se conformó por los atributos relación longitud y anchura del fruto, grosor del cladodio, número de hileras de areolas, número de areolas en la hilera central, número de espinas en la areola central, número de lóbulos del estigma, densidad de las areolas del fruto, longitud del pedúnculo del fruto y depresión de la cicatriz del receptáculo. El grupo con los signos negativos estuvo integrado por longitud del fruto, diámetro máximo del fruto, depresión de la cicatriz del receptáculo, espesor de la cáscara, peso total del fruto, peso de la cáscara del fruto, peso de la pulpa, número de semillas completamente desarrolladas, número de semillas abortivas, número total de semillas y tamaño de la semilla (Cuadro 2). Los resultados del análisis de componentes principales, aun cuando es una técnica de ordenamiento, permitieron evidenciar visualmente seis posibles clases de variantes de

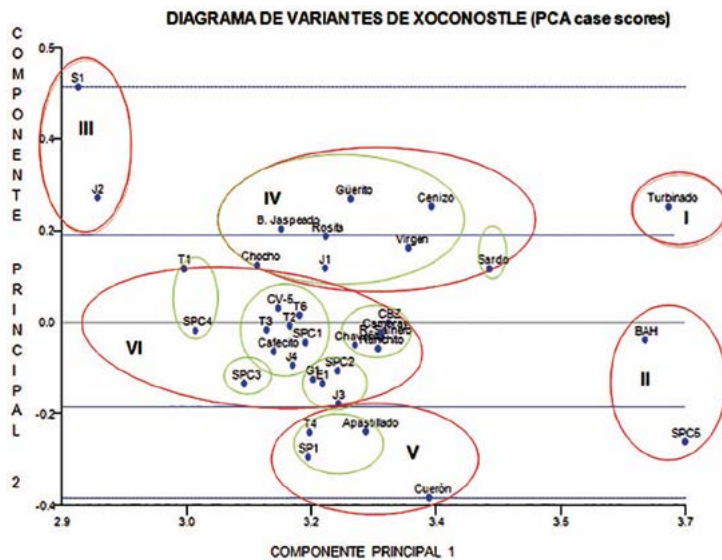
xoconostle (Figura 2). Sin embargo, la diferenciación entre grupos no se soportó estadísticamente. Por consiguiente, las estructuras de los dos primeros componentes principales se usaron para realizar el análisis de conglomerados. Este procedimiento fue usado de manera similar por Gutiérrez-Acosta *et al.* (2002) para generar clases de nopal tunero con base en atributos de fruto, así como, por Gallegos-Vázquez *et al.* (2012) en el caso de xoconostles al considerar atributos de cladodio, flor y fruto.

### Análisis de Conglomerados

Este análisis se realizó al considerar la estructura de los dos primeros CP's ya que explicaron el 99% de la varianza y pudo facilitar el proceso de identificación de clases o grupos de variantes de xoconostle sin omitir mucha información (1%) de la base de datos original. Los resultados permitieron evidenciar que, a una distancia euclídeana de 0.5, seis grandes grupos o clases de xoconostles son apreciables (Figura 3). El primer grupo con una sola variante, los grupos segundo y tercero con dos variantes cada uno, el cuarto grupo con ocho, el quinto con cuatro y el sexto con diecinueve (Figuras 2 y 3). La coincidencia de grupos evidenciados con las dos técnicas multivariadas usadas se soporta en el hecho de que el análisis de varianza mostró que a los dos primeros CP's se asocian efectos significativos ( $p < 0.01$ ) con respecto a la conformación de grupos o clases de variantes (Cuadro 3). En otras palabras, los seis grupos

**Figura 2.** Dendrograma de 36 variantes biológicas de xoconostle (*Opuntia* spp.) con base en 31 atributos, en el que se aprecian seis grupos a distancia euclídeana de 0.5.





**Figura 3.** Distribución de grupos y subgrupos de variantes de xoconostle (*Opuntia* spp.) en el espacio bidimensional definido por los dos primeros Componentes Principales.

de variantes poseen, entre sí, diferencias importantes con sus estimadores estadísticos (Cuadro 3).

