

UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

**Identificación de compuestos bioactivos y
actividad antioxidante en nuevos genotipos
de xoconostle**

TESIS

**PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN CIENCIA DE LOS ALIMENTOS**

**PRESENTA:
MARICELA DÍAZ BATALLA**

DIRECTORA:
Dra. Alma Delia Hernández Fuentes

ASESORES

Dr. Rafael Germán Campos Montiel
Dr. Gabriel Aguirre Álvarez
Dr. José Manuel Pinedo Espinoza

Tulancingo de Bravo Hidalgo, Noviembre 2014



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

Tulancingo de Bravo Hgo. a 12de Noviembre 2014

M. en C. JULIO CESAR LEINES MEDECIGO
DIRECTOR DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR DE LA UAEH
P R E S E N T E

A través de este conducto, los integrantes de la Comisión revisadora de Tesis titulada **“Identificación de compuestos bioactivos y actividad antioxidante en nuevos genotipos de xoconostle”** presentada por el **C. Maricela Díaz Batalla** como parte de los requisitos para la obtención del grado de Maestro en Alimentos, le informamos que después de haber revisado el documento consideramos que cumple con los elementos suficientes de contenido y forma para su defensa oral en el Examen de grado correspondiente. Por las razones anteriores otorgamos nuestra aprobación para la impresión de la tesis.

Atentamente

Comisión Revisora

Dra. Alma Delia Hernández Fuentes

Dr. Rafael Germán Campos Montiel

Dr. Gabriel Aguirre Álvarez

Dr. José Manuel Pinedo Espinoza

AGRADECIMIENTO

Al FOMIX CONACyT -HGO-2012- con clave del proyecto 195462 por el apoyo económico de la beca de Maestría en Ciencia de los Alimentos de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

DEDICATORIA

Papás:

Gracias por el apoyo moral, su cariño y comprensión que desde niña me han brindado, por guiar mi camino y estar junto a mí en los momentos más difíciles. Son personas maravilloso a las que siempre he admirado y querido..

Ustedes siempre han estado apoyándome en todas las decisiones que he tomado, gracias por ayudarme a cruzar con firmeza el camino de la superación, con su apoyo y aliento hoy he logrado uno de mis grandes sueños.

Porque gracias a su apoyo y consejos, he llegado a realizar una de mis grandes metas lo cual constituye la herencia más valiosa que pudiera recibir.

GRACIAS POR GUIAR MI VIDA CON ENERGÍA, ESTO HA HECHO QUE SEA LO QUE SOY.

Papá:

Yo sé que en donde te encuentres estarás orgulloso de mí, desafortunadamente no puedes estar conmigo en forma física pero tú siempre estarás en mi corazón, en mi pensamiento y en mis recuerdos.

**ES ABSURDO Y ERRÓNEO LLORAR A LOS HOMBRES QUE MURIERON. MÁS BIEN DEBEMOS
DAR GRACIAS A DIOS DE QUE ESOS HOMBRES VIVIERAN**

SIEMPRE VIVIRÁS EN MÍ

Hermanos:

Por el cariño y apoyo moral que siempre he recibido de ustedes y con el cual he logrado culminar mi esfuerzo, terminando así mi carrera profesional.

Al término de esta etapa de mi vida, quiero expresar un profundo agradecimiento a quienes con su ayuda, apoyo y comprensión me alentaron a lograr esta hermosa realidad.

JUNTOS NOS FORTALECEMOS

Esposo:

Gracias por el apoyo incondicional que siempre tienes cuando emprendo algo nuevo, por la felicidad compartida cuando logro una de mis metas, por el gran amor que me tienes y que es recíproco.

A quien jamás encontraré la forma de agradecer su apoyo, comprensión y confianza esperando que comprendas que mis logros son también tuyos e inspirados en ti, hago de este un triunfo y quiero compartirlo por siempre contigo,

TE AMO MUCHO

Hijos:

Como un testimonio de eterno agradecimiento por el gran amor y la confianza que siempre me brindaron, gracias por darme la fuerza para irme superando.

