UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD XOCHIMILCO

Casa abierta al tiempo

MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

CALIDAD DE SUELOS Y FRUTOS DE XOCONOSTLE (O*puntia* spp.) CULTIVADOS Y SILVESTRES EN EL ESTADO DE HIDALGO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA EN CIENCIAS

PRESENTA

MÓNICA GUTIÉRREZ ROJAS

COMITÉ TUTORAL

DIRECTOR: DR. GILBERTO VELA CORREA
CO-DIRECTOR: DR. DANIEL RUIZ JUÁREZ
ASESOR: DR. JAVIER L. OLIVARES OROZCO

CIUDAD DE MÉXICO, A 26 DE JULIO DE 2018

COMITÉ TUTORAL

Director: Dr. Gilberto Vela Correa

Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco
División de Ciencias Biológicas y de la Salud
Departamento El Hombre y su Ambiente

Co-Director: Dr. Daniel Ruiz Juárez

Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco
División de Ciencias Biológicas y de la Salud
Departamento de Producción Agrícola y Animal

Asesor: Dr. Javier L. Olivares Orozco

Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco
División de Ciencias Biológicas y de la Salud
Departamento de Producción Agrícola y Animal

Maestría en Ciencias Agropecuarias

Ciudad de México a 26 de julio de 2018

Los que suscriben, miembros del jurado examinador de la alumna Mónica Gutiérrez Rojas con número de matrícula 2153802747 hace constar que hemos revisado y aprobado la tesis titulada

"Calidad de suelos y frutos de xoconostle (*Opuntia* spp.) cultivados y silvestres en el estado de Hidalgo"

Tesis presentada como requisito para obtener el grado de **Maestra en Ciencias Agropecuarias**

_____

Dr. Octavio Guerrero Andrade

Presidente

_____

Dr. Emilio Raymundo Morales Maldonado

Secretario

_____

Dr. Javier Olivares Orozco

Vocal

AGRADECIMIENTOS

A mi mamita, que desde el cielo me guía, me protege y me da fortaleza y confianza para salir adelante, para ser mejor madre y persona…Te amo con todo mi ser, GRACIAS por darme la vida y por ser mi madre.

A mi segunda madre, Martha Rojas y mi hermana Claudia A. Espinosa por ser mis confidentes, mis consejeras, por su inmenso amor, pero sobre todo muchas gracias por el apoyo infinito e incondicional que me brindan en los momentos de alegría y tristezas, siempre están en mi corazón.

A mi padre por darme la vida y su amor.

A mi hijo Adrián C. Gutiérrez por su amor infinito, por ser la alegría y la razón más grande de mi vida, el motor que me impulsa y motiva a salir adelante para superarme día con día.

Al Dr. Daniel Ruiz por impulsarme a realizar este gran sueño, por ser mi maestro y amigo, por confiar en mí, por su apoyo incondicional en todo momento y en este camino de aprendizaje y enseñanza, pero principalmente, por motivarme a seguir adelante día con día y demostrarme que los sueños se logran con esfuerzo, dedicación, paciencia, confianza y amor.

Al Dr. Gilberto Vela por sus enseñanzas, su paciencia, su apoyo y por confiar en mí para cumplir éste gran sueño.

Al Dr. Javier Olivares por confiar en mí y por todo su apoyo durante este camino de grandes enseñanzas.

A mi amiga Mónica Y. López por su gran paciencia, amistad sincera e incondicional, por sus valiosos consejos y compañía en momentos importantes de mi vida.

Al Dr. Octavio Guerrero y Dr. Emilio R. Morales por su apoyo, asesoría y formar parte del Comité Evaluador.

A Oscar Cano por apoyarme y asesorarme en las prácticas de campo y laboratorio, por ser un excelente amigo, por sus consejos y por escucharme en todo momento.

A la Universidad Autónoma Metropolitana por facilitar los recursos necesarios para la realización de la presente investigación.

A los productores que nos proporcionaron el material necesario para dar cumplimiento a los objetivos de la presente investigación.

Mantén tu pensamiento en todo lo alto, siempre para adelante;
si retrocedes la mirada,
que sea solo para valorar todo lo que has crecido,
todo lo que has avanzado,
todo lo que has enriquecido en sabiduría,
todos los valores que has acumulado,
pero sobre todo, si vas a girar el rostro
que sea para valorar todo cuanto eres en la actualidad.
Tienes lo que hasta ahora necesitas,
más adelante tendrás lo que verdaderamente te haga falta
...Así que a "Vivir con Amor" y no luches en contra de ti misma.

RJD

ÍNDICE

ÍNDICE DE CUADROS iii
ÍNDICE DE FIGURAS v
RESUMEN vi
ABSTRACT vii
I. INTRODUCCIÓN 1
II. JUSTIFICACIÓN 2
III. ANTECEDENTES 3
3.1 Xoconostles 3
3.1.1 Origen 3
3.1.2 Clasificación taxonómica 4
3.1.3 Descripción fenológica de la planta 5
3.1.4 Usos e importancia 7
3.1.5 Valor nutrimental del fruto de xoconostle 8
3.2 Producción de nopal en el mundo 10
3.2.1 Producción de xoconostles en México 11
3.2.2 Producción de xoconostles en Hidalgo 13
3.2.3 Exportación del xoconostle 14
3.3 Suelos 15
3.3.1 Indicadores de calidad de suelos de xoconostle 15
3.3.2 Disponibilidad de nutrimentos 15
IV. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN 17
V. HIPÓTESIS 18
VI. OBJETIVOS 19
6.1 Objetivo general 19
6.2 Objetivos específicos 19
VII. MATERIALES Y MÉTODOS 20
7.1 Sitio de estudio 20
7.2 Trabajo en campo 21
7.2.1 Identificación de especies de xoconostle (*Opuntia* spp.) 22
7.2.2 Muestreo de frutos de xoconostle 23
7.2.3 Muestreo de suelos 24
7.3 Trabajo en laboratorio 24
7.3.1 Caracterización morfométrica de los frutos de xoconostle 24
7.3.2 Análisis Químico Proximal de los frutos de xoconostle (AQP) 26
7.3.3 Bases intercambiables en frutos de xoconostle 26
7.3.4 Caracterización física de los suelos 26
7.3.5 Caracterización química de los suelos 27
7.4 Análisis estadístico 27
VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 29

8.1 Identificación de especies de plantas de xoconostle 29
8.1.1 Sitio 1 Ex-Hacienda El Marquez 29
8.1.2 Sitio 2. Ex-Hacienda El Marquéz 30
8.1.3 Sitio 3. Localidad Sta. Ma. Michimaltongo 31
8.1.4 Sitio 4. Chile Verde, localidad Mamithí 32
8.2 Caracterización morfométrica de los frutos 33
8.3 Caracterización química de los frutos 39
8.3.1 °Brix y pH 39
8.3.2 Análisis Químico Proximal (AQP) 40
8.3.3 Bases intercambiables 44
8.4 Propiedades físicas de los suelos 46
8.5 Caracterización química del suelo 48
8.5.1 Bases intercambiables 49
VIII. CONCLUSIONES 51
IX. REFERENCIAS 52

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1.	Características químicas de especies tuneras y xoconostle (*Opuntia* spp.). Scheinvar et al., 2009……..…..……	8
2.	Contenido de minerales en epidermis, pulpa y semillas en fruto de xoconostle Cuaresmero (*O. matudae*) de tres localidades productoras (Morales, 2009)…...……...……...….	9
3.	Contenido proximal en epidermis, pulpa y semillas de fruto de xoconostle Cuaresmero (*O. matudae*) de tres localidades productoras (Morales, 2009)……...…….……...…….	9
4.	Datos bromatológicos de *O. joconostle*. Análisis químico inmediato (Scheinvar et al., 2009)……...……..	10
5.	Principales productores de nopal tunero a nivel mundial (INE, 2013)……..…….	10
6.	Producción anual de nopal en México (SIAP, 2015)……...……..	11
7.	Producción de xoconostle en México por estado y ciclo agrícola 2014-2015 (SIAP, 2015)……..…….....	11
8.	Producción de xoconostle por municipio en el Estado de México ciclo agrícola 2014 (SIAP, 2015)…..……	12
9.	Producción de xoconostle por municipio en el estado de Hidalgo ciclo agrícola 2014-215 (SIAP, 2015)……..	13
10.	Identificación de especies de plantas de xoconostle en Chapantongo, Tula de Allende y Huichapan, Hgo…….	33
11.	Características morfométricas de frutos de xoconostle cultivados y silvestres de *O. joconostle* cv. Burro y frutos de *O. matudae* cv. Cuaresmero de Chapantongo, Tula de Allende y Huichapan, Hgo……...…….……	35
12.	Peso del fruto completo, cáscara, pulpa y semillas de frutos de xoconostle cultivados y silvestres de *O. joconostle* cv. Burro y frutos de *O. matudae* cv. Cuaresmero de Chapantongo, Tula de Allende y Huichapan, Hgo……..……...……	36
13.	Características físicas de frutos de xoconostle cultivados y silvestres de *O. joconostle* cv. Burro y frutos de *O. matudae* cv. Cuaresmero de Chapantongo, Tula de Allende y Huichapan, Hgo...……..……	38
14.	Uniformidad del color de la superficie y densidad de areolas de frutos de xoconostle cultivados y silvestres de *O. joconostle* cv. Burro y frutos de *O. matudae* cv. Cuaresmero de Chapantongo, Tula de Allende y Huichapan, Hgo….……...……	39
15.	°Brix y pH de frutos de xoconostle cultivados y silvestres de *O. joconostle* cv. Burro y frutos de *O. matudae* cv. Cuaresmero de Chapantongo, Tula de Allende y Huichapan, Hgo……...…….……	40
16.	Análisis Químico Proximal en BS[1] de frutos de xoconostle cultivados y silvestres de *O. joconostle* cv. Burro y frutos de *O. matudae* cv. Cuaresmero de Chapantongo, Tula de Allende y Huichapan, Hgo…….……...	43
17.	Bases intercambiables de frutos de xoconostle cultivados y silvestres de *O. joconostle* cv. Burro y frutos de *O. matudae* cv. Cuaresmero de Chapantongo, Tula de Allende y Huichapan, Hgo……..…...……	46

18. Caracterización física en suelos de frutos de xoconostle cultivados y silvestres de *O. joconostle* cv. Burro y frutos de *O. matudae* cv. Cuaresmero de Chapantongo, Tula de Allende y Huichapan, Hgo…….……... 47

19. Caracterización química en suelos de frutos de xoconostle cultivados y silvestres de *O. joconostle* cv. Burro y frutos de *O. matudae* cv. Cuaresmero de Chapantongo, Tula de Allende y Huichapan, Hgo……...……...…….. 49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1.	Fenología de la planta *Opuntia* spp. **a)** Planta arborescente, **b)** Cladodio y **c)** Flor……..…	6
2.	Morfología del fruto de xoconostle. **a)** Color y **b)** Estructura interna del fruto……..….	6
3.	Países a los que México exporta fruta de xoconostle. SAGARPA, 2015…….……...	15
4.	Ubicación geográfica de los sitios de estudio **a)** Municipio de Chapantongo, **b)** Huichapan, **c)** Tula de Allende……...……	20
5.	Equipo de campo. **a)** GPS Garmin Etrex 20X®, **b)** Clinómetro SUUNTO®…….…….	22
6.	Estructura de la planta. **a)** Altura de la planta de xoconostle, **b)** Posición, altura y color de los frutos en un lote de producción…….……	22
7.	Muestreo de frutos. **a)** Muestreo de frutos de xoconostle de plantas silvestres, **b)** Muestreo de frutos de xoconostle de plantas cultivadas……..……..	23
8.	Muestreo de suelos. **a)** Puntos de muestreo, **b)** Profundidad de la cepa…….……...	24
9.	Caracterización morfométrica de los frutos de xoconostle. **a)** Forma **b)** Uniformidad del color de la superficie **c)** Diámetro longitud y **d)** Diámetro ecuatorial…….……...……	25
10.	Descripción de la planta de *O. matudae* (Cuaresmero) en la Ex-Hacienda El Márquez, Chapantongo, Hgo. **a)** Planta arbustiva y suelo franco arenoso, **b)** Color y tamaño del cladodio y **c)** Color y forma de los frutos……...…….…….	29
11.	Descripción de la planta de *O. joconostle* en la Ex-Hacienda El Marquez, Chapantongo, Hgo. **a)** Planta arbustiva **b)** Color y tamaño del cladodio y **c)** Color y forma de los frutos de Chapantongo, Hgo.……...……...…….	30
12.	Descripción de la planta de *O. joconostle* en Sta. Ma. Michimaltongo. **a)** Planta arborescente **b)** Color y tamaño del cladodio; Color y forma de los frutos de Tula de Allende, Hgo…… ……	31
13	Descripción de la planta de *O. joconostle* en Chile Verde, localidad Mamithí. **a)** Altura de planta **b)** Color y tamaño del cladodio; Color y forma de los frutos de Huichapan, Hgo.…….……...……..	32

RESUMEN

México es centro de origen de opuntias; los estudios respecto a las características morfológicas y fisiológicas de especies cultivadas y silvestres son escasos, lo mismo que la calidad físico química de los suelos cultivados con xoconostle y solo se centran en aspectos de cultivo y producción, por lo que el objetivo de esta investigación fue determinar la calidad de suelos y frutos de xoconostle *O. matudae* cv. Cuaresmero y *O. joconostle* cv. Burro cultivados y silvestres en Hidalgo. El trabajo se realizó en el ciclo agrícola P-V y O-I en tres municipios del Valle del Mezquital, Hidalgo en plantas productoras de xoconostle que predominan comercialmente. Se colectaron frutos de xoconostle y se evaluaron las características físicas de los frutos completos, cáscara, pulpa y semillas. Se realizó el Análisis Químico Proximal (AQP) en base seca, porcentaje de °Brix, pH y se cuantificaron las bases intercambiables (Na^+, K^+, Ca^{2+} y Mg^{2+}). En los suelos se evaluó la textura, color, espacio poroso, densidad aparente y real. Las características químicas evaluadas en los suelos fueron la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), Conductividad Eléctrica (CE), pH y MO. Los resultados se analizaron mediante un diseño experimental aleatorio, las diferencias entre las medias se probaron con un ANOVA y la comparación de medias con la prueba de Tukey con un nivel de significancia de $p<0.05$. Por sitio se observaron diferencias significativas en el diámetro longitudinal, ecuatorial, y cicatriz del receptáculo, también en peso del fruto completo, pulpa y semillas. El contenido de azucares entre las especies *O. joconostle* y *O. matudae* fueron de 6.65 y 5.58 °Brix y el pH de 3.13 y 3.08, respectivamente. El porcentaje más alto del AQP se observó en las semillas en extracto etéreo, proteína y fibra; en la cáscara fue en fibra y en la pulpa las cenizas. El Na^+ y K^+ fueron mayores en pulpa, el Ca^{2+} en cáscara y el Mg^{2+} en las semillas. Los suelos de los cuatro sitios fueron franco arenosos de color pardo-gris, con pH de moderadamente ácido a neutro. Los suelos del Sitio 2 y Sitio 3 tuvieron mayor porosidad con densidad aparente baja. La CE y CIC fueron más altas en el sitio 3 (0.56 mS y 18.92 cMol). Los suelos presentaron diferencias significativas en las bases intercambiables. El Ca^{2+} fue más bajo en el sitio 3 (0.21 cMol). El Na^+ presentó el valor más alto en el Sitio 1 (5.13 cMol) a diferencia del Sitio 4 (0.38 cMol). En conclusión, en Hidalgo la calidad físico química de los suelos son favorables para el cultivo de xoconostle. En los xoconostles la calidad se observó en la morfología, fisiología y química de los frutos. Los parámetros de calidad con valores y porcentajes más altos se expresaron en frutos silvestres de *O. joconostle* Burro.

ABSTRACT

Mexico is the center of origin of opuntias, studies on the morphological and physiological characteristics of cultivated and wild species are scarce, as well as the physical and chemical quality of the soils cultivated with xoconostle and only focus on aspects of cultivation and production, so the objective of this investigation was determine the quality of soils and fruits of xoconostle *O. matudae* (Cuaresmero) and *O. joconostle* Burro cultivated and wild in Hidalgo.

The work was carried in the agricultural cycle P-V and O-I in three municipalities of the Valle del Mezquital, Hidalgo in plants producing xoconostle that predominate commercially. Fruits of xoconostle were collected and the physical characteristics were evaluated of the complete fruits, skin, pulp and seeds. The Proximal Chemical Analysis was carried out on a dry basis, percentage of ° Brix, pH and the interchangeable bases were quantified (Na^+, K^+, Ca^{2+} and Mg^{2+}). In the soils were evaluated the texture, color, porous space, apparent and real density. The chemical characteristics evaluated in the soils were the CIC, CE, pH and MO. The data were analyzed by means of a randomized experimental design, the differences between the means were tested with an ANOVA and the comparison of means with the Tukey test with a level of significance of $p < 0.05$. By site significant differences were observed in the longitudinal, equatorial diameter, and scar of the receptacle, also by weight of the whole fruit, pulp and seeds. The content of sugars between the species *O. joconostle* and *O. matudae* were 6.65 and 5.58 ° Brix and the pH of 3.13 and 3.08, respectively. The highest percentage of AQP was observed in the seeds in ether extract, protein and fiber; in the skin it was in fiber and in the pulp the ashes. The Na^+ and K^+ were higher in pulp, the Ca^{2+} in the skin and the Mg^{2+} in the seeds. The soils of the four sites were sandy loam gray-gray, with a pH of moderately acid to neutral. The soils of Site 2 and Site 3 had higher porosity with low bulk density. EC and CIC were highest at site 3 (0.56 mS and 18.92 cMol). The soils presented significant differences in the interchangeable bases. Ca^{2+} was lowest at site 3 (0.21 cMol). Na^+ had the highest value in Site 1 (5.13 cMol) unlike Site 4 (0.38 cMol). In conclusion, in Hidalgo the physical and chemical quality of the soils are favorable for the cultivation of xoconostle. In the xoconostles the quality was observed in the morphology, physiology and chemistry of the fruits. The quality parameters with higher values and percentages were expressed in wild fruits of *O. joconostle* Burro.

I. INTRODUCCIÓN

El xoconostle (O*puntia* spp.) además de ser una planta endémica de México, constituye uno de los recursos fitogenéticos más distribuidos en el mundo (CONABIO, 2009). En Mesoamérica la mayor trascendencia de éstas cactáceas se encuentra en el desarrollo histórico-cultural del pueblo mexicano (Granados y Castañeda, 1991). De acuerdo a Scheinvar et al. (2009), las grandes nopaleras fueron uno de los recursos naturales trascendentes en los procesos de sedentarización del pueblo mesoamericano y a la calidad de los suelos donde proliferaban estas opuntias.

Entre las opuntias se encuentran los xoconostles (*nochtli*=tuna; *xoco*=agria); quienes producen frutos ácidos (Olivares et al., 2003). En la actualidad los xoconostles presentan un gran potencial económico y alimenticio debido a sus múltiples usos como verdura, condimento, salsas, botanas, fruta seca, cristalizada, fruta en almíbar, mermeladas, quesos, refrescos, vinos, vinagre, licores y jugos (Fierro et al., 2006; Martínez-Soto et al., 2012); además de sus propiedades medicinales y terapéuticas atribuidas a la alta cantidad de pigmentos y antioxidantes que posee, así como hipoglucémicas, en el control del colesterol y reducción de peso corporal. Así mismo, en la ganadería se utiliza como cerco vivo y alimento para el ganado (Bravo y Sánchez, 1991; Scheinvar et al., 2001). Pese a las bondades de los frutos como alimento, a nivel nacional e internacional se desconocen las buenas prácticas de cosecha donde se establezcan los indicadores de calidad e inocuidad de los suelos y frutos óptimos para el consumo. Por lo que en ésta investigación se propuso realizar un estudio de calidad de suelos y frutos de xoconostle (*Opuntia* spp.) cultivados y silvestres en el estado de Hidalgo.

II. JUSTIFICACIÓN

En México y en el extranjero el consumo de frutos de xoconostle frescos o procesados va en aumento, sin embargo para este producto no existe un marco regulatorio donde se especifiquen parámetros en materia de calidad e inocuidad de los frutos, de la misma manera se desconoce el manejo agronómico sobre las Buenas Prácticas Agrícolas, Buenas Prácticas de Cosecha y Almacenamiento de los frutos, por consiguiente la movilización nacional e internacional de frutos de xoconostle cultivados y silvestres se ve limitada (Ramírez et al., 2014). Además, se desconoce la calidad e inocuidad de los suelos donde se cultivan especies productoras de xoconostle, dado que los suelos pudieran ser una limitante o un riesgo de contaminación para los frutos.

La producción y consumo de especies productoras de xoconostle en el Valle del Mezquital del estado de Hidalgo va en aumento, así como la demanda de frutos por determinado sector de la población que se encargan de darle un valor agregado, al transformar los frutos en productos y subproductos para su consumo, sin considerar el grado de afectación por el posible riesgo de contaminación física, química o microbiológica presente en los suelos y frutos de ésta planta.

III. ANTECEDENTES

3.1 Xoconostles

3.1.1 Origen

Los nombres comunes con los que se le reconoce al *O. joconostle* Weber son xoconostle, joconostle blanco, joconostle cenizo, burro, nopal tempranillo y tuna xoconostle (Olivares et al., 2003; Scheinvar et al., 2009). En el caso de *O. matudae* cv. Cuaresmero se le conoce con el nombre de Cuaresmero (Scheinvar et al., 2009).