El grupo I se conformó por la variante Turbinado, ya que se diferenció por el tamaño del cladodio y gran número de hileras de areolas; además, el peso del fruto fue mucho mayor en comparación con otros grupos, aunque su tamaño fue de pequeño a medio. Cerca del grupo I se encuentra el grupo II con dos variantes; Blanco Arroyo Hondo (BAH) y SPC5, cuyas características o atributos son sobresalientes en cuanto al tamaño del cladodio; los frutos de estas variantes fueron los

**Cuadro 3.** Análisis de varianza para los seis grupos al considerar los coeficientes de los dos primeros CP's extraídos de 36 variantes biológicas y 31 atributos de xoconostle (*Opuntia* spp.), así como, estadísticos básicos de los grupos conformados al usar la distancia euclidiana y método de agrupamiento por promedios apareados no ponderados.

	Entre Grupos		Dentro de Grupos		F	p
	SC	GL	SC	GL		
CP1	0.879161	5	0.121486	30	43.42040	0.000001
CP2	0.762522	5	0.237895	30	19.23177	0.000001
Estadísticos Básicos						
	Media	Desviación Estándar	Varianza			
Grupo I						
CP1	3.615500	0.0	0.0			
CP2	-0.2667	0.0	0.0			
Grupo II						
CP1	3.668667	0.026160	0.000684			
CP2	-0.014667	0.231172	0.053440			
Grupo III						
CP1	2.914500	0.017678	0.000313			
CP2	0.353500	0.153442	0.023544			
Grupo IV						
CP1	3.243000	0.082434	0.006795			
CP2	0.169429	0.052886	0.002797			
Grupo V						
CP1	3.256400	0.065190	0.004250			
CP2	-0.240600	0.069378	0.004813			
Grupo VI						
CP1	3.161000	0.059828	0.003579			
CP2	-0.040538	0.067457	0.004550			



más pesados, de tamaño medio con un valor grande de número de hileras de areolas. El grupo **III** se conformó por las variantes S1 y J2, caracterizadas por tener frutos muy pequeños con poca cantidad de semillas y poco peso, un gran número de hileras de areolas en el cladodio y la longitud de las espina fue considerablemente grande. El grupo **IV** se formó por las variantes Chocho, Blanco Jaspeado, Rosita, J1, Güerito, De la Virgen, Cenizo y Sardo.

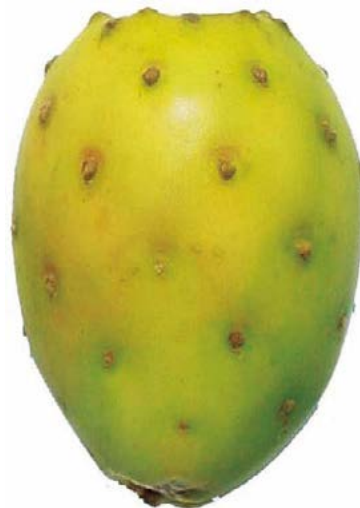
El grupo **V** compuesto por las variantes T4, SP1, Apastillado y Cuerón, ésta última se separa de las otras tres formando un subgrupo; Apastillado pertenece a la especie *O. oligacantha*, las otras tres variantes son de *O. matudae*; Cuerón se separa de las otras tres porque presenta algunos atributos como número total de semillas, número de semillas completamente desarrolladas, cantidad de sólidos solubles, grosor del cladodio, peso total del fruto, peso de cáscara y pulpa con valores relativamente mayores.

El Grupo **VI** se conformó por 19 variantes, las cuales formaron cinco subgrupos bien definidos. T1 y SPC4 formaron el primero por sus atributos longitud del fruto, la distancia entre areolas, el peso total del fruto, el peso de la cáscara, el número total de semillas y el grado de acidez. Las variantes CV-5, T6, T3, T2, SPC1, Cafecito y J4 al segundo, agrupados por características afines como la longitud y ancho del cladodio, diámetro máximo del fruto y longitud del fruto. Cuaresmeño Blanco Zacatecano (CBZ), Cambray, Rojo Sainero, Chaveñito y Del Ranchito conformaron el tercero; la agrupación se debió a valores similares de las características longitud del cladodio, longitud del fruto y peso total del fruto. Al cuarto subgrupo lo integraron SPC2, G1, E1 y J3 ya que presentaron similitud en longitud y ancho del cladodio, longitud de la espina más larga, diámetro máximo del fruto, tamaño de la semilla y pH. La variante SPC3 fue el quinto grupo diferenciado por el reducido número de cladodios con flor y la poca densidad de areolas del fruto.