Sabiendo que jamás encontraré la forma de agradecer su constante apoyo y confianza, sólo espero que comprendan que mis ideales, esfuerzos y logros han sido también suyos e inspirados en ustedes

La realización de dos de mis más grandes metas en la vida son la culminación de mi carrera profesional y el hacerlos sentirse orgullosos de esta persona que tanto los ama.

Nunca me cansaré de agradecerle a Dios por haberme hecho coincidir en todo contigo.

LOS AMO MUCHO

Todos:

A quienes jamás encontraré la forma de agradecer el cariño, comprensión y apoyo brindado en los momentos buenos y malos de mi vida, hago este triunfo compartido, sólo esperando que comprendan que mis ideales y esfuerzos son inspirados en cada uno de ustedes.

GRACIA A DIOS POR PERMITIRME CUMPLIR UNA META MÁS EN MI VIDA

AGRADECIMIENTO

A la Dra. Alma Delia Hernández Fuentes

Muchas gracias por su apoyo en mi formación profesional, por insistirme en terminar mi maestría y por ser mi guía para el logro de esta meta.

Por creer en mi para la elaboración de mi tesis, por su confianza y paciencia

Al Dr. Rafael Germán Campos Montiel

Muchas gracias por su apoyo y asesoría para profesional para logra el término de mi meta.

Gracias por sus consejos sobre la importancia de terminar la maestría.

Dr. Gabriel Aguirre Álvarez

Muchas gracias por su apoyo y asesoría para cumplir con una meta más en mi vida

Dr. José Manuel Pinedo Espinoza

Muchas gracias por compartir sus conocimientos para mi formación profesional

A los Doctores

Muchas gracias por compartir sus conocimientos, tiempo, experiencia y habilidades para contribuir a mi formación profesional.

¡QUE DIOS LOS BENDIGA!

ÍNDICE

INDICE.....	IX
ÍNDICE DE CUADROS.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos.....	3
II. JUSTIFICACIÓN.....	4
III. HIPÓTESIS.....	4
IV. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	5
4.1 Xoconostle (<i>Opuntia joconostle</i>).....	5
4.2 Clasificación taxonómica del Xoconostle.....	5
4.3 Antecedentes.....	6
4.3.1 Antecedentes históricos de las Opuntias.....	6
4.4 Usos tradicionales en la medicina.....	7
4.5 Generalidades del Xoconostle.....	7
4.6 Propiedades de fruto del Xoconostle (<i>Opuntia</i> spp.).....	13
4.7 Descripción especies de Xoconostle.....	15
4.7.1 <i>Opuntia matudae</i> 'Cuaresmeño'.....	15
4.7.2 <i>Opuntia duranguensis</i> 'Joconostle'.....	15
4.7.3 <i>Opuntia joconostle</i> Weber 'Tuna Blanca'.....	16
4.7.4 <i>Opuntia leucotricha</i> de Candolle 'Nopal Duraznillo'.....	16
4.7.5 <i>Opuntia matudae</i> Scheinvar 'Xoconostle Colorado'.....	17
4.7.6 <i>Opuntia Joconostle</i> 'Xoconostle silvestre'.....	17
4.8 Valor nutrimental.....	17
4.9 Estudios realizados con fruto de Xoconostle.....	18
4.10 Fenoles.....	19
4.11 Betalaínas.....	20
4.12 Antioxidantes.....	21
4.12.1 Actividad antioxidante.....	23
4.12. 2 Mecanismos de reacción de los antioxidantes.....	23
4.12. 3 Radicales libres	24
V. MATERIALES Y MÉTODOS	25
5.1 Sitios de colectas.....	25
5.2 Materia prima.....	27
5.2.1 Establecimiento del experimento	27
5.3 Diseño de tratamientos.....	27
5.4 Variables de estudio.....	27
5.4.1 Determinaciones fisicoquímicas.....	27
5.4.2 Calidad nutricional.....	29
5.4.3 Determinación de extracto etéreo (lípidos) (AOAC,	31