Rebman y Pinkava (2001) consideran que el centro de origen y diversificación del género *Opuntia* está en el desierto Chihuahuense, donde existía la extensa nopalera conocida como el "Gran Tunal". Este importante centro de diversificación lo integran los estados de Zacatecas, Durango, Aguascalientes, San Luis Potosí, Guanajuato, Jalisco, Querétaro e Hidalgo, y se extendía hasta el suroeste de E.U.A. También Barthlott y Hunt (2000) mencionan que ésta gran diversidad de cactáceas llegaron a ocupar el 100% de la cobertura vegetal del estado de Zacatecas. Asimismo, Scheinvar y Sule (2010) mencionan que un factor de diversificación de las cactáceas, en especial los nopales, desde hace tres millones de años, fue a través de la dispersión de semillas que se debió a la mega fauna herbívora. Según Janzen (1986), los animales ejercen una vigorosa presión selectiva en el consumo y evolución de caracteres como los cladodios recubiertos de espinas con frutos pequeños pasando a frutos grandes y sin espinas. El mismo autor considera que las semillas de cactáceas pudieron migrar largas distancias dentro de los tractos digestivos de éstos animales y que la extinción de éstos animales provocó la privación de los vectores principales de dispersión de semillas, generando una contracción en su distribución geográfica.

Gallegos et al. (2014) mencionan que las posibles causas de exterminio de los xoconostles silvestres se debe a los factores bióticos y abióticos entre los que destaca el fuego, el efecto de plagas y con ello la causa de enfermedades, además la intervención del hombre por los constantes cambios de uso de suelo tan radicales como lo son la práctica de tumba, rosa y quema con la finalidad de transformar un ambiente natural en un sitio destinado en el mejor de los casos a la agricultura y la ganadería, además del crecimiento de la mancha urbana con la construcción de residencias, industrias y obras viales, presas, líneas telefónicas y redes eléctricas.

3.1.2 Clasificación taxonómica

De acuerdo a Bravo-Hollis (1978) la taxonomía de las cactáceas es complicada, ya que la mayoría de los sistemas de clasificación generan confusiones y contienen mucha sinonimia. El xoconostle, no es una categoría natural, el vocablo se refiere a toda aquella cactácea productora de frutos ácidos, que incluye a los géneros: *Opuntia, Cylindropuntia* (con una sola especie *Cylindropuntia imbricata* (Haw.) F.M. Knuth in Backeb. & F.M. Knuth) y *Stenocereus*. Dentro del género *Opuntia* sólo se considera a dos especies como productoras de xoconostles: *O. leucotricha* DC y *O. joconostle* F.A.C. Weber. Aunque, Scheinvar (2001; 2009) al estudiar las cactáceas del Valle de México, refiere nueve especies del género *Opuntia* (Subgéneros *Opuntia* y *Cylindropuntia*), que son: *Opuntia elizondoana* E. Sánchez & Villaseñor; *O. heliabravoana* Scheinvar (Xoconostle Blanco, Nopal Chaparro, Duraznillo Blanco), *O. imbricata* (Haw) DC. (Abrojo, Xoconostle, Coyonostle, Choya), *O. joconostle* Weber (Burro o Xoconostle Blanco), *O. leucotricha* DC. (Nopal Duraznillo), *O. matudae* Scheinvar (2009) (Xoconostle Colorado, Cuaresmero), *O. oligacantha* Först. (Xoconostle Corriente), *O. spinulifera* Salm-Dyck (Nopal Ardilla) y *O. zamudioi* Scheinvar.

Scheinvar et al. (2011) reportó otras especies que no habían sido reconocidas como productoras de xoconostles, no obstante, a la fecha se desconoce el número total de especies, productoras de xoconostles, esto indica que podría elevarse a más de veinte especies endémicas de México. Recientemente en Saín Alto, Zacatecas, Gallegos-Vázquez et al. (2014) encontraron una nueva variedad del género *Opuntia* Miller (Cactaceae), denominada xoconostle "Sainero".

De acuerdo a Bravo-Hollis (1978) la taxonomía más usada para la clasificación de las cactáceas es el sistema de Britton y Rose, el cual permite la clasificación de las *Opuntias*.

Reino Vegetal
- Sub Reino Embryophita
  - División Angioespermae
    - Clase Dycotyledonea
      - Subclase Dialipetalas
        - Órden Opuntiales
          - Familia Cactaceae
            - Subfamilia Opuntioideae
              - Tribu Opuntiae
                - Género *Opuntia*
                - Subgénero Platyopuntia
                - Especie *O. joconostle* Weber

3.1.3 Descripción fenológica de la planta

Las plantas del género *Opuntia* spp. son de hábito arborescente de 1 a 3 m de altura, con pseudotallo cubierto con una corteza grisácea (Figura 1a). Los cladodios son obovados de 18 a 28 cm de largo y de 18 a 40 cm de ancho, con un espesor de 1.5 a 3 cm, de color verde claro a amarillentos cubiertos con una capa cerosa grisácea, glóquidas amarillas y espinas blancas (Figura 1b). Flores de color amarillas-anaranjadas (Figura 1c) (Olivares et al., 2003; Scheinvar et al., 2009; Guevara, 2013). De acuerdo a Scheinvar et al. (2009), los frutos de *Opuntia* spp. son ovalados, de 12 a 14 cm de largo, en su mayoría son de color verde con manchones rosa-rojizos, la cicatriz floral ligeramente hundida y estriada, en la parte inferior del fruto se localiza el receptáculo (Figura 2a). El fruto se compone de pericarpio (cáscara), mesocarpio (pulpa) y endocarpio (semillas) (Figura 2b). El pericarpio es delgado con aréolas chicas, dispuestas en 5-6 series, piriformes, distantes 1 cm entre sí y 1.5 cm entre series, espinas ausentes, glóquidas amarillas. El mesocarpio es grueso, ácido, semiseco, insípido, ligeramente perfumado, color blanco rosado y rosa rojizo alrededor de las semillas (Figura 2b) (Bravo-Hollis, 1978; Olivares et al., 2003; Scheinvar et al., 2009). Semillas dispuestas en el centro del fruto de 60 a 195 semillas, lenticulares, color crema, rosadas, anguladas de 0.35 cm de diámetro; arilo lateral irregular ancho, con un mucrón característico, región hilo micropilar lateral, ligeramente profunda; funículos secos a semisecos (Figura 2b) (Olivares et al., 2003; Scheinvar et al., 2009; Martínez-González, 2010; Guevara, 2013).

La parte comestible del fruto corresponde al mesocarpio, de la cual se producen frutos encurtidos y sus derivados (agua fresca, salsa, vinos, mermelada, vinagre) (Olivares et al., 2003; Scheinvar et al., 2009; Martínez, 2010; Guevara, 2013).

Figura 1. Fenología de la planta *Opuntia* spp. **a)** Planta arborescente, **b)** Cladodio y **c)** Flor.

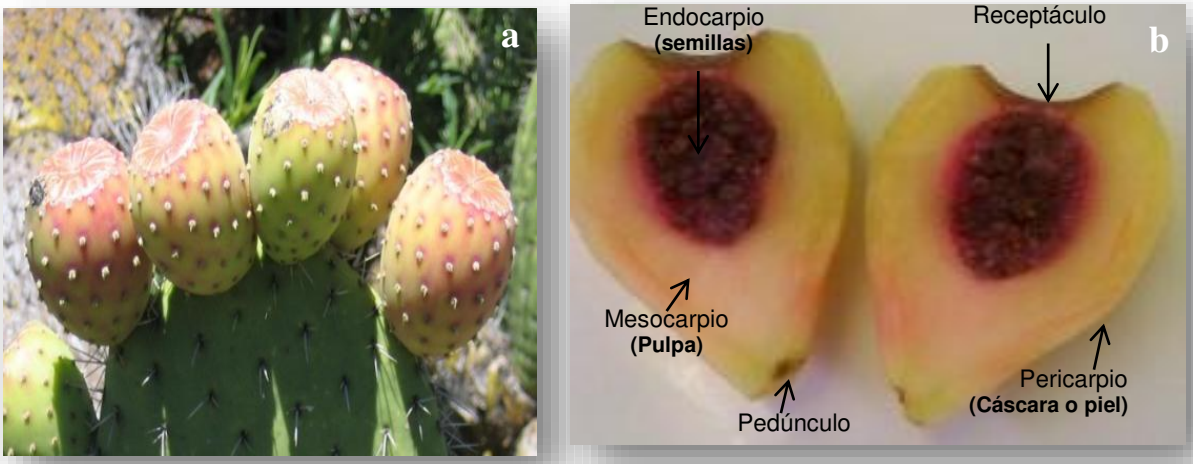


Figura 2. Morfología del fruto de xoconostle. **a)** Color y **b)** Estructura interna del fruto.

3.1.4 Usos e importancia

Bravo y Sánchez (1991); Olivares et al. (2003); Scheinvar et al. (2001; 2009) mencionan que las especies del género *Opuntia* productoras de xoconostle por sus usos en la agricultura, alimentación, industria y farmacéutica, tienen gran importancia a nivel local, regional e incluso internacional.

Desde el punto de vista económico, son un factor de sustento tanto para el pequeño productor como para el comerciante de frutos de xoconostle, éste fruto actualmente se utiliza como condimento y verdura en varios platillos. A partir de la pulpa del xoconostle se elaboran salsas, mermeladas, fruta seca y cristalizada, fruta enchilada, fruta en almíbar, refrescos, vinos, licores, jugos y vinagre (Fierro et al., 2006; Flores, et al., 2007; Martínez-Soto et al., 2012). Por sus propiedades medicinales y terapéuticas se usa como medicina alternativa por su alto contenido en vitamina C (Sawaya et al., 1983; Barbera e Ingleses, 1992; Sánchez y Ortega, 1996; Scheinvar et al., 2009) (Cuadro 1), por su contenido de fibra, por la alta cantidad de pigmentos y antioxidantes que posee, así como propiedades hipoglucémicas y en el control del colesterol y triglicéridos, además de reducción de peso corporal (Guevara, 2013).

De acuerdo a Bravo y Sánchez (1991) y Scheinvar et al. (2001) el xoconostle en la ganadería se utiliza como cerco vivo y alimento para el ganado. Asimismo, en el aspecto ecológico, ésta planta es resistente a la sequía, los frutos persisten en los cladodios de 8 a 12 meses sin deteriorarse, además son formadoras de suelo, por lo que previenen la erosión. Además, las raíces de la planta interactúan con la microbiota del suelo como bacterias fijadoras de nitrógeno y micorrizas que ayudan a la absorción de los nutrientes (Olivares et al., 2003; Scheinvar et al., 2009).

Cuadro 1. Características químicas de especies tuneras y xoconostle (*Opuntia* spp.).

	Pulpa y semilla tuna	Cáscara y semilla xoconostle
pH	5.8	3.3
Proteína (%)	0.8	5.1
Lípidos (%)	1.1	5.2
Fibra cruda (%)	0.4	12.0
Cenizas (%)	2.6	17.0
Ácido cítrico (mg/100 g)	1.2	23.6

Fuente: Sawaya et al., 1983; Barbera e Ingleses, 1992; Sánchez y Ortega, 1996; Scheinvar et al., 2009.

3.1.5 Valor nutrimental del fruto de xoconostle

El fruto del xoconostle pesa de 70 a 130 g. Del peso total, el 23% corresponde al pericarpio, 62% al mesocarpio y 15% al endocarpio (Scheinvar et al., 2009). Guzmán (2009) menciona que el contenido nutricional de los frutos de xoconostle, tiende a variar dependiendo del sitio de producción, de la especie y del cultivar.

Morales (2009) realizó una caracterización fitoquímica funcional del fruto de xoconostle cuaresmeño (*O. matudae*), donde analizó el contenido químico (Cuadro 2 y 3) (minerales, proteína, grasas y ceniza) y nutracéutico (polifenoles, vitamina C y betalaínas), poniendo énfasis en la capacidad antioxidante, así como la biodisponibilidad de estos compuestos en las diferentes estructuras de frutos provenientes de los Estados de Hidalgo, México y Puebla.

Cuadro 2. Contenido de minerales[1] en epidermis, pulpa y semillas en fruto de xoconostle Cuaresmero (*O. matudae*) de tres localidades productoras.

	Minerales					
Tejido del fruto/origen	**Na (%)**	**K (%)**	**Ca (%)**	**Mg (%)**	**Fe (ppm)**	**Zn (ppm)**
Epidermis Hidalgo	ND	3.29±0.09$_{a}$	2.69±0.05$_{b}$	0.91±0.00$_{a}$	62.30±0.57$_{b}$	17.35±0.64$_{abc}$
Epidermis México	ND	3.09±0.01$_{a}$	3.20±0.06$_{a}$	0.92±0.02$_{a}$	95.90±3.39$_{b}$	12.75±0.50$_{cde}$
Epidermis Puebla	ND	3.00±0.04$_{a}$	3.06±0.03$_{a}$	0.82±0.01$_{b}$	59.70±1.70$_{a}$	10.10±0.00$_{cde}$
Pulpa Hidalgo	ND	2.48±0.09$_{b}$	1.41±0.03$_{d}$	0.51±0.01$_{d}$	15.80±4.95$_{c}$	8.31±1.67$_{de}$
Pulpa México	ND	2.20±0.06$_{b}$	1.96±0.13$_{c}$	0.64±0.02$_{c}$	12.65±5.02$_{c}$	6.55±1.07$_{de}$
Pulpa Puebla	ND	2.51±0.28$_{b}$	1.89±0.21$_{c}$	0.69±0.06$_{c}$	13.44±5.32$_{c}$	5.29±0.71$_{e}$
Semilla Hidalgo	ND	0.21±0.02$_{c}$	0.48±0.04$_{e}$	0.19±0.01$_{e}$	19.30±2.40c	22.05±4.45$_{ab}$
Semilla México	ND	0.20±0.00$_{c}$	0.49±0.01$_{e}$	0.18±0.00$_{e}$	16.25±3.32$_{c}$	23.40±3.68$_{a}$
Semilla Puebla	ND	0.22±0.01$_{c}$	0.49±0.01$_{e}$	0.14±0.00$_{e}$	17.35±0.78$_{c}$	14.10±2.26$_{bcd}$

Los resultados son el promedio de dos experimentos independientes con tres repeticiones.
Letras iguales no presentaron diferencias significativas mediante la prueba de Tukey ($p<0.05$).
[ND]No definido. [1]Los resultados son expresados en base seca.
Fuente: Morales, 2009.

Cuadro 3. Contenido proximal[1] en epidermis, pulpa y semillas de fruto de xoconostle Cuaresmero (*O. matudae*) de tres localidades productoras.

Tejido del fruto/origen	**Proteína (%)**	**Grasa (%)**	**Ceniza (%)**	**Fibra (%)**			**Carbohidratos (%)**
				Soluble	**Insoluble**	**Total**	
Epidermis Hidalgo	2.75±0.09 $_{c}$	4.78±0.44 $_{c}$	13.57±0.60 $_{a}$	6.79±0.18 $_{a}$	12.10±0.03 $_{a}$	18.89±0.14 $_{b}$	60.01
Epidermis México	2.38±0.09$_{c}$	4.54±0.44 $_{c}$	14.04±0.61$_{a}$	7.94±0.60 $_{a}$	12.43±0.04 $_{a}$	20.36±0.63 $_{a}$	58.68
Epidermis Puebla	2.47±0.04 $_{c}$	4.51± 0.33$_{c}$	13.70±0.20 $_{a}$	2.60±0.08 $_{c}$	10.63±0.88 $_{b}$	13.23±0.82 $_{c}$	66.09
Pulpa Hidalgo	1.63±0.00 $_{d}$	5.05±0.30 $_{c}$	8.27±0.24 $_{b}$	3.03±0.59 $_{c}$	7.60±0.55 $_{c}$	10.64±0.03 $_{d}$	74.41
Pulpa México	1.78±0.44 $_{d}$	5.19±0.45 $_{c}$	9.03±0.21$_{b\,c}$	1.66±0.10 $_{d}$	7.11±0.35 $_{c}$	8.77±0.28 $_{e}$	75.23
Pulpa Puebla	2.66±0.44 $_{c}$	5.28±0.25 $_{c}$	9.14±0.10 $_{c}$	1.60±0-13 $_{d}$	6.91±0.63 $_{c}$	8.52±0.72 $_{e}$	74.4
Semilla Hidalgo	6.84±0.22 $_{b}$	7.23±0.40 $_{b}$	1.70±0.06 $_{c}$	0.72±0.11 $_{e}$	0.60±0.06 $_{d}$	1.31±0.16 $_{f}$	82.92
Semilla México	7.22±0.44 $_{b}$	8.10±0.17 $_{a}$	1.95±0.08 $_{c}$	0.32±0.01 $_{e}$	0.06±0.01 $_{d}$	0.38±0.01 $_{f}$	82.35
Semilla Puebla	8.16±0.13 $_{a}$	7.15±0.23 $_{b}$	1.90±0.09 $_{c}$	0.30±0.04 $_{e}$	0.07±0.01 $_{d}$	0.37±0.04 $_{f}$	82.42

Los resultados son el promedio de dos experimentos independientes con tres repeticiones.
Letras iguales no presentaron diferencias significativas mediante la prueba de Tukey ($p<0.05$).
[1]Los resultados son expresados en base seca.
Fuente: Morales, 2009.

Scheinvar et al. (2009) en su libro Diez Especies Mexicanas productoras de Xoconostles, compara datos bromatológicos del cladodio y el fruto completo de *O. joconostle*, así como la determinación de calcio, hierro y fósforo (Cuadro 4), donde se observa que los valores de los datos bromatológicos analizados en el fruto son más elevados que en el cladodio.

Cuadro 4. Datos bromatológicos de *O. joconostle*. Análisis químico inmediato.

Porcentaje (%)	Cladodio	Fruto
Proteína cruda (N 6.25*)	5.82	7.42
Extracto etéreo	1.35	10.42
Cenizas*	22.31	5.48
Fibra cruda	8.27	45.78
Extracto libre de nitrógeno*	62.26	30.91
T.N.D.	57.92	72.74
Calcio**	-	1.62 (cáscara)
Fósforo**	-	0.09 (cáscara)
Hierro**** ppm	-	352 (cáscara)

*Los resultados se expresan en Base Seca. ** Método de Análisis Químico Proximal AOAC (1990)
****Espectrofotometría de absorción atómica. T.N.D: Total de Nutrimentos Digestibles. ppm: partes por millón.
Fuente: Scheinvar et al., 2009.

3.2 Producción de nopal en el mundo

A nivel mundial la producción de nopal verdura (nopalito) es de 10,700 ha; nopal tunero 97,050 ha; colorante (Cochinilla de la Grana) 71,960 ha; nopal forrajero 1´372,000 ha. (Hernández y Flores, 2004; Scheinvar et al., 2009). La superficie utilizada a nivel mundial de nopaleras silvestres es de 3´500,000 ha y de 1´551,710 ha de nopaleras cultivadas (Scheinvar et al., 2009). En el cuadro 5 se muestran los principales países productores de nopal tunero. México, Italia, Sudáfrica, Chile, Colombia, Israel, Estados Unidos (San Antonio, Chicago, Los Ángeles, Miami y Nueva York) y Canadá (Montreal, Toronto, Edmonton y Vancouver) (Saravia, 2004; Méndez y García, 2006; INE, 2013).

Cuadro 5. Principales productores de nopal tunero a nivel mundial.

País	Sup. cultivada	Producción	Rendimiento	Consumo per Cápita
	ha	*t*	*t/ha*	*Kg/hab.*
México	72,500	350 mil	8	3.69
Italia	2,500	50 mil	20	0.61
Sudáfrica	1,500	15 mil	10	0. 40
Chile	1,495	8 mil	8	0.57
Colombia	300	-	-	-
Israel	300	7,500	25	2.98
Estados Unidos	200	4 mil	820	0.60

Fuente: INE, 2013.

3.2.1 Producción de xoconostles en México

En México según Hernández y Flores (2004) y Flores et al. (2007) se calcula que hay 150,000 ha cultivadas de nopales para forraje, 72,500 ha para la producción de nopal tunero, 10,500 ha para nopalitos y 10,000 ha para producción de la cochinilla grana. En la actualidad la producción de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*.) es de 825 mil t al año, de nopal forrajero es de 140,045.36 t y de nopal tunero es de 568,404.90 t (Cuadro 6) (SIAP, 2015). En el cuadro 7 se muestran los principales estados productores de xoconostle son Zacatecas, Estado de México, Hidalgo, Puebla, San Luis Potosí, Jalisco, Guanajuato (Flores, et al., 2007; SIAP, 2015).

Cuadro 6. Producción anual de nopal en México.

Cultivo	Sup. Sembrada	Sup. Cosechada	Producción
	ha	*ha*	*t*
Nopal verdura	12,038.26	10,996.16	824,602.36
Nopal forrajero	16,266.25	9,454.25	140,045.36
Nopal tunero	55,254.00	51,598.15	568,404.90

Fuente: SIAP, 2015.

Cuadro 7. Producción de xoconostle en México (ciclo agrícola 2014-2015).

Estado	Sup. Sembrada	Sup. Cosechada	Producción	Rendimiento
	ha	*ha*	*t*	*t/ha*
Aguascalientes	647	647	2,178	3.37
Coahuila	131	-	-	-
Durango	4	-	-	-
Guanajuato	1,784	1,784	21,798	2,534
Hidalgo	5,154	4,516	25,915	5.74
Jalisco	2,159	2,154	6,757	3.14
Michoacán	3	3	9	3
México	16,986	16,986	183,458	10.8
Nayarit	6	6	20	3.5
Oaxaca	97	63	256.4	4
Puebla	4,937	4,845	91,985	19
Querétaro	500	434	1,005	2.32
San Luis Potosí	3,085	1,867	13,484	7.22

Tamaulipas	1,520	650	1,975	3.04
Tlaxcala	22	22	88	4
Veracruz	17	15	90	6
Zacatecas	18,202	17,606	219,363	12.47

Fuente: SIAP, 2015.

