



Universidad Nacional Autónoma de México

---

---

Facultad de Ciencias

**CARACTERIZACIÓN DE ALGUNAS ESPECIES DE NOPALES  
ENDÉMICOS DE MÉXICO, PRODUCTORES DE XOCONOSTLES Y/O  
XOCOTUNAS, CON BASE A SU PH Y GRADOS BRIX**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**BIÓLOGA**

**PRESENTA:**

**VIOLETA YELIZTLI MORALES HUITRÓN**

**DIRECTORA DE TESIS:**

**DRA. LÉIA AKCELRAD LERNER DE SCHEINVAR**

**Ciudad Universitaria, D.F. 2014**





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Hoja de datos del jurado

1. Datos del alumno  
Morales  
Huitrón  
Violeta Yeliztli  
53353419  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Ciencias  
Biología  
302340541
2. Datos del tutor  
Dra.  
Léia  
Akcelrad  
Lerner
3. Datos del sinodal 1  
Dra.  
Patricia  
Guevara  
Fefer
4. Datos del sinodal 2  
M. en C.  
Octavio  
González  
Caballero
5. Datos del sinodal 3  
Dra.  
Léia  
Akcelrad  
Lerner
6. Datos del sinodal 4  
M. en C.  
Daniel  
Sánchez  
Carbajal
7. Datos del sinodal 5  
Biol.  
Gabriel  
Olalde  
Parra
8. Datos del trabajo escrito  
Caracterización de algunas especies de nopales endémicos de México, productores de  
xoconostles y/o xocotunas, con base a su pH y Grados Brix  
75p.  
2014

## **AGRADECIMIENTOS**

1. A la Dra. Leia Scheinvar por su paciencia, apoyo y colaboración en la elaboración del presente trabajo.
2. A el Biol. Gabriel Olalde Parra por el apoyo incondicional y orientación.
3. A la Biol. Adriana por su ayuda con la parte estadística.
4. Al Jardín Botánico del IB-UNAM.
5. A SAGARPA y Conabio por el apoyo económico.
6. Al Dr. Clemente Gallegos por sus comentarios enriquecedores.
7. A mis compañeros del Laboratorio de Cactología por su apoyo (Sarai, Eduardo, Dulce y Marlenne).
8. A la Biol. Bárbara por su sincero apoyo.
9. Al laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales del Jardín Botánico del Ib-UNAM.
10. A la Facultad de Ciencias de la UNAM.

## ÍNDICE

I. Resumen .....	5
II. Introducción.....	7
II. 1. La familia Cactaceae y el género Opuntia .....	8
II. 2. Tunas.....	11
II. 3. Xoconostles y/o Xoco-tunas .....	13
II. 4. Importancia económica de las tunas y xoconostles.....	15
II. 5. Potencial de Hidrógeno (pH).....	17
II. 6. Grados Brix (°Bx) .....	18
III. Justificación.....	20
IV. Antecedentes .....	20
V. Objetivos .....	277
V.1.Objetivo General .....	277
V.2. Objetivos Particulares.....	278
VI. Materiales y Métodos .....	28
VI. 1. Trabajo de campo .....	28
VI. 2. Trabajo de laboratorio .....	38
VI. 3. Trabajo de gabinete.....	42
VII. Resultados y Discusión.....	43
VIII. Conclusiones .....	61
IX. Literatura citada .....	64

## INDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Imagen 1.</b> Partes de una tuna.....	13
<b>Imagen 2.</b> Partes de un xoconostle. ....	14
<b>Imagen 3.</b> Partes de una xoco-tuna.....	15
<b>Imagen 4.</b> <i>Opuntia joconostle</i> : hábito. ....	29
<b>Imagen 5.</b> <i>Opuntia joconostle</i> : cladodio con frutos. ....	29
<b>Imagen 6.</b> <i>Opuntia joconostle</i> : corte del fruto. ....	30
<b>Imagen 7.</b> <i>Opuntia matudae</i> : hábito.....	30
<b>Imagen 8.</b> <i>Opuntia matudae</i> : cladodio con frutos. ....	31
<b>Imagen 9.</b> <i>Opuntia matudae</i> : corte del fruto.....	31
<b>Imagen 10.</b> <i>Opuntia heliabravoana</i> : hábito. ....	32
<b>Imagen 11.</b> <i>Opuntia heliabravoana</i> : cladodio con frutos. ....	32
<b>Imagen 12.</b> <i>Opuntia heliabravoana</i> : corte del fruto. ....	33
<b>Imagen 13.</b> <i>Opuntia albicarpa</i> : hábito. ....	33
<b>Imagen 14.</b> <i>Opuntia albicarpa</i> : cladodio com frutos.....	34
<b>Imagen 15.</b> <i>Opuntia albicarpa</i> : corte del fruto. ....	34
<b>Imagen 16.</b> <i>Opuntia ficus-indica</i> : hábito.....	35
<b>Imagen 17.</b> <i>Opuntia ficus-indica</i> : cladodio con frutos. ....	35
<b>Imagen 18.</b> <i>Opuntia ficus-indica</i> : corte del fruto.....	36
<b>Imagen 19.</b> Cladodios plantados en el camellón número 6 de la “Colección Nacional de Nopales Silvestres Mexicanos” del Jardín Botánico del IB-UNAM. ...	38
<b>Imagen 20.</b> Vasos pequeños en los que se vertió el jugo de los funículos y de las paredes de los frutos estudiados para posteriormente medir su pH y °Bx. ....	40

<b>Figura 1.</b> Escala de pH (Página en red, 1999-2011: <a href="http://www.botanical-online.com/ph.htm">http://www.botanical-online.com/ph.htm</a> ).....	17
<b>Figura 2.</b> Sistema Transparente de refracción.....	19
<b>Figura 3.</b> Camellón núm. 6, donde se plantaron los nopales traídos de los estados de México e Hidalgo.....	39
<b>Gráfica 1.</b> Gráfica de caja del potencial de Hidrógeno (pH) de las paredes del fruto por especie.....	45
<b>Gráfica 2.</b> Gráfica de caja del potencial de hidrógeno (pH) de los funículos de los frutos por especie.....	48
<b>Gráfica 3.</b> Gráfica de caja de los Grados Brix (°Bx) de las paredes de los frutos por especie.....	51
<b>Gráfica 4.</b> Gráfica de caja de los Grados Brix (°Bx) de los funículos de los frutos por especie.....	54
<b>Diagrama 1.</b> Diagrama de árbol del potencial de hidrógeno (pH) de las paredes de los frutos de las 5 especies estudiadas.....	46
<b>Diagrama 2.</b> Diagrama de árbol sobre el potencial de Hidrógeno (pH) de los funículos de los frutos de las 5 especies estudiadas.....	49
<b>Diagrama 3.</b> Diagrama de árbol de los Grados Brix (°Bx) de las paredes de los frutos de las cinco especies. ....	52
<b>Diagrama 4.</b> Diagrama de árbol de los Grados Brix (°Bx) de los funículos de los frutos de las cinco especies. ....	54

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Ejemplo de las tablas generadas con los valores obtenidos de pH y °Bx. .....	41
<b>Tabla 2.</b> Potencial de hidrógeno (pH) de las paredes de los frutos por especie estudiada.....	43
<b>Tabla 3.</b> Potencial de hidrógeno (pH) de los funículos de los frutos por especie..	47
<b>Tabla 4.</b> Grados Brix (°Bx) de las paredes de los frutos por especie.....	50
<b>Tabla 5.</b> Grados Brix (°Bx) de los funículos de los frutos de las especies estudiadas.....	53
<b>Tabla 6.</b> Escala de pH y °Bx, para xoconostles, tunas y xoco-tunas propuesta en esta investigación.....	57

## I. Resumen

En la presente investigación se caracterizó, determinó y analizó estadísticamente el Potencial de Hidrógeno (pH) y los Grados Brix ( $^{\circ}\text{Bx}$ ) de nopales productores de xoconostles y/o xocotunas: *O. matudae* Scheinvar, *O. joconostle* F.A.C. Weber ex Diguet y *O. heliabravoana* Scheinvar, y como control, dos especies productoras de tunas: *O. albicarpa* Scheinvar y *O. ficus-indica* (L.) Mill., procedentes de los estados de Hidalgo y del Estado de México. Se realizó una excursión de colecta en temporada de fructificación (Julio, 2013). Las plantas se eligieron aleatoriamente, de un total de 25 individuos, se colectaron 10 frutos y cuatro pencas de cada planta. Dos pencas para ser herborizadas y las otras dos, para cultivarlas *ex situ* en la “Colección Nacional de Nopales Silvestres Mexicanos”, del Jardín Botánico del IB-UNAM. Los frutos fueron seccionados y se obtuvo un extracto de la pared del fruto y otro de los funículos.

Para los análisis de los  $^{\circ}\text{Bx}$  se utilizó un refractómetro manual y para los análisis del pH, un potenciómetro. Para realizar el análisis estadístico se utilizó el programa STATISTICA 6.0.

A partir de los análisis de las muestras, los valores obtenidos fueron evaluados con estadística descriptiva e inferencial: ANOVA (análisis de varianzas), prueba de Tukey HSD, Gráficas de caja y Diagramas de árbol basados en la distancia euclidiana. En el ANOVA se encontraron diferencias significativas entre los xoconostles y las tunas, y, se encontró que la especie *O. heliabravoana* posee características intermedias entre tunas y xoconostles, es decir, se trata de una especie de xoco-tuna. La prueba de  $p$  resultó ser  $< 0.05$  para las cuatro variables

estudiadas: pH de las paredes de los frutos, pH de los funículos, °Bx de las paredes de los frutos y °Bx de los funículos. Para corroborar lo anterior se realizó la prueba de Tukey HSD. Se concluyó que son significativas las diferencias de los pH en las especies estudiadas, así como las diferencias en los valores de °Bx. Se determinó que el rango del pH en las paredes de los xoconostles es de 2.7 a 4.15; de las tunas: 3.97 a 5.15; y de las xocotunas: es de 3.7 a 4.38. Con relación al rango de °Bx, para las paredes de los xoconostles, es 3.8 a 6.; para las paredes de las tunas, es de 4. a 9.; y para las paredes de las xocotunas: de 4.2 a 8.

Mediante los diagramas de árbol, se determinó que la especie que presenta mayor diferencia significativa, tanto en sus valores de pH como para sus valores de °Bx, fue *O. ficus-indica*. Mientras que las demás especies, aunque presentan diferencias, no resultaron tan marcadas. En general, *O. matudae* y *O. joconostle*, forman un grupo; y *O. albicarpa* y *O. ficus-indica*, forman otro grupo. *O. heliabravoana* se presenta en ocasiones agrupada con los joconostles (pH) y con relación a los °Bx, se asocia con las tunas.

## II. Introducción

La familia *Cactaceae* está integrada por 1500-2000 especies y es nativa del Continente Americano, desde Canadá hasta América del Sur, en Chile y Argentina en donde se encuentra distribuida principalmente en las regiones áridas y semiáridas, aunque también se encuentran en zonas húmedas como epífitas (Bravo-Hollis y Scheinvar, 1995). Sin embargo, existe una excepción: *Rhipsalis baccifera*, que es una cactácea epífita que además se encuentra en la región de África tropical, Madagascar, en islas del Océano Índico y en Sri Lanka (Anderson *et al.*, 2001).

México, por sus peculiares condiciones de latitud, topografía, clima y suelo, alberga aproximadamente 850 especies de cactáceas que caracterizan sus zonas áridas y semiáridas. Las cactáceas han sido motivo de atención en nuestro país desde tiempos remotos por sus diversos usos, entre los que destacan: elaboración de dulces típicos como el acitrón, fabricación de jabones de tocador, como plantas ornamentales, cercas vivas, utilización de los cladodios juveniles de los nopales como verdura y forraje, la producción de frutas dulces y ácidas, así como en la medicina y el arte entre otros. Además, el Género *Opuntia* es muy diverso y abundante, por lo que de acuerdo con Prieto *et al.* (2008), el Desierto Chihuahuense constituye el “Gran Tunal”.

La historia y el folclore registran la importancia que adquirieron entre las tribus prehispánicas según se deduce de sus tradiciones, teogonías y códices (Bravo-Hollis, 1978; Bravo-Hollis y Scheinvar, 1995). Para las antiguas tribus nómadas de México, los nopales constituyeron uno de los factores en la transformación de sus

comunidades recolectoras a sedentarias, ya que distintas etnias errantes concurrían en época de fructificación a las zonas habitadas por éstas plantas, propiciando el establecimiento de su residencia y el inicio de sus actividades agrícolas, lo que en muchos casos determinó la formación de núcleos de población (Scheinvar *et al.*, 2009).

Dentro de la familia de las cactáceas, los habitantes de zonas áridas y semiáridas reconocen a los nopales productores de tunas, xoconostles y/o xocotunas. Su identificación taxonómica ha sido difícil principalmente por la presencia de numerosos híbridos y no se cuenta con buenas claves dicotómicas. Por tales motivos se planteó la elaboración del presente proyecto, que será un apoyo a la identificación taxonómica de las especies estudiadas (Scheinvar *et al.*, 2009).

## **II. 1. La familia Cactaceae y el género Opuntia**

Las cactáceas son dicotiledóneas que poseen aréolas, que son regiones meristemáticas que pueden originar el desarrollo de raíces, ramas, espinas y flores; están adaptadas al medio árido y desértico en que la mayoría crece. Tienen estructuras altamente especializadas para la absorción y retención de agua, como tallos modificados. Otras están adaptadas a la vida epífita o trepadora en las selvas tropicales húmedas (Bravo-Hollis, 1978).

La familia Cactaceae comprende cuatro subfamilias: Pereskioideae K. Schum, Maihuenioideae P. Fearn, Opuntioideae K. Schum y Cactoideae Kreinz (Anderson *et al.*, 2001).

La familia Cactaceae abarca entre 100 y 110 géneros. En México se encuentran alrededor de 51 géneros y aproximadamente 850 especies (Bravo, 1978). Además, se estima que cerca del 80% de especies reconocidas para el territorio nacional son endémicas (Arias *et al.*, 1997).