5.4.4 Calidad Funcional.....	33
5.4.5 Determinación de Betalaínas.....	34
5.4.6 Actividad Antioxidante.....	35
5.5 Análisis de Resultados.....	35
VI. RESULTADOS Y DISCUSION.....	36
VII CONCLUSIONES.....	52
VIII BIBLIOGRAFIA.....	54

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Comparación de atributos morfológicos de frutos de tuna y Xoconostle (<i>Opuntia</i> spp).....	8
Cuadro 2	Atributos químicos en base seca de tuna y Xoconostle.....	9
Cuadro3	Principales características de <i>O. matudae</i> Scheinvar.....	10
Cuadro 4	Composición nutricional de la cáscara de la tuna del xoconostle (<i>Opuntia</i> spp.).....	13
Cuadro 5	Algunos atributos químicos en base seca de especies tuneras y Xoconostle.....	14
Cuadro 6	Información general de accesiones de xoconostles y datos de sitios de origen.....	26
Cuadro 7	Curva de ácido Tánico.....	33
Cuadro 8	Características fisicoquímicas de genotipos de xoconostle.....	38
Cuadro 9	Análisis proximal, proteínas, extracto etéreo (lípidos) y extracto libre de nitrógeno (Carbohidratos totales y cenizas) de Xoconostle (<i>Opuntia</i> ssp.)	40
Cuadro 10	Contenido nutrimental de Xoconostles (<i>Opuntia</i> ssp.).....	46

Cuadro 11	Fenoles totales, betacianinas, betaxantinas y actividad antioxidante (TEAC) en pulpa de frutos de Xoconostles (<i>Opuntia</i> ssp).....	51
------------------	--	-----------

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Imágenes de las características de las Opuntias Matudae. A) hábito, B) cladodio, C) epidermis, D) aréola, E) espina, F) flor, G) fruto y H) semilla	11
Figura 2	Partes del Xoconostle.....	12

I. INTRODUCCIÓN

El Xoconostle (*Opuntia joconostle* Web.), conocido comúnmente como tuna ácida, es una cactácea resistente a la sequía. Desde el punto de vista económico, es de gran importancia en la gastronomía mexicana al utilizarse en ensaladas, mermeladas, dulces cristalizados, jugos, refrescos caseros, vinos; entre otros (Borrego y Burgos, 1986). En años recientes, se ha incrementado la industrialización de productos a base de xoconostle y han llamado la atención de los mercados internacionales, comenzando a mejorarse los precios en varias ciudades (BIOFACH, 2008)

Este tipo de cactácea tiene también importancia en la alimentación animal, tanto por sus tallos (pencas o cladodios) como por sus frutos que son sumamente nutritivos (Fрати *et al.*, 1990; Herwood, 1990 y Fernández *et al.*, 1992).

El fruto de xoconostle presenta una cáscara muy gruesa de 1.5 cm de espesor, es comestible ácido y con poca pulpa (Bravo, 1978; Colunga *et al.*, 1986 y Reyes-Agüero *et al.*, 2005). Su nombre común se deriva del náhuatl "Xococnuchtlí" que significa tuna ácida (Santamaría, 1992).

A la fecha se han identificado ocho especies de xoconostle que crecen de forma silvestre, en regiones semiáridas de México, pero otras especies son cultivadas en jardines y plantaciones comerciales (Sheinvar, 1999; Viguera y Portillo, 2001; Casas y Barbera, 2002; Reyes Agüero *et al.*, 2005).

En México los principales estados de producción de xoconostle 'Cuaresmeño' son: Estado de México, Hidalgo, Guanajuato y Puebla que en conjunto para el 2008 produjeron 10,000 toneladas (BIOFACH, 2008). En años recientes, se ha incrementado la industrialización de productos a base de xoconostle y han llamado la atención de los mercados internacionales, comenzando a mejorarse los precios en varias ciudades (BIOFACH, 2008)