A nivel nacional los estados productores de xoconostles se agrupan en dos grandes regiones: Región Centro-Norte que comprende los Estados de Zacatecas, San Luis Potosí, Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro y Jalisco; y la Región Centro-Sur el Estado de México, Tlaxcala, Hidalgo y Puebla (Gallegos-Vázquez et al., 2003; Scheinvar et al., 2009; Scheinvar et al., 2011).

En el cuadro 8 se observa el índice de producción de xoconostles en el Estado de México, el valor más alto de superficie cultivada y cosechada se presenta en el municipio de San Martín de las Pirámides con 4,658 ha para ambas (SAGARPA, 2015; SIAP, 2015).

Cuadro 8. Producción de xoconostle por municipio en el Estado de México ciclo agrícola 2014.

Municipio	Sup. Sembrada	Sup. Cosechada	Producción	Rendimiento
	ha	*ha*	*t*	*t/ha*
San Martín de las Pirámides	4,658	4,658	52,815	11.34
Otumba	3,283	3,283	35,807	10.91
Axapusco	3,102	3,102	31,029	10
Nopaltepec	2,740	2,740	27,460	10.02
Teotihuacán	1,556	1,556	17,649	11.34
Temascalapa	1,483	1,483	17,139	11.56
Acolman	125	125	1,235	9.88
Tepetlaxtoc	19	19	164.47	8.66
Tlalnepantla	15	15	108.7	7.25
Tezoyuca	5	5	50	10

Fuente: SIAP, 2015.

Según Reyes-Agüero (2005) en la Altiplanicie Meridional de México, se encuentra la mayor riqueza de variantes silvestres (35% del total de *Opuntia*) y variantes cultivadas de *Opuntia* (144 variedades). En la actualidad, a pesar de que los xoconostles son un recurso fitogenético con grandes potencialidades, existen pocos trabajos que permitan conocer la diversidad, producción y existencia de nuevas especies y variedades (Gallegos y Mondragón, 2011), así mismo en México se desconoce la extensión exacta de nopaleras silvestres con xoconostles del género *Opuntia* (García et al., 2005), por lo que resultan decisivas las investigaciones de exploración, colecta, descripción y evaluación que permita conocer la diversidad existente de xoconostle y desarrollar

propuestas de rescate, conservación y utilización sustentable de este importante recurso vegetal nativo de México.

3.2.2 Producción de xoconostles en Hidalgo

En México se cultivan 1,031 ha de xoconostle con una producción de 10,148 t, de las cuales el estado de Hidalgo produce 184 t, lo que representa 1.87 % del total de la producción nacional (SAGARPA, 2005; SIAP, 2015). Ésta producción ha ido en aumento, en 2008 los estados de Hidalgo y México sumaron una superficie cosechada de mil 256 ha con una producción de 12 mil 298 t (Cuadro 9) (SAGARPA, 2005; SIAP, 2015).

Cuadro 9. Producción de xoconostle por municipio en el estado de Hidalgo.

Municipio	Sup. Sembrada	Sup. Cosechada	Producción	Rendimiento
	ha	*ha*	*t*	*t/ha*
Actopan	650	610	5,310	8.70
Huichapan	496	496	1,726	3.48
Epazoyucan	315	315	1,575	5.00
El Arenal	252	224	1,455	6.60
Cuautepc	203	130	779	5.99
Tezontepec	195	195	858	4.40
San Salvador	186	159	1,447	9.10
Ajacuba	138	138	1,518	11.00
Ixmiquilpan	118	118	885	7.50
Tecozautla	98	98	335	3.42
Zimapán	80	80	150	1.90
Nopala de Villagrán	68	68	149.6	3.27
Santiago de Anaya	57	42	315	7.50
Chapantongo	40	40	130	3.25
Apan	39	25	215	8.15
Tepeapulco	37	26	158	6.10
Santiago	25	25	137.6	5.50
F.I Madero	16	9	75	8.30
Huasca de Ocampo	12.5	12.5	80	6.35
Tolcayuca	10.5	10.5	47.25	4.50
Alfajayucan	10	10	91.1	9.10
Almoloya	9	7	40.6	5.80
Pachuca de Soto	9	9	31.5	3.60
Tlanalapa	9	4	18.8	4.70
Singuilucan	8	8	54	6.75
Atotonilco	7	7	45.5	6.50
Tula	4	4	30	7.50
Tepetitlán	3	3	24	8.00

Fuente: SIAP, 2015.

3.2.3 Exportación del xoconostle

En México los estados de Hidalgo, Zacatecas y el municipio de San Martín de las Pirámides del Estado de México, son los principales exportadores de xoconostle a nivel mundial (Scheinvar et al., 2009). México exporta a Estados Unidos (Chicago, Los Ángeles, Maryland, Atlanta, Dallas y McAllen), Canadá, Alemania, Israel, España, Reino Unido, Francia y Japón una variedad de productos y subproductos a base del xoconostle (Figura 3) (SAGARPA, 2015).

De acuerdo a la SAGARAPA (2008) a partir del 2007 la Sociedad SANEIRA en Saín Alto, Zacatecas exporta a Chicago, Estados Unidos una diversidad de productos a base del xoconostle, el proceso de movilización se realiza siguiendo las más estrictas normas sanitarias para lograr un producto de calidad. En el 2008 en el estado de Hidalgo, cinco empresas obtuvieron su certificación para poder exportar el xoconostle a Alemania, Israel, España y Reino Unido (SAGARPA, 2008).

Desde el 2009, en Chapantongo, Hidalgo, la empresa Xococ, produce de 3-4 t mensuales de productos y subproductos de xoconostle, de la producción total, exporta el 70% de ésta producción a Canadá, Estados Unidos, Francia, Japón y España (Torres, 2011).

Actualmente, la Asociación de Productores Exportadores de Nopal, Tuna, Xoconostle y Penca de Maguey, A.C. de San Martín de las Pirámides Estado de México, exporta 900 t de xoconostle al año, a las ciudades de Los Ángeles, Maryland, Atlanta, Dallas y McAllen Texas de los Estados Unidos de Norte América (Flores, et al., 2007; SAGARPA, 2015).

Recientemente el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) comunicó que la Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SAGARPA), trabaja de la mano con los productores de xoconostle para que se cumplan con los estándares internacionales de sanidad e inocuidad, ya que además del mercado de exportación, los agricultores tienen la misión de ofrecer alimentos de calidad a los connacionales mexicanos. De ésta forma el Secretario de Desarrollo Agropecuario (SEDAGRO) del Estado de México mencionó que en 2015 el SENASICA invirtió 56 millones de pesos para programas de sanidad e inocuidad en la entidad (SAGARPA, 2015).

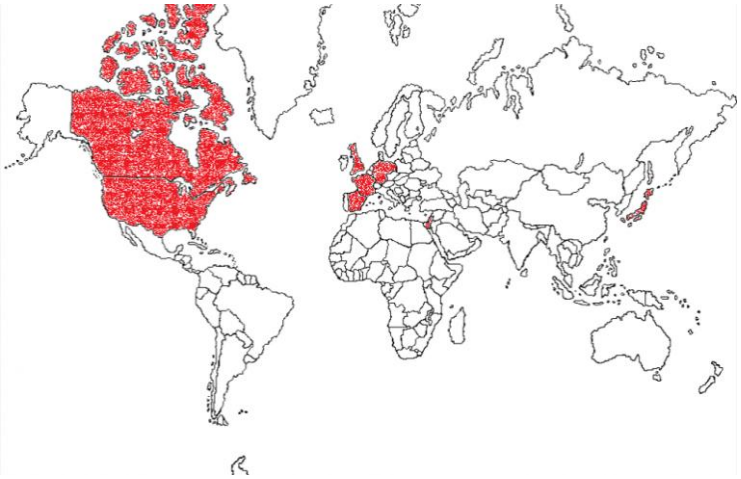


Figura 3. Países a los que México exporta fruta de xoconostle. **Fuente:** SAGARPA, 2015

3.3 Suelos

3.3.1 Indicadores de calidad de suelos de xoconostle

En la actualidad los manuales que sustenten un seguimiento de buenas prácticas de uso de suelo para el cultivo agrícola de plantas de xoconostle, es limitada. Según Pimienta (1990), los xoconostles se desarrollan en todos los tipos de suelo a excepción de suelos húmedos, los cuales aportan poco sostén al sistema radicular, fibroso y superficial. Sin embargo, los xoconostles presentan gran tolerancia hacia suelos pobres en nutrientes o sometidos a deficientes métodos de riego. Por ello, éstas cactáceas sobreviven tanto en el desierto como en la nieve (Olivares et al., 2003). La mayoría de los xoconostles se presentan en suelos vertisoles, luvisoles y feozem (Pimienta, 1990). También Flores y Olvera (1994) mencionan que para la producción comercial y el desarrollo de plantas de xoconostle, los suelos que presentan condiciones óptimas son los que tienen una profundidad de 40 a 70 cm, de origen ígneo o calcáreo, de textura franca, arenosa y areno arcillosa, con buen drenaje y permeabilidad, con pH de 6.5 a 9.5 y con pendientes fuertes, sin embargo, a la fecha no existe información que permita hacer una correlación entre la calidad del suelo y la calidad del fruto (Olivares et al., 2003).

3.3.2 Disponibilidad de nutrimentos

Las especies del género *Opuntia* crecen de manera natural en suelos de baja fertilidad, al someterlos a cultivo, es conveniente aplicar N, P y K principalmente, sin embargo, la fertilización

es una práctica no generalizada y las fuentes, las dosis y la época de aplicación varían de región a región (Zavaleta et al., 2001).

En Huichapan, Hidalgo se evaluó el efecto de la fertilización en la producción de frutos de xoconostle, *O. joconostle* tipo Burro y *O. matudae* tipo Rosa y Blanco, a razón de 36.3, 24.1 y 7.5 kg/ha de N, P y K aplicados a los 16 meses de establecida la plantación, encontrándose que las plantas que fueron fertilizadas empezaron a producir al tercer año posterior a la fertilización. Las plantas no fertilizadas lo hicieron a los cinco años (Zavaleta et al., 2001).

Con relación a la emisión y desarrollo de brotes, *O. joconostle* tiene una respuesta rápida y constante a la fertilización, el periodo de brotes se extiende a seis meses como respuesta a la adecuada presencia de nutrientes, lo cual resulta propicio para alargar el periodo de cosecha de frutos y por lo tanto del mercado (Olivares et al., 2003).

IV. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Los frutos de plantas de xoconostle (*Opuntia* spp.), de parcelas cultivadas con suelos que presentan altos indicadores físico-químicos, tendrán mejor calidad morfométrica y valor nutrimental, que aquellos frutos de plantas que se encuentran distribuidas de manera silvestre?

V. HIPÓTESIS

1. En las parcelas cultivadas con plantas de xoconostle, los frutos tendrán mejor calidad morfométrica y valor nutrimental, que aquellos frutos de plantas que crecen distribuidas de manera silvestre.

2. Los suelos que presentan altos indicadores de calidad (físicos y químicos) producirán plantas con frutos de xoconostle (*Opuntia* spp.) de mejores características morfométricas.

VI. OBJETIVOS

6.1 Objetivo general

Determinar la calidad de suelos y de frutos de xoconostle (*Opuntia* spp.) cultivados y silvestres en el estado de Hidalgo.

6.2 Objetivos específicos

- Identificar las especies de xoconostles (*Opuntia* spp.) cultivados y silvestres en los municipios de Chapantongo, Huichapan y Tula de Allende del Valle del Mezquital estado de Hidalgo.

- Analizar la calidad de los frutos de xoconostle (*Opuntia* spp.) cultivados y silvestres con base en su contenido nutrimental.

- Determinar indicadores de calidad de suelos a partir de las propiedades físicas y químicas en parcelas cultivadas y silvestres de xoconostle (*Opuntia* spp.).

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1 Sitio de estudio

El trabajo se realizó durante los ciclos Primavera-Verano y Otoño-Invierno 2015-2016, en cinco sitios de los municipios de Chapantongo, Huichapan y Tula de Allende del Valle del Mezquital estado de Hidalgo (Figura 4). Los sitios se denominaron como "Sitio 1" Ex-Hacienda El Marquéz, localidad de Santa María Amealco en el municipio de Chapantongo (cultivo de *O. matudae* cv. Cuaresmero), "Sitio 2" Ex-Hacienda El Marquéz, localidad de Santa Ma. Amealco en el municipio de Chapantongo (plantas silvestres de *O. joconostle* cv. Burro), "Sitio 3" Localidad Santa María Michimaltongo, municipio Tula de Allende (plantas silvestres de *O. joconostle* cv. Burro) y "Sitio 4" Chile Verde en la Localidad de Mamithí en el municipio de Huichapan (cultivo de *O. joconostle* cv. Burro).

Figura 4. Ubicación geográfica de los sitios de estudio **a)** Municipio de Chapantongo, **b)** Tula de Allende y **c)** Huichapan.

Los Sitios 1 y 2 se localizan entre 20°12'53" N y 99°32'19" O y 20°12'57" N y 99°32'20" O respectivamente, con una altitud de 2120 m (INEGI, 2009). El clima, con base en Köppen, modificado por García (1988), es BS_1 kw'' (w) (e) templado subhúmedo con lluvias en verano, con una temperatura media anual de 16°C y una precipitación total anual de 500 a 700 mm. Las principales fuentes hidrológicas son dos manantiales llamados El Tanque y El Tanquillo, la presa El Marquéz, tres bordos y dos arroyos. Los suelos dominantes son Phaeozem (63.21%), Vertisol (20.0%), Leptosol (12.0%) y Planosol (3.0%) (INEGI, 2009, INAFED, 2010, INEGI, 2017).

El Sitio 3 se localiza entre 20°03'23" N, a los 99°20'31" O, con una altitud de 2020 m. El clima, con base en Köpenn, modificado por García (1988) es Cw_2 templado-frío, con una temperatura media anual de 17.6°C y una precipitación total anual de 699 mm, el periodo de lluvias es de mayo a septiembre. Tula no es un Municipio rico hidrográficamente, sin embargo cuenta con el Río Tula, el Río Rosas y el Arroyo Grande, cuyas corrientes fueron la base para la construcción de la Presa Endhó. El suelo es de tipo semidesértico, rico en materia orgánica y nutrientes (INAFED, 2010, INEGI, 2017).

El Sitio 4 se localiza entre 20°22'24" N y 99°38'56" O, con una altitud de 2108 m. El clima con base en Köpenn, modificado por García (1988) es BS_1 kw, templado-frío, con una temperatura media anual de 16°C y una precipitación total anual de 437 mm, con un periodo de lluvias en los meses de mayo a septiembre. Las principales fuentes hidrológicas son el arroyo Hondo, el río San Francisco, el cual cruza el territorio de este municipio por la parte media de sur a norte, y la presa Francisco I. Madero cuyo vaso filtrante da origen a una unidad de riego muy cercana al río San Francisco y al río Pathecitos, quienes se juntan en el arroyo Nimacu, dando origen al río Tecozautla. Los suelos dominantes son tipo Phaeozem en un 70%, Vertisol en un 20%, Planosol 8% y renbzina en una mínima parte (INAFED, 2010).

7.2 Trabajo en campo

Con base en un mapa de georreferenciación espacial (1:50 000) en los cuatro sitios de estudio se delimitaron las zonas de producción de xoconostle. De cada sitio de muestreo se tomaron datos de referencia geográfica con un GPS Garmin Etrex 20X® (Figura 5a). De cada sitio de trabajo se realizó una descripción general del tipo de suelo, la vegetación asociada y la pendiente del terreno con un clinómetro SUUNTO® (Figura 5b).

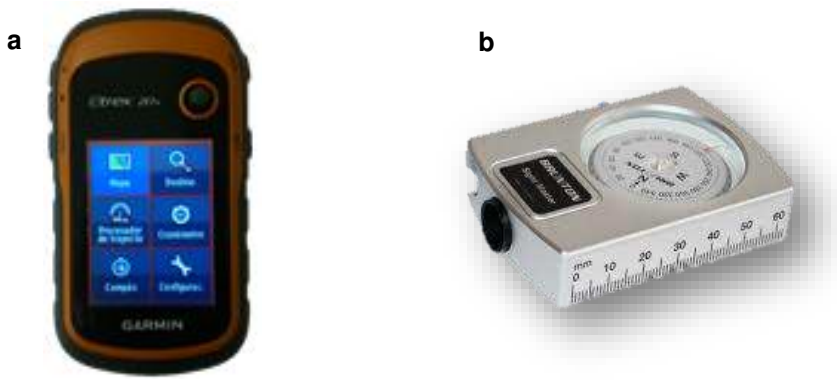


Figura 5. Equipo de campo. **a)** GPS Garmin Etrex 20X®, **b)** Clinómetro SUUNTO®

7.2.1 Identificación de especies de xoconostle (*Opuntia* spp.)

En los sitios de estudio, las plantas productoras de xoconostle se reconocieron con base en el uso de claves dicotómicas especializadas para la identificación de especies productoras de xoconostles (Scheinvar et al., 2009, Scheinvar et al., 2011). De las plantas endémicas de xoconostle se tomó como base de estudio la estructura y la morfología de los cladodios, espinas, altura de la planta (Figura 6a) y color de los frutos (Figura 6b). A partir de las especies seleccionadas se realizó el muestreo de frutos.

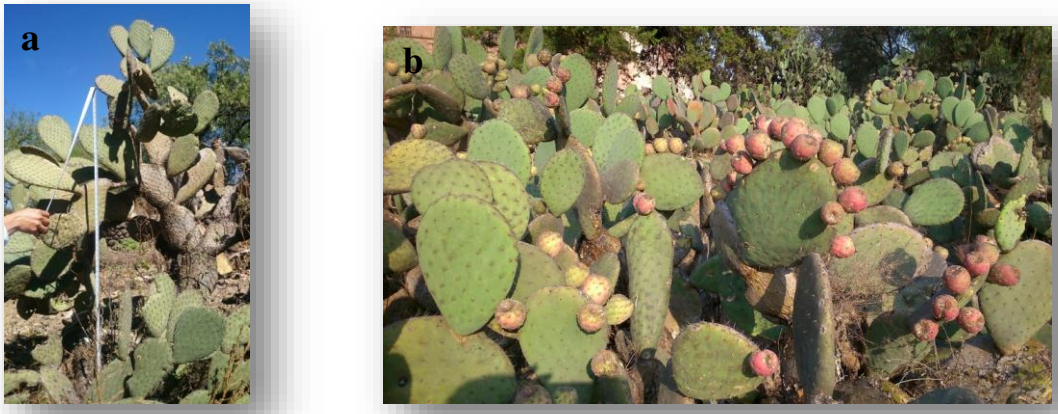
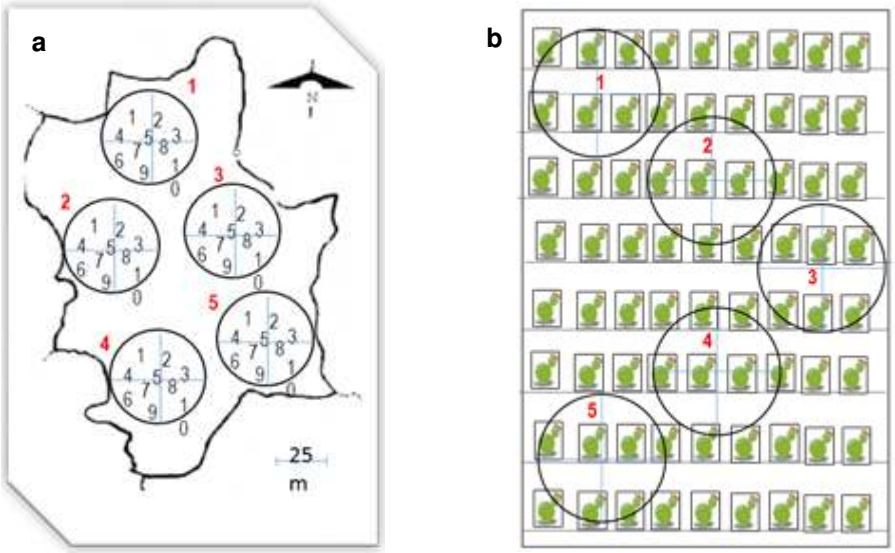


Figura 6. Estructura de la planta. **a)** Altura de la planta de xoconostle, **b)** Posición, altura y color de los frutos en un lote de producción.

7.2.2 Muestreo de frutos de xoconostle

De cada sitio de estudio se tomaron cinco puntos de muestreo distribuidos de forma aleatoria. Cada punto de muestreo cubrió una circunferencia de 25 m^2, en los cuales se seleccionaron diez plantas de xoconostle. A partir de las plantas seleccionadas se tomaron diez frutos de color rosado como indicador de madurez fisiológica para la cosecha, por sitio se colectó un total de 50 frutos de xoconostle (Figura 7a). Los frutos de los sitios cultivados con xoconostle se tomaron de plantas de huertos en producción, con una actividad comercial de cuatro años consecutiva. El marco de plantación se encuentra a una distancia de 3 m entre filas y 3 m entre planta y planta y no cuentan con un programa de fertilización (Figura 7b). En los sitios silvestres, los frutos de xoconostle se tomaron de plantas que son utilizadas como potreros y distribuidas de forma aleatoria. El muestreo de los frutos se realizó de plantas *O. joconostle* (Burro) y *O. matudae* (Cuaresmero), por ser consideradas plantas endémicas de la región y por su potencial de producción y comercialización. Para los diferentes sitios, las plantas de donde se colectaron las muestras se tomaron las coordenadas con un GPS Garmin Etrex 20X®. En ambos casos, los frutos muestreados se colocaron en bolsas de polipapel estéril previamente etiquetadas y se preservaron en refrigeración para su conservación hasta su análisis en laboratorio.