Las plantas de la familia Cactaceae son arborescentes, arbustivas, rastreras, trepadoras o epífitas, suculentas y perennes. *Tronco* presente o ausente. *Raíces* fibrosas o tuberosas. *Tallos* articulados o no, cilíndricos, globosos, columnares, en forma de cladodios (nopales) o de filoclados (plantas epífitas), variables en dimensiones y formas. *Aréolas* dispuestas en series espiraladas, con o sin tubérculos prominentes, coalescentes, formando costillas o alas. *Hojas* laminares, presentes en las especies más primitivas, reducidas en tamaño y subuladas y deciduas en plantas juveniles de la subfamilia Opuntioideae, y vestigiales, como escamas en especies de la subfamilia Cactoideae, más evolucionadas (derivadas). *Epidermis* glabra o pubescente, con tricomas pilosos o verrugosos. *Espinas* variables en número, tamaño, forma, consistencia y color, a veces dispuestas alrededor de la aréola: radiales, y en el centro, centrales. *Glóquidas* solo presentes en la subfamilia Opuntioideae. *Flores* generalmente solitarias o en inflorescencia, diurnas, vespertinas o nocturnas, bisexuales raramente, fisiológicamente unisexuales, sésiles o pedunculadas; de tamaño variable, actinomorfas o pseudozigomorfas por curvatura del tubo receptacular o por el apoyo de los estambres a un lado del perianto; pericarpelo y tubo receptacular largo o inconspicuo (tallo modificado); con o sin podarios marcados, aréolas (a veces muy reducidas o ausentes) con o sin escamas basales, tricomas, cerdas,

espinas y/o espinas setosas; estambres numerosos, anteras biloculares, ovario ínfero (rara vez súpero), unilocular, estilo simple, estigma dividido en lóbulos. *Frutos* carnosos como baya, semicarnosos o secos, dehiscentes, indehiscentes o delicuescentes; paredes exteriores del pericarpelo con podarios presentes o ausentes, aréolas presentes o ausentes, cuando presentes con o sin escamas basales, con o sin tricomas, cerdas, glóquidas (subfamilia Opuntioideae) y/o espinas, persistentes o deciduas en el género *Stenocereus*. *Semillas* numerosas o escasas, lenticulares, subglobosas, globosas, obovadas o reniformes, testa lisa u ornamentada, arilo presente en la subfamilia Opuntioideae (Scheinvar, com. pers., 2012). Número cromosómico básico  $x=11$  (Pinkava, 2002).

Es importante considerar las funciones ecológicas que desempeñan las cactáceas, tales como fuente de agua, alimento, medicina, forraje y albergue para especies animales, entre otras. En los ecosistemas de regiones áridas y semiáridas del continente Americano, este grupo de plantas son cruciales para la estabilidad de los mismos. Por eso es necesario desarrollar investigaciones que permitan su preservación, aprovechamiento, restauración y reforestación ecológica (Scheinvar *et al.*, 2004).

Los nopales se encuentran en la subfamilia Opuntioideae. 93 especies endémicas mexicanas de nopales son del género *Opuntia* y 10 son del género *Nopalea* (Bravo-Hollis, 1978; Scheinvar, 2013).

El género *Opuntia* es uno de los géneros más importantes de cactáceas en México, debido a sus múltiples usos, se caracteriza por la presencia de glóquidas (ahuates, en náhuatl) en sus aréolas; presencia de hojas reducidas en cladodios

juveniles, subuladas, decíduas; granos de polen poliédricos, periporados, reticulados, tallos verdes, aplanados y encadenados, en forma de cladodios fotosintéticos articulados (Bravo-Hollis, 1978).

México es un centro de diversificación del género *Opuntia*; en el Desierto Chihuahuense el 90% de las especies de éste género son endémicas (Scheinvar *et al.*, 2009). De las 91 especies mexicanas de nopales consideradas por Scheinvar *et al.* (2013), 69 son endémicas, así como sus 23 variedades o subespecies y diez son de distribución restringida o microendémicas. La mayoría produce tunas dulces y a la fecha se han detectado más de veinte especies que producen xoconostles (en náhuatl, *xoco*=ácido y *nochtli*=tuna) y/o xocotunas (frutos agridulces), probablemente de origen híbrido (Scheinvar *et al.*, 2009).

## II. 2. Tunas

Los antiguos mexicanos desarrollaron el cultivo del nopal valiéndose de las poblaciones silvestres; el resultado es una planta de uso múltiple de la cual se aprovechan los cladodios juveniles como verdura (nopalitos), las pencas maduras como forraje y la fruta dulce como fruta de mesa (tunas). Las tunas dulces provienen de varias especies del género *Opuntia*: *O. albicarpa*, *O. robusta*, *O. undulata*, *O. amarilla* (Gallegos C. y C. Mondragón, 2011).

El nopal tunero es un cultivo que ha sido promovido por instancias gubernamentales en un afán de disminuir las presiones sociales y económicas derivadas de la baja productividad de las zonas semiáridas y como opción productiva en áreas afectadas por la desertificación (Gallegos *et al.*, 2013).

La tuna está constituida por una cáscara delgada y la porción comestible, que incluye pulpa y semillas (Imagen 1), cuya porción varía en función del estado fisiológico del fruto, la variedad, así como de factores ambientales y agronómicos (Gallegos *et al.*, 2013).

Diversos estudios realizados, tanto a nivel nacional como internacional, han demostrado que la tuna puede ser considerada entre las frutas más nutritivas y saludables. Contiene polifenoles, flavonoides, betalaínas y vitamina C, compuestos que le confieren propiedades antioxidantes y reducen con ello el riesgo de cáncer, diabetes, problemas cardiovasculares y enfermedades degenerativas (Gallegos *et al.*, 2013).

De la tuna es posible obtener directamente jugos y néctares, bebidas fermentadas y destiladas, licor, dulces, jaleas, mermeladas, tuna cristalizada, confitados, rodajas deshidratadas, shampoos y cremas. También se puede utilizar en la preparación de helados, yogurt y aguas frescas (Gallegos *et al.*, 2013). Las flores también han sido usadas como medicinas, para combatir diversas enfermedades, entre ellas de los riñones, y encapsuladas para combatir enfermedades de la próstata (Scheinvar, com. pers., 2014).

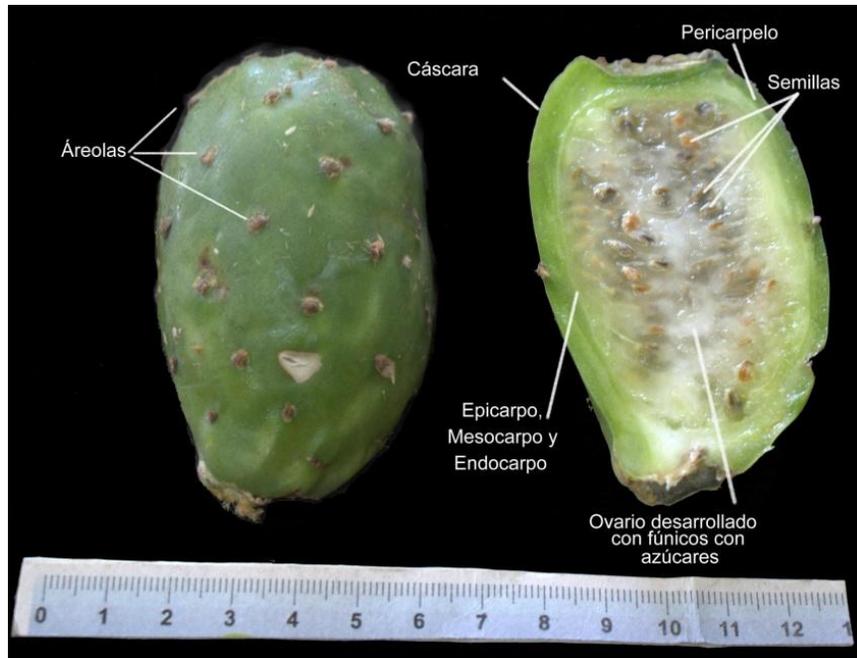


Imagen 1. *O. albicarpa* Scheinvar. Izq. Vista exterior. Der. Corte longitudinal.

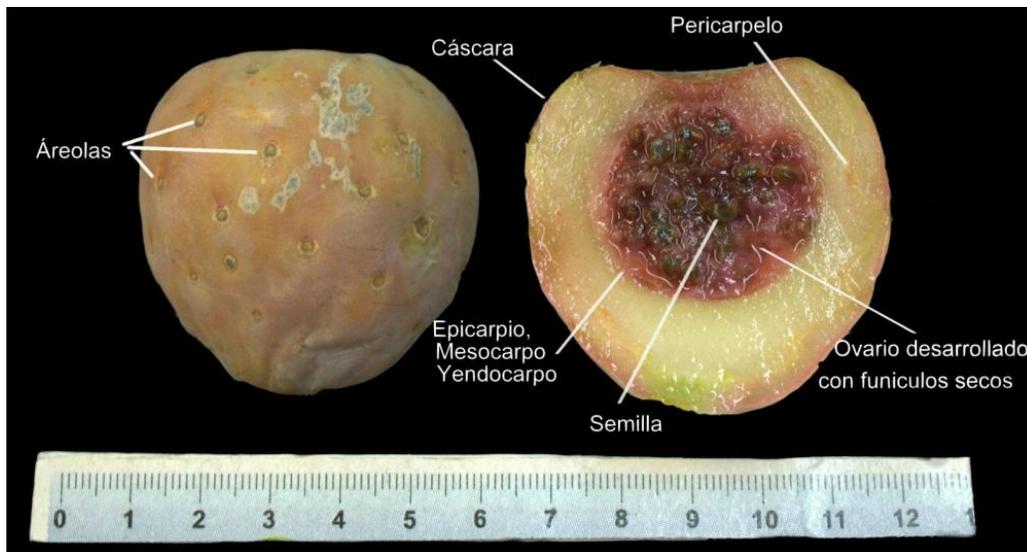
### II. 3. Xoconostles y/o Xoco-tunas

Los xoconostles se producen en las zonas áridas y semiáridas de la República Mexicana (Scheinvar *et al.*, 2009).

Los xoconostles y/o xoco-tunas se distinguen fácilmente de las tunas. En un xoconostle, las paredes son muy anchas y su sabor es ácido, mientras que las paredes de las tunas son delgadas (Scheinvar *et al.*, 2009).

Los xoconostles tienen una cutícula exterior muy delgada, que no se separa del fruto con facilidad y puede ser ingerida junto con las paredes del fruto, su composición química es distinta a las paredes interiores que son gruesas. En los xoconostles las semillas se ubican en el centro del fruto y sus funículos son secos, a veces semisecos (Imagen 2). Los xoconostles y/o xoco-tunas no se desprenden de los cladodios al madurar por no poseer el etileno que determina la abscisión de

las tunas dulces y pueden persistir sobre los cladodios durante mucho tiempo, hasta por un año (Ávalos-Andrade *et al.* 2006).



**Imagen 2.** *O. joconostle* F.A.C.Weber. Izq. Vista exterior. Der. Corte longitudinal.

Se han encontrado cultivos de xoconostles semidulces o agridulces que se consumen como fruta de mesa, lo que sugiere un probable híbrido entre una especie productora de tunas dulces y otra de xoconostles (xoco-tuna) (Imagen 3). El vocablo xoco-tuna es tradicionalmente utilizado por comunidades rurales de Otumba, Estado de México, para frutos de nopales con poca pulpa y sabor agridulce.

Los xoconostles se utilizan tanto en la alimentación humana, como también en la medicina tradicional, ya que sus efectos se consideran más potentes que los producidos por el uso de extracto de frutos dulces (Scheinvar *et al.*, 2009).



**Imagen 3.** *O. heliabravoana* Scheinvar. Izq. Vista exterior. Der. Corte longitudinal.

#### **II. 4. Importancia económica de las tunas y xoconostles.**

Las tunas se utilizan en la fabricación del colonche (bebida fermentada), melcocha (mermelada) y queso de tuna (como un ate). Tanto las tunas como los xoconostles son utilizados en la fabricación de dulces cristalizados, mermeladas, bebidas y licores, como verdura, fruta fresca y como forraje, por lo tanto representan un gran potencial económico. Los xoconostles se utilizan como condimento en la comida mexicana.

En el campo existen pequeñas agroindustrias particulares que elaboran algunos de los productos arriba referidos. Éstas, necesitan apoyo para invertir, prosperar y al mismo tiempo, contribuir al afianzamiento de los productores a sus tierras, así como a la construcción de pequeñas industrias higiénicas, con control de calidad y apoyo en su comercialización. Estas labores son en general realizadas por

mujeres, ya que en muchos casos son amas de casa y requieren de una entrada extra de dinero para el sustento de su familia (Scheinvar, com. pers., 2014).

Existen varios trabajos sobre la producción de nopales como verdura y forraje; realizados por Gallegos y Mondragón (2011). Scheinvar *et al.* (1999) han realizado estudios de biosistemática y sobre el potencial económico de este importante recurso. A pesar de sus cualidades, su utilización y producción está restringida a determinadas regiones geográficas, en zonas áridas y semiáridas de México (Zavaleta-Berckler *et al.*, 2001).

Asimismo, Hernández (1990) anota que los habitantes de las regiones semiáridas del centro de México consumen frutos de xoconostle con el objeto de controlar algunas afecciones, como presión arterial, diabetes, fiebre, gripe, dolor e inflamación de garganta. Los xoconostles constituyen un medicamento muy eficaz en el tratamiento de la reducción de los niveles de colesterol y triglicéridos, además se les considera hipoglucemiantes y que controlan el peso corporal. Las pencas deshidratadas y molidas se venden en México en cápsulas, en tabletas o como tés, sin embargo aún hacen falta estudios científicos que confirmen las cualidades reconocidas popularmente (Scheinvar *et al.*, 2009).

Programas gubernamentales que tienen como objetivo contribuir al cultivo de nopales productores de xoconostles, como los que se llevaron a cabo en Zacatecas, Coahuila, Nuevo León, Guanajuato, Querétaro, etc., tienen además un enfoque social, ofreciendo empleo temporal a los campesinos de los lugares donde se realizan y abriendo oportunidades para su comercialización y consecuente arraigo a sus tierras (Scheinvar *et al.*, 2009).

En un caso particular, Fabián *et al.* (2004) indicaron los beneficios de los hongos micorrízicos sobre las raíces de la especie productora de xoconostles (*Opuntia matudae* Scheinvar) éstas micorrizas incrementan la asimilación de nitrógeno del aire, nutrimento específico, lo que aumenta la tolerancia de la planta a condiciones adversas y combate a la erosión del suelo. Lo anterior resulta de gran importancia, debido a que el establecimiento de las especies de xoconostles en terrenos altamente degradados, resulta beneficioso para la recuperación de los suelos.