En México se han empleado tradicionalmente los frutos de *Opuntia* spp., para el tratamiento alternativo de la diabetes mellitus (DM), que es un problema de salud

pública en aumento. Evidencias preliminares obtenidas *in situ* en el Altiplano Potosino-Zacatecano y en estados circunvecinos, permitieron reconocer que la cáscara del fruto del Xoconostle (*O. joconostle* Web.) es empleada frecuentemente para el tratamiento contra DM por los habitantes de las regiones semiáridas de la zona centro de México. Lo anterior fue confirmado por Hernández (1990) y Zavaleta-Beckler *et al.*, (2001). Se ha observado que la ingestión de la cáscara causó en personas sanas una disminución estadísticamente significativa de colesterol y triglicéridos séricos e incrementó glucosa e insulina séricas, respecto a la ausencia de consumo. El incremento de insulina y glucosa en personas sanas no parece una consecuencia del contenido de secreta gogos en el xoconostle, pues tiene bajo contenido de azúcares y proteínas. En personas con DM2 el consumo de xoconostle disminuyó la concentración de glucosa y aumentó la insulina. Una de las conclusiones más relevantes a las que se ha llegado es que el consumo habitual de la cáscara del fruto de xoconostle puede ser útil para controlar la glucosa sérica en individuos con DM2 (Pimienta-Barrios *et al.*, 2008). Con base en lo anterior en el presente se planteó realizar la caracterización de las propiedades físico-químicas, nutricionales y funcionales de variedades de xoconostle, para potenciar su cultivo, uso y comercialización.

1.1 Objetivos

Objetivo general

Determinar los compuestos bioactivos y actividad antioxidante de once genotipos de xoconostle para potenciar su cultivo, uso y comercialización.

Objetivos específicos

Determinar las características fisicoquímicas, (pH, sólidos solubles totales y acidez titulable) de once genotipos de xoconostle.

Evaluar el contenido de fenoles totales, betalainas y actividad antioxidante de once genotipos de xoconostle

Determinar el contenido de, proteínas, extracto etéreo (lípidos) y extracto libre de nitrógeno (Carbohidratos totales y cenizas) de once accesiones de xoconostles.

II. JUSTIFICACIÓN

El xoconostle (*Opuntia joconostle* Web.) presenta gran potencial económico debido a sus múltiples usos: verdura, fruta fresca, condimento, dulces cristalizados, mermeladas y bebidas (Scheinvar, 1999; Borrego y Burgos, 1986; López, 1977). Se le atribuye propiedad anticancerígena, por la alta cantidad de pigmentos y antioxidantes que posee, hipoglucémicas, control del colesterol y reductor del peso corporal (Tesoriere *et al.*, 2005; Allegra *et al.*, 2005). También se le atribuyen propiedades medicinales y es conocido como antigripal por su alto contenido de ácido ascórbico (3.8 a 6.5 mg/100 g pulpa fresca) (Sánchez y Ortega, 1996).

Algunas especies de xoconostle, son poco aprovechadas y no se comercializan, se desconocen sus propiedades organolépticas y potencialidades. Por tal motivo se hace necesario caracterizar fisicoquímicamente los frutos de xoconostles para determinar sus potencialidades de usos y generar conocimiento de las diferentes alternativas económicas productivas y potenciales de uso del xoconostle.

III. HIPÓTESIS

Los genotipos de xoconostle (*Opuntia* spp), se distinguen por sus compuestos bioactivos y actividad antioxidante.

IV. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

4.1 Xoconostle (*Opuntia joconostle*)

El xoconostle (*Opuntia joconostle*) se cultiva en gran parte del centro del país como son en los estados de Hidalgo, Jalisco, México, San Luis Potosí y Zacatecas

Las plantas de xoconostle, son arbóreas de 4.1 a 8.0 m de alto, arbustivas altas de 4 m de alto, sub arbustivas (1 a 4 m de alto) hábito rastrero.

Morfológicamente el fruto de xoconostle se caracteriza por su forma de ovoide a esférica, con una depresión en el extremo distal llamado cicatriz umbilical, (Bravo, 1978).