Plantas silvestres Plantas cultivadas

Figura 7. Muestreo de frutos. **a)** Muestreo de frutos de xoconostle de plantas silvestres, **b)** Muestreo de frutos de xoconostle de plantas cultivadas.

7.2.3 Muestreo de suelos

De cada municipio de evaluación, con base en la distribución de los sitios de muestreo de frutos de xoconostle se tomó una muestra de suelo al azar dentro de la circunferencia de 25 m^2 obteniendo cinco muestras por municipio, tomando un total de 20 muestras de suelos (Figura 8a). Para la toma de muestras se utilizó una pala recta, la pala se insertó en forma vertical en la capa arable del suelo a una profundidad de 20 cm, se realizó una cepa de 20 X 20 X 20 cm (Figura 8b). Para los diferentes sitios, las cepas de donde se colectaron las muestras se tomaron las coordenadas con un GPS Garmin Etrex 20X®. Las muestras de suelo se colocaron en bolsas de plástico estériles previamente etiquetadas y se preservaron en refrigeración hasta su análisis.

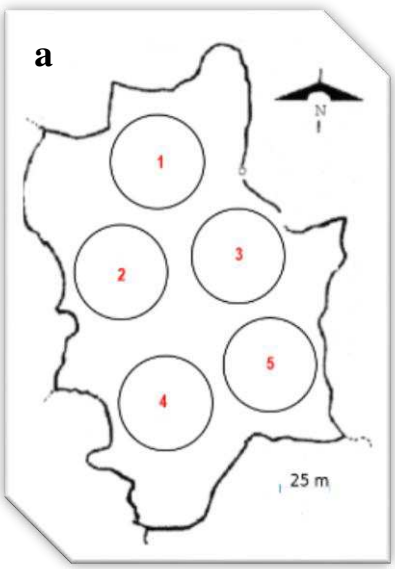


Figura 8. Muestreo de suelos. **a)** Puntos de muestreo, **b)** Profundidad de la cepa.

7.3 Trabajo en laboratorio

7.3.1 Caracterización morfométrica de los frutos de xoconostle

La caracterización física de los frutos de xoconostle se realizó, con base en el Manual Gráfico para la Descripción Varietal del Nopal Tunero y Xoconostle (*Opuntia* spp.) (Gallegos-Vázquez et al., 2005) y la Norma Mexicana Productos Alimenticios no Industrializados para uso Humano – Fruta Fresca – Tuna (*Opuntia* spp.) (NMX-FF-030-SCFI-2006). De cada fruto se midió el diámetro longitudinal (*DL*) (Figura9a), ecuatorial (*DE*) (Figura 9b), del mesocarpio (*DME*), del pedúnculo (*LP*), la cicatriz del receptáculo (*DiaCR*), la depresión de la cicatriz del receptáculo pedúnculo (*DCR*) y el espesor de la cáscara (*EC*) con un Vernier Mitutoyo Absolute Digimatic Caliper®.

Asimismo, se registró la densidad de areólas (*DA*), el número de glóquidas (*NG*), de semillas desarrolladas (*NSD*) y presencia de semillas abortivas (*PSA*), también se observó el color de glóquidas (*CG*), la uniformidad del color de la superficie del fruto (*UCS*) (Figura 9c), la firmeza (*FP*), jugosidad de la pulpa (*JP*), color de pulpa (*CP*) y forma del fruto (*FF*) (Figura 9d). El peso del fruto (*PFC*) se obtuvo con una balanza analítica Citizen®. Posteriormente, los frutos se disectaron y se determinó el peso de cáscara (PC), peso de pulpa (PP) y peso de semillas (PS).

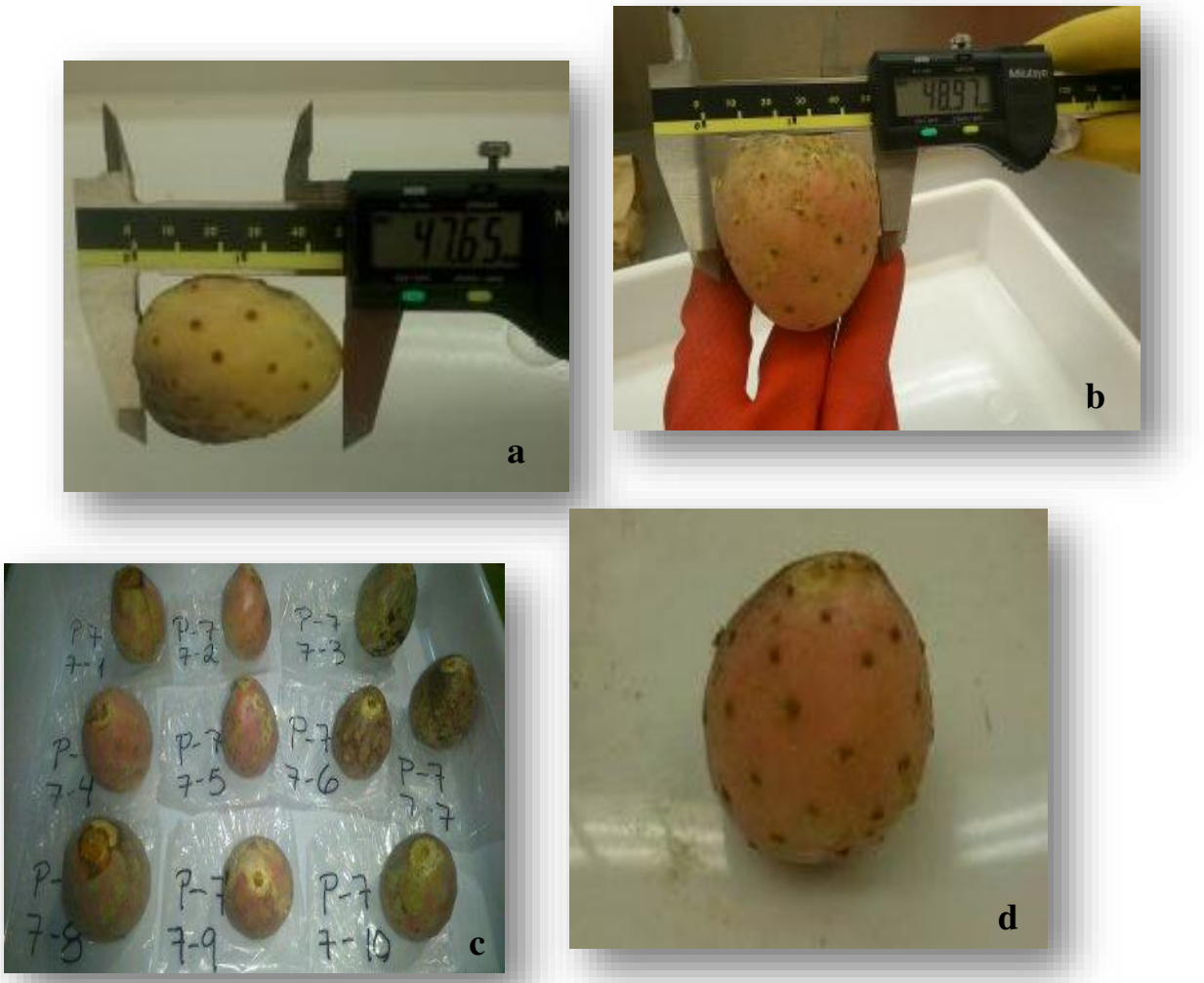


Figura 9. Caracterización morfométrica de los frutos de xoconostle. **a)** Diámetro longitudinal, **b)** Diámetro ecuatorial, **c)** Uniformidad del color de la superficie y **d)** Forma.

7.3.2 Análisis Químico Proximal de los frutos de xoconostle (AQP)

Dentro de la caracterización química, se determinó el porcentaje de °Brix con un refractómetro HANNA Instruments® y de cada disección del fruto se midió el pH con un potenciómetro Conductronic pH 120®. El valor nutrimental de los frutos de xoconostle con base en la técnica de Análisis Químico Proximal de la Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist (Cunniff, 1995). Para su análisis nutrimental los frutos se disectaron en cáscara, pulpa y semillas. La determinación de humedad se basó en la evaporación del agua mediante calor. Las muestras se colocaron en charolas de aluminio en una estufa Riossa® a temperatura constante de 65 ºC durante 24 horas. Posteriormente, las muestras se pulverizaron en un molino IKA®, y se colocaron en bolsas de plástico estériles previamente etiquetadas.

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

7.3.3 Bases intercambiables en frutos de xoconostle

Los frutos se disectaron en cáscara, pulpa y semillas, para eliminar la cantidad de agua, se colocaron en una estufa Riossa® a temperatura constante de 65°C durante 24 horas. Posteriormente, las muestras se pulverizaron en un molino IKA® y se colocaron en bolsas de plástico previamente etiquetadas para su análisis. Para cuantificar la cantidad de calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), sodio (Na^{+}) y potasio (K^{+}) se utilizaron las técnicas descritas en la NOM-021-SEMARNAT-2000. Para determinar Ca^{2+} y Mg^{2+} se realizó una dilución de la muestra y se tituló con EDTA 1N. El Na^{+} y K^{+} se determinaron por medio de una dilución de la muestra en un fotoflamómetro Corning 400®. Los análisis de los frutos de xoconostle se analizaron por triplicado.

7.3.4 Caracterización física de los suelos

Para la evaluación de la calidad y salud del suelo se utilizaron las técnicas descritas en la Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo (Luters y Salazar, 1999), la FAO (2018) y la NOM-021-RECNAT-2000 para Determinar las Características Físicas de los Suelos. Para el secado de

muestras de los suelos se colocaron en una estufa Riossa® a temperatura constante de 30 a 40 ºC durante 24 horas. Posteriormente las muestras se pasaron por un tamiz de 10 mallas y se colocaron en bolsas de plástico para su análisis. La textura se determinó por el Método del Hidrómetro de Bouyoucos, La densidad aparente se determinó por el método de la probeta para medir el espacio ocupado por los sólidos y los espacios de los poros conjuntamente. La densidad real se midió con el método del picnómetro para determinar el volumen de agua que desplaza a los sólidos al ser sumergidos. El espacio poroso se calculó al relacionar la densidad aparente entre la densidad real, mediante la distribución del tamaño de partículas. El color se determinó en suelo seco y en suelo húmedo con base en la clave de Munsell (1975).

7.3.5 Caracterización química de los suelos

Con base en la NOM-021- RECNAT-2000 se determinaron las características químicas del suelo. La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) se determinó por el Método del Versenato (EDTA 0.02 N). Para determinar la salinidad del suelo, se midió la Conductividad Eléctrica (CE) con un Conductímetro Hanna® en una mezcla de suelo:agua en proporción 1:2, el pH del suelo se determinó por el Método de Nessler, con un potenciómetro Conductronic pH 120®. La Materia orgánica (MO) se determinó con base en el Método de Walkley-Black, donde se llevó a cabo la combustión de la MO con una mezcla de dicromato de potasio y ácido sulfúrico Seguido de la reacción, el dicromato residual se tituló con sulfato ferroso.

Las muestras de suelo seco se pasaron por un tamiz de 80 mallas y se colocaron en bolsas de plástico para su análisis. Para cuantificar la cantidad de calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), sodio (Na^{+}) y potasio (K^{+}) se utilizaron las técnicas descritas en la NOM-021-SEMARNAT-2000. Para determinar Ca^{2+} y Mg^{2+} se realizó una dilución de la muestra y se tituló con EDTA al 1N. El Na^{+} y K^{+} se determinaron por medio de una dilución de la muestra en un fotoflamómetro Corning 400®. Los análisis de los suelos se analizaron por triplicado.

7.4 Análisis estadístico

Los resultados se analizaron mediante un diseño experimental aleatorio, con el paquete estadístico Journal of Mathematical Physics (programa JMP V8). Para probar las diferencias entre las medias

de los frutos se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA), y en la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey con un nivel de significancia de $p \leq 0.05$.

VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 Identificación de especies de plantas de xoconostle

La identificación de especies de plantas de xoconostle se determinó de acuerdo en el libro Diez Especies Mexicanas de Xoconostles: *Opuntia* spp. y *Cylindropuntia* imbricata (Cactácea) con base en claves dicotómicas para la identificación de especies productoras de xoconostles (Sheinvar (2009). Se caracterizaron 50 plantas por sitio de acuerdo a la altura, tamaño y color de cladodios, número de aréolas, color de espinas, forma y color del fruto y el promedio de los frutos caracterizados se presentaron por sitio.

8.1.1 Sitio 1 Ex-Hacienda El Marquez

En la localidad Sta. Ma. Amealco Municipio Chapantongo, se observaron plantas de *Opuntia matudae* (Cuaresmero) como arbustivas con tronco definido de 1.5 m de altura (Figura 10a) con cladodios color verde claro subcirculares de 23 cm de ancho y 25 cm de largo y de 11 series de aréolas con manchas rojas, espinas flexibles de color blanco (Figura 10b), los frutos presentaron color rosa y forma elíptica (Figura 10c) (Cuadro 10). La textura del suelo fue franco arenoso, con una pendiente de 13° y vegetación predominante de pastizales halófilos, Popotillo plateado (*Andropogon*), Zacatón (*Muhlenbergia macroura*).

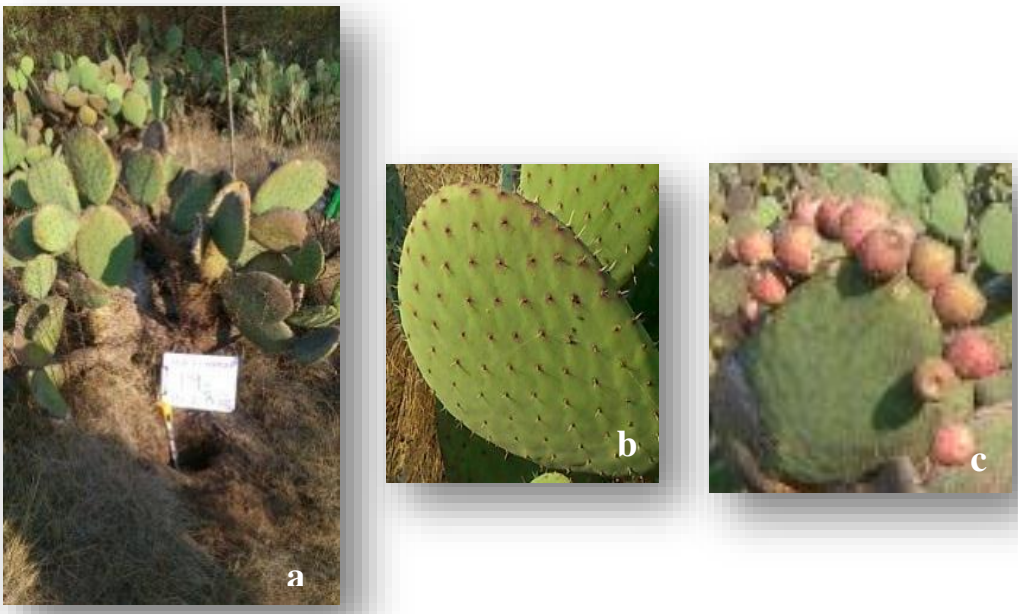


Figura 10. Descripción de la planta de *O. matudae* (Cuaresmero) en la Ex-Hacienda El Marquez, Chapantongo, Hgo. **a)** Planta arbustiva y suelo franco arenoso, **b)** Color y tamaño del cladodio y **c)** Color y forma de los frutos.

8.1.2 Sitio 2. Ex-Hacienda El Marquéz

En la localidad Santa María Amealco Municipio Chapantongo, se identificaron tres especies de xoconostle: *Opuntia joconostle* Burro, *Opuntia matudae* Blanco y *Opuntia robusta*.

Las plantas de *O. joconostle* fueron arbustivas y de tronco definido con una altura de 1.75 m. (Figura 11a). Cladodios de color verde claro, subcirculares de 17 cm de ancho y 24.5 cm de largo, de 9 series de aréolas con espinas blancas (Figura 11b). Frutos de forma oboval de color rosa (Figura 11c) (Cuadro 10). Las plantas de *O. robusta* fueron arbustivas de 1.25 m de altura. Cladodios de color verde-azulado, gruesos y circulares de 23 cm de ancho y 27.5 cm de largo, de 7 series de aréolas con espinas amarillas, abundantes en orillas. Frutos de forma elíptica de color púrpura. Las plantas de *O. matudae* (Blanco) fueron arbustivas con tronco definido de 90 cm de altura. Cladodios color verde opaco circulares de 15.5 cm ancho y 24 cm de largo, de 12.5 series de aréolas con espinas color blancas abundantes. Frutos de color blanco y forma circular. Se observaron suelos franco arenoso con una pendiente de 5° y una vegetación de pastizales como el Tapete panizo (*Leptochloa* spp.), Cebadilla (*Hordeum murinum*), Pongola (*Digitaria eriantha*), Zacatón (*Muhlenbergia macroura*).

Figura 11. Descripción de la planta de *O. joconostle* en la Ex-Hacienda El Marquez, Chapantongo, Hgo. **a)** Planta arbustiva **b)** Color y tamaño del cladodio y **c)** Color y forma de los frutos de Chapantongo, Hgo.

8.1.3 Sitio 3. Localidad Sta. Ma. Michimaltongo

En el Municipio de Tula de Allende, Hidalgo se identificaron plantas de *O. joconostle* Burro y *O. matudae* Blanco. Las plantas de *O. joconostle* Burro presentaron una altura de 2.25 m arborescentes con tronco definido (Figura 12a). Cladodios color verde claro subcirculares de 22 cm de ancho y 28.5 cm de largo, de 10 series de aréolas con espinas pequeñas rígidas color blancas. Frutos de forma oboval y color rosa (Figura 12b) (Cuadro 10).

Las plantas de *O. matudae* blanco presentaron tronco definido, arborescentes con una altura de 2.17 m. Se observaron cladodios color verde opaco, circulares de 18.5 cm ancho y 27.5 cm de largo, de 12.5 series de aréolas con espinas color blancas abundantes. Frutos de color blanco de forma circular. Los suelos se caracterizaron por ser franco arenoso con pendiente de 12° y una vegetación predominante de garambullo (*Myrtillocactus geometrizans)*, órgano (*Lophocereus schottii*), cardo espinoso (*Cylindropuntia echinocarpa*) y cardón (*Cylindropuntia imbricata*).

Figura 12. Descripción de la planta de *O. joconostle* en Sta. Ma. Michimaltongo. **a)** Planta arborescente **b)** Color y tamaño del cladodio; Color y forma de los frutos de Tula de Allende, Hgo.

8.1.4 Sitio 4. Chile Verde, localidad Mamithí

En el Municipio de Huichapan, se identificaron dos especies de xoconostle *O. matudae* (Blanco) y *O. joconostle* (Burro). Las plantas de *O. joconostle* (Burro) fueron arbustivas de 0.60 m a 1.0 m de altura (Figura 13a). Cladodios color verde claro subcirculares de 17 de ancho y 24.5 cm de largo, de 9 series de aréolas con espinas pequeñas rígidas color blancas, se observaron frutos de color verde claro con forma oboval (Figura 13b) (Cuadro 10). Las plantas de *Opuntia matudae* (Blanco) fueron arbustivas sin tronco definido de .85 m altura. Cladodios color verde opaco circulares de 14.5 cm ancho y 22.5 cm de largo, de 12.5 series de aréolas con espinas color blancas abundantes. Frutos de color blanco y forma circular. Los suelos fueron franco arenoso, oscuro y alto en contenido de MO, con una pendiente de 4° y una vegetación predominante de Cebadilla *(Hordeum murinum)* y Cardo (*Cirsium vulgare*).

Figura 13. Descripción de la planta de *O. joconostle* en Chile Verde, localidad Mamithí. **a)** Altura de planta **b)** Color y tamaño del cladodio; Color y forma de los frutos de Huichapan, Hgo.

Cuadro 10. Identificación de especies de plantas de xoconostle en Chapantongo, Tula de Allende y Huichapan, Hgo.

Sitio	Especie	Altura (m)	Cladodio	Aréolas	Fruto
Sitio uno	*O. matudae* (Cuaresmero)	Arbustiva con tronco definido 1.0 a 2.0	Color verde claro Subcirculares 20-25 cm ancho 22-27 cm largo	10-12 series con manchas rojas. Espinas flexibles blancas	Color rosa Forma elíptica
Sitio dos	*O. joconostle* Burro	Arbustiva con tronco definido 1.30 a 2.20 m	Color verde claro Subcirculares 15-19 cm ancho 20-29 cm largo	8-10 series. Espinas rígidas y blancas	Color rosa Forma oboval
Sitio tres	*O. joconostle* Burro	Arbustiva con tronco definido 1.70 a 2.80	Color verde claro Subcirculares 19-25 cm ancho 25-32 cm largo	8-10 series con manchas rojas. Espinas rígidas y blancas	Color verde y rosa Forma oboval y elíptica
Sitio cuatro	*O. joconostle* Burro	0.60 a 1.0 m	Color verde claro Subcirculares 15-19 cm ancho 20-29 cm largo	8-10 series. Espinas rígidas y blancas	Color rosa Forma oboval

Las plantas silvestres de *O. joconostle* Burro presentaron mayor altura y cladodios más grandes a diferencia de las plantas cultivadas de *O. matudae* Cuaresmero y *O. joconostle* Burro.