## II. 5. Potencial de Hidrógeno (pH)

El pH es una escala numérica que mide el grado de acidez o alcalinidad de una sustancia. Desde el punto de vista químico, el pH se define como la capacidad que tiene una sustancia ácida de liberar protones hidrógeno ( $H^+$ ) o de una sustancia básica de liberar aniones hidroxilo ( $OH^-$ ). Esta escala se mueve entre el 0 y el 14 (Figura 1). El agua tiene un pH de 7, por lo que es neutra. Una sustancia que presenta menos de 7 es ácida. Por encima de 7 se considera que una sustancia es alcalina o básica (Basáez, 2009).

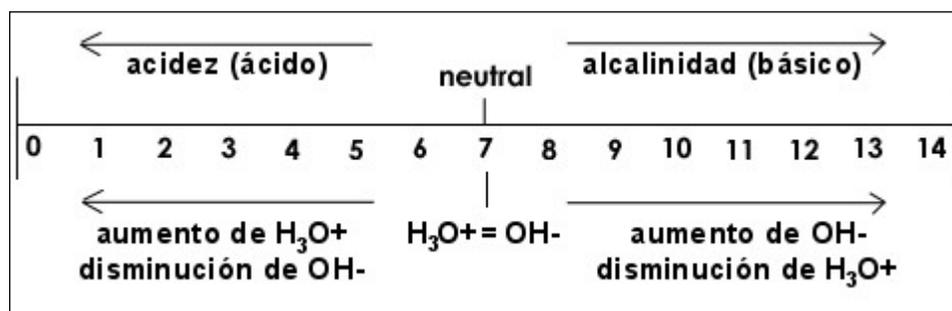


Figura 1 Escala de pH.

En esta escala podemos observar que el pH varía en forma inversa a la concentración de protones H<sup>+</sup>. En la realidad la concentración varía en forma inversa, a través de un factor exponencial. Esto se debe a que se define el pH de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\text{pH} = - \log [\text{H}^+]$$

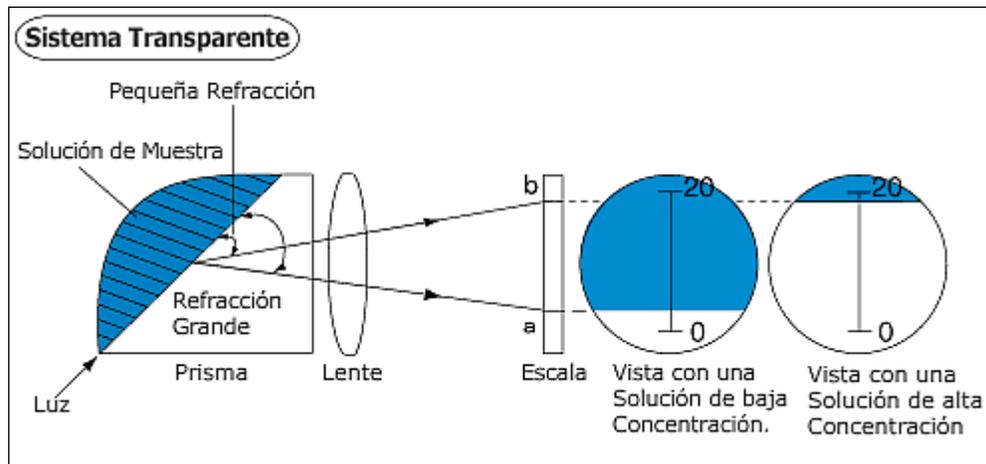
Hay distintas formas de medir el pH de una solución, pero la más exacta es utilizando un potenciómetro (Basáez, 2009).

## II. 6. Grados Brix (°Bx)

Los °Bx sirven para determinar el cociente total de sacarosa o sales disueltas en un líquido, es decir, mide la concentración de sólidos solubles (Bautista-Justo *et al.*, 2011). Un °Bx corresponde a un gramo de sacarosa diluido en 100 gramos de solución y por lo tanto, representa la concentración de la solución como porcentaje en peso (% w/w) (en sentido estricto, en masa) (Bautista-Justo *et al.*, 2011).

Los °Bx se han utilizado tradicionalmente para medir la concentración de azúcares en vinos, jugos de frutas, miel, mermeladas y en otros alimentos. Los °Bx se miden con la ayuda de un refractómetro (Página en red, 2001: <http://www.abastoempresarial.com/brix.htm>).

En el presente trabajo se utilizó un Refractómetro de Sistema Transparente. Este sistema transparente se muestra en la *Figura 2* (Página en red, 2013: [http://www.infoagro.com/instrumentos\\_medida/doc\\_refractometria\\_refraccion.asp?k=20](http://www.infoagro.com/instrumentos_medida/doc_refractometria_refraccion.asp?k=20)).



**Figura 2** Sistema Transparente de refracción.

### III. Justificación

Se plantea la presente investigación con el objeto de caracterizar el pH y los °Bx de los funículos y de las paredes de los frutos de nopales productores de xoconostles (ácidos), xoco-tunas (agri-dulces) y tunas (dulces), y observar si están o no, relacionados. Se utilizan éstos dos parámetros ya que la diferencia entre estos frutos radica en su acidez y contenido de azúcares, lo que nos ayudaría, incluso, a contribuir a establecer relaciones filogenéticas. Cabe mencionar que no hay reportes sobre si éstas características indican o no relaciones filogenéticas, debido al poco conocimiento taxonómico de las especies productoras de xoconostles y/o xoco-tunas. En esta tesis se contribuye al conocimiento de las relaciones entre estas especies.

### IV. Antecedentes

Los estudios realizados sobre el pH de los xoconostles son muy escasos y en general están relacionados con la descripción de mermeladas y licores a partir de estas plantas.

Bravo-Hollis (1978) destaca la acidez del fruto de xoconostle, dice que su pH se encuentra entre 3.7 y 4.5, mientras que el de la tuna está entre 5.2 y 6.0.

Moreno *et al.* (2003) estudiaron la pulpa de tunas para la elaboración de bebidas cítricas pigmentadas. Trabajaron con frutos de *Opuntia boldinghii* Britton & Rose y demostraron su potencial pigmentario por la presencia de betalaínas rojas. Formularon cuatro bebidas cítricas, evaluando semanalmente durante 21 días bacterias mesófilas, mohos, levaduras, NMP/ml de coliformes, pH, °Bx, acidez

titulable, betalaínas, carotenoides totales, vitamina C y parámetros sensoriales (color, aroma y sabor). Determinaron diferencias significativas, entre las cuatro bebidas creadas, en cuanto al contenido de betalaínas, carotenoides totales y vitamina C ( $P < 0.05$ ), sin embargo no encontraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) en cuanto al pH, °Bx y la acidez titulable de cada bebida.

Corrales-García *et al.* (2004) estudiaron los cambios en la acidez del pH de cladodios juveniles comestibles de diez variedades de *Opuntia* utilizadas como alimento humano, provenientes de la delegación Milpa Alta. Evaluaron la acidez de los nopales a diferentes tiempos, después de cortados. Encontraron diferencias significativas en la acidez entre cladodios cortados a las seis de la mañana y cladodios cortados a la una de la tarde. Además también existe diferencia de acuerdo a los periodos naturales luz-oscuridad. Finalmente, encontraron que durante las primeras 48 horas después de cortado, el metabolismo tipo CAM sigue activo lo cual continua produciendo cambios en el pH de los nopales aún después de cortados.

Cerezal y Duarte (2005) determinaron algunas características físicas y químicas de las tunas de *O. ficus-indica* provenientes de la provincia El Loa, perteneciente al Altiplano Andino del Desierto de Atacama, Chile. Entre otras características como peso, talla y diámetro, midieron el pH y los sólidos solubles (°Bx) en diferentes categorías: cáscara pH 4.85 y 14°Bx.; pulpa pH 6.31 y 14.8°Bx; pulpa con cáscara pH 5.48 y 14.3°Bx y pulpa con semillas pH 6.31 y 14.8°Bx,

Sánchez (2006) extrajo y caracterizó por Cromatografía en Capa Fina (TLC), cromatografía en columna y por cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC) las

betalainas de *O. joconostle*. Analizó estadísticamente tres variables: concentración del disolvente, temperatura y tiempo de tratamiento. La máxima estabilidad del extracto se observó con el pH= 5. Además, concluyó que los pH ácidos favorecen la estabilidad de los pigmentos estudiados, por lo que se perfilan como colorantes naturales potenciales en alimentos ácidos.

Ávalos Andrade *et al.* (2006) realizaron un estudio sobre la abscisión de los frutos maduros de xoconostles (*O. matudae* y *O. oligacantha* Förster) y de una tuna (*O. amyclaea*), y la maduración de los frutos. Ellos clasificaron las fases de maduración en cuatro etapas (M1-M4) y encontraron que el pH más alto se observó en las fases M2 y M3 de maduración y el pH más bajo, en M1 y M4. Esto indica que conforme avanzó la maduración de los frutos también aumento su pH, y al iniciar la fase de senescencia (abscisión), el pH aumentó. Entre *O. albicarpa* y las especies de xoconostles: *O. matudae* y *O. oligacantha*, hubo diferencias significativas en el pH de los frutos, no así entre éstas dos últimas. El pH de las dos especies de xoconostle fue de 3.6 a 3.7 (no se formó el etileno), y el de la tuna dulce fue de 6.3, y se formó el acetileno que determina la abscisión de los frutos maduros. Sin embargo, se pudo apreciar que al final de la maduración de los frutos, la *O. oligacantha* tiende a disminuir su contenido de ácido cítrico, mientras que la *O. matudae* tiende a incrementarla. El pH y el porcentaje de ácido cítrico son indicadores del grado de maduración de los frutos de cada especie; conforme éstos son más ácidos, su maduración ocurre de manera más lenta. Como se observó en *O. matudae*, sus frutos tardan más de siete meses en alcanzar la

madurez y durante este proceso no hay cambios significativos en los valores de su pH.

Kerstupp *et al.* (2006) elaboraron una mermelada de xoconostles (*Opuntia matudae*), realizando análisis de su acidez total, pH, acidez titulable, azúcares reductores directos y totales, °Bx y humedad, así como análisis microbiológicos para determinar su control de calidad, comparándolos con una mermelada comercial. En cuanto al pH encontraron que los frutos cultivados, de la misma especie, en dos diferentes localidades, indicaron diferencias significativas. Además, entre los frutos, de la misma especie, que se sometieron a condiciones de tropicalización e incubación, presentaron diferencias significativas debido a que una parte de las muestras se sometieron a temperatura de 37°C, debido a lo cual liberaron ácido cítrico. Sin embargo, concluyeron que las mermeladas hechas con los frutos de la *O. matudae* resistieron bien las condiciones adversas de temperatura y humedad.

Moreno-Álvarez *et al.* (2008) efectuaron evaluaciones bromatológicas en una especie productora de xoconostles que se distribuye en las costas del Caribe (*Opuntia elatior* Mill.), encontrando que la pulpa de los frutos tiene un pH=  $5.2 \pm 0.01$  y °Bx=  $11.0 \pm 0.01$  y en los cladodios: pH=  $4.7 \pm 0.01$  y °Bx=  $6.0 \pm 0.01$ . Destacan que los valores del pH y acidez de ésta especie se encuentran dentro del intervalo descrito por otros autores. Además, los frutos cuentan con características nutrimentales y medicinales favorables para la salud humana; por lo que concluyen que esta especie constituye una importante alternativa para la industria agroalimentaria.

Álvarez y Peña-Valdibia (2009) hicieron una serie de estudios para establecer la presencia, cantidades y para aislar los polisacáridos estructurales (mucílago, pectinas, hemicelulosas y celulosa) en xoconostles (*O. matudae*) con madurez comercial. La recolección de los frutos se realizó en una plantación comercial en San Martín de las Pirámides, Estado de México. Se clasificaron los frutos de acuerdo a la profundidad de la cicatriz floral y se confirmó que la madurez de los frutos de *O. matudae*, está relacionada inversamente con la profundidad de la cicatriz floral. También encontraron que con el aumento en la maduración de los frutos de *O. matudae* hay un incremento en el contenido de mucílago, pectinas y celulosa. El contenido de hemicelulosas fue significativamente similar en los tres estados de madurez identificados. Los resultados indicaron que los frutos de xoconostles son un alimento rico en fibra alimentaria soluble (7.8 a 18.6%) e insoluble (11.6 a 16.5%), y el tipo de polisacáridos que los conforman varían en dependencia de la madurez del fruto.

Aguirre *et al.* (2010) hicieron la caracterización fisicoquímica de la tuna de *Opuntia ficus-indica* formas blanca y amarilla. Determinaron el largo, diámetro, peso, consistencia, rendimiento en pulpa, pH, sólidos solubles y acidez, así como la composición química del fruto. El pH en la forma blanca fue igual a  $6\pm 0.5$  y la acidez fue  $0.048\pm 0.02\%$ . En la forma amarilla el pH fue  $6\pm 0.3$  y la acidez de  $0.061\pm 0.02\%$ .

Mercado *et al.* (2010a) evaluaron las propiedades fisicoquímicas ( $^{\circ}\text{Bx}$ , pH, acidez, color y peso), bajo almacenamiento refrigerado de *Opuntia ficus-indica*, *O. albicarpa* y *O. matudae*. En donde concluyen que los xoconostles presentan los

mayores valores de acidez y pH, mientras que las tunas dulces tienden a lo básico. Además, reportan que los xoconostles son muy resistentes con relación a su periodo de almacenamiento y tienen larga vida en anaquel, lo cual representa una oportunidad para aumentar su vida útil en el mercado.

Mercado *et al.* (2010b) evaluaron las propiedades fisicoquímicas bajo almacenamiento refrigerado (6-8°C) estudiando las propiedades reológicas (relajación, penetración y análisis de perfil de estructura (TPA)) de dos especies de tuna: roja pelona (*Opuntia ficus-indica*), tuna reina (*Opuntia albicarpa*) y una especie productora de xoconostles (*Opuntia matudae*), con y sin cáscara. Concluyeron que la especie productora de xoconostles fue la que presentó mayor resistencia al almacenamiento en refrigeración, y las variedades: roja pelona y reina, presentaron menor resistencia al almacenamiento. Se observó que la mayoría de estas propiedades se mantuvieron durante el almacenamiento refrigerado durante 60 días. De la evaluación de las propiedades fisicoquímicas (°Bx, pH, acidez, color y peso) concluyeron que la *O. matudae* presentó los mayores valores de acidez, pH y pérdida de peso, y por el contrario, las variedades roja pelona y reina, presentaron valores menores. De la evaluación del efecto temperatura-tiempo sobre las características de calidad de las tunas, concluyeron que tienden a mantenerse iguales la mayoría de las propiedades en las tres especies. Las especies estudiadas son muy resistentes y su vida de anaquel es larga, por lo que representan una oportunidad para aumentar su mercado tanto en fresco, como mínimamente procesados.