El xoconostle se conserva por varios meses en la planta sin sufrir deterioro, e incluso se conserva por varias semanas en lugares frescos a 20 °C y secos, sin perder sus propiedades de sabor, color, y humedad (Sheinvar, 1999).

4.2 Clasificación taxonómica del Xoconostle

Dominio	<i>Eucarya</i>
Reino	<i>Plantae</i>
Phylum	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Caryophyllales</i>
Familia	<i>Cactaceae</i>
Género	<i>Opuntia</i>
Epíteto específico	<i>matudae, duranguensis, joconostle Weber, leucotricha de Candolle, matudae Scheinvar , Joconostle las descritas arriba</i>
Nombre Científico	<i>Opuntia spp</i>
Fuente:	Scheinvar, 2010.

4.3 Antecedentes

Actualmente nuestro país es reconocido en todo el mundo por su riqueza biológica y su gran biodiversidad. Dentro de ella destaca una familia de plantas llamadas cactáceas (Copca, 2008).

Las cactáceas son nativas del continente Americano, en el que actualmente se encuentran distribuidas desde Canadá, a una latitud de 56°N, hasta el estrecho de Magallanes en América del sur. En América del norte se encuentran 92 géneros, en tanto que en América del sur hay 52; de los géneros identificados en América del Norte, 61 están presentes en México y 31 géneros en Estados Unidos. México por sus peculiares condiciones de latitud, topografía y diversidad de climas, en el país alberga posiblemente, la mayor cantidad de especies, están representadas en los distintos tipos de vegetación a cuya ecología se fueron adaptando en el transcurso del tiempo, adquiriendo formas y hábitos diversos; pero es en los tipos de vegetación de las zonas áridas y semiáridas donde están distribuidos en el mayor número de géneros y especies (Copca, 2008).

4.3.1 Antecedentes históricos de las Opuntias

En el ámbito económico, social y religioso que ha rodeado a la humanidad, las *Opuntias* han desempeñado un papel importante en la vida de algunas culturas prehispánicas en México y parte de Centroamérica.

En México culturas importantes como los Mexicas, otorgaron a las cactáceas una relevancia a tal grado que el jeroglífico de Tenochtitlán ostentaba airesamente un nopal, símbolo que conserva nuestro escudo nacional (Borrego, 1986). Estas plantas intervinieron en sus prácticas religiosas y algunas Opuntias fueron elevadas a categoría de dioses. Se usaron con frecuencia en la magia, varias de ellas fueron consideradas como talismanes capaces de alejar los malos espíritus; son empleadas como medio de curación de enfermedades; también influyeron en la función de poblados en determinadas regiones en donde eran abundantes; y se les tuvo gran estima como plantas de ornato (Borrego, 1986).

Los Mexicanos llamaron “nopalli” al nopal y “nochtli” a la tuna. “Nopalli” deriva de “nochpalli” que significa planta de tallo aplanado que produce tunas, de “nochtli”-tuna y “palli”- cosa ancha, extendida, aplanada (Escamilla, 1977).

Algunas variedades de Opuntias fueron clasificadas con nombres autóctonos que aún se conservan entre la gente del campo como es el caso de la tuna llamada Xoconostle.

4.4 Usos tradicionales en la medicina

El xoconostle se utiliza para reducir el nivel de colesterol, como laxante, problemas de colitis, pérdida de peso corporal y para reducir la presión de la sangre (Gurrieri *et al.*, 2000; Scheinvar, 1999). Algunas aplicaciones probadas científicamente son: el tratamientos contra gastritis, arteroesclerosis, diabetes e hipertrofia prostática; disminuye el estrés oxidativo y la circulación de lipoproteínas de baja densidad (LDL) y triglicéridos (Herwood, 1990; Frati *et al.*, 1990; Palevitch *et al.*, 1993, Tesoriere *et al.*, 2005; Stintzing *et al.*, 2005). Se utiliza en tratamientos patológicos severos como dolor reumático, fragilidad capilar, vejez del hígado y úlceras (Muños de Chávez *et al.*, 1995, Domínguez-López, 1995).