Es notorio que los grupos reconocidos en el dendograma no se ajustan a la clasificación botánica actual (Scheinvar *et al.*, 2009), ya que en todos figuran dos o más de las especies reconocidas (Cuadro 1). Esto es común en *Opuntia* Mill, y la subfamilia *Opuntioideae* (Gallegos-Vázquez *et al.*, 2012). Tal apreciación está probablemente relacionada con el alto nivel de plasticidad fenotípica, poliploidía e hibridación interespecífica (Wallace y Gibson, 2002) y también a que el grupo se encuentra en un proceso activo de diferenciación, lo cual hace difícil la delimitación de las especies (Bravo-Hollis, 1978; González-Durán *et al.*, 2001). Este es el primer informe, hasta donde se sabe, en el que los resultados acotan la complejidad de la taxonomía del género *Opuntia* Mill; de hecho, 16 de las 36 variantes biológicas carecen de un reconocimiento taxonómico formal. En este contexto, se propone

que la variante Turbinado (única integrante del Grupo **I**) sea considerada como nueva especie por sus atributos morfológicos distintivos asociados a microestructuras de las espinas, glóquidas, epidermis, granos de polen, cera cuticular y semilla y otras evidencias complementarias (no presentadas en este escrito); pues en opinión de Scheinvar *et al.* (2009) son distintivas y características de cada especie. La filogenia de las 36 variantes debe definirse al considerar las de especies domesticadas y silvestres afines de nopal, e.g. *O. streptacantha*, *O. hyptiacantha*, *O. ficus-indica*, *O. megacantha* y *O. Albicarpa*, y de xoconostle, e.g. *O. Matudae*, *O. Joconostle* y *O. Oligacantha*.

Las variantes S1 y J2 (Grupo **III**), caracterizadas por frutos muy pequeños con poca cantidad de semillas y peso reducido, gran número de hileras de areolas en el cladodio y longitud grande de las espina, quieren importancia limitada para ser consideradas en programas hortofrutícolas, debido al tamaño del fruto y parte comestible (en el caso de los xoconostles es la pared –mesocarpo–) influyen sobre la calidad de la fruta (Gallegos-Vázquez *et al.*, 2012) y son dos de los principales criterios, junto con la productividad, que se han seguido dentro del proceso de domesticación de otras especies frutícolas; según Pimienta-Barrios y Muñoz-Urías (1999), la selección de tunas y xoconostles ha sido dirigida a frutos grandes y atractivos. En este contexto, las variantes del grupo **V**, tres de *O. matudae* (T4,



SP1 y Cuerón) y una de *O. oligacantha* (Apastillado), pueden ser de gran interés frutícola; en especial, Cuerón se distingue por valores grandes de algunos atributos como número total de semillas, número de semillas completamente desarrolladas, la cantidad de sólidos solubles, el grosor del cladodio, además sobresale por el peso total del fruto, peso de cáscara y pulpa.

El Grupo **VI**, integrado por 19 variantes que forman cinco subgrupos, posee también perspectivas interesantes. Los subgrupos 1 (T1 y SPC4) y 5 (SPC3) se conformaron por variantes con valores grandes de atributos como densidad y número de areolas, número de frutos y número de cladodios con flores. Dado que las areolas son estructuras homólogas a las yemas axilares (González-Duran *et al.*, 2001) pueden dar origen a hojas, espinas, glóquidas, flores y tallos si se ubican en las partes aéreas, o desarrollar raíces si se encuentran en contacto con el suelo (Bravo-Hollis, 1978). Además, la densidad de areolas, número de hileras de areolas y el número de areolas en la hilera central definen al número de areolas de la corona de la penca y, por lo tanto, se pueden relacionar con la emisión potencial de brotes florales; es decir, son variantes con atributos deseables para posibles fines de propagación y producción de frutos.