González-Cruz *et al.* (2010), a partir del estudio del pH en cuatro especies de tunas y una de xoconostles, obtenidas de la región del Alto Mezquital, Hidalgo, elaboraron jaleas y mermeladas. Encontraron que la mermelada de *Opuntia joconostle* F.A.C. Weber, fue la que presentó mejores características, debido a que, en forma natural, su acidez está en el intervalo de acción de las pectinas: pH= 3.3, mientras que el pH de las tunas es más básico, por lo que fue necesario adicionarles ácido cítrico para la obtención del pH óptimo mencionado anteriormente. El porcentaje de sólidos óptimos en todas las muestras fue de 70 °Brix.

López *et al.* (2010) estudiaron diferentes pH y °Bx en la formulación de mermeladas obtenidas al mezclar con frutos de la *Opuntia albicarpa* (tunas dulces) con la *Opuntia matudae* (xoconostles), con el fin de mejorar su color, acidez, sabor y textura, y seleccionaron, por evaluación sensorial, la mejor de las mezclas, usando un análisis de ordenamiento por rangos. Encontraron, en la más sabrosa mermelada, un pH de 3.6 y 52° Brix.

## **V. Objetivos**

### **V.1. Objetivo General**

Caracterizar algunas especies nativas mexicanas productoras de xoconostles y/o xoco-tunas (*O. joconostle*, *O. matudae* y *O. heliabravoana*), a partir de la cuantificación de su pH y sus °Bx y observar las afinidades entre ellas.

### **V.2. Objetivos Particulares**

- Elaborar, de acuerdo a los resultados obtenidos, una escala de pH y °Bx que podrá servir para caracterizar las especies estudiadas en xoconostles, xoco-tunas y tunas.
- Hacer recomendaciones para su utilización en la alimentación humana.
- Enriquecer con ejemplares, cuatro herbarios: MEXU, CHAP, ARIZ y MO.
- Enriquecer la “Colección Nacional de Nopales Silvestres de México” del Jardín Botánico del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México con las plantas colectadas en el campo para realizar la presente investigación.

## VI. Materiales y Métodos

La metodología consistió de: trabajo de campo; trabajo de laboratorio y trabajo de gabinete.

### VI. 1. Trabajo de campo

Se programó una salida al campo para coleccionar frutos de: *Opuntia joconostle* F.A.C. Weber ex Diguët, *Opuntia matudae* Scheinvar, *O. heliabravoana* Scheinvar, *Opuntia albicarpa* Scheinvar y *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Imágenes 4-18). Debido a que son las especies representativas de xoconostles, xoco-tunas y de tunas.

Se coleccionaron cladodios y frutos de los estados de Hidalgo y Estado de México debido a que son los que presentan mayor abundancia de especies productoras de xoconostles y de tunas dulces, observada en el campo y en cultivo.



**Imagen 4.** *Opuntia joconostle* F.A.C. Weber. Hábito.



**Imagen 5.** *Opuntia joconostle* F.A.C Weber. Cladodio con frutos.



Imagen 6 *Opuntia joconostle* F.A.C Weber. Corte longitudinal del fruto.



Imagen 7. *Opuntia matudae* Scheinvar. Hábito.



**Imagen 8.** *Opuntia matudae* Scheinvar. Cladodio con frutos.



**Imagen 9.** *Opuntia matudae* Scheinvar. Corte longitudinal del fruto.



**Imagen 10.** *Opuntia heliabravoana* Scheinvar. Hábito.



**Imagen 11.** *Opuntia heliabravoana* Scheinvar. Cladodio con frutos.



Imagen 12. *Opuntia heliabravoana* Scheinvar. Corte longitudinal del fruto.



Imagen 13. *Opuntia albicarpa* Scheinvar. Hábito.



Imagen 14. *Opuntia albicarpa* Scheinvar. Cladodio con frutos.



Imagen 15. *Opuntia albicarpa* Scheinvar. Corte longitudinal del fruto.



**Imagen 16.** *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. Hábito.



**Imagen 17.** *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. Cladodio con frutos.



**Imagen 18.** *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. Corte longitudinal del fruto.

Se colectaron frutos de cinco plantas de las cinco especies mencionadas (25 plantas) y diez frutos de cada una (250 frutos).

En el Estado de México, municipio de San Martín de las Pirámides, se colectaron cuatro plantas: *O. albicarpa* LS9711, *O. joconostle* LS9712, *O. joconostle* LS9713 y *O. albicarpa* LS9714. En la carretera de San Martín de las Pirámides-Oxtotipac se colectó una planta: *O. albicarpa* LS9715. En la carretera Oxtotipac-Otumba se colectó: *O. albicarpa* LS9716. En la localidad Tlamapa, carretera Otumba-Nopaltepec se colectó la *O. albicarpa* LS9717. En la localidad de Nopaltepec, Mun. Nopaltepec se colectaron seis plantas: *O. joconostle* LS9718, *O. joconostle* LS9719, *O. heliabravoana* LS9720, *O. joconostle* LS9721, *O. heliabravoana* LS9722 y *O. heliabravoana* LS9723. En la localidad Santiago Tolman, Mun.

Otumba se colectaron dos plantas: *O. matudae* LS9724 y *O. matudae* LS9725. En la localidad Cuautlazingo, Mun. Otumba se colectaron dos plantas: *O. ficus-indica* LS9726 y *O. ficus-indica* LS9727.

En el Estado de Hidalgo, en Pachuca, se colectaron dos plantas: *O. heliabravoana* LS9728 y *O. heliabravoana* LS9729. En la localidad de Lagunilla, Mun. San Salvador se colectaron tres plantas: *O. ficus-indica* LS9730, *O. ficus-indica* LS9731 y *O. ficus-indica* LS9732. Finalmente en la localidad El Olivo, Mun. Ixmiquilpan, se colectaron tres plantas: *O. matudae* LS9733, *O. matudae* LS9734 y *O. matudae* LS9735.

Se georreferenció el punto de colecta de cada planta con un GPS Garmin eTrex 210, registrando la latitud, longitud y altitud de cada planta estudiada y se tomaron fotos digitales, a 300 dpi, de su hábitat, hábito, tronco, corteza, cladodios juveniles y adultos, flores (cuando había) y frutos, con el objeto de incluir sus datos en la base de datos “Nopales Silvestres Mexicanos” del Laboratorio de Cactología (Scheinvar *et al.*, 2014). Para transportar el material y evitar que se dañara, se prensaron por separado los cladodios entre cartones y los frutos se envolvieron por separado en bolsas de papel estraza, con sus números de registro, para evitar que se perdieran.

Se colectaron cuatro cladodios de cada planta. Dos cladodios se herborizaron y se depositaron en cuatro herbarios: Herbario Nacional de México (MEXU); Herbario de la Universidad Chapingo (CHAP); Herbario del New York Botanical Garden (NY) y Herbario del Missouri Botanical Garden (MO). Los otros dos cladodios se

encuentran cultivados en camellones de “La Colección Nacional de Nopales Silvestres Mexicanos” del Jardín Botánico del IB-UNAM (*Imagen 19*).



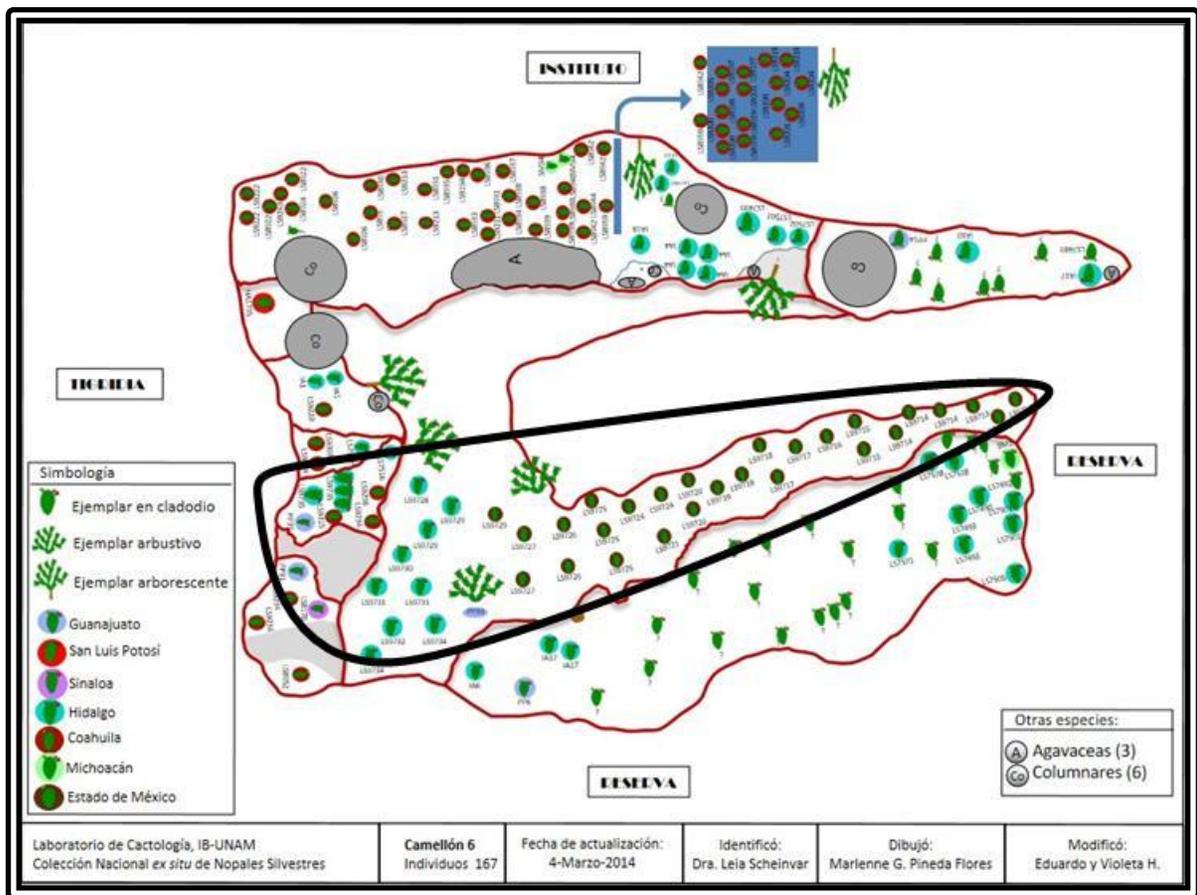
**Imagen 19** Cladodios (*O. joconostle*, *O. matudae*, *O. heliabravoana*, *O. albicarpa* y *O. ficus-indica*) cultivados en el camellón número 6 de la Colección Nacional de Nopales Silvestres Mexicanos del Jardín Botánico del IB-UNAM.

## VI. 2. Trabajo de laboratorio

### *Técnica de Herborización y de Cultivo.*

Dos de las cuatro pencas traídas del campo se seleccionaron para su herborización: se cortó cada penca longitudinalmente en dos partes, y se colocaron entre láminas de aluminio corrugado, unas sobre las otras, se amarró con un lazo de piola y se metieron en etanol, durante una semana; el etanol actúa deshidratando los cladodios y mantiene algo de su coloración; posteriormente se sacaron del etanol y se acomodaron en una prensa de madera, dentro de hojas de papel periódico marcado con sus números de colecta y entre láminas de cartón, y

se llevaron a la secadora a 60° C, durante una semana para terminar el secado. Los cladodios secos fueron introducidos en sobres de papel periódico con su etiqueta correspondiente y fueron enviados a MEXU que enviará los duplicados a los tres distintos herbarios ya referidos. Las dos pencas restantes, se mantuvieron 15 días en el invernadero de cuarentena, para no introducir en los camellones posibles enfermedades traídas del campo. Los cladodios se plantaron verticalmente para acelerar el crecimiento de raíces. En la Figura 3, delimitadas en negro, se observan las plantas cultivadas en el camellón 6.



**Figura 3** Camellón número 6 de la Colección Nacional de Nopales Silvestres del JB-IBUNAM, donde se plantaron los nopales traídos de los estados de México e Hidalgo.

## Estudios de pH

Para realizar los estudios de pH, se utilizó un potenciómetro de la marca HANNA HI8010. De cada planta colectada, se analizaron 10 frutos, se les retiró la cáscara y fueron cortados longitudinalmente. Posteriormente se separaron los funículos con sus semillas de las paredes. Los funículos de cada fruto, fueron colocados en una coladera para obtener su jugo, que fue vertido a vasos de plástico pequeños y limpios (Imagen 20).



**Imagen 20** Vasos de plástico pequeños en los que se vertió el jugo de los funículos y de las paredes de los frutos estudiados para posteriormente medir su pH y °Bx.

Las paredes de los frutos fueron molidas (en seco) en una licuadora (durante un minuto) marca *Oster* con vaso chico y coladas en coladera con orificios de 2 mm. El filtrado de las paredes de cada fruto se colocó en un vaso de plástico pequeño y limpio.

Con el jugo extraído de los funículos y de las paredes de los frutos, se midió el pH de cada fruto con el potenciómetro, y se hicieron tablas con los datos obtenidos.

En el Tabla 1 se observa una de las tablas obtenidas.

LS9712 Opuntia joconostle			
pH Paredes	pH Funículos	°Bx Paredes	°Bx Funículos
3.22	3.18	5.5	6
3.39	3.32	6	5.8
3.44	3.32	6	5.5
3.34	3.29	5.5	6
3.38	3.49	5.5	5.8
3.38	3.28	5.5	6
3.38	3.43	6	5.8
3.44	3.25	5.5	5
3.40	3.12	5.8	5.1
3.25	3.21	6	5.5

**Tabla 1** Ejemplo de las tablas generadas con los valores obtenidos de pH y °Bx.

### *Estudios de Grados Brix (°Bx)*

De los mismos extractos, se tomó una gota del filtrado del jugo de las paredes de los frutos y de los funículos. Con ésta gota se midieron los °Bx con un refractómetro manual marca ATAGO.