4.5 Generalidades del Xoconostle

La planta de Xoconostle tolera la sequía, debido a que presenta adaptaciones fisiológicas tales como la apertura de estomas durante la noche para evitar la transpiración por altas temperaturas que suelen presentarse en zonas áridas y semiáridas en donde crecen (Nobel, 2002). Las pencas (tallos) están recubiertas por una capa cerosa, lo que le protege de la pérdida de agua, además la planta es capaz de almacenar grandes cantidades de agua en el tallo, debido a que durante la escasa lluvia tiende a extender sus raíces para absorber agua que le permita resistir los climas extremos (Nobel, 2002).

Existe una gran dificultad para la diferenciación de las especies de Xoconostle debido a que presenta colores similares entre sí. Se reconocen ocho especies de Xoconostle: (*O. duranguensis* Britton & Rose, *O. heliabravoana* Scheinvar, *O.*

imbricata DC., *O. joconostle* A. Web., *O. Leucotricha* DC., *O. matudae* Scheinvar, *O. velutina* F.A.C. Weber y *O. zamudioi* Scheinvar). Estas especies crecen silvestres en regiones semiáridas de México; pero algunas de esas especies son también cultivadas en jardines domésticos y plantaciones comerciales (Scheinvar, 1999; Casas y Barbera, 2002).

Entre las características fisicoquímicas del fruto de Xoconostle destaca: su acidez, la cual se encuentra entre pH de 3.7 a 4.5, lo que restringe su consumo, a diferencia de la tuna dulce, que presenta valores de pH de 5.2 a 6.0 (Bravo, 1978).

Los frutos de Xoconostle tienen un tamaño menor que los de *O. ficus-indica*; estos últimos, aunque presentan grandes variaciones pueden llegar a pesar 250 g por fruto, lo que depende del cultivar, del número de frutos por cladodio y de las condiciones ambientales del cultivo; aunque se considera que un fruto comercial no debiera pesar menos de 120 g (Sudzuki *et al.*, 1993; Barbera e Inglese, 1992). Observándose las características distintivas en el Cuadro 1.

Cuadro 1 Comparación de atributos morfológicos de frutos de tuna y Xoconostle (*Opuntia* spp).

Atributo	Xoconostle	Tuna
Peso del fruto (g)	48.25	178.25
Peso de piel (g)	40.15	66.70
Peso de pulpa (g)	8.65	107.75
Peso de semillas (g)	1.60	7.00
Longitud del fruto (cm)	4.80	9.10
Anchura del fruto (cm)	4.225	6.10

Fuente: Peralta (1983), Sánchez y Figueroa (1994).

Entre *O. joconostle* (Xoconostle) y *O. ficus-indica* (tuna dulce) existe una diferencia significativa en el contenido de sólidos solubles, que es notablemente menor (~ 5%) en frutos de xoconostle y en la acidez y contenido de ácido ascórbico (76.8 mg·100g), valores que son superiores en Xoconostle respecto a los valores que presenta *Opuntia ficus-indica*. Estas características hacen que el destino industrial de los frutos difiera entre las especies (Villegas y de Gante, 1997), los valores diferenciales se observan en el Cuadro 2.

Cuadro 2 Atributos químicos en base seca de tuna y Xoconostle.

Atributo	tuna	Xoconostle
	Pulpa y semilla	Cáscara y semilla
pH	5.8	3.3
Proteínas (%)	0.8	5.1
Lípidos (%)	1.1	5.2
Carbohidratos totales	49.1	-----
Fibra Cruda (%)	0.4	12.0
Pectina (%)	1.1	12.7
Ácido cítrico (mg/100 g)	1.2	23.6
Ácido ascórbico (mg/ 100 g)	186.7	49.1
Cenizas (%)	2.6	17.0

Fuentes: Sawaya *et al.* (1983), Barbera e Inglese (1992), Sánchez y Ortega (1996) y Scheinvar *et al.* (2003)

Son pocos los trabajos que describen las características morfo agronómicas del Xoconostle, en el Cuadro 3 se resaltan las características de *Opuntia matudae*. cultivada en el Estado de Hidalgo.