Durante los siglos de la selección informal de los nopales productores de xoconostle por agricultores mexicanos, el interés se centró en el sabor ácido de las paredes de su fruto, frutos grandes y plantas productivas (Gallegos-Vázquez *et al.*, 2012). En este estudio se evidenció que las 36 variantes de xoconostle presentaron niveles de acidez (pH 2.85 a 3.98) similares o inferiores que la variedad Cuaresmeño (pH=3.03; *O. matudae*), el de mayor importancia comercial por su demanda (Gallegos-Vázquez *et al.*, 2009) y producido en huertas comerciales del Estados de México e Hidalgo. Aún en la actualidad, los consumidores otorgan atención especial al valor nutrimental de los productos hortícolas. Ello ha generado la tendencia a producir alimentos con calidad nutritiva y funcional, como tuna y xoconostle (Cevallos-Cassals y Cisneros-Zeballos, 2004). Sin embargo, el consumo de xoconostles en México sigue la tendencia de las especias y condimentos; la adición de xoconostle fresco y picado en salsas y platos salados modifica gratamente el sabor y atrae aún más al consumidor. En las zonas semiáridas de México, el xocostle representa un complemento y añade interés a las dietas cotidianas con base en maíz y frijol (Galle-

gos-Vázquez *et al.*, 2012). Por consiguiente, la diversidad evidenciada, con respecto al pH del extracto de la cáscara, debe seguir siendo preservada. Los resultados indican que en trabajos futuros se puede evidenciar la diversidad de posibles atributos nutritivos y funcionales de las 36 variantes, así como, la identificación de ingredientes activos y sus efectos sobre enfermedades degenerativas como diabetes mellitus, un problema de salud pública en aumento. Asimismo, pueden dar lugar a la identificación de posibles propiedades anticancerígenas, hipoglucémicas, de control del colesterol y reductoras de peso corporal (Cassiana-Paiz *et al.*, 2010; Pimienta-Barrios *et al.*, 2008; Guzmán-Maldonado *et al.*, 2010). También, es recomendable tomar como base a la diversidad de xoconostle para desarrollar nuevos productos procesados.

## CONCLUSIONES

Los dos primeros componentes principales (CP's) explicaron el 99% de la variación total de las 36 variantes de nopales productores de xoconostle y los 31 atributos cuantitativos evaluados. Las estructuras de esos CP's proveen conocimiento básico sobre las relaciones entre variables. A una distancia euclidiana (índice de similitud) de 0.5 se definieron seis grupos con base en características de cladodio, flor y fruto. El grupo **V** permitió agrupar a las variantes SP1, T4, Cuerón y Apastillado; las tres primeras corresponden a *O. matudae* y la última a *O. oligacantha*. Esas variantes poseen características de interés hortícola, en especial, peso de fruto, pulpa y cáscara (pared). Esta información puede ser útil para la selección de variantes de xoconostles con fines hortícolas. Es notorio que los grupos (o clases) reconocidos en el dendrograma no se ajustan a la clasificación botánica actual. Por lo tanto, se sugiere generar la clasificación de xoconostles con base en atributos morfométricos y genéticos que los distinguen.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece el financiamiento al Sistema Nacional de Recursos Filogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (SINAREFI-SNICS-SAGARPA); a través de la Red de Nopal (FRU-NOP-09-5) y al Programa de Fruticultura de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) (09230204).

## LITERATURA CITADA

Ávalos-Andrade A., Ramírez-Cordova Y., Goytia-Jimenez M.A., Barrientos-Priego A.F., Saucedo-Veloz C. 2006. Etileno en la abscisión del fruto de tres especies del género *Opuntia*. Revista Chapingo, Serie Horticultura 12: 117-123.