Los datos fueron registrados en tablas.

### **VI. 3. Trabajo de gabinete**

Se realizó estadística descriptiva con los datos obtenidos del pH y de los °Bx de las paredes de los frutos y de los funículos de las semillas de las cinco especies estudiadas, que consistieron en sacar la media, desviación estándar, varianza, intervalo de confianza y coeficiente de variación, máximo y mínimo, utilizando el programa STATISTICA 6.0.

A partir de dicha información se construyeron cuatro tablas: una para cada variable (pH de paredes, pH de funículos, °Bx de paredes y °Bx de funículos), en las que se incluyó el nombre de la especie, tamaño de la muestra, intervalo de confianza ( $\pm 95\%$ ), coeficiente de variación, media  $\pm$  la desviación estándar, mínimos y máximos.

A partir de ésta información se realizaron las cuatro graficas de caja correspondientes, donde se observan los resultados de la estadística descriptiva realizada.

Se realizó una prueba de significancia, conocida como análisis de varianzas (ANOVA) de una vía, para ver si existían o no diferencias significativas, entre las especies, de acuerdo a los valores obtenidos.

Posteriormente, se realizó una prueba de Post Hoc turkey HD para cada grupo de datos, con la finalidad de visualizar de manera puntual donde se encuentran las diferencias significativas entre las cinco especies estudiadas.

Finalmente, de acuerdo a los valores del pH y °Bx, se hicieron los cuatro diagramas de árbol correspondientes, para observar de manera gráfica, que especies están más cercanas, agrupadas y más lejanas.

## VII. Resultados y Discusión

### Estudios del pH

La estadística descriptiva de los valores de pH de las paredes de los frutos de las especies analizadas (Tabla 2), mostró que *O. matudae* (5.7819%) tuvo el coeficiente de variación más elevado, mientras que *O. heliabravoana* (2.2889%) presentó la menor variación. Lo anterior se corrobora al observar la desviación estándar, *O. matudae* ( $\pm 0.4095$ ) tuvo la desviación más elevada y *O. heliabravoana* ( $\pm 0.1618$ ) la más baja de todas. También se observa que *O. matudae* (2.7400) es la especie con el pH más ácido y *O. albicarpa* (5.1500) es la especie con el pH más básico. Asimismo, hay que mencionar que en cuanto a las tres especies de xoconostles vemos que, de menor a mayor, *O. matudae* (2.7400) es la especie con el pH más bajo, luego *O. joconostle* (2.8500) y finalmente *O. heliabravoana* (3.7100) con el pH más alto de las tres; en donde hay que indicar que éste último se asemeja con el pH de las tunas, sin embargo esta especie ha sido clasificada dentro de los xoconostles.

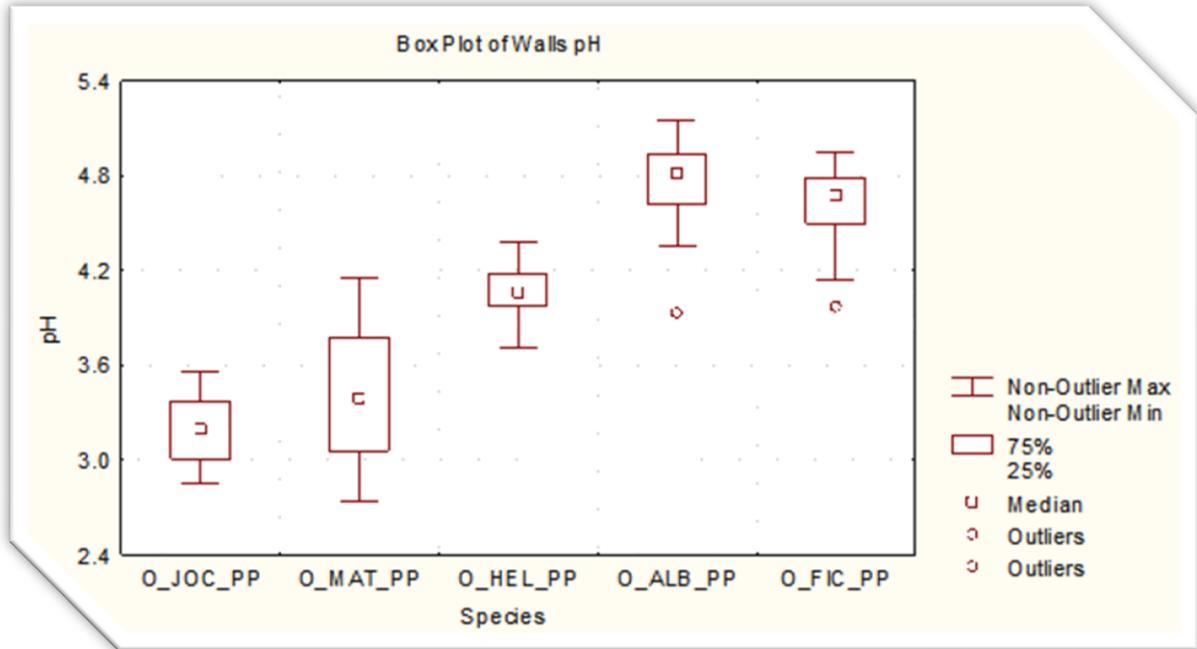
**Tabla 2** Potencial de hidrógeno (pH) de las paredes de los frutos por especie estudiada.

Especie	n	Intervalo Conf. $\pm 95\%$	Coefficiente de Variación (%)	Media ( $\pm$ Desv. Estándar)	Mínimo	Máximo
<i>O. joconostle</i>	50	(3.1390, 3.2434)	2.5977	3.1912 ( $\pm 0.1837$ )	2.8500	3.5600
<i>O. matudae</i>	50	(3.3238, 3.5566)	5.7918	3.4402 ( $\pm 0.4095$ )	2.7400	4.1500
<i>O. heliabravoana</i>	50	(4.0128, 4.1048)	2.2889	4.0588 ( $\pm 0.1618$ )	3.7100	4.3800
<i>O. albicarpa</i>	50	(4.7018, 4.8378)	3.3832	4.7698 ( $\pm 0.2392$ )	3.9300	5.1500
<i>O. ficus-indica</i>	50	(4.5418, 4.6662)	3.0961	4.6040 ( $\pm 0.2189$ )	3.9700	4.9500

De esta manera podemos decir que la variación de los valores de las paredes de los frutos de una misma especie, se encuentra dentro de un rango normal, no rebasando de 10%. Ésta variación puede deberse a las características genéticas de cada planta, a la acción del medio sobre sus características fenéticas, a las características de cada especie y al grado de madurez en que se encuentre cada fruto. Ávalos-Andrade *et al.* (2006) midieron el pH de una especie de tuna y dos especies de xoconostles, y encontraron diferencias significativas respecto a la especie de tunas y no así entre las especies de xoconostles, lo cual es consistente con los resultados obtenidos en este estudio.

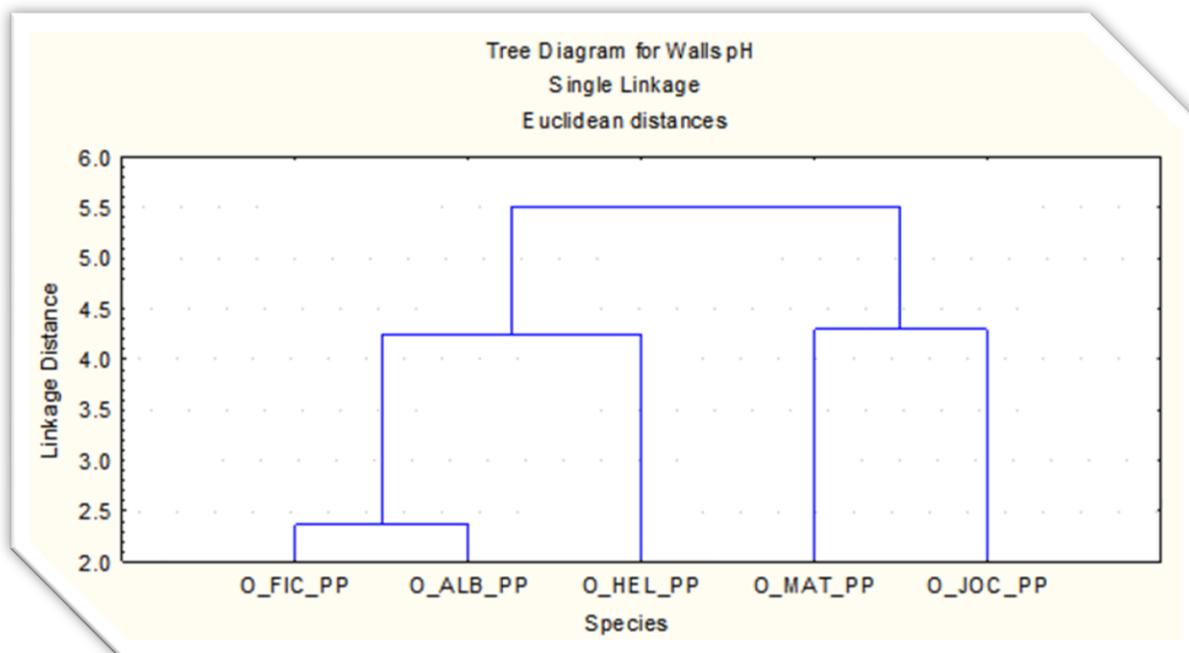
En la gráfica de caja sobre el pH de las paredes de los frutos (Gráfica 1) observamos que *O. matudae* presenta alta variación, caja grande, y sus máximos y mínimos se encuentran más alejados de la media. Por el contrario, *O. heliabravoana* es la que presenta menor variación, caja pequeña. *O. albicarpa* y *O. ficus-indica* presentan valores fuera de rango (*outliers*) lo cual puede deberse a las características, mencionadas con anterioridad, que pueden provocar ciertas variaciones en los frutos.

**Gráfica 1** Gráfica de caja del potencial de Hidrógeno (pH) de las paredes del fruto por especie.



En el diagrama de árbol sobre el pH de las paredes de los frutos (Diagrama 1), se observa cómo se relacionan, de acuerdo a sus distancias euclidianas, las cinco especies estudiadas.

**Diagrama 1.** Diagrama de árbol del potencial de hidrógeno (pH) de las paredes de los frutos de las 5 especies estudiadas.



Se observa el agrupamiento de las especies de acuerdo al pH de las paredes de los frutos. En éste diagrama, las especies se asocian en tres grupos. En el primero, del lado derecho se encuentran dos de las especies productoras de xoconostles: *O. matudae* (4.3) y *O. joconostle* (4.3); en el segundo, del lado izquierdo se ubican las especies productoras de tunas dulces: *O. albicarpa* (2.4) y *O. ficus-indica* (2.4); y al centro, *O. heliabravoana* (4.2) que se encuentra casi a la misma distancia de las especies productoras de xoconostles; sin embargo, se encuentra encadenada con el grupo de las especies productoras de tunas, lo cual nos sugiere que los frutos de *O. heliabravoana* pueden presentar características intermedias entre tunas y xoconostles, con frutos agridulces, por lo que pueden ser clasificados como “xoco-tunas”.

La estadística descriptiva de los valores de pH de los funículos de los frutos de las especies analizadas (Tabla 3), muestran que *O. joconostle* (2.6945%) es la especie con el coeficiente de variación más bajo lo que indica que los valores de pH de los funículos son homogéneos, mientras que *O. ficus-indica* (7.5456%) tiene mayor coeficiente lo que indica mayor variación en los valores de pH. *O. joconostle* (3.3304 ±0.1905) es la especie con el valor más bajo de pH en los funículos y además presenta la desviación estándar más pequeña lo que indica poca variación, mientras que *O. ficus-indica* (5.3796±0.5336) es la especie con el pH más alto en los funículos y presenta la desviación estándar mas elevada lo que indica mucha variación en sus valores de pH. El máximo valor de pH en los funículos de los frutos lo presenta *O. ficus-indica* (6.0900) y el más bajo lo presenta *O. joconostle* (2.7900).

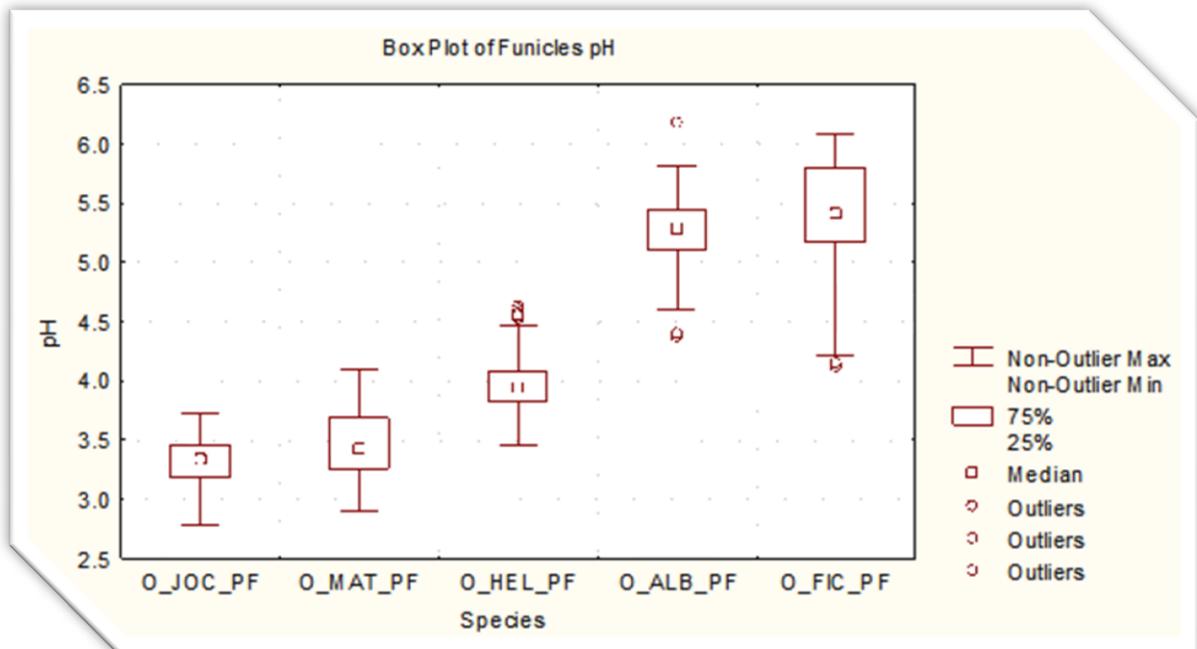
**Tabla 3** Potencial de hidrógeno (pH) de los funículos de los frutos por especie.