Cuadro 3 Principales características de *O. matudae* Scheinvar

Característica	Descripción
Hábito	Subavortiva, de 1.5 a 4m de altura.
Cladodio (tallo)	Angosto y abovado, de 20 a 25 cm de largo y de 10 a 15.5 cm de ancho; color verde azulado, generalmente con manchas purpúras alrededor de las aréolas.
Epidermis	Con tricomas y papilas microscópicas.
Aréolas	De 13 a 14 cm series espirales, distantes aproximadamente 2 cm entre sí. Filtro grisáceo-negrusco. Glóquidas de 2 a 3 mm de largo, color castaño-rosado.
Espinas	De 1 a 8 cm generalmente en todas las aréolas, son desiguales, de 0.7 a 3.5 cm de largo, muy delgadas, flexibles, de color blanco grisáceo o amarillento, con el ápice translúcido.
Flor	De 5 a 7 cm de largo y hasta 8 cm de diámetro en antesis, amarilla brillante con manchas rojas; después de antesis se torna a rosado y rojo.
Fruto	Elipsoide a piriforme, de 2.5 a 4 cm de largo y 1.5 a 2.5 cm de ancho, externamente verde-purpura (pericarpelo) y pulpa rosa-rojiza, con cicatriz umbilical profunda; aréolas sin espinas, con tricomas en la base de la areola color grisáceo y glóquidas castaño-rojizos.
Semillas	Discoideas, de 4mm de largo y 3 mm de ancho y 2 mm de espesor, blanquecinas con tonos rosados; arilo lateral de ancho irregular, bien marcado; taza de hilo lateral poco profundo.

Fuente: Scheinvar, 2001.

En la Figura 1 Se muestran las características para *O. matudae* descritas por Scheinvar, 2001 en el Cuadro 3.

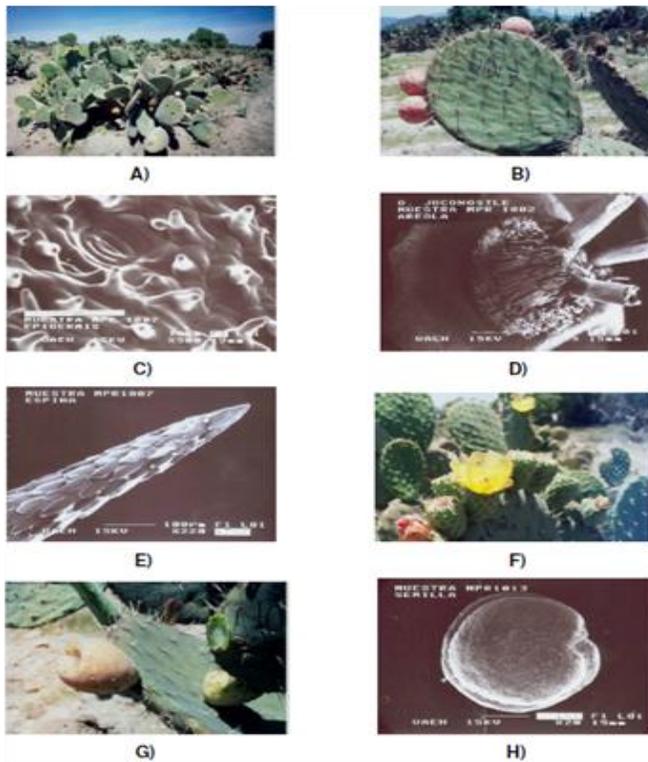


Figura 1. Imágenes de las características de las Opuntias Matudae.. A) hábito, B) cladodio, C) epidermis, D) aréola, E) espina, F) flor, G) fruto y H) semilla (Fildardo, *et al.*, y Sánchez, 2006).

En la Figura 2 Se presenta un corte longitudinal del xoconostle, donde se observa que está constituido por el epicarpio formado por la cascara; el mesocarpio y endocarpio, conformados por la pulpa y las semillas, que se encuentran unidas y compactas firmemente por un compuesto mucilaginoso, se caracteriza por un alto desarrollo de la pared del fruto y poco contenido de pulpa (Scheinvar, 2001).