8.2 Caracterización morfométrica de los frutos

Los valores promedio de las variables medidas de las características morfológicas de los frutos de *O. joconostle* cv. Burro y *O. matudae* cv. Cuaresmero (*DL, DE, DiaCR, DME, LP, DCR y EC*) mostraron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) (Cuadro 11). El *DL* de los frutos de xoconostle fue estadísticamente mayor en el Sitio 2 que corresponde a Chapantongo (plantas silvestres de *O. joconostle* cv. Burro) (67.40 mm), éste valor fue superior a lo reportado por Guzmán-Maldonado et al. (2010) en frutos de xoconostle *O. matudae* Cuaresmero del Estado de México y Puebla (59.00 mm), al igual a lo reportado por Gallegos et al. (2014) en la variedad de xoconostle silvestre "Sainero" (*O. matudae*) del estado de Zacatecas (55.7 mm). Asimismo Pinedo-Espinoza et al. (2014) publicaron un valor de 44.50 mm en frutos de *O. joconostle* silvestres del estado de Hidalgo; también Morales (2009) reportó el diámetro longitudinal promedio de 42.5, 45.4 y 44.6 mm en frutos de *O. matudae* Cuaresmero del estado de Hidalgo, Estado de México y Puebla; finalmente, el valor más bajo para esta característica fue publicado por Guzmán-Maldonado et al. (2010) en frutos de xoconostle *O. matudae* Cuaresmero del estado de Guanajuato (40.0 mm).

El *DE* de los frutos de xoconostle fue mayor en el Sitio 2 (52.34 mm) e igual al Sitio 4 (Cuadro 11), con una diferencia estadística significativa respecto al Sitio 1 de Chapantongo (cultivo de *O. matudae* cv. Cuaresmero) (44.72 mm) y al Sitio 3 de Tula de Allende (plantas silvestres de *O. joconostle* cv. Burro) (44.12 mm). Los valores del diámetro ecuatorial observados en los tres sitios fueron inferiores a lo reportado por Pinedo-Espinoza et al. (2014) en frutos de *O. joconostle* silvestres en Hidalgo (77.80 mm). Asimismo, Gallegos et al. (2014) reportaron valores superiores a los del Sitio 1 y 3 en la variedad de xoconostle silvestre "Sainero" (*O. matudae*) del estado de Zacatecas (46.79 mm), también Guzmán-Maldonado et al. (2010) reportaron valores superiores a estos dos sitios en frutos de xoconostle *O. matudae* Cuaresmero del Estado de México y Puebla (45.0 y 45.0 mm respectivamente). De la misma manera, Morales (2009) reportó valores similares a los Sitios 1 y 3 en frutos de xoconostle Cuaresmero (*O. matudae*) Estado de México y Puebla (45.4 y 44.6 mm respectivamente).

El *DiaCR* fue mayor en el Sitio 2 (29.36 mm) en comparación con los Sitios 1, 3 y 4, éste último sitio corresponde a Huichapan (cultivo de *O. joconostle* cv. Burro), donde no existieron diferencias estadísticas significativas (24.19, 26.19 y 26.12 mm respectivamente) (Cuadro 11), sin embargo, Pinedo-Espinoza et al. (2014) reportaron un valor inferior en frutos de *O. joconostle* silvestres en Hidalgo (2.98 mm).

El *DME* fue mayor en el Sitio 1, 2 y 3 (12.85, 13.57 y 12.99 mm) a diferencia del Sitio 4 que presentó un valor de 8.21 mm, a la fecha no se han reportado datos relacionados con el diámetro ecuatorial en frutos de xoconostle *O. joconostle* y *O. matudae* (Cuadro 11).

La *LP* fue significativamente mayor en el Sitio 4 (15.87 mm) y menor en el Sitio 3 (10.78 mm) (Cuadro 11), datos similares al Sitio 4 fueron reportados por Gallegos et al. (2014) en frutos silvestres de xoconostle "Sainero" (*O. matudae*) (14.4 mm). Sin embargo, Pinedo-Espinoza et al. (2014) reportaron un valor menor en frutos de *O. joconostle* silvestres en Hidalgo (0.37 mm).

Con base en el Manual Gráfico para la Descripción Varietal del Nopal Tunero y Xoconostle (*Opuntia* spp.) (Gallegos-Vázquez et al., 2005), la *DCR* de los frutos de xoconostle tiende a disminuir por el índice de madurez. En este sentido los frutos evaluados con tendencia a color rosa

presentaron diferencias particularmente los del Sitio 1 mostraron una *DCR* de 6.76 mm lo que la caracteriza como fuertemente deprimida. Los Sitios 2, 3 y 4 mostraron una *DCR* de 5.35, 4.56 y 5.12 mm respectivamente, lo que las caracteriza como moderadamente deprimidas (Cuadro 11), estos resultados difieren a lo reportado por Pinedo-Espinoza et al. (2014) en frutos de *O. joconostle* silvestres en Hidalgo de 0.37 mm con una *DCR* ausente o ligeramente deprimida.

El *EC* fue mayor en el Sitio 2 (0.25 mm), sin embargo los Sitios 1, 3 y 4 no presentaron diferencias estadísticas significativas (0.11, 0.14 y 0.11 mm respectivamente) (Cuadro 11), a diferencia de Gallegos et al. (2014) quienes reportaron valores más elevados en una nueva variedad de xoconostle silvestre "Sainero" (*O. matudae*) del estado de Zacatecas (11.4 mm).

Cuadro 11. Características morfométricas de frutos de xoconostle cultivados y silvestres de *Opuntia joconostle* cv. Burro y frutos de *O. matudae* cv. Cuaresmero de Chapantongo, Tula de Allende y Huichapan, Hgo.

Sitio	*DL*[1]	*DE*[2]	*DiaCR*[3]	*DME*[4]	*LP*[5]	*DCR*[6]	*EC*[7]
				(mm)			
Sitio uno	54.16[b]	44.72[b]	24.19[c]	12.85[a]	13.38[b]	6.76[a]	0.11[b]
Sitio dos	67.40[a]	52.34[a]	29.36[a]	13.57[a]	13.04[b]	5.35[b]	0.25[a]
Sitio tres	55.77[b]	44.12[b]	26.19[b]	12.99[a]	10.78[c]	4.56[b]	0.14[b]
Sitio cuatro)	59.29[b]	48.75[ab]	26.12[bc]	8.21[b]	15.87[a]	5.12[b]	0.11[b]

[1]Diámetro longitudinal; [2]Diámetro ecuatorial; [3]Diámetro de la cicatriz del receptáculo; [4]Diámetro del mesocarpio; [5]Longitud del pedúnculo; [6]Depresión de la cicatriz del receptáculo; [7]Espesor de cáscara.
*Literales diferentes entre las columnas indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

El *PFC* fue significativamente mayor en el Sitio 2 (94.28 g), a diferencia del Sitio 1, 2 y 3 donde se observó un peso promedio de 58.83, 60.71 y 67.38 g respectivamente (Cuadro 12), sin embargo Zavaleta et al. (2001) reportaron valores superiores al Sitio 2 en frutos de xoconostle (*O. joconostle* cv Burro) cultivado y con un manejo de fertilización con un peso promedio de 100.4 g. Los mismos autores reportaron valores inferiores al Sitio 1 en frutos de *O. matudae* cv Blanco con 50.0 g en promedio para los xoconostles cultivados en el municipio de Chapantongo, Hidalgo. Asimismo, los autores mencionan que los frutos de xoconostle con fertilización orgánica obtienen un tamaño

mayor, a diferencia de los frutos no fertilizados. De la misma manera, Morales (2009) reportó valores inferiores al Sitio 1 en frutos de xoconostle Cuaresmero (*O. matudae*) del estado de Hidalgo con 41.43 g.

El *PC* fue significativamente mayor en los Sitios 1, 2 y 4 (7.30, 7.92 y 8.00 g respectivamente), con respecto con el Sitio 3 (4.75 g) (Cuadro 12). Sin embargo Gallegos et al. (2014) reportaron valores promedio de 9.8 g en frutos silvestres de xoconostle "Sainero" (*O. matudae*) superiores a los cuatro sitios evaluados.

En el *PP* fue de 69.34 g para el Sitio 2 donde se observó una diferencia estadística significativa de $p<0.0001$ respecto a los Sitios 1, 3 y 4 (43.50, 46.54 y 44.53 g respectivamente) (Cuadro 12), datos superiores a los Sitios 1, 3 y 4 fueron reportados por Gallegos et al. (2014) con un peso promedio de 54.1 g en frutos silvestres de xoconostle "Sainero" (*O. matudae*).

El *PS* fue significativamente mayor ($p<0.0001$) en el Sitio 4 (11.93 g), a diferencia de lo observado en los Sitios 1 y 3 con pesos inferiores de 4.29 y 4.49 g respectivamente (Cuadro 12). Asimismo, Gallegos et al. (2014) reportaron unidades de peso de 9.8 g, inferiores al Sitio 4 en frutos silvestres de xoconostle "Sainero" (*O. matudae*).

Cuadro 12. Peso del fruto completo, cáscara, pulpa y semillas de frutos de xoconostle cultivados y silvestres de *O. joconostle* cv. Burro y frutos de *O. matudae* cv. Cuaresmero de Chapantongo, Tula de Allende y Huichapan, Hgo.

Sitio	*PFC*[1]	PC[2]	PP[3]	PS[4]
		(g)		
Sitio uno	58.83[b]	7.30[a]	43.50[b]	4.29[c]
Sitio dos	94.28[a]	7.92[a]	69.34[a]	6.95[b]
Sitio tres	60.71[b]	4.75[b]	46.54[b]	4.49[c]
Sitio cuatro	67.38[b]	8.00[a]	44.53[b]	11.93[a]

[1]Peso del fruto completo; [2]Peso de cáscara; [3]Peso de pulpa; [4]Peso de semillas.
*Literales diferentes entre las columnas indican diferencias estadísticas significativas ($p\leq0.05$).

La *FP* de los frutos de xoconostle, de acuerdo al Manual Gráfico para la Descripción Varietal del Nopal tunero y Xoconostle (*Opuntia* spp.) (Gallegos-Vázquez et al., 2005) se caracterizó como Firme para los cuatro sitios (Cuadro 13). Esta característica de Firmeza concuerda con lo reportado por Gallegos et al. (2014) en frutos silvestres de xoconostle "Sainero" (*O. matudae*).

La *JP* de los frutos de xoconostle se caracterizó como Media en los Sitios 1, 2 y 3, a diferencia del Sitio 4 que se describió como Alta (Cuadro 13). Sin embargo, Gallegos et al. (2014) reportaron la jugosidad de la pulpa como Seca a Semiseca en frutos silvestres de xoconostle "Sainero" (*O. matudae*). En esta investigación se cosecharon frutos de cáscara verde y rosa para comparar la JP, se observó que los frutos de cáscara verde no presentaban jugosidad, a diferencia de los frutos de coloración rosa. Por lo que se sugiere que la cosecha del fruto sea cuando adquiere esta pigmentación, de lo contrario la *JP* se ve afectada. Además, las prácticas agronómicas juegan un papel importante en la expresión de la calidad del fruto (jugosidad), particularmente en el Sitio 4, donde el manejo del cultivo es intensivo.

El *NG* y el *CG* en los frutos de los diferentes sitios evaluados se determinaron como Medio y Amarillo respectivamente (Cuadro 13). Datos similares reportaron Pinedo-Espinoza et al. (2014) en frutos de *O. joconostle* silvestres de Hidalgo.

El *NSD* de los frutos evaluados fue Bajo, para los cuatro sitios (Cuadro 13). A diferencia de lo reportado por Pinedo-Espinoza et al. (2014), quienes afirman que el número de semillas desarrolladas en frutos de *O. joconostle* silvestres de Hidalgo, fue clasificado como Muy Bajo. De la misma manera, Gallegos et al. (2014) reportaron Pocas Semillas desarrolladas en frutos silvestres de xoconostle "Sainero" (*O. matudae*).

La *PSA* en frutos de xoconostle para los Sitios 1, 2 y 4 fueron Pocas, a excepción del Sitio 3 que fue catalogado como Muy Pocas (Cuadro 13). Los resultados de este último sitio concuerdan con lo reportado por Pinedo-Espinoza et al. (2014) en frutos de *O. joconostle* silvestres en Hidalgo.

Cuadro 13. Características físicas de frutos de xoconostle cultivados y silvestres de *O. joconostle* cv. Burro y frutos de *O. matudae* cv. Cuaresmero de Chapantongo, Tula de Allende y Huichapan, Hgo.

Sitio	*FP*[1]	*JP*[2]	NG[3]	*CG*[4]	*NSD*[5]	*PSA*[6]
Sitio uno (Cultivo Chapantongo)	Firme	Media	Medio	Amarillo	Bajo	Pocas
Sitio dos (Silvestre Chapantongo)	Firme	Alta	Medio	Amarillo	Bajo	Pocas
Sitio tres (Silvestre Tula de Allende)	Firme	Alta	Medio	Amarillo	Bajo	Muy Pocas
Sitio cuatro (Cultivo Huichapan)	Firme	Alta	Medio	Amarillo	Bajo	Pocas

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

La *UCS* de los frutos de xoconostle fue considerada como Irregular en los cuatro sitios estudiados (Cuadro 14), este dato coincide con lo reportado por Pinedo-Espinoza et al. (2014) en frutos de *O. joconostle* silvestres de Hidalgo. Sin embargo, Gallegos et al. (2014) reportaron la Uniformidad del Color de la Superficie como Uniforme en frutos silvestres de xoconostle "Sainero" (*O. matudae*).

La *DA* de los frutos de xoconostle fue clasificada como Media, para los Sitios 2, 3 y 4 (Cuadro 14), Gallegos et al. (2014) reportan la misma clasificación (Media) en frutos silvestres de xoconostle "Sainero" (*O. matudae*). Asimismo, Pinedo-Espinoza et al. (2014) reportaron datos similares en frutos de *O. joconostle* silvestres en Hidalgo.

El *CP* de los frutos estudiados fue caracterizado como Amarillo para los Sitios 1 y 4, sin embargo, en los Sitio 2 y 3 se observó de color Verde medio (Cuadro 14). A diferencia de lo reportado por Gallegos et al. (2014) quienes observaron el Color de la Pulpa en frutos silvestres de xoconostle "Sainero" (*O. matudae*) con una tonalidad Rosa.

La *FF* de los xoconostles evaluados fue determinada como Elíptica en los Sitios 1, 2, 3, a diferencia del Sitio 4 donde se observaron frutos de forma Oboval (Cuadro 14). También Pinedo-Espinoza et al. (2014) reportaron datos similares a los Sitios 1, 2 y 3 en frutos de *O. joconostle* silvestres de

Hidalgo. A diferencia de Gallegos et al. (2014) quienes reportaron que en frutos silvestres de xoconostle "Sainero" (*O. matudae*) la Forma del Fruto es Oboval.

Las características físicas cuantitativas de los frutos se analizaron con un intervalo de confianza de $p \leq 0.05$. Por sitio, los frutos cultivados y silvestres de *O. joconostle* cv. Burro y *O. matudae* cv. Cuaresmero mostraron diferencias estadísticas significativas ($p<0.0001$). En este sentido los parámetros de calidad en los frutos de xoconostle silvestres fueron más altos, en relación a los xoconostles cultivados.

Cuadro 14. Uniformidad del color de la superficie y densidad de areolas de frutos de xoconostle cultivados y silvestres de *O. joconostle* cv. Burro y frutos de *O. matudae* cv. Cuaresmero de Chapantongo, Tula de Allende y Huichapan, Hgo.

Sitio	*UCS*[1]	*DA*[2]	*CP*[3]	*FF*[4]
Sitio uno (Cultivo Chapantongo)	Irregular	Baja	Amarillo	Elíptica
Sitio dos (Silvestre Chapantongo)	Irregular	Media	Verde	Elíptica
Sitio tres (Silvestre Tula de Allende)	Irregular	Media	Verde	Elíptica
Sitio cuatro (Cultivo Huichapan)	Irregular	Media	Amarillo	Oboval

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

8.3 Caracterización química de los frutos

8.3.1 °Brix y pH

El contenido de azúcares totales (°Brix) fue mayor en los Sitios 2 y 3 (6.65 y 6.17% respectivamente) (Cuadro 15), datos similares fueron reportados por Gallegos et al. (2014) en frutos silvestres de xoconostle "Sainero" (*O. matudae*) (6.3%), así mismo, Morales (2009) reportó valores similares en frutos de xoconostle Cuaresmero (*O. matudae*) en el Estado de México (6.32). Datos similares de sólidos solubles totales (5.5 a 8.5 °Brix) reportaron Pinedo-Espinoza et al. (2015) en frutos de cuatro genotipos de xoconostle del estado de Hidalgo y Zacatecas. A diferencia de lo reportado por Guzmán-Maldonado et al. (2010) quienes presentaron valores inferiores en frutos cultivados de *O. matudae* Cuaresmero en Guanajuato, Estado de México y Puebla (1.10, 1.19 y 1.35 % respectivamente. Los °Brix de los frutos de xoconostle se ven influenciados por las prácticas agronómicas desde el trasplante, deshierbe, fertilización, aporque, podas sanitarias y formación realizadas al cultivo (Zavaleta et al., 2001), a diferencia de los frutos de plantas silvestres, donde la manipulación de la cactácea es nula, en consecuencia, la fructificación no es

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

El pHFC y pHP fueron más ácidos en el Sitio 1 (3.15 y 3.08 respectivamente) respecto a los Sitios 2, 3 y 4 (Cuadro 15). En este sentido, Gallegos et al. (2014) reportaron valores similares al Sitio 1 con un pH de 3.1 en el fruto completo de xoconostle "Sainero" (*O. matudae*). Datos similares al pHP reportaron Guzmán-Maldonado et al. (2010) en frutos de *O. matudae* Cuaresmero cultivados en Guanajuato, Estado de México y Puebla con valores de 3.0, 3.0 y 3.1 respectivamente. En lo que respecta al Sitio 3, el pHC y pHS fueron de 3.81 y 2.77 respectivamente; asimismo Morales (2009) reportó valores similares al Sitio 3 en frutos completos de xoconostle Cuaresmeño (*O. matudae*) de Hidalgo, Estado de México y Puebla con pH de cáscara de 3.71, también reportó valores similares al Sitio 1 en el pHP (3). Sin embargo el pHS de *O. matudae* de estos estados fue menor (4.8) que el Sitio 2 (5.27) pero mayor que los Sitio 1, 3 y 4 (3.55, 2.77 y 3.52 respectivamente).

Cuadro 15. °Brix y pH de frutos de xoconostle cultivados y silvestres de *O. joconostle* cv. Burro y frutos de *O. matudae* cv. Cuaresmero de Chapantongo, Tula de Allende y Huichapan, Hgo.

Sitio	°Brix (%)	pHC[1]	pHS[2]	pHP[3]	pHFC[4]
Sitio uno (Cultivo Chapantongo)	5.58[c]	4.14[c]	3.55[b]	3.08[c]	3.15[d]
Sitio dos (Silvestre Chapantongo)	6.65[a]	4.40[a]	5.27[a]	3.13[b]	3.19[b]
Sitio tres (Silvestre Tula de Allende)	6.17[ab]	3.81[d]	2.77[c]	3.70[a]	3.17[c]
Sitio cuatro (Cultivo Huichapan)	5.41[bc]	4.34[b]	3.52[b]	3.12[b]	3.33[a]

[1]pH de cáscara; [2]pH de semillas; [3]pH de pulpa; [4]pH del fruto completo.
*Literales diferentes entre las columnas indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

8.3.2 Análisis Químico Proximal (AQP)

Los resultados nutrimentales del AQP en las cáscaras, pulpas y semillas de los frutos de xoconostle, expresados en base seca mostraron diferencias estadísticas significativas de $p<0.0001$

para cada una de las determinaciones químicas (Cuadro 16). Los porcentajes de humedad, proteína, extracto etéreo y fibra en semilla fueron más altos, respecto al contenido en cáscara y pulpa. Sin embargo, el contenido de cenizas fue mayor en las cáscaras.

Humedad

El contenido de humedad fue mayor en las semillas de xoconostle del Sitio 3 (94.86 %) con una diferencia estadística significativa de $p<0.0001$ (Cuadro 16). Datos inferiores reportaron Morales et al. (2012) para semillas de frutos cultivados de *O. joconostle* F.A.C. Weber y *O. matudae* Scheinvar cv. Rosa (73.95 y 60.44% respectivamente). Sin embargo, Prieto-García et al. (2006, 2016) reportaron porcentajes de 3.97, 4.09 y 3.55% en semillas de frutos de *O. heliabravoana, O. joconostle y O. ficus-indica* respectivamente, porcentajes más bajos a los observados en los cuatro sitios evaluados y a lo publicado por Morales et al. (2012).

Cenizas

El porcentaje de cenizas mayor fue de 17.14% en la cáscara de los frutos del Sitio 2 (Cuadro 16). Sin embargo Guzmán-Maldonado et al. (2010) reportaron valores de 13.57, 14.04 y 13.70% en cáscara de frutos de xoconostle *O. matudae* Cuaresmero del estado de Guanajuato, Estado de México y Puebla respectivamente. A diferencia del porcentaje de cenizas determinado en cáscara, los valores en la semillas de los cuatro sitios evaluados fueron de 2.40, 3.56, 2.33 y 2.40% respectivamente. En este sentido, Prieto-García et al. (2006, 2016) también reportaron porcentajes bajos de cenizas en semillas de frutos de *O. heliabravoana, O. joconostle y O. ficus-indica* del estado de Hidalgo con 0.95, 1.03 y 1.01% respectivamente. Sin embargo, Scheinvar et al. (2009) en frutos de *O. joconostle* F.A.C. Weber de Hidalgo registraron valores de cenizas de 19.82%.