Especie	n	Intervalo Conf. ± 95%	Coefficiente de Variación (%)	Media (± Desv. Estándar)	Mínimo	Máximo
<i>O. joconostle</i>	50	(3.2763, 3.3845)	2.6945	3.3304 (±0.1905)	2.7900	3.7300
<i>O. matudae</i>	50	(3.3941, 3.5807)	4.6447	3.4874 (±0.3284)	2.9100	4.0900
<i>O. heliabravoana</i>	50	(3.8989, 4.0783)	4.4633	3.9886 (±0.3156)	3.4600	4.6300
<i>O. albicarpa</i>	50	(5.1785, 5.3603)	4.5253	5.2694 (±0.3200)	4.3700	6.1800
<i>O. ficus-indica</i>	50	(5.2280, 5.5312)	7.5456	5.3796 (±0.5336)	4.1200	6.0900

En la grafica de caja sobre el pH de los funículos de los frutos (Gráfica 2) observamos que *O. ficus-indica* presenta mayor variación respecto a las demás especies, su valor mínimo está muy alejado de la media y del máximo, y presenta un outlier. *O. heliabravoana* presenta la menor variación y presenta algunos

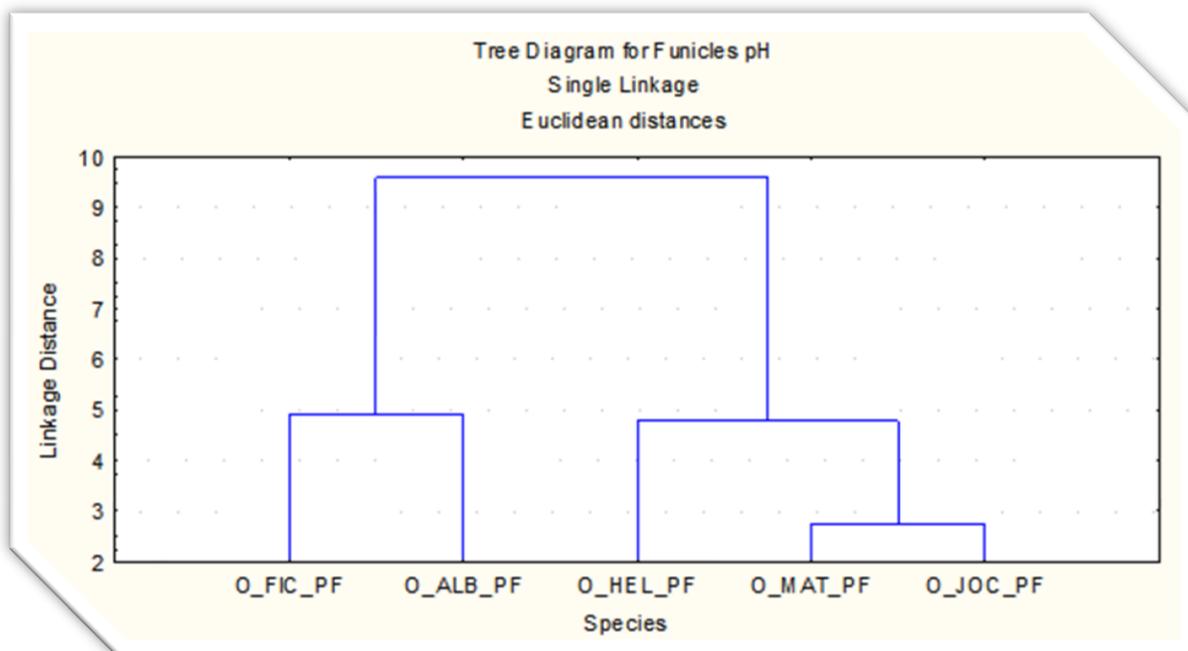
valores fuera de rango. Del lado izquierdo están las especies de xoconostles *O. joconostle* y *O. matudae* con los valores de pH más bajos y del lado derecho tenemos a las especies de tunas dulces *O. albicarpa* y *O. ficus-indica* con los valores más elevados de pH en los funículos. En el centro se encuentra *O. heliabravoana* con valores intermedios entre tunas dulces y xoconostles.

**Gráfica 2** Gráfica de caja del potencial de hidrógeno (pH) de los funículos de los frutos por especie.



En el diagrama de árbol sobre el pH de los funículos de los frutos de las cinco especies analizadas (Diagrama 2) del lado izquierdo se observan encadenadas a *O. ficus-indica* (4.4) y *O. albicarpa* (4.4). Del lado derecho observamos encadenadas a *O. matudae* (2.35) y *O. joconostle* (2.35); mientras que al centro, se encuentra *O. heliabravoana* (4.35), casi al mismo nivel que las tunas, pero, encadenada con las especies productoras de xoconostles.

**Diagrama 2** Diagrama de árbol sobre el potencial de Hidrógeno (pH) de los funículos de los frutos de las 5 especies estudiadas.



Cabe mencionar que en el diagrama de árbol 1, relacionado con el pH de las paredes de los frutos, la *O. heliabravoana* se encadena con el grupo de las especies productoras de tunas dulces, y en el presente diagrama se encadena con el grupo de las especies productoras de xoconostles.

Hay que mencionar que en cuanto al pH de los xoconostles Ávalos Andrade *et al.* (2006) y Kerstupp *et al.* (2006) encontraron que éstos resultan ser más resistentes y que sus frutos tardan más de siete meses en alcanzar la madurez y durante este proceso no hay cambios significativos en los valores de su pH.

## Grados Brix

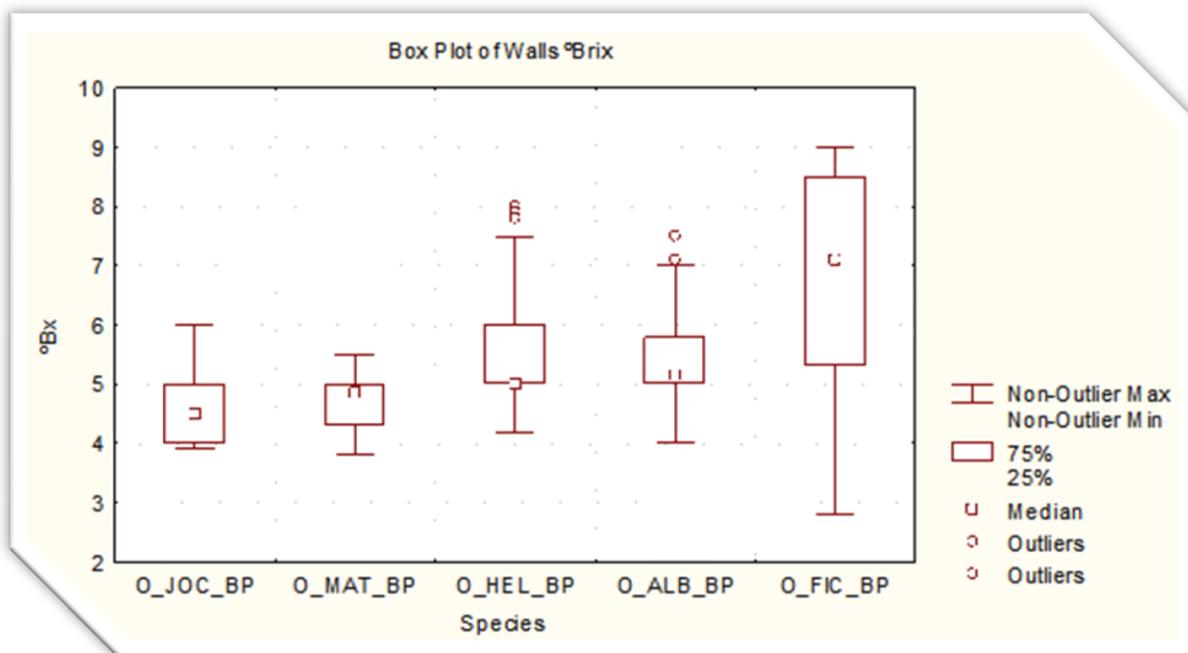
La estadística descriptiva de los valores de °Bx de las paredes de los frutos de las especies analizadas (Tabla 4) mostraron que *O. ficus-indica* (24.0850%) presentó el coeficiente de variación más elevado, asimismo, *O. heliabravoana* (15.1160%) y *O. albicarpa* (10.6547%) presentan coeficientes de variación superiores al 10%, lo que indica que la variación es muy alta. *O. joconostle* (4.6460) tiene el valor promedio más bajo de °Bx y *O. ficus-indica* (6.8420) el más alto. El valor mínimo y máximo lo tuvo *O. ficus-indica* (2.8000 y 9.0000) sin embargo hay que mencionar que en esta especie hubo variación muy alta y estos valores están fuera de rango.

**Tabla 4** Grados Brix (°Bx) de las paredes de los frutos por especie.

Especie	n	Intervalo Conf. ± 95%	Coefficiente de variación (%)	Media (± Desv. Estándar)	Mínimo	Máximo
<i>O. joconostle</i>	50	(4.4586, 4.8334)	9.3250	4.6460 (±0.6594)	3.9000	6.0000
<i>O. matudae</i>	50	(4.5910, 4.8930)	7.5165	4.7420 (±0.5315)	3.8000	5.5000
<i>O. heliabravoana</i>	50	(5.3242, 5.9318)	15.1160	5.6280 (±1.0689)	4.2000	8.0000
<i>O. albicarpa</i>	50	(5.1979, 5.6261)	10.6547	5.4120 (±0.7534)	4.0000	7.5000
<i>O. ficus-indica</i>	50	(6.3580, 7.3280)	24.0850	6.8420 (±1.7031)	2.8000	9.0000

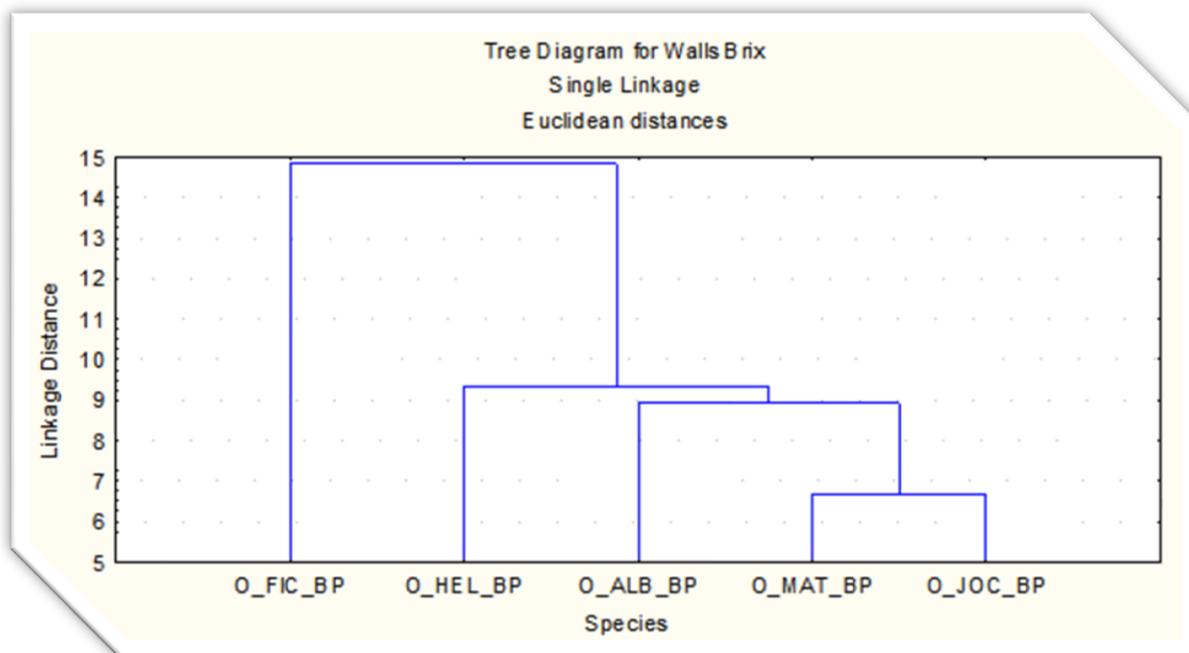
En la grafica de caja sobre los °Bx de los funículos de los frutos (Grafica 3) observamos que *O. ficus-indica* presenta elevada variación y un mínimo muy alejado de la media, lo cual puede deberse a diferentes factores como el ambiente o la madurez de los frutos. En el resto de las especies observamos que presentan poca variación y en algunos casos (*O. heliabravoana* y *O. albicarpa*) presentan valores fuera de rango.

**Gráfica 3** Gráfica de caja de los Grados Brix(°Bx) de las paredes de los frutos por especie.



En el diagrama de árbol sobre los °Bx de las paredes de los frutos (Diagrama 3), se observa, del lado derecho, a dos especies productoras de xoconostles: *O. matudae* (6.3) y *O. joconostle* (6.3) que se encuentran encadenadas en un mismo grupo, lo cual indica que comparten características. Después, hacia la izquierda, se encuentran *O. albicarpa* (9.0), *O. heliabravoana* (9.1) y *O. ficus-indica* (14.3), relacionadas entre sí pero no encadenadas. También se observa que *O. heliabravoana* (9.1) se encuentra entre la *O. ficus-indica* (14.3) y la *O. albicarpa* (9.0), lo cual nos indica que sus valores son intermedios entre ambas especies. Cabe mencionar que *O. ficus indica* (14.3) es la especie que menos características comparte con las demás, ya que es la que se encuentra más alejada. Este tipo de diagrama nos permite hacer inferencias sobre las similitudes entre las especies.