Figura 2. Partes del xoconostle. Fuente: Sánchez, 2006.

4.6 Propiedades de fruto del Xoconostle (*Opuntia* spp.)

Entre las características fisicoquímicas del fruto destacan su acidez, el pH se encuentra entre 3.7 a 4.5, de ahí su nombre, lo que restringe su consumo; este pH permite que el fruto del xoconostle pueda almacenarse por periodos largos sin presentar descomposición (Bravo, 1978). Este factor también favorece que el fruto permanezca más tiempo en la planta, incluso varias semanas después de que el fruto ha madurado. Las características nutricionales de la cáscara del fruto en polvo presenta un pH de 2.9 y 4.5 las cuales se observan en el Cuadro 4 (Bedolla *et al.*, 2003).

Cuadro 4 Composición nutricional de la cáscara de la tuna del xoconostle (*Opuntia* spp.)

Especie	<i>O. duranguensis</i>	<i>O. joconostle</i>	<i>O. joconostle</i>	<i>O. leucotricha</i>	<i>O. matudae</i>	<i>O. matudae Cuaresmeño</i>
Cultivares		'Colorado'	'Xoconostle'		Blanco	
Características						
Ph	3.3	3.1	3.2	4.5	2.9	3.1
Proteína (%)	2.9	3.1	3.2	3.2	3.4	2.2
Lípidos (%)	0.8	0.9	1.0	1.2	0.8	0.8
Carbohidratos (%)	12.0	9.1	10.7	15.0	9.3	14.9
Fibra (%)	14.4	11.6	16.7	13.5	14.4	14.4
Na(mg/100g)	14.4	5.9	12.1	10.9	4.8	10.5
K (mg/100g)	1746.8	1943.3	3328.7	3277.0	1742.2	1451.8

Fuente: Bedolla *et al.* (2003).

Sin duda, entre *O. joconostle* (Xoconostle) y *O. ficus-indica* (tuna dulce) existe una diferencia significativa en el contenido de sólidos solubles, que es notablemente menor (cerca de 5%) en frutos de xoconostle y en la acidez y contenido de ácido ascórbico (76.8 mg·100g), valores que son superiores en Xoconostle respecto a los valores que presenta *Opuntia ficus-indica*. Estas características hacen que el destino industrial de los frutos difiera entre las especies (Villegas y de Gante, 1997).

En el Cuadro 5 se comparan 8 atributos químicos (pH, proteínas, lípidos, carbohidratos totales, fibra cruda, pectina, ácido cítrico, ácido ascórbico y cenizas) entre la pulpa y semilla de tuna con la cáscara y semilla de xoconostle observándose por parte de xoconostle mayor acidez, % de proteínas, %lípidos, % de fibra cruda, % pectica, ácido cítrico y cenizas; los valores menores se localizan en el ácido ascórbico y carbohidratos totales.

Cuadro 5 Algunos atributos químicos en base seca de especies tuneras y Xoconostle.

Atributo	Pulpa y semilla tuna	Cáscara y semilla
pH (%)	5.8	3.3
Proteína (%)	0.8	5.1
Lípidos (%)	1.1	5.2
Carbohidratos totales	49.1	-----
Fibra cruda (%)	0.4	12.0
Pectina (%)	1.1	12.7
Ácido cítrico (mg/100g)	1.2	23.6
Ácido ascórbico (mg/100g)	186.7	49.1
Cenizas (%)	2.6	17.0

Fuente: Sawaya *et al.* (1983), Barbera e Inglese (1992), Sánchez y Ortega (1996) y Scheinvar *et al.* (2003).

4.7 Descripción especies de Xoconostle

4.7.1 *Opuntia matudae* ‘Cuaresmeño’

El fruto de Xoconostle ‘Cuaresmeño’ presenta: pericarpio blanco y ligeramente transparente, mesocarpio firme y carnosos, de sabor ácido, endocarpio escaso e insípido y las semillas, presentes