Proteína

El porcentaje de proteína más alto fue de 14.24% en las semillas del Sitio 2 con una diferencia estadística significativa de $p<0.0001$, respecto a los Sitios 1, 3 y 4 (Cuadro 16). Datos inferiores reportaron Guzmán-Maldonado et al. (2010) en las semillas de frutos de xoconostle *O. matudae* Cuaresmero de Guanajuato, Estado de México y Puebla con 6.84, 7.22 y 8.16% respectivamente. Este dato difiere con lo reportado por Morales et al. (2012) quienes determinaron porcentajes de 2.12 y 3.45% en semillas de frutos cultivados de *O. joconostle* F.A.C. Weber y *O. matudae*

Scheinvar cv. Rosa. De la misma manera, Prieto-García et al. (2006, 2016) reportaron porcentajes inferiores en semillas de frutos de *O. heliabravoana, O. joconostle y O. ficus-indica* del estado de Hidalgo con 2.10, 0.64 y 0.97% respectivamente. Sin embargo, el porcentaje de proteína más bajo se observó en la pulpa de frutos de xoconostle de los cuatro sitios evaluados (2.33, 0.58, 3.03 y 1.78% respectivamente) una diferencia estadística significativa de $p<0.0001$. El porcentaje de proteína en pulpa del Sitio 4 concuerda con lo reportado por Guzmán-Maldonado et al. (2010) en la pulpa de frutos de xoconostle *O. matudae* Cuaresmero de Guanajuato, Estado de México y Puebla con 1.63, 1.78 y 1.66% respectivamente. Estos índices pueden explicarse al origen de los cultivares y los años de producción de la planta. Asimismo, los porcentajes de proteína en pulpa del Sitio 2 concuerdan con lo reportado por Morales et al. (2012) en los porcentajes de proteína en pulpa de frutos cultivados de *O. joconostle* F.A.C. Weber y *O. matudae* Scheinvar cv. Rosa en Hidalgo (0.66 y 0.56% respectivamente). Sin embargo Scheinvar et al. (2009) determinaron porcentajes de 7.42% de proteína en frutos de *O. joconostle* F.A.C. Weber.

Extracto etéreo

El porcentaje de extracto etéreo más alto fue de 14.85% en semillas de frutos del Sitio 3 con una diferencia estadística significativa de $p<0.0001$ (Cuadro 16). Este dato difiere con lo reportado por Prieto-García et al. (2006, 2016) en semillas de frutos de *O. heliabravoana, O. joconostle y O. ficus-indica* en Hidalgo (16.99, 19.24 y 17.22% respectivamente). Sin embargo, Guzmán-Maldonado et al. (2010) reportaron valores menores al Sitio 3 con 7.23, 8.10 y 7.15% respectivamente en semillas de frutos de xoconostle *O. matudae* Cuaresmero en Guanajuato, Estado de México y Puebla. Asimismo Morales et al. (2012) reportaron valores menores, con 2.45 y 3.52% en semillas de frutos cultivados de *O. joconostle* F.A.C. Weber y *O. matudae* Scheinvar cv. Rosa en Hidalgo. A diferencia del extracto etéreo observado en las semillas del Sitio 3, el valor menor se determinó en la pulpa de los frutos de los cuatro sitios evaluados con 1.68, 0.85, 1.35 y 0.81% respectivamente. También Guzmán-Maldonado et al. (2010) reportaron porcentajes superiores en la pulpa de frutos de xoconostle *O. matudae* Cuaresmero en Guanajuato, Estado de México y Puebla (5.05, 5.19 y 5.28% respectivamente). A diferencia de lo reportado por Scheinvar et al. (2009) en frutos de *O. joconostle* F.A.C. Weber de Hidalgo con 10.42%.

Fibra

El porcentaje de fibra más alto se observó de 55.27% en las semillas de los frutos del Sitio 2 con una diferencia estadística significativa de $p<0.0001$ respecto a los Sitios 3 y 4 (Cuadro 16). Datos inferiores reportaron Prieto-García et al. (2006, 2016) (3.02, 2.56, 2.66%) en semillas de frutos de *O. Heliabravoana, O. joconostle y O. ficus-indica* de Hidalgo respectivamente. En este sentido, también Guzmán-Maldonado et al. (2010) reportaron valores más bajos en semillas de frutos de xoconostle *O. matudae* Cuaresmero en Guanajuato, Estado de México y Puebla (0.95, 0.93 y 1.02% respectivamente). Asimismo, Morales et al. (2012) reportó valores inferiores en semillas (19.22 y 30.17%) y pulpa (2.31, 1.74%) de frutos cultivados de *O. joconostle* F.A.C. Weber y *O. matudae* Scheinvar cv. Rosa en Hidalgo respectivamente. A diferencia de lo reportado por Scheinvar et al. (2009) en frutos de *O. joconostle* F.A.C. Weber en Hidalgo con 9.66%. La calidad de los frutos de xoconostle, con base en el contenido de fibra presente es una alternativa como suplemento, para prevenir enfermedades crónico-degenerativas como la Diabetes Mellitus y enfermedades respiratorias. También la calidad de fibra presente en los frutos de xoconostle fueron diferentes debido a las etapas de maduración de la fruta (Álvarez, 2009; Morales, et al., 2012).

Cuadro 16. Análisis Químico Proximal en BS[1] de frutos de xoconostle cultivados y silvestres de *O. joconostle* cv. Burro y frutos de *O. matudae* cv. Cuaresmero de Chapantongo, Tula de Allende y Huichapan, Hgo.

Determinación (%)	Sitio uno			Sitio dos			Sitio tres			Sitio cuatro		
	C[3]	P[4]	S[5]	C[3]	P[4]	S[5]	C[3]	P[4]	S[5]	C[3]	P[4]	S[5]
Humedad[2]	84.04[bc]	93.01[b]	48.73[c]	89.65[a]	94.27[a]	63.49[bc]	86.91[ab]	67.46[c]	94.86[a]	82.32[c]	93.21[b]	71.88[b]
Proteína	3.10[c]	2.33[b]	3.53[d]	3.61[b]	0.58[d]	14.24[a]	4.13[a]	3.03[a]	7.92[b]	2.65[d]	1.78[c]	5.74[c]
Extracto etéreo	2.40[a]	1.68[a]	10.01[b]	1.36[bc]	0.85[a]	8.20[c]	1.56[b]	1.35[a]	14.85[a]	1.27[c]	0.81[a]	6.21[d]
Ceniza	15.90[a]	12.74[a]	2.40[b]	17.14[a]	12.22[a]	3.56[a]	10.46[b]	9.07[b]	2.33[b]	15.94[a]	13.20[a]	2.40[b]
Fibra	22.39[b]	10.25[a]	53.91[a]	25.03[a]	7.64[b]	55.27[a]	24.89[a]	7.15[b]	34.58[c]	26.84[a]	9.30[ab]	48.12[b]

[1]Base Seca; [2]Base Húmeda; [3]Cáscara; [4]Pulpa; [5]Semilla.
*Literales diferentes entre filas indican diferencias estadísticas significativas $p<0.0001$.

Las características físicas de los frutos se analizaron con un intervalo de confianza de $p\leq0.05$. Los parámetros de calidad que presentaron valores mayores en los frutos de plantas silvestres de *O. joconostle* cv. Burro, de Chapantongo fueron el *DL*, *DE*, °Brix, pHC, pHS, *PFC*, *PP*, porcentaje de humedad en pulpa, de proteína en semillas, fibra en semillas y cenizas en cáscaras y semillas, a diferencia de los frutos cultivados de *O. matudae* cv. Cuaresmero del sitio de Chapantongo

quienes mostraron valores inferiores en *DL*, pHP, *PFC*, *PP*, *PS*, *HS* y el porcentaje de proteína en pulpa.

8.3.3 Bases intercambiables

Los resultados de las concentraciones totales de los minerales de cáscara, pulpa y semilla de los frutos de xoconostle mostraron diferencias estadísticas significativas de P<0.0001 para cada uno de los minerales determinados (Cuadro 17). Los valores reportados de Sodio, Potasio y Calcio fueron más altos en la Cáscara y Pulpa de los frutos de los cuatro Sitios, respecto a los datos de Semillas. A diferencia del Magnesio, que presentó valores más altos en las Semillas, respecto a los datos de Pulpa.

Na^+

Las concentraciones más elevadas de Sodio se obtuvieron en la pulpa de los frutos del Sitio 1 y en la cáscara de los frutos del Sitio 4 (6.78 y 6.57 mEq/100g, respectivamente). Sin embargo, el valor más bajo fue de 1.42 mEq/100g en las semillas de los frutos del Sitio 2 (Cuadro 17). Datos inferiores reportaron Prieto-García et al. (2006, 2016) en frutos de *O. heliabravoana, O. joconostle y O. ficus-indica* en Hidalgo con 4.70, 3.31 y 3.63 mg/kg^{-1}, respectivamente. También, Canuto (2010) reportó valores de 0.05 y 0.18 mg/kg^{-1} de sodio en frutos de *O. joconostle* Weber y *O. oligacantha* en Santiago de Anaya en Hidalgo, inferiores a los observados en los frutos de xoconostle de Chapantongo, Tula de Allende y Huichapan, Hgo.

K^+

Las concentraciones más elevadas de Potasio se observaron en la pulpa con 10.95 mEq/100g de los frutos del Sitio 3 y en la cáscara de los frutos de xoconostle del Sitio 1 con 9.59 mEq/100g. Asimismo, el valor más bajo se observó en las semillas de los frutos del Sitio 1 con 3.12 mEq/100g (Cuadro 17). Sin embargo, Guzmán-Maldonado et al. (2010) reportaron valores inferiores al Sitio 3 en la pulpa (2480, 2200 y 2510 mg/100 respectivamente), también reportaron valores inferiores en cascara en el Sitio 1 (3290, 3090 y 3000 mg/100 respectivamente) y en semillas (210, 200 y 220 mg/100 respectivamente) de frutos de xoconostle *O. matudae* Cuaresmero en Guanajuato, Estado de México y Puebla. Datos similares reportaron Prieto-García et al. (2006, 2016) en frutos de *O. Heliabravoana, O. joconostle y O. ficus-indica* en Hidalgo con 223.2, 178.6 y 239.7 mg/kg^{-}

[1] respectivamente. A diferencia de Canuto (2010) quien reportó porcentajes inferiores de Potasio de 1.09 y 1.69 % en frutos de *O. joconostle* Weber y *O. oligacantha* en Santiago de Anaya en Hidalgo.

Ca^{2+}

Las concentraciones más elevadas de Calcio se observaron en la pulpa y cáscara (6.68 y 6.47 mEq/100g respectivamente) de los frutos del Sitio 2, respecto al valor de la semilla de los frutos del Sitio 3 (2.80 mEq/100g) (Cuadro 17). Sin embargo Guzmán-Maldonado et al. (2010) reportaron valores superiores al Sitio 2 en la pulpa (1410, 1960 y 1890 mg/100 respectivamente) y cáscara (2690, 3200 y 3060 mg/100 respectivamente). Además, reportaron valores similares al Sitio 3 en cáscara con 480, 490 y 490 mg/100 respectivamente de frutos de xoconostle *O. matudae* Cuaresmero en Guanajuato, Estado de México y Puebla. A diferencia de Prieto-García et al. (2006, 2016) quienes reportaron valores inferiores de Calcio en semillas con 809, 251.49 y 736.44 mg Kg^{-1} en frutos de *O. Heliabravoana, O. joconostle y O. ficus-indica* en Hidalgo respectivamente. Porcentajes inferiores reportó Canuto (2010) en frutos de *O. joconostle* Weber y *O. oligacantha* en Santiago de Anaya en Hidalgo (0.87 y 1.15 mg Kg^{-1} respectivamente).

Mg^{2+}

Las concentraciones más elevadas de Magnesio se observaron en las semillas con 20.70 mEq/100g de los frutos del Sitio 2, respecto a los valores de la pulpa de los frutos del Sitio 4 (5.11 mEq/100g) y cáscara de los frutos del Sitio 2 (7.76 mEq/100g) (Cuadro 17). Datos inferiores al Sitio 2 reportaron Guzmán-Maldonado et al. (2010) en semillas con 190, 180 y 140 mg/100g respectivamente, sin embargo reportaron valores similares al Sitio 4 en pulpa con 510, 640 y 690 mg/100g respectivamente de frutos de xoconostle *O. matudae* Cuaresmero en Guanajuato, Estado de México y Puebla. A diferencia de Prieto-García et al. (2006, 2016) quienes reportaron valores de Magnesio con 2159.5, 2990.8 y 1431.2 mg Kg^{-1} en frutos de *O. Heliabravoana, O. joconostle y O. ficus-indica* en Hidalgo respectivamente. Porcentajes inferiores reportó Canuto (2010) en frutos de *O. joconostle* Weber y *O. oligacantha* en Santiago de Anaya en Hidalgo con 0.97 y 1.98 mg Kg^{-1} respectivamente.

Cuadro 17. Bases intercambiables de frutos de xoconostle cultivados y silvestres de *O. joconostle* cv. Burro y frutos de *O. matudae* cv. Cuaresmero de Chapantongo, Tula de Allende y Huichapan, Hgo.

Sitios	Na			K			Ca			Mg		
	mEq/100g											
	C[1]	P[2]	S[3]	C[1]	P[2]	S[3]	C[1]	P[2]	S[3]	C[1]	P[2]	S[3]
Sitio uno	6.36[b]	6.78[a]	1.40[b]	9.59[a]	10.21[b]	3.12[a]	5.39[c]	4.74[d]	3.02[c]	8.19[c]	6.53[b]	16.20[c]
Sitio dos	4.68[c]	6.15[c]	1.42[a]	8.72[c]	8.97[c]	2.63[c]	6.47[a]	6.68[a]	3.88[a]	7.76[d]	6.14[c]	20.70[a]
Sitio tres	4.26[d]	5.84[d]	1.40[b]	4.76[d]	10.95[a]	2.13[d]	5.39[d]	5.17[c]	2.80[d]	8.84[a]	7.03[a]	19.80[b]
Sitio cuatro	6.57[a]	6.57[b]	1.31[c]	9.22[b]	7.48[d]	2.87[b]	6.25[b]	5.82[b]	3.23[b]	8.62[b]	5.11[d]	15.10[d]

*Literales diferentes entre columnas indican diferencias estadísticas Significativas ($p<0.05$). [1]Cáscara, [2]Pulpa, [3]Semilla.

8.4 Propiedades físicas de los suelos

Las propiedades físicas del suelo establecieron la interacción y proporción en la que se encuentran el suelo, el agua y el aire, asimismo, ayudan a determinar el desarrollo de las raíces, la circulación del aire, la capacidad de almacenamiento de agua y la retención de nutrientes (Luters y Salazar, 1999).

La textura en los cuatro sitios fue franco arenoso. Datos similares reportaron Acevedo-Sandoval et al. (2010) en suelos con textura de franco, franco arenosa y arcillosa en Hidalgo. El análisis granulométrico mostró mayor porcentaje de arena en el Sitio 3 (65.64 %) en relación a los limos y arcillas (22.00 y 12.36 % respectivamente) (Cuadro 18). La densidad aparente fue mayor en el municipio de Huichapan (Sitio 4) (1.06 %). Sin embargo, la densidad real presentó valores similares en los cuatro sitios (2.19, 2.29, 2.10 y 2.37 % respectivamente). Datos similares de densidad aparente (1.11 Mg m^{-3}) y densidad real (2.31 Mg m^{-3}) reportaron Vela-Correa y Flores-Román (2004) en las capas de horizontes inferiores en suelos de la Sierra de Guadalupe. Así mismo, Acevedo-Sandoval et al. (2010) reportaron valores similares en densidad aparente de 1.06 Mg m^{-3} y densidad real de 2.15 Mg m^{-3}. Sin embargo, Acosta (2007) reportó valores más elevados de densidad aparente (1.25 a 1.52 Mg m^{-3}) y valores similares de densidad real 2.17 a 2.32 Mg m^{-3}) en suelos agrícolas del Valle del Mezquital, Hgo. El porcentaje de porosidad fue similar en los suelos de los cuatro sitios evaluados, sin embargo el municipio de Chapantongo presentó el valor

de porosidad más alto (58.51 %). Datos similares reportó Acosta (2007) en suelos agrícolas del Valle del Mezquital, Hgo (40-60%). El color de los suelos fue diferente en los cuatro sitios. El Sitio 1 presentó color gris en seco (10YR 5/1) y gris muy oscuro en húmedo (10YR 3/1), a diferencia de los Sitios 2, 3 y 4 que presentaron color pardo pálido, pardo grisáceo y pardo amarillento en seco (10YR 6/3, 10YR 5/2 y 10YR 5/4, respectivamente) y pardo, pardo muy oscuro y pardo (10YR 4/3, 10YR 2/2 y 10YR 4/3, respectivamente) en húmedo (Cuadro 18). Colores similares reportaron Acevedo-Sandoval et al. (2010) de 10YR/3 a 10YR/5 de suelos en Acaxochitlan, Hidalgo.

Cuadro 18. Caracterización física en suelos de frutos de xoconostle cultivados y silvestres de *O. joconostle* cv. Burro y frutos de *O. matudae* cv. Cuaresmero de Chapantongo, Tula de Allende y Huichapan, Hgo.

Sitio	Color				Da[1]	Dr[2]	Porosidad %	Partículas %			Clave textural
	Seco		Húmedo		g/cm³						
	Clave	Nombre	Clave	Nombre				Arenas	Limos	Arcillas	
Sitio uno	10YR 5/1	Gris	10YR 3/1	Gris muy oscuro	1.03	2.19	52.81	53.64	20.72	25.64	Franco arenoso
Sitio dos	10YR 6/3	Pardo Pálido	10YR 4/3	Pardo	0.95	2.29	58.51	55.64	18.00	26.36	
Sitio tres	10YR 5/2	Pardo Grisaseo	10YR 2/2	Pardo muy oscuro	0.91	2.10	56.67	65.64	22.00	12.36	
Sitio cuatro	10YR 5/4	Pardo Amarillento	10YR 4/3	Pardo	1.06	2.37	55.31	54.36	19.64	26.00	

[1]Densidad aparente; [2]Densidad real.

Los cuatro sitios de estudio presentaron suelos con una textura franco arenoso, de color gris y pardo, los suelos mostraron similitud en el porcentaje de porosidad, Da y Dr. Los suelos de textura franco arenoso se consideran suelos medios que muestran mayor equilibrio entre sus componentes y son ideales en cultivos de *Opuntia* spp. (Acosta, 2007). De acuerdo a León (1991) y López y López (1985) los suelos con valores <4 g/cm^3 de Da y Dr presentan problemas de compactación que evitan la libre circulación del agua, aire, intercambio catiónico y gaseoso.

Reyes (1996) señala que los suelos arcillosos del Valle del Mezquital son de color gris pardo y gris muy oscuro con concentraciones de materia orgánica propicia para el crecimiento de cultivos.

Asimismo, Acosta (2007) los suelos agrícolas del Valle del Mezquital, presentan una porosidad del 50 al 60 % y textura franco arenoso, lo cual permite la fácil aireación y retención adecuada del agua en el suelo, también permite el contacto radical directo con las estructuras formadoras del suelo y la disponibilidad de materia orgánica para las plantas, por lo que es difícil la acumulación, en la capa arable, de metales pesados biodisponibles para las plantas.

8.5 Caracterización química del suelo

Los suelos de los Sitios 1, 2 y 4 presentaron una CIC con valores de 6.60, 5.28 y 7.92 cmol(+)/100g respectivamente, a diferencia del Sitio 3 que mostró el valor más elevado con 18.92 cmol(+)/100g. (Cuadro 19). Los cuatro sitios presentaron valores inferiores a lo reportado por Acevedo-Sandoval et al. (2010) con valores promedio de 30 $cmol^{+}kg^{-1}$ en suelos de Acaxochitlan, Hidalgo. Datos similares al Sitio 3 (12.4 a 19.3 cmol(+)/100g) reportó Acosta (2007) en suelos agrícolas del Valle del Mezquital, Hgo. La Conductividad Eléctrica (CE) fue menor en los Sitios 1 y 4 con valores de 0.14 y 0.18 mS, sin embargo el Sitio 3 presentó el valor mayor (0.56 mS) (Cuadro 19). A diferencia de Rico-Rodríguez et al. (2013) que reportaron valores de 0.27 mS en suelos con cultivo de garbanzo en Zimapán, Hgo. Sin embargo, Acosta (2007) reportó valores de 1.3 a 4.01 en suelos agrícolas del Valle del Mezquital, Hgo. De acuerdo a la clasificación de la NOM-021-RECNAT-2000, el pH de los Sitios 1, 2 y 4 fue moderadamente ácido (6.16, 5.20 y 6.03 respectivamente), a diferencia del Sitio 3 que mostró un pH neutro (6.69) (Cuadro 19). Datos similares al Sitio 3 (pH neutro) reportó Acosta (2007) en suelos agrícolas de los municipios de Tula, Ajacuba, Francisco I. Madero y Progreso de Obregón, Hgo. Acevedo-Sandoval et al. (2010) reportaron datos similares de pH ligeramente ácido de 6.25 a 6.70 de suelos en Acaxochitlan, Hidalgo. Sin embargo, Rico-Rodríguez et al. (2013) reportaron suelos con pH moderadamente alcalinos (8.11) en cultivo de garbanzo en Zimapán, Hgo. Así mismo, Prieto-García et al. (2006) reportaron valores de pH de 7.9 en suelos de Zimapán Hgo. Los valores de concentración de la materia orgánica (MO) fueron clase media en los suelos de los cuatro sitios estudiados (7.85, 9.54, 9.28 y 10.32 % respectivamente) (Cuadro 19). A diferencia de Acosta (2007), quien reportó valores muy bajos de 0.2 a 3.5 % en suelos agrícolas del Valle del Mezquital, Hgo.