**Diagrama 3** Diagrama de árbol de los Grados Brix ( $^{\circ}$ Bx) de las paredes de los frutos de las cinco especies.



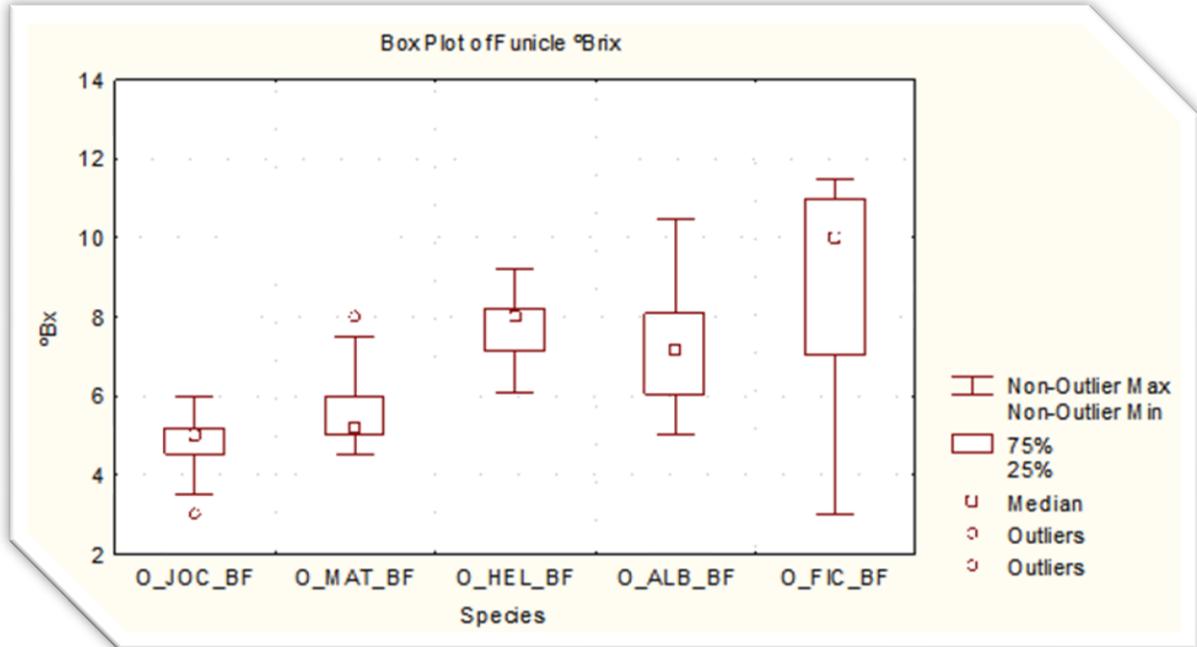
La estadística descriptiva de los valores de  $^{\circ}$ Bx de los funículos de los frutos de las especies analizadas (Tabla 5) se observa que *O. ficus-indica* (32.1981%) tiene el coeficiente de variación más elevado mientras que *O. joconostle* (8.9591%) presenta el más bajo. En cuanto al valor promedio de los  $^{\circ}$ Bx de los funículos observamos que *O. joconostle* (4.9100) tuvo el valor más bajo de  $^{\circ}$ Bx y *O. ficus-indica* (9.0360) el más alto. Lo anterior se ve reflejado en los máximos y mínimos, ya que coinciden con los valores y las especies de la media.

**Tabla 5** Grados Brix ( $^{\circ}\text{Bx}$ ) de los funículos de los frutos de las especies estudiadas.

Especie	n	Intervalo Conf. $\pm 95\%$	Coefficiente de variación (%)	Media ( $\pm$ Desv. Estándar)	Mínimo	Máximo
<i>O. joconostle</i>	50	(4.7300, 5.0900)	8.9591	4.9100 ( $\pm 0.6335$ )	3.0000	6.0000
<i>O. matudae</i>	50	(5.3419, 5.8141)	11.7466	5.5780 ( $\pm 0.8306$ )	4.5000	8.0000
<i>O. heliabravoana</i>	50	(7.5282, 8.0118)	12.0348	7.7700 ( $\pm 0.8510$ )	6.1000	9.2000
<i>O. albicarpa</i>	50	(6.9142, 7.6778)	18.9972	7.2960 ( $\pm 1.3433$ )	5.0000	10.5000
<i>O. ficus-indica</i>	50	(8.3890, 9.6830)	32.1981	9.0360 ( $\pm 2.2767$ )	3.0000	11.5000

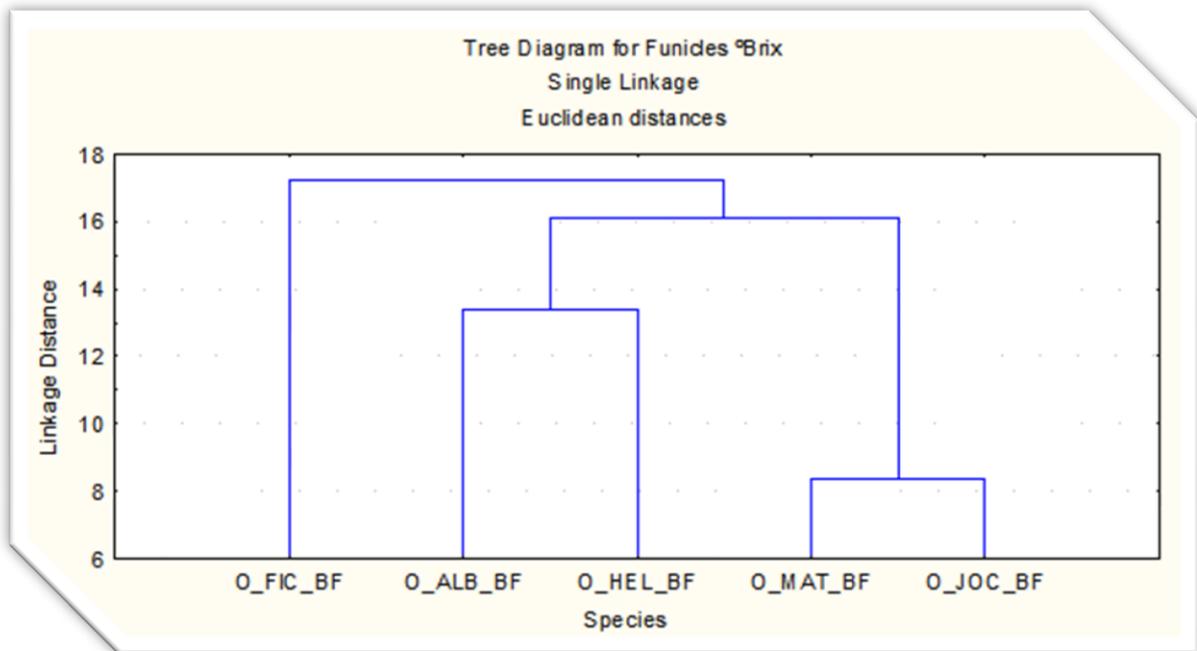
En la grafica de caja sobre los  $^{\circ}\text{Bx}$  de los funículos de los frutos (Grafica 4) se observa del lado derecho que *O. ficus-indica* es la especie con la caja más grande y con el valor mínimo más alejado de la media. Del lado izquierdo se encuentran las especies productoras de xoconostles: *O. joconostle* y *O. matudae*, las cuales tienen valores similares; del lado derecho están las especies productoras de tunas: *O. albicarpa* y *O. ficus-indica*, y en el centro está la *O. heliabravoana*, la cual tiene valores un poco más elevados que las especies productoras de xoconostles y más bajos que los valores de las especies de tunas.

**Gráfica 4** Gráfica de caja de los Grados Brix (°Bx) de los funículos de los frutos por especie.



En el diagrama de árbol sobre los °Bx de los funículos de los frutos (Diagrama 4), se observa que

**Diagrama 4** Diagrama de árbol de los Grados Brix (°Bx) de los funículos de los frutos de las cinco especies.



Del lado derecho se encadenan la *O. matudae* (8.2) y *O. joconostle* (8.2) formando un grupo. En el centro de la gráfica se encadenan la *O. albicarpa* (14.7) y *O. heliabravoana* (14.7) formando otro grupo. Ambos grupos se encuentran relacionados a su vez con *O. ficus-indica* (16.6). Es importante destacar que *O. joconostle* y *O. matudae* comparten muchas similitudes ya que producen frutos ácidos (xoconostles). Por otra parte vemos que *O. heliabravoana*, que aunque es considerada como una especie de xoconostle, en este caso se encuentra encadenada con *O. albicarpa* (tuna dulce) lo cual nos sugiere que también comparte características con las tunas, esto es una “xoco-tuna”.

### **Análisis de varianza (ANOVA) de una vía**

El análisis de varianza (ANOVA) de una vía es un método que permite analizar y comparar dos o más medias, examinando si los valores de un conjunto de datos numéricos son significativamente distintos a los valores de otro o más conjuntos de datos (Pagano y Gauvreau, 2001)

Se realizó un Análisis de Varianzas (ANOVA) para las cuatro variables estudiadas:

1. pH de las paredes de los frutos
2. pH de los funículos de los frutos
3. °Bx de las paredes de los frutos
4. °Bx de los funículos de los frutos.

Los resultados del ANOVA fueron significativos para todas las variables, ya que la  $p$  resultó ser  $p < 0.05$ .

Debido a lo anterior se prosiguió a realizar una prueba de Tukey HSD (Honestly Significantly Different) para corroborar e identificar puntualmente las diferencias entre estos conjuntos de datos. Ésta prueba también resultó ser significativa para las cuatro variables.

En el caso del pH de las paredes se observó que todas las especies tuvieron diferencias significativas con cada una de las otras especies estudiadas. Lo cual nos sugiere que la composición de las paredes de los frutos de las especies estudiadas pueden poseer características que hacen posible distinguirlas unas de otras con relativa facilidad.

En el caso de pH de los funículos, aunque la diferencia en general resultó significativa, encontramos que *O. joconostle* no tuvo diferencia significativa con *O. matudae*, lo que es consistente ya que se trata de especies productoras de xoconostles; lo mismo que sucede con *O. albicarpa* y *O. ficus-indica* que no tuvieron diferencia significativa ya que se trata de especies productoras de tunas dulces.

En el caso de los °Bx de las paredes de los frutos se observó que aunque la diferencia en general resultó significativa, la especie *O. joconostle* no tuvo diferencia significativa con *O. matudae*; y *O. heliabravoana* no tuvo diferencia significativa con *O. albicarpa*, éste último caso resulta interesante debido a que *O. heliabravoana* ha sido comunmente clasificada dentro del grupo de las especies productoras de xoconostles, sin embargo en este caso resulta tener semejanza con una especie de tuna dulce.

Finalmente en la prueba de Tukey para °Bx de los funículos se observó que la diferencia en general resultó significativa, sin embargo vemos que *O. joconostle* no tuvo diferencia con *O. matudae*; y que *O. heliabravoana* no tuvo diferencia con *O. albicarpa*.

De este modo, podemos decir que con base a las pruebas de significancia ANOVA y Tukey HSD, entre grupos si existen diferencias significativas que permiten distinguir a las especies productoras de xoconostles de las especies productoras de tunas dulces, quedando en el centro la especie *O. heliabravoana*, la cual comparte características con ambos grupos por lo que se le denomina xoco-tuna. Lo anterior nos permite proponer un rango de acidez y uno de concentración de azúcares para distinguir xoconostles y xoco-tunas de tunas dulces (Tabla 6). Hay que mencionar que el pH que refiere Bravo-Hollis (1978) para xoconostles es de 3.7 a 4.5, y para las tunas dulces, de 5.2 a 6.0, y no establece uno para xoco-tunas.

**Tabla 6.** Escala propuesta para pH y °Bx, para xoconostles, xoco-tunas y tunas.

Tipo de fruto	pH Paredes	pH Funículos	°Bx Paredes	°Bx Funículos
<b>Xoconostles</b>	2.70 – 4.15	2.79 – 4.09	3.8 – 6.0	3.0 – 8.0
<b>Tunas</b>	3.97 – 5.15	4.12 – 6.18	4.0 – 9.0	5.0 – 11.50
<b>Xocotunas</b>	3.70 – 4.38	3.40 – 4.63	4.20 – 8.0	6.10 – 9.20

Además, después de realizar análisis de regresión lineal, en este estudio se encontró que el pH está directamente relacionado con los °Bx.

Asimismo, se considera que la diferencia encontrada entre los frutos de la misma especie se debe a sus características genéticas, al grado de madurez de cada fruto y al medio en el que se encuentran. Por lo tanto los valores de pH y °Bx

pueden variar pero no de manera significativa. Ávalos Andrade *et al.* (2006) proponen que al iniciar la fase de senescencia (abscisión) el pH aumenta en las especies *O. albicarpa*, *O. matudae* y *O. oligacantha*. De igual manera Kerstupp *et al.* (2006) encontraron que los frutos cultivados, de la misma especie, en dos diferentes localidades, indicaron diferencias significativas, sin embargo reportan que *O. matudae* resistió bien las condiciones adversas de temperatura y humedad, conservando por largo tiempo su propiedades, resultado con el que Mercado *et al.* (2010b) coinciden así como el presente trabajo. Moreno-Álvarez *et al.* (2008) efectuaron evaluaciones bromatológicas en una especie productora de xoconostles. Encontrando que la pulpa de los frutos tiene un pH=  $5.2 \pm 0.01$  y °Bx=  $11.0 \pm 0.01$ , destacan que los valores del pH y acidez de ésta especie se encuentran dentro del intervalo descrito por otros autores sin embargo lo anterior no concuerda con los resultados obtenidos en esta investigación, ya que en este estudio el pH de los funículos de los xoconostles es menor a 4.1, esto podría explicarse por la temporada, lugar y condiciones del medio donde se colectaron los frutos utilizados en ese artículo.

Asimismo Álvarez y Peña-Valdibia (2009) encontraron que con el aumento en la maduración de los frutos de *O. matudae* hay un incremento en el contenido de mucílago, pectinas y celulosa.

Aguirre *et al.* (2010) hicieron la caracterización fisicoquímica de la tuna de *Opuntia ficus-indica* formas blanca y amarilla. El pH en la forma blanca fue igual a  $6 \pm 0.5$  y la acidez fue  $0.048 \pm 0.02\%$ . En la forma amarilla el pH fue  $6 \pm 0.3$  y la acidez de

0.061±0.02%, resultados concordantes con los obtenidos en esta investigación (pH 6.18).

Las especies estudiadas son muy resistentes y su vida de anaquel es larga, por lo que representan una oportunidad para aumentar su mercado tanto en fresco, como mínimamente procesados.

González-Cruz *et al.* (2010), a partir del estudio del pH en cuatro especies de tunas y una de xoconostles, obtenidas de la región del Alto Mezquital, Hidalgo, elaboraron jaleas y mermeladas. Encontraron que la mermelada de *Opuntia joconostle*, fue la que presentó mejores características, debido a que, en forma natural, su acidez está en el intervalo de acción de las pectinas: pH= 3.3, mientras que el pH de las tunas es más básico, por lo que fue necesario adicionarles ácido cítrico para la obtención del pH óptimo.