- Bravo-Hollis H. 1978. Las cactáceas de México. Vol I Universidad Nacional Autónoma de México. 2ª Edición. México, D.F. 743 p.
- Cassiana-Paiz R., Juárez-Flores B.I., Aguirre Rivera J.R., Cárdenas Ortega N.C.; Reyes-Agüero J.A. 2010. Glucose-lowering effect of xoconostle (*Opuntia joconostle* A. Web., Cactaceae) in diabetic rats. *J. of Medicinal Plants Research* 4(22): 2326-2333.
- Cevallos-Casals B., Cisneros-Zevallos L. 2004. Stability of anthocyanin-based aqueous extracts of Andean purple corn and red-fleshed sweet potato compared to synthetic and natural colorants. *Food Chem.* 86: 69.
- Gallegos-Vázquez C., Mondragón-Jacobo C., Reyes-Agüero J.A. 2009. An update on the evolution of the cactus pear industry in Mexico. *Acta Horticulturae* 811: 69-76.
- Gallegos-Vázquez C., Barrientos-Priego A.F., Reyes-Agüero J.A., Núñez-Colín C.A., Mondragón-Jacobo C. 2011. Clusters of commercial varieties of cactus pear and xoconostle using UPOV morphological traits. *J. PACD* 13: 10-23.
- Gallegos-Vázquez C., Scheinvar L., Núñez-Colín C.A., Mondragón-Jacobo C. 2012. Morphological diversity of xoconostles (*Opuntia* spp.) or acidic cactus pears: a Mexican contribution to functional foods. *Fruits* 67(2): 4-20.
- García-Pedraza L.G., Reyes-Agüero J.A., Aguirre-Rivera J.R., Pinos-Rodríguez J.M. 2005. Preliminary nutritional and organoleptic assessment of xoconostle fruit (*Opuntia* spp.) as a condiment or appetizer. *Ital. J. Food Sci.* 17(3): 333-340.
- González-Duran A., Riojas-López M.E., Arreola-Nava H.J. 2001. El Género *Opuntia* en Jalisco, Guía de Campo. Universidad de Guadalajara, CONABIO. Guadalajara, México. 135 p.
- Gutiérrez-Acosta F., Valdez-Cepeda R.D., Blanco-Macías F. 2002. Multivariate analysis of cactus pear (*Opuntia* spp.) fruits from a germplasm collection. *Acta Horticulturae* 581: 111-118.
- Guzmán-Maldonado S.H., Morales-Montelongo A.L., Mondragón-Jacobo C., Herrera-Hernández M.G., Guevara-Lara F., Reynoso-Camacho R. 2010. Physicochemical, nutritional and functional characterization of fruits xoconostle (*Opuntia matudae*) pears from central-Mexico region. *J. Food Sci.* 75: 485-491.
- Johnson D.E. 1998. Métodos Multivariados Aplicados al Análisis de Datos. D.F., México: International Thompson Editores.
- Kovach Computing Services. 2009. Multi-Variate Statistical Package Version 3.13r. <http://www.kovcomp.com>
- Pimienta-Barrios E., Méndez-Morán L., Ramírez-Hernández B.C., García De Alba-García J.E., Domínguez-Arias R.M. 2008. Efecto de la Ingestión del fruto de xoconostle (*Opuntia joconostle* Web.) sobre la glucosa y lípidos séricos. *Agrociencia* 42: 645-653.
- Pimienta-Barrios E., Muñoz-Urías A. 1999. Domesticación de nopales tuneros (*Opuntia* spp.) y descripción de las principales variedades cultivadas, in: Barbera G., Inglese P., Pimienta-Barrios E. (Eds.), *Agroecología, cultivo y usos del nopal*, Estud. FAO, Ser. Prod. Prot. Veg. 132. Rome, Italy. pp. 61-67.
- Sánchez-Vanegas G., Ortega-Delgado M.L. 1996. Componentes químicos durante la maduración del fruto de *Opuntia joconostle* Weber forma cuaresmeño. *Agrociencia* 30: 541-548.
- Scheinvar L., Filardo-Kerstupp S., Olalde-Parra G., Zavaleta-Beckler P. 2009. Diez especies mexicanas productoras de xoconostles: *Opuntia* spp. y *Cylindropuntia imbricata* (Cactaceae). Universidad Nacional Autónoma de México-Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo-Universidad Autónoma Metropolitana. México, D. F. 179 p.
- UPOV. 2004. Cactus Pear and Xoconostles (*Opuntia*, Groups 1 & 2), Guidelines for the Conduct of Tests for Distinctness, Uniformity and Stability. TG/217/1. Geneva: International Union for the Protection of New Varieties of Plants.
- Wallace R.S., Gibson A.C. 2002. Evolution and systematic, in: Nobel P.S. (Ed.), *Cacti: biology and uses*, Univ. Calif. Press, Berkeley, U.S.A. pp. 1-22.