Cuadro 19. Caracterización química en suelos de frutos de xoconostle cultivados y silvestres de *O. joconostle* cv. Burro y frutos de *O. matudae* cv. Cuaresmero de Chapantongo, Tula de Allende y Huichapan, Hgo.

Sitios	pH 1:2	CE[1] mS	MO[2] %	CIC[3] cMol(+)/100g	Bases intercambiables				PSB[4] %
					Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	
					mEq/100g				
Sitio uno	6.16	0.14	7.85	6.60	1.16[a]	2.72[ab]	5.13[a]	1.51[a]	0.030
Sitio dos	5.20	0.27	9.54	5.28	0.69[b]	2.01[b]	0.44[b]	1.22[b]	0.025
Sitio tres	6.69	0.56	9.28	18.92	0.21[d]	2.72[ab]	1.90[c]	1.26[b]	0.022
Sitio cuatro	6.03	0.18	10.32	7.92	0.45[c]	3.01[a]	0.38[b]	0.72[c]	0.020

[1]Conductividad Eléctrica; [2]Materia Orgánica; [3]Capacidad de Intercambio Catiónico; [4]Porcentaje de Saturación de Bases.
*Literales diferentes entre columnas indican diferencias estadísticas Significativas ($p<0.05$).

8.5.1 Bases intercambiables

Las bases intercambiables influyen en la estructura, actividad biológica, régimen hídrico y gaseoso, así como en la formación de los suelos agrícolas (Hans, 1975; Vázquez, 1999). De acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000, el Ca^{2+} fue de clase media en el Sitio 2 y 4 (0.69 y 0.45 mEq/100g respectivamente), sin embargo en el Sitio 1 fue clase alta (1.16 mEq/100g) (Cuadro 19). Datos similares al Sitio 2 reportó Acosta (2007) en suelos agrícolas del municipio de Mixquihuala, Hgo.

El Mg^{2+} fue clase media en el Sitio 1, 2 y 3 (2.72, 2.01, 2.72 mEq/100g) a diferencia del Sitio 4 que fue clase alta (3.01 mEq/100g) (Cuadro 19). Datos similares reportó Acosta (2007), con una media de 3.64 mEq/100g en suelos agrícolas del Valle del Mezquital, Hgo. El K^{+} presentó clase alta en los cuatro sitios (1.51, 1.22, 1.26 y 0.72 mEq/100g). Estos datos concuerdan con lo reportado por Acosta (2007) en suelos agrícolas del Valle del Mezquital, Hgo (1.25 mEq/100g). De acuerdo a Westerman (1990) los valores óptimos de K^{+} intercambiable en los suelos agrícolas son de 1.5 a 3.8 mEq/100g. El Na^{+} presentó valores similares en el Sitio 2 y 3 de 0.44 y 0.38 mEq/100g. A diferencia del Sitio 1 que presentó un valor mayor de 5.13 mEq/100g. (Cuadro 19). Acevedo-Sandoval et al. (2010) también reportaron valores bajos en las bases intercambiables de suelos en Acaxochitlan, Hidalgo, Los mismos autores sugieren que estos valores se deben a las altas precipitaciones y a la pendiente del terreno. Datos similares al Sitio 3 (1.90 mEq/100g)

reportó Acosta (2007) con una media de 1.75 mEq/100g en suelos agrícolas del Valle del Mezquital, Hgo. De acuerdo a Allison et al. (1990), la acumulación de Na^+ genera toxicidad en la planta al ser absorbido, ya que altera funciones nutricionales que impiden una buena absorción del Ca^{2+}.

VIII.CONCLUSIONES

En los Sitios 2, 3 y 4 se observaron plantas silvestres y cultivadas de *Opuntia matudae* (Blanco) y *Opuntia joconostle* (Burro), a diferencia del Sitio 1, donde solo se identificaron plantas de *Opuntia matudae* (Cuaresmero).

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

Los frutos cultivados de *O. matudae* cv. Cuaresmero del Sitio de Chapantongo mostraron valores inferiores en el diámetro longitudinal, en el pH de la pulpa, el peso del fruto completo, pulpa y semillas. En la humedad de semillas y porcentaje de proteína en pulpa.

Los frutos de plantas de xoconostle (*Opuntia* spp.), de parcelas cultivadas presentaron menor calidad morfométrica y valor nutrimental, que aquellos frutos de plantas que se encuentran distribuidas de manera silvestre.

Los valores reportados de Sodio, Potasio y Calcio fueron más altos en la cáscara y pulpa de los frutos de los cuatro sitios, respecto a los datos de semillas. A diferencia del Magnesio, que presentó valores más altos en las semillas, respecto a los datos de pulpa.

En general son suelos ricos en materia orgánica y moderadamente ácidos. Sin embargo, el Sitio 3 presentó pH neutro, valores más altos de conductividad eléctrica y capacidad de intercambio catiónico.

Los suelos que presentaron altos indicadores de calidad (físicos y químicos) mostraron plantas con frutos de xoconostle (*Opuntia* spp.) de mejores características morfométricas.

IX. REFERENCIAS

Acevedo-Sandoval, O., Valera-Pérez, M. A. y Prieto-García, F. 2010. Propiedades físicas, químicas y minerológicas de los suelos forestales en Acaxochitlan, Hidalgo, México. Universidad y Ciencia 26(2):137-150.

Acosta, A. M. M. 2007. Determinación de Metales Pesados en Suelos Agrícolas del Valle del Mezquital, Hgo. Tesis de licenciatura. UAEM 101 p.

Álvarez, A. and Peña-Valdivia, B. 2009, Structural polysaccharides in xoconostle (*Opuntia matudae*) fruits with different ripening stages. Journal of Professional Association for Cactus Development 11:26-44.

Allison, L. E., Brown, J. W., Hayward, H. E., Richards, L. A., Bemstein, L., Fireman, M., Pearson, G. A., Wilcox, L. V. Brower, C. A., Hatcher, J. T. y Reeve, R. C. 1990. Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos. Ed. Limusa, México 172 p.

Barbera, G. and Inglese, P. 1992. The quality of cactus pear fruits. In: Actas II Congreso Internacional de la Tuna y Cochinilla, Santiago, Chile. 143-148 p.

Barthlott, W. and Hunt, D. R. 2000. Seed-diversity in the Cactaceae: subfamily Cactoideae. Universidad de Michigan. 173 p.

Bravo-Hollis, H. 1978. Las Cactáceas de México. Instituto de Biología, UNAM. México. 775 p.

Bravo-Hollis, H. y Sánchez-Mejorada, H. 1991. Las Cactáceas de México 2ª. ed. Vol. 2. Universidad Nacional Autónoma de México. México D. F. 404 p.

Bravo, H. H. y Scheinvar, L. 1995. El interesante mundo de las cactáceas. F.C.E. 233 p.

Canuto, C. P. 2010. Evaluación de las características físico-químicas de dos especies de xoconostle (*Opuntia oligacantha y joconostle*) para evidenciar sus cualidades nutritivas. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 61 p.

CONABIO, COMENTUNA y Red Nopal. 2009. Nopales, tunas y xoconostles. Ed. Consejo Mexicano de Nopal y Tuna, A.C., Red Nopal para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2ª edición, México.

Cunniff, P. 1995. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist (AOAC) International. 16th ed. Ed. Washington, DC. 771 p.

Fierro, A., Rodríguez, A. F. y González, M. M. 2006. Cultivo del Nopal Verdura (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) en el sur del Distrito Federal. Ed. Universidad Autónoma Metropolitana. México. 127 p.

Flores, V. C. A. y Olvera, M. J. 1994. El sistema-producto de nopal verdura en México. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y de la Agricultura Mundial de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Ed. Universidad Autónoma Chapingo. México. 89 p.

Flores, V. C. A., Hernández, F. V. H., Roque L. I. M. y Corrales, G. J. 2007. Producción, Comercialización e Industrialización del Xoconostle en la Región de las Pirámides, Estado de México. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México. 41 p.

Gallegos-Vázquez, C., Cervantes-Herrera, J. y Medina, G. 2003. La cadena productiva del nopal en Zacatecas: bases para un desarrollo sostenido. Fundación Produce. Zacatecas, Zacatecas. 201 p.

Gallegos-Vázquez, C., Cervantes-Herrera, J. y Barrientos-Priego, A. F. 2005. Manual Gráfico para la Descripción Varietal del Nopal Tunero y Xoconostle (*Opuntia* spp.). Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas-Secretaría de Agricultura, Ganadería,

Desarrollo Rural. Pesca y Alimentación (SNICS – SAGARPA) y la Universidad Autónoma de Chapingo (UACH). Chapingo, México. 116 p.

Gallegos, V. C. y Mondragón, J. C. 2011. Cultivares Selectos de Tuna de México al Mundo. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas - Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) - Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Chapingo, Texcoco, Estado de México. 157 p.

Gallegos, V. C., Scheinvar, L., Silos, E. H., Fuentes H. A. D., Martínez G. C. R., Olalde, P. G. y Gallegos, L. N. A. 2014. Sainero: nueva variedad de xoconostle para la región centro norte de México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 5(6):1125-1131.

García, E. 1988. Modificaciones al sistema climático de Köppen, (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 90 p.

García, P. L. G., Reyes, A. J. A., Aguire, R. J. R. and Pinos, R. J. M. 2005. Preliminary nutritional and organoleptic assessment of xoconostle fruit (*Opuntia* spp.) as a condiment or appetizer. Food Sci. 3(17):333-340.

Granados, S. D. y Castañeda, A. D. 1991. El Nopal, Historia, Fisiología, Genética e Importancia Frutícola. Ed. Trillas. México. 227 p.

Guevara, A. J. C. y Ornelas, P. J. de J. 2013. Tecnología Pos-cosecha y Efectos Biofuncionales del Nopal y la Tuna. Ed. Trillas. México. 236 p.

Guzmán, M. S. H., Mondragón, J. C., Herrera, H. Ma. G., Guevara, L. F. y Reynoso, C. R. 2009. El Xoconostle un Fruto con Alto Valor Nutrimental y Nutracéutico. Prácticas Básicas para su Producción. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. México. 23 p.

Guzmán-Maldonado, S. H., Morales-Montelongo, A. L., Mondragón-Jacobo, C., Herrera-Hernández, G. and Reynoso-Camacho, R. 2010. Physicochemical, Nutricional, and Funcional Characterization of Fruits Xoconostle (*Opuntia matudae*) Pears from Central-México Region. Journal of Food Science 75(6):C485-C492.

Hans, W. F. 1975. Química de Suelos con Énfasis en Suelos de América Latina. INCA. Costa Rica 395 p.

Hernández, F. V. H. y Flores, C. A. 2004. Producción y comercialización de xoconostle en la región de las pirámides, Estado de México. En: 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.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Chapantongo, Hidalgo. En http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM13hidalgo/municipios/13017a.html Fecha de consulta 20 de marzo de 2016.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2017. Anuario estadístico y geográfico de Hidalgo. 674 p.

Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED). 2010. Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. En http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM13hidalgo/municipios/13006a.html. Fecha de consulta 18 de febrero de 2016.

Instituto Nacional de Estadísticas (INE). 2013. La piel de tuna será comestible. Revista El Agro. En: http://www.revistaelagro.com/2013/01/23/piel-de-tuna-sera-comestible/. Fecha de consulta 05 de noviembre de 2015.

Janzen, D. H. 1986. Mice, big mammals, and seeds: it matters who defecates what where. In: Estrada, A. and Fleming, T. H. (eds) Frugivores and Seed Dispersal. Dr W. Junk Publishers Dordrecht, The Netherlands, 251-271 p.

León, A. R. 1991. Nueva Edafología, Regiones Tropicales y Áreas Templadas de México. Fontamara S.A. 364 p.

López, R. J. y López, M. J. 1985. El Diagnóstico de Suelos y Plantas: Métodos de campo y Laboratorio. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 363 p.

Luters, A. y Salazar, L. J. C. 1999. Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo (USDA). Instituto de Suelos. Argentina 88 p.

Martínez-González, C. R. 2010. Especies de *Opuntia* Mill. (Cactacea), productoras de xoconostles en Villa de Tezontepec, Hidalgo. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México. 119 p.

Martínez-Soto G., Mark, S. B., Juárez, A. M. R., Flores, O. A., López, O. M. y Mercado, F. J. 2012. Modelación matemática del secado solar del xoconostle. Revista Salud Pública y Nutrición 2:339-347.

Méndez, G. S. J., y García, H. J. 2006. La tuna: producción y diversidad. CONABIO. Biodiversitas 68:1-5.

Morales, M. A. L. 2009. Caracterización fitoquímica funcional del fruto de xoconostle cuaresmeño (*Opuntia matudae*) y el efecto de su consumo en parámetros bioquímicos de ratas diabéticas. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro, México. 88 p.

Morales, P., Ramírez-Moreno, E., Sanchez-Mata M., Carvalho, A. M. and Ferreira, I. 2012. Nutritional and antioxidant properties of pulp and seeds of two xoconostle cultivars

(*Opuntia joconostle* F.A.C. Weber ex Diguet and *Opuntia matudae* Scheinvar) of high consumption in Mexico. Food Research International 46:279-285.

Munsell, A. H. 1975. Munsell Soil Color Charts. Baltimore.

Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos: Estudios, muestreo y análisis.

Norma Mexicana NMX-FF-030-SCFI-2006, Productos alimenticios no industrializados para uso humano – fruta fresca – tuna (*Opuntia* spp.)

Olivares, J. L., Zavaleta, B. P., Chimal, H.A., Montiel, S.D., Fierro, A.A. y Scheinvar, L. 2003. Xoconostle: Biología y Manejo Agronómico. Ed. Universidad Autónoma Metropolitana. México. 121 p.

Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2018. Propiedades físicas del suelo. En: http://www.fao.org/soils-portal/levantamiento-de-suelos/propiedades-del-suelo/propiedades-quimicas/es/. Fecha de consulta el 20 de enero de 2018.

Pinedo-Espinoza, J. M., Gallegos-Vázquez, C., Trapala-Islas, A., Franco-Bañuelos, A. y Hernández-Fuentes, A. D. 2014. Caracterización morfométrica de 10 genotipos de nopales productores de Xoconostles (*Opuntia* spp.) de Hidalgo y Zacatecas México. Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan 2(2):71-79.

Pinedo-Espinoza, J. M., Martínez-Rodríguez, O. P., Pinedo-Guerrero, Z. H., Franco-Bañuelos, A., Gallegos-Vázquez, C. y Hernández-Fuentes, A. D. 2015. Comportamiento Poscosecha de genotipos de Xoconostles del estado de Zacatecas. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha 16(1):75-80.

Pimienta, B. E. 1990. El nopal Tunero. Universidad de Guadalajara. Guadalajara Jalisco. 246 p.

Prieto-García, F., Filardo-Kerstup, S., Pérez-Cruz, E., Beltrán-Hernández, R., Román-Gutiérrez, A. y Méndez-Marzo, M. 2006. Caracterización física y química de semillas de Opuntias (*Opuntia* spp.) cultivadas en el Estado de Hidalgo, México. Bioagro 18(3):163-169.

Prieto-García, F., Prieto-Méndez, J., Acevedo-Sandoval, O., Canales-Flores, A. and Marmolejo-Santillán, Y. 2016. Chemical and physical characterization of *Opuntia* spp. Sedes grown in Hidalgo State, México. Ciencia e Investigación Agraria 43(1):143-150.

Ramírez, S. S. E., Jiménez, A. A., Montiel, S. D., Ruiz, J. D., Guerrero, A. O. y Olivares, O. L. J. 2014. Buenas Prácticas Agrícolas en el Cultivo y Procesamiento del Xoconostle. En: *Buenas prácticas en la Producción Agropecuaria y de Alimentos de Calidad*. Universidad Autónoma Metropolitana, México, 243-245 p.

Reyes-Agüero, J. A. 2005. Variación morfológica de *Opuntia* (Cactaceae) y su relación con la domesticación en la altiplanicie meridional de México. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 180 p.

Reyes, J. I. 1996. Fundamentos Teórico-Prácticos de Temas Selectos de la Ciencia del Suelo. UAM-I. México. 257 p.

Rebman, J. P. y Pinkava, D. J. 2001. *Opuntia cacti* of North America. An over view. Florida Entomologist 84:474-483.

Rico-Rodríguez, M. Á., Prieto-García, F., Román-Gutiérrez, A. D., Otazo-Sánchez, E. M. y Acevedo-Sandoval, O. A. 2013. Caracterización de tres suelos en Hidalgo y Querétaro, México: disponibilidad y daño tóxico por arsénico en garbanzo (*Cicer arietinum* L.) Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias 45(1):225-246.

Sánchez, V. G. y Ortega, D. M. L. 1996. Componentes químicos durante la maduración del fruto de *Opuntia joconostle* Weber cuaresmero. Agrociencia 30(4):541-548.

Saravia, T. P. L. 2004. Agrupamientos productivos (cluster) del nopal. PYME-SE. En www.contactopyme.gob.mx/estudios/docs/nopal_mexico.PDF. Fecha de consulta 29 de septiembre de 2015.

Sawaya, W. N., Khatchadourian, H. A., Safi, W. M. and Al-Hammad, H. M. 1983. Chemical characterization of prickly pear pulp, *Opuntia ficus-indica*, and the manufacturing of prickly pear jam. J Food Technol. 18(2):183-193.

Scheinvar, L., Belardo, S., Aguirre, A., Olalde, G., González, O., Chimal, A., Camacho, F. y Olivares, J. L. 2001. Estudio bioecológico de los xoconostles mexicanos *Opuntia* spp. y su potencial económico. En: Memorias del XV Congreso mexicano de Botánica. Querétaro, México.

Scheinvar, L., Kerstupp, S. F., Olalde, P. G. y Zavaleta, B. P. 2009. Diez Especies Mexicanas de Xoconostles: *Opuntia* spp. y *Cylindropuntia imbricata* (Cactácea). Universidad Nacional Autónoma de México, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo y Universidad Autónoma Metropolitana. Editorial Progreso. México. 179 p.

Scheinvar, L. y Sule, D. 2010. Probable Centro de origen Y diversidad genética de los xoconostles de la República Mexicana. Proyecto 478-CONABIO. Congreso Mexicano de Botánica. Simposio Centros de Origen.

Scheinvar, L., Olalde, G. y Sule, D. 2011. Especies Silvestres de Nopales Mexicanos. Universidad Nacional. Autónoma de México. Instituto de Biología. Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. GE005. México D.F.

Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2005. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesca. Resumen Nacional DDR. Año agrícola 2005.

Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2008. La Sainera Sociedad Cooperativa de Responsabilidad Limitada. En: www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Lists/Mujeres/.../2/sainera.pdf. Fecha de consulta 02 mayo de 2016.

Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2015. Inicia exportación de nopal, tuna xoconostle y penca de maguey del Estado de México a Estados Unidos. En http://www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa/2012/Paginas/2015B540.aspx. Fecha de consulta 15 de mayo de 2016.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2015. Atlas Agroalimentario. SAGARPA. México. 216 p.

Torres, J. 2011. Empresa familiar exporta productos de xoconostle. En el Criterio. 03 de mayo de 2011. Consultorios Salud Integral.

Vázquez, A. A. 1999. Guía para interpretar el análisis químico del agua y suelo. Ed. Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. México, 31 p.

Vela-Correa, G. y Flores-Román, D. 2004. Morfogénesis de suelos con capas endurecidas de la Sierra de Guadalupe, México. Terra Latinoamericana 22(3):255-265.

Westerman, R. L. 1990. Soil Testing and Plant Analysis. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA 757 p.

Zavaleta, B. P., Olivares, O. J., Montiel, S. D., Chimal, H. A. y Scheinvar, L. 2001. Fertilización orgánica en xoconostle (*Opuntia joconostle* y *Opuntia matudae*). Agrociencia 35(6):609-614.

ARTÍCULO CIENTÍFICO

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

Mónica Gutiérrez-Rojas[1*], Daniel Ruiz-Juárez[2], Gilberto Vela-Correa[3], Javier L.Olivares-Orozco[2]

[1] Programa Maestría en Ciencias Agropecuarias. Universidad Autónoma Metropolitana-Conacyt. Calzada del Hueso 1100, Coyoacán. 04960 CDMX, México.

[2]Universidad Autónoma Metropolitana, Departamento de Producción Agrícola y Animal, Calzada del Hueso 1100, Coyoacán. 04960 CDMX, México.

[3]Universidad Autónoma Metropolitana, Departamento del Hombre y su Ambiente. Calzada del Hueso 1100, Coyoacán. 04960 CDMX, México.