Morales *et al.* (2012) Observaron que la pulpa de *O. joconostle* y *O. matudae* contiene cantidad apreciable de fibra soluble y compuestos antioxidantes tales como el ácido ascórbico, mientras que las semillas son fuente de fibra, fenoles, flavonoides, tocoferoles y ácidos grasos poliinsaturados, por lo que recomiendan la introducción de los xoconostles en la dieta habitual y ser empleados como aditivos en la fabricación de productos alimenticios.

Finalmente hay que destacar que los frutos de *O. heliabravobana* han sido considerados como xoconostles, sin embargo, en ésta investigación encontramos que, de acuerdo a su pH y °Bx, a veces se relaciona con las tunas dulces y en otras ocasiones, se relaciona con los xoconostles.

Lo anterior nos habla de que esta especie posee características de ambos grupos, lo cual nos sugiere que puede tratarse de un híbrido entre una especie productora de tunas y otra de xoconostles, denominado *xoco-tuna*.

Así, hay que destacar que los valores del pH y °Bx de las especies analizadas se encuentran dentro del intervalo descrito por otros autores (Moreno-Álvarez *et al.* 2008; Kerstupp *et al.* 2006; Ávalos Andrade *et al.* 2006; Aguirre *et al.* 2010 y González-Cruz *et al.* 2010)

## VIII. Conclusiones

El análisis estadístico permitió comprobar que *O. matudae* y *O. joconostle* tienen el pH más ácido que las demás especies estudiadas, seguido de la *O. heliabravoana* y finalmente, las especies: *O. albicarpa* y *O. ficus-indica* que presentaron un pH más alcalino, esto es, sus frutos son dulces.

En cuanto al pH de las paredes de los frutos (*Diagrama 1*), *O. matudae* y *O. joconostle* forman un grupo, *O. albicarpa* y *O. ficus-indica* forman otro grupo, y se observa que *O. heliabravoana* está casi al nivel de los xoconostles, pero se encuentra encadenada al grupo de las tunas dulces.

En cuanto al pH de los funículos de los frutos (*Diagrama 2*), *O. albicarpa* y *O. ficus-indica* forman un grupo, *O. matudae* y *O. joconostle* forman otro grupo, y *O. heliabravoana* está casi al nivel de las tunas dulces, pero está encadenada al grupo de los xoconostles.

De acuerdo con éstos resultados se concluye que la *O. heliabravoana* comparte características tanto con xoconostles como con tunas dulces, ya que su pH de paredes es similar al de las tunas, y su pH de funículos es similar al de los xoconostles.

En cuanto a los °Bx de las paredes de los frutos (*Diagrama 3*), *O. matudae* y *O. joconostle* forman un grupo, al cual se encuentra encadenada *O. albicarpa*. *O. heliabravoana* se encadena a *O. albicarpa*, y *O. ficus indica* se encadena a *O. heliabravoana*, todas a diferentes niveles. Siendo *O. ficus-indica* la que mayor concentración de azúcares posee.

En cuanto a los °Bx de los funículos de los frutos (*Diagrama 4*), *O. matudae* y *O. joconostle* forman un grupo. *O. albicarpa* y *O. heliabravoana* forman otro grupo. *O. ficus-indica* se encadena a ambos grupos.

De acuerdo con éstos resultados se concluye que la concentración de azúcares tiende a presentar mayor variación que el pH, especialmente en el caso de las tunas dulces, ya que las dos especies de xoconostles se mantienen con poca variación y formando parte del mismo grupo tanto para pH como para °Bx.

Lo anterior se vio reflejado en la prueba de análisis de varianzas y en la prueba de Tukey HSD ya que resultaron significativas. Y se pudieron corroborar las diferencias puntuales entre especies, así como las especies dónde no existen diferencias.

Se encontró que el pH y °Bx están directamente relacionados. Asimismo, existe una correlación positiva entre los valores obtenidos con la desviación estándar y el coeficiente de variación.

De acuerdo a lo encontrado en este estudio y a la bibliografía se recomienda el uso de *O. matudae* y *O. joconostle* para la fabricación de jugos ácidos, mermeladas para dietas bajas en calorías, como colorante en la industria alimenticia y para la extracción de vitamina C. González-Cruz *et al.* (2010) encontraron que *O. joconostle* posee mejores características para la fabricación de mermeladas, debido a que en forma natural, su acidez está en el intervalo de acción de las pectinas: pH= 3.3, además contiene cantidad apreciable de fibra soluble. Asimismo, Morales *et al.* (2012) reportan que *O. joconostle* y *O. matudae* poseen alta concentración de ácido ascórbico (Vitamina C).

*O. heliabravoana*, al ser agridulce, puede utilizarse tanto para hacer mermeladas así como el uso de sus frutos como frutos de mesa, elaboración de aguas frescas, jugos y mermeladas agri-dulces.

Se elaboraron ejemplares de herbario de las plantas colectadas con 25 números de colecta, que enriquecieron cuatro herbarios: MEXU, CHAP, MO y ARIZ.

Se cultivaron dos cladodios de cada planta colectada para enriquecer la *Colección Nacional de Nopales Silvestres de México del JB-IBUNAM* que podrán ser utilizadas en futuros proyectos de investigación y de ser necesario, como banco de germoplasma para reforestación o restauración ecológica.

## IX. Literatura citada

1. Aguirre A., Godoy M., Torres M. y J. Reyes. 2010. **Caracterización físicoquímica del fruto de tuna**. Universidad Técnica Particular de Loja. Centro de Transferencia de Tecnología e Investigación Agroindustrial (CETTIA). Loja-Ecuador. P: 1-3.
2. Álvarez R y C. Peña-Valdivia. 2009. **Structural polyssacharides in xoconostle (*Opuntia matudae*) fruits with different ripening stages**. J. PACD (2009) 11: 26-44.
3. Anderson E., Barthlott W. y R. Brown. 2001. **The cactus family**. Timber Press Inc. U.S.A. P: 15-19.
4. Arias S., López S. y L. Cruz. 1997. **Flora del Valle de Tehuacan-Cuicatlán**. Fascículo 14. Instituto de Biología. UNAM. P: 5-6.
5. Ávalos-Andrade A., Ramírez-Córdova Y., Goytia-Jiménez M., Barrientos-Priego A. y C. Saucedo-Veloz. 2006. **Etileno en la Abcisión del fruto de tres especies del género *Opuntia***. Revista Chapingo Serie Horticultura **12** (1): 127-133.
6. Basáez R. L. 2009. **¿Qué es el pH?: Formas de medirlo**. Ciencia...Ahora **23** (12): 59-62.
7. Bautista-Justo M., L. García-Oropeza, R. Salcedo-Hernández y L. A. Parra-Negrete. 2011. **Azúcares en Agaves (*Agavetequilana Weber*) cultivados en el estado de Guanajuato**. Acta Universitaria, Guanajuato, Gto. México. **11** (1): 34-35.

8. Bravo-Hollis H. 1978. **Las cactáceas de México**. Universidad Nacional Autónoma de México. Volumen I.
9. Bravo-Hollis H. y L. Scheinvar. 1995. **El interesante mundo de las cactáceas**. Conacyt: Fondo de Cultura Económica. México. 233 pp.
10. Calderón G. E. 2007. **Morfogénesis in vitro de *Aztekiumhintonii* Glass y F. Maurice, *Mammillaria san-angelensis* Sanchez-mejorada, y *Mammillaria sanchez-mejoradae* Gonzalez, Cactáceas endémicas y en peligro de extinción**. Tesis Maestría (Maestría en Ciencias Biológicas), Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F. 67pp.
11. Cerezal P. y G. Duarte. 2005. **Algunas características de tunas (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller) cosechadas en el Altiplano Andino de la 2ª Región de Chile**. J. PACD. P: 34-60.
12. Cometuna, Red Nopal y CONABIO. 2008. **Nopales, tunas y xoconostles**. Primera Edición. Consejo Mexicano del Nopal y Tuna, A.C., Red Nopal y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
13. Corrales-García J., Peña- Valdivia C., Raso-Martínez Y. y M. Sánchez-Hernández. 2004. **Cidity changes and pH-buffering capacity of nopalitos (*Opuntia spp.*)**. Postharvest Biology and Technology. **32** (2): 169-174.
14. Fabián V., Montiel S., Olivares O., Zavaleta B. y A. Fierro. 2004. **Efecto simbiótico entre poblaciones micorrízicas sobre *Opuntia matudae* establecida en una ladera altamente erosionada**. Memoria del X Congreso Nacional y VIII Congreso Internacional sobre el Conocimiento y

- Aprovechamiento del Nopal y otras Cactáceas de Valor Económico. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México.CD.
15. Gallegos C. y C. Mondragón. 2011. **Cultivares selectos de tuna de México al mundo**. Universidad Autónoma de Chapingo. México. P: 4-10.
  16. Gallegos C., Méndez S. y C. Mondragón.2013. **Producción sustentable de la tuna**. Colegio de Postgraduados y Fundación Produce S.L.P. A.C. México. P: 3,9-21.
  17. Gonzáles-Cruz L., Filardo-Kerstupp S. y A. Bernardino-Nicanor. 2010. **Elaboración de jaleas y mermeladas de cinco especies de tuna**. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
  18. Hernández B. 1990. **Algunas opuntias en los remedios medicinales en los pobladores de San Luis Potosí, México**. Memoria de la III Reunión Nacional y I Reunión Internacional sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, P: 355-358.
  19. Hunt D. y N. Taylor. 2002. Studies in the Opuntioideae (Cactaceae). Edit. David Hunt. England. 255p.
  20. Kerstupp S., Peña M., Scheinvar L., Cruz B., Juarez J. y A. Zúñiga. 2006. **Validación de una mermelada elaborada con xoconostle (Opuntia matudae Scheinvar)**. Industria Alimentaria. Alfa Editores Técnicos. Enero-Febrero. P: 18-29.
  21. López M., Mercado J., Martínez G., Carranco C. y M. Flores. 2010. **Estudios preliminares para la optimización de mermelada a base de pulpa y**

- cáscara de tunas variedades reina y xoconostle.** Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Guanajuato. P: 1-8.
22. Mercado J., López M., Martínez G., Flores J. y S. Arévalo. 2010a. **Estudio de las propiedades fisicoquímicas de las variedades de tuna roja pelona (*Opuntia ficus-indica*), morada, reina (*Opuntia amyclaea*) y xoconostle (*Opuntia matudae Scheinvar*) bajo almacenamiento refrigerado.** Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Guanajuato. IX Congreso de Ciencia de los Alimentos y V Foro de Ciencia y Tecnología de Alimentos. P: 138-145.
23. Mercado J., López M., Martínez G. y M. Arias. 2010b. **Estudio de las propiedades reológicas de la tuna en fresco.** Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Guanajuato. P: 1-7.
24. Moreno M., Medina C., Antón L., García D. y Belén R. 2003. **Uso de pulpa de tuna (*Opuntia boldinghii*) en la elaboración de bebidas cítricas pigmentadas.** INCI 28 (9).
25. Moreno-Álvarez M., García-Pantaleón D., Camacho D., Medina C. y N. Muñoz. 2008. **Análisis bromatológico de la tuna *Opuntia elatior* Miller (Cactaceae).** Rev. Fac. Agron. 25 (1) Caracas mar.
26. Pagano M. y K. Gauvreau. 2001. **Fundamentos de Bioestadística.** Segunda edición. 525p.
27. Pinkava J. D. 2002. **Chromosome numbers of the Continental North American Opuntioideae (Cactaceae).** Appendix 1. SucculentPlantResearch. Vol. (6): 78-98.

28. Prieto F., Filardo S., Román A., Méndez M. y E. Pérez. 2008. **Caracterización físicoquímica de semillas de Opuntias (*O. imbricata* sp y *O. matudae*sp) cultivadas en el estado de Hidalgo, México**. Revista Institucional Universidad Tecnológica del Chocó: Investigación, Biodiversidad y Desarrollo **27** (1): 76-84.
29. Sánchez G. N. 2006. **Extracción y caracterización de los principales pigmentos del Opuntia joconostle c.v. (xoconostle)**. Tesis Maestría (Maestría en Tecnología Avanzada) Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada. Instituto Politécnico Nacional. México D.F. 107pp.
30. Scheinvar L., 1999. **Biosistemática de los xoconostles mexicanos y su potencial económico**. In: Memoria del VIII Congreso Nacional y V Internacional sobre conocimiento y aprovechamiento del Nopal. San Luis Potosí, México. pp. 255-274.
31. Scheinvar L. 2004. **Flora Cactológica del Estado de Querétaro: Diversidad y Riqueza**. Fondo de Cultura Económica. México.
32. Scheinvar L. 2013. **Atlas de Nopales Silvestres Mexicanos**. México. (En prensa).
33. Scheinvar L. et al. 2009. **Diez especies mexicanas productoras de xoconostles: Opuntia spp. y Cyllindropuntia imbricata (Cactaceae)**. Primera Edición. UNAM, UAEH, UAM-Xochimilco. México. P: 17, 38-41.
34. Zavaleta-Berckler P., Olivares-Orozco L., Montiel-Salero D., Chimal-Hernández A. y L. Scheinvar. 2001. **Fertilización orgánica en xoconostle (Opuntia joconostle y O. matudae)**. Agrociencia **35** (6): 609-614.

- 35.2001. **Abasto Empresarial, S.A. de C.V.** Página en red:  
<http://www.abastoempresarial.com/brix.htm>.
- 36.1999-2011. **El mundo de las plantas.** Botanical-Online S. L. Página en red:  
<http://www.botanical-online.com/ph.htm>.
- 37.2013, **Scribd.** Página en red: <http://es.scribd.com/doc/36943010/GRADOS-BRIX>.
- 38.2013. **InfoagroSystems, S.L. C.** Página en red:  
[http://www.infoagro.com/instrumentos\\_medida/doc\\_refractometria\\_refraccion.asp?k=20](http://www.infoagro.com/instrumentos_medida/doc_refractometria_refraccion.asp?k=20).
- 39.Pimienta-Barrios, Eulogio et al. **Efecto de la ingestión del fruto de Xoconostle (Opuntia joconostle Web.) sobre la glucosa y lípidos séricos.** *Agrociencia* [online]. 2008, vol.42, n.6, pp. 645-653. ISSN 1405-3195.