*Autor de correspondencia mgracg@yahoo.com.mx

RESUMEN

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

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

ABSTRAC

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

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

INTRODUCCIÓN

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

cantidad de pigmentos y antioxidantes que posee el fruto (Bravo y Sánchez, 1991; Scheinvar *et al*., 2001; Olivares *et al*., 2003). El 95% de la producción nacional se concentra en el Estado de México con un promedio de 1,250 ha cultivadas con xoconostle, el resto de la producción se ubica en algunos municipios del estado de Hidalgo, con los cultivares Cuaresmero y Burro, que son las especies más representativas de éste estado (SIAP, 2015). Pese a las bondades del xoconostle como alimento, a nivel nacional e internacional se desconocen los indicadores de calidad e inocuidad que deberán presentar los frutos para la cosecha y consumo humano (Scheinvar *et al.* 2009. Hasta la fecha, las investigaciones se han centrado en aspectos de cultivo y producción, es el caso de *O. matudae* cv. Cuaresmero y *O. joconostle* cv. Burro (Morales, 2009). Por lo que el objetivo de éste trabajo fue comparar características morfométricas y fisicoquímicas de frutos de xoconostle cultivados y silvestres en Hidalgo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características de la zona de estudio

El trabajo se realizó durante los ciclos Primavera-Verano y Otoño-Invierno 2015-2016 en cuatro sitios de tres municipios del estado de Hidalgo. El municipio de Chapantongo se ubica entre los 20°17’07” y 99°24’46” a 2120 msnm, Huichapan, entre los 20°22’24” y 99°38’56” a 2,108 msnm y Tula de Allende entre los 20°03'23”, a los 99°20'31” a 2020 msnm del Valle del Mezquital estado de Hidalgo. El clima en los cuatro sitios es templado subhúmedo con lluvias en verano, con una media anual de 550 mm de precipitación y temperatura anual que oscila entre 12 y 30 °C (GEH, 2011; INEGI, 2016). Los sitios se reconocieron como “Sitio 1Ch-C” Chapantongo (cultivo de *O. matudae* cv. Cuaresmero), “Sitio 2Ch-S” Chapantongo (plantas silvestres de *O. joconostle* cv. Burro), “Sitio 3TA-S” Tula de Allende (plantas silvestres de *O. joconostle* cv. Burro) y “Sitio 4Hu-C” Huichapan (cultivo de *O. joconostle* cv. Burro).

Muestreo de frutos de xoconostle

De cada sitio de estudio se tomaron cinco puntos de muestreo distribuidos de forma aleatoria. Cada punto de muestreo cubrió una circunferencia de 25m^2, se seleccionaron diez plantas de xoconostle comprendidas dentro de la circunferencia. A partir de las plantas seleccionadas, se tomaron diez frutos de color rosado como indicador de madurez fisiológica para la cosecha, por sitio se colectó

un total de cincuenta frutos de xoconostle maduros para la caracterización físico-química. Los frutos de los sitios cultivados con xoconostle se tomaron de plantas de huertos en producción, con una actividad comercial de cuatro años consecutiva. El marco de plantación se encuentra a una distancia de 3 m entre filas y 3 m entre planta y planta y no cuentan con un programa de fertilización. En los diferentes sitios evaluados y de cada planta donde se colectaron las muestras se registraron las coordenadas con un GPS Magellan 610®. Los frutos muestreados se colocaron en bolsas de polipapel estéril previamente etiquetadas y se conservaron en refrigeración hasta su análisis en laboratorio.

Calidad de los frutos de xoconostle

Caracterización morfométrica y fisicoquímicas del fruto

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

Contenido nutricional del fruto

Dentro de la caracterización química, se determinó el valor nutrimental de los frutos con base en la técnica de Análisis Químico Proximal de la Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist (AOAC, 1995). Para el análisis nutrimental, los frutos se disectaron

en cáscara, pulpa y semillas. La determinación de humedad se basó en la evaporación del agua mediante calor (AOAC, 1995). Las muestras se colocaron en charolas de aluminio en una estufa Riossa® a temperatura constante de 65 °C durante 24 h. Posteriormente, las muestras se pulverizaron en un molino IKA®, y se colocaron en bolsas de plástico estériles previamente etiquetadas.

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

Análisis estadístico

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

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización física de los frutos

Los valores promedio de las características morfológicas de los frutos de *O. joconostle* cv. Burro y *O. matudae* cv. Cuaresmero (*DL, DE, DiaCR, DME, LP, DCR y EC*) mostraron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) (Tabla 1). El *DL* de los frutos de xoconostle fue mayor en el Sitio 2Ch-S (plantas silvestres de *O. joconostle* cv. Burro) (67.40 mm) (Tabla 1), valor que fue superior a lo reportado por Guzmán-Maldonado *et al*. (2010) en frutos de xoconostle *O. matudae* Cuaresmero del Estado de México y Puebla (59.00 mm), al igual a lo reportado por Gallegos-Vázquez *et al*. (2014) en la variedad de xoconostle silvestre “Sainero” (*O. matudae*) del estado de

Zacatecas (55.7 mm). Asimismo Pinedo-Espinoza *et al*. (2014) publicaron un valor de 44.50 mm en frutos de *O. joconostle* silvestres del estado de Hidalgo; también Morales (2009) reportó el diámetro longitudinal promedio de 42.5, 45.4 y 44.6 mm en frutos de *O. matudae* Cuaresmero del estado de Hidalgo, Estado de México y Puebla; finalmente, el valor más bajo para esta esta característica fue publicado por Guzmán-Maldonado *et al*. (2010) en frutos de xoconostle *O. matudae* Cuaresmero del estado de Guanajuato (40.0 mm).

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

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

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

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

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

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

El contenido de azúcares totales (°Brix) en los frutos, fue mayor en el Sitio 2Ch-S y Sitio 3TA-S (6.65 y 6.17% respectivamente) (Tabla 2), datos similares fueron reportados por Gallegos-Vázquez *et al*. (2014) en frutos silvestres de xoconostle "Sainero" (6.3%), así mismo, Morales (2009) reportó valores similares en frutos de xoconostle Cuaresmero (*O. matudae*) en el Estado de México (6.32). A diferencia de lo reportado por Guzmán-Maldonado *et al*. (2010) quienes presentaron valores inferiores en frutos cultivados de *O. matudae* Cuaresmero en Guanajuato, Estado de México y Puebla (1.10, 1.19 y 1.35 % respectivamente. Los °Brix de los frutos de xoconostle se ven influenciados por las prácticas agronómicas desde el trasplante, deshierbe, fertilización, aporque, podas sanitarias y formación realizadas al cultivo (Zavaleta-Beckler *et al*. (2001), a diferencia de los frutos de plantas silvestres, donde la manipulación de la cactácea es

nula, en consecuencia la fructificación no es alterada y el fruto llega a término de cosecha. Lo anterior asienta las bases para generar una línea de investigación donde se evalúe color de fruto y °Brix en diferentes etapas de desarrollo de los frutos de plantas cultivadas y silvestres.

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

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

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

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

El *PS* fue significativamente mayor (p<0.0001) en el Sitio 4 Hu-C (11.93 g) con respecto al Sitio 1 Ch-C y Sitio 3TA-S (14.29 y 4.49 g). Gallegos-Vázquez *et al*. (2014) reportaron pesos de 9.8 g, inferiores al sitio 4 en frutos silvestres de xoconostle "Sainero" (*O. matudae*). La *FP* de los frutos de xoconostle, de acuerdo al Manual Gráfico para la Descripción Varietal del Nopal tunero y Xoconostle (*Opuntia* spp) (Gallegos-Vázquez *et al*. 2005) se caracterizó como Firme para los cuatro sitios (Tabla 4). Esta característica de Firmeza concuerda con lo reportado por Gallegos-Vázquez *et al*. (2014) en frutos silvestres de xoconostle "Sainero" (*O. matudae*). La firmeza de la pulpa de los frutos, se ve alterada por las condiciones de manejo después de la cosecha. En este sentido los factores abióticos limitan la calidad de la pulpa. De aquí la importancia de mantener las muestras en condiciones secas y obscuridad total y realizar las evaluaciones un lapso no mayor a 24 horas.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Caracterización química del fruto

Análisis Químico Proximal

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

Humedad

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

Cenizas

El porcentaje de cenizas fue mayor en la cáscara de los frutos del Sitio 1 Ch-C, Sitio 2 Ch-C y Sitio 4 Hu-C (15.90, 17.14, y 15.94% respectivamente), a diferencia del Sitio 3 TA-S con un valor inferior (10.46 %) (Tabla 6). Sin embargo Guzmán-Maldonado *et al*. (2010) reportaron valores de 13.57, 14.04 y 13.70% en cáscara de frutos de xoconostle *O. matudae* Cuaresmero del estado de Guanajuato, Estado de México y Puebla respectivamente. Los valores inferiores de ceniza se observaron en las semillas del Sitio 1 Ch, Sitio 3 TA-S y Sitio 4 Hu-C (2.40, 2.33 y 2.40% respectivamente). En este sentido, Prieto-García *et al*. (2006, 2016) también reportaron porcentajes bajos de cenizas en semillas de frutos de *O. heliabravoana, O. joconostle y O. ficus-indica* del

estado de Hidalgo con 0.95, 1.03 y 1.01% respectivamente. Sin embargo, Scheinvar *et al*. (2009) registraron valores de ceniza de 19.82% en el fruto completo de *O. joconostle* F.A.C. Weber de Hidalgo.

Proteína

El porcentaje de proteína fue significativamente mayor ($p<0.0001$) en las semillas del Sitio 2 Ch-C (14.24%), respecto al Sitio 1 Ch-C, Sitio 3 TA-S y Sitio 4 Hu-C. Datos inferiores reportaron Guzmán-Maldonado *et al*. (2010) en las semillas de frutos de xoconostle *O. matudae* Cuaresmero de Guanajuato, Estado de México y Puebla con 6.84, 7.22 y 8.16% respectivamente. Este dato difiere con lo reportado por Morales *et al*. (2012) quienes determinaron porcentajes de 2.12 y 3.45% en semillas de frutos cultivados de *O. joconostle* F.A.C. Weber y *O. matudae* Scheinvar cv. Rosa. De la misma manera, Prieto-García *et al*. (2006, 2016) reportaron porcentajes inferiores en semillas de frutos de *O. heliabravoana, O. joconostle y O. ficus-indica* del estado de Hidalgo con 2.10, 0.64 y 0.97% respectivamente. Sin embargo, el porcentaje de proteína más bajo se observó en la pulpa de frutos de xoconostle de los cuatro sitios evaluados (2.33, 0.58, 3.03 y 1.78% respectivamente) con una diferencia estadística significativa de $p<0.0001$ entre ellos. El porcentaje de proteína en pulpa del Sitio 4 Hu-C se asemeja con lo reportado por Guzmán-Maldonado *et al*. (2010) en la pulpa de frutos de xoconostle *O. matudae* Cuaresmero de Guanajuato, Estado de México y Puebla con 1.63, 1.78 y 1.66% respectivamente. Asimismo, los porcentajes de proteína en pulpa del Sitio 2 Ch-C se asemejan con lo reportado por Morales *et al*. (2012) en los porcentajes de proteína en pulpa de frutos cultivados de *O. joconostle* F.A.C. Weber y *O. matudae* Scheinvar cv. Rosa en Hidalgo (0.66 y 0.56% respectivamente). Sin embargo Scheinvar *et al*. (2009) determinaron porcentajes de 7.42% de proteína en el fruto completo de *O. joconostle* F.A.C. Weber.

Extracto etéreo

El porcentaje de extracto etéreo más alto fue de 14.85% en semillas de frutos del Sitio 3 TA-S con una diferencia estadística significativa de $p<0.0001$ (Tabla 6). Este dato difiere con lo reportado por Prieto-García *et al*. (2006, 2016) en semillas de frutos de *O. heliabravoana, O. joconostle y O. ficus-indica* en Hidalgo (16.99, 19.24 y 17.22% respectivamente). Sin embargo, Guzmán-Maldonado *et al*. (2010) reportaron valores menores al Sitio 3 TA-S con 7.23, 8.10 y 7.15%

respectivamente en semillas de frutos de xoconostle *O. matudae* Cuaresmero en Guanajuato, Estado de México y Puebla. Asimismo Morales *et al*. (2012) reportaron valores menores, con 2.45 y 3.52% en semillas de frutos cultivados de *O. joconostle* F.A.C. Weber y *O. matudae* Scheinvar cv. Rosa en Hidalgo. A diferencia del extracto etéreo observado en las semillas del Sitio 3 TA-S, el valor menor se determinó en la pulpa de los frutos de los cuatro sitios evaluados con 1.68, 0.85, 1.35 y 0.81% respectivamente. Sin embargo, Guzmán-Maldonado *et al*. (2010) reportaron porcentajes superiores en la pulpa de frutos de xoconostle *O. matudae* Cuaresmero en Guanajuato, Estado de México y Puebla (5.05, 5.19 y 5.28% respectivamente). A diferencia de lo reportado por Scheinvar *et al*. (2009) en frutos de *O. joconostle* F.A.C. Weber de Hidalgo con 10.42%.

Fibra

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

Las características físicas de los frutos se analizaron con un intervalo de confianza de $p\leq0.05$. Los parámetros de calidad que presentaron valores mayores en los frutos de plantas silvestres de *O. joconostle* cv. Burro, de Chapantongo fueron el *DL*, *DiaCR*, °*Brix*, *pHC*, *pHS*, *PFC*, *PP*, porcentaje de humedad en pulpa, proteína en semillas, cenizas en semillas, a diferencia de los frutos cultivados de *O. matudae* cv. Cuaresmero del sitio de Chapantongo quienes mostraron valores

inferiores en *DL*, *pHC*, *pHP*, *pHFC*, la *JP*, la *DA*, el porcentaje de proteína en cáscara, pulpa y semillas, el extracto etéreo de cáscara y semillas, así como el porcentaje de fibra en cáscara.

CONCLUSIONES

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

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

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

Los frutos cultivados de *O. matudae* cv. Cuaresmero del sitio de Chapantongo mostraron valores inferiores en el diámetro longitudinal; pH de cáscara; pH de pulpa, pH del fruto completo, jugosidad de la pulpa, densidad de aréolas, el porcentaje de proteína en cáscara, pulpa y semillas, extracto etéreo de cáscara y semillas y fibra en cáscara. El contenido nutrimental de los frutos de xoconostle silvestres de *O. joconostle* cv. Burro, del municipio de Chapantongo presentaron valores superiores de humedad en pulpa; proteína en semillas; cenizas en semillas. Las semillas de los frutos de xoconostle del sitio de Tula de Allende presentaron valores superiores en humedad y extracto etéreo. Los frutos de plantas silvestres de *Opuntia* spp. presentan un gran potencial económico debido a sus múltiples usos como alimento, propiedades medicinales y terapéuticas.

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

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos a los productores que nos facilitaron trabajar en sus cultivos para llevar a cabo la presente investigación. Asimismo a la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad

Xochimilco, por proporcionarnos las instalaciones, materiales y equipos y a la maestría en Ciencias Agropecuarias, UAM-X.

BIBLIOGRAFÍA

Álvarez, A. and B. Peña, 2009, "Structural polysaccharides in xoconostle (Opuntia matudae) fruits with different ripening stages", Journal of Professional Association of Cactus Development, 11:26-44.

AOAC, 1995, Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist, Volumes I and II. K. Herlich ed., AOAC International. Minneapolis, MN.

Bravo, H. H. y H. Sánchez-Mejorada, 1991, Las Cactáceas de México, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Bravo-Hollis, H. y L. Scheinvar, 1995, El interesante mundo de las cactáceas, Fondo de Cultura Económica, México.

Fierro, A. et al., 2006, Cultivo del Nopal Verdura (Opuntia ficus-indica (L.) Mill.) en el sur del Distrito Federal, Universidad Autónoma Metropolitana. México.

Gallegos-Vázquez, C. et al., 2005, Manual Gráfico para la Descripción Varietal del Nopal Tunero y Xoconostle (Opuntia spp.), SAGARPA.

Gallegos-Vázquez, C. et al., 2014, "Sainero: new variety of xoconostle for the northern región of central Mexico", Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 5(6):1125-1131.

GEH, Gobierno del estado de Hidalgo, 2011, Enciclopedia de los municipios del estado de Hidalgo: Chapantongo, Gobierno del Estado de Hidalgo, Secretaría de Planeación Desarrollo Regional y Metropolitano. Pachuca de Soto, México.

Guzmán-Maldonado, S. et al., 2010, "Physicochemical, Nutritional, and Functional Characterization of fruits Xoconostle (Opuntia matudae) Pears from Central-México Region", Journal of Food Science, 75(6):C485-C492.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2016, Anuario Estadístico y Geográfico de Hidalgo, INEGI.

Martínez-Soto G. et al., 2012, "Modelación matemática del secado solar del xoconostle", Revista Salud Pública y Nutrición, 2:339-347.

Morales, M. A. L. 2009, Caracterización fitoquímica funcional del fruto de xoconostle cuaresmeño (Opuntia matudae), y el efecto de su consumo en parámetros bioquímicos de ratas diabéticas, tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Facultad de Química, UAQ. México.

Morales, P. et al., 2012, "Nutritional and antioxidant properties of pulp and seeds of two xoconostle cultivars (Opuntia joconostle F.A.C. Weber ex Diguet and Opuntia matudae Scheinvar) of high consumption in Mexico", Food Research International, 46:279-285.

Norma Mexicana NMX-FF-030-SCFI-2006, Productos alimenticios no industrializados para uso humano – fruta fresca – tuna (Opuntia spp.).

Olivares, J. L. et al., 2003, Xoconostle: biología y manejo agronómico, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, México.

Pinedo-Espinoza, J. et al., 2014, "Caracterización morfométrica de 10 genotipos de nopales productores de Xoconostle (Opuntia spp.) de Hidalgo y Zacatecas", Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan, 2(2):71-79.

Prieto-García, F. et al., 2006, "Caracterización física y química de semillas de Opuntias (Opuntia spp.) cultivadas en el Estado de Hidalgo, México", Bioagro, 18(3):163-169.

Prieto-García, F. et al., 2016, "Chemical and physical characterization of Opuntia spp. Sedes grown in Hidalgo State, México", Ciencia e Investigación Agraria, 43(1):143-150.

Scheinvar, L. et al., 2001, Estudio bioecológico de los xoconostles mexicanos Opuntia spp. y su potencial económico, en Memorias del XV Congreso mexicano de Botánica. Querétaro, México.

Scheinvar, L. et al., 2011, Estado del conocimiento de las especies del nopal (Opuntia spp.) productoras de xoconostles silvestres y cultivadas, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Scheinvar, L. et al., 2009, Diez Especies Mexicanas de Xoconostles: Opuntia spp. y Cylindropuntia imbricata (Cactácea), Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2015, Atlas Agroalimentario, SAGARPA. México.

Zavaleta-Beckler, P. et al., 2001, “Organic fertilization in sour prickly pear (Opuntia joconostle and O. matudae)”, Agrociencia, 35(6):609-614.

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

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

[1]Diámetro longitudinal; [2]Diámetro ecuatorial; [3]Diámetro de la cicatriz del receptáculo; [4]Diámetro del mesocarpio; [5]Longitud del pedúnculo; [6]Depresión de la cicatriz del receptáculo; [7]Espesor de cáscara.
*Literales diferentes entre las columnas indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

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

Sitio	°Brix (%)	pHC[1]	pHS[2]	pHP[3]	pHFC[4]
Sitio 1Ch-C	5.58[c]	4.14[c]	3.55[b]	3.08[c]	3.15[d]
Sitio 2Ch-S	6.65[a]	4.40[a]	5.27[a]	3.13[b]	3.19[b]
Sitio 3TA-S	6.17[ab]	3.81[d]	2.77[c]	3.70[a]	3.17[c]
Sitio 4Hu-C	5.41[bc]	4.34[b]	3.52[b]	3.12[b]	3.33[a]

[1]pH de cáscara; [2]pH de semillas; [3]pH de pulpa; [4]pH del fruto completo.
*Literales diferentes entre las columnas indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

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

Sitio	PFC[1]	PC[2]	PP[3]	PS[4]
		(g)		
Sitio 1Ch-C	58.83 ± 18.27[b]	7.30 ± 1.76[a]	43.50 ± 14.53[b]	4.29 ± 1.78[c]
Sitio 2Ch-S	94.28 ± 16.26[a]	7.92 ± 2.32[a]	69.34 ± 11.84[a]	6.95 ± 1.59[b]
Sitio 3TA-S	60.71 ± 7.95[b]	4.75 ± 1.71[b]	46.54 ± 6.15[b]	4.49 ± 1.09[c]
Sitio 4Hu-C	67.38 ± 8.49[b]	8.00 ± 1.04[a]	44.53 ± 5.34[b]	11.93 ± 2.89[a]

[1]Peso del fruto completo; [2]Peso de cáscara; [3]Peso de pulpa; [4]Peso de semillas.
*Literales diferentes entre las columnas indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

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

Sitio	FP[1]	JP[2]	NG[3]	CG[4]	NSD[5]	PSA[6]
Sitio 1Ch-C	Firme	Media	Medio	Amarillo	Bajo	Pocas
Sitio 2Ch-S	Firme	Alta	Medio	Amarillo	Bajo	Pocas
Sitio 3TA-S	Firme	Alta	Medio	Amarillo	Bajo	Pocas
Sitio 4Hu-C	Firme	Alta	Medio	Amarillo	Bajo	Pocas

[1]Firmeza de pulpa; [2]Jugosidad de pulpa; [3]Número de glóquidas; [4]Color de glóquidas; [5]Número de semillas desarrolladas; [6]Presencia de semillas abortivas.
*Literales diferentes entre las columnas indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

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

Sitio	UCS[1]	DA[2]	CP[3]	FF[4]
Sitio 1Ch-C	Irregular	Baja	Amarillo	Elíptica
Sitio 2Ch-S	Irregular	Media	Verde	Elíptica
Sitio 3TA-S	Irregular	Media	Verde	Elíptica
Sitio 4Hu-C	Irregular	Media	Amarillo	Oboval

[1]Uniformidad del color de la superficie; [2]Densidad de areólas; [3]Color de pulpa; [4]Forma del fruto.
*Literales diferentes entre las columnas indican diferencias estadísticas Significativas ($p \leq 0.05$).

Tabla 6. Análisis Químico Proximal en BS[1] de frutos de xoconostle cultivados y silvestres de *O. joconostle* cv. Burro y frutos de *O. matudae* cv. Cuaresmero

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

[1]Base Seca; [2]Base Húmeda; [3]Cáscara; [4]Pulpa; [5]Semilla.
*Literales diferentes entre filas indican diferencias estadísticas Significativas $p<0.0001$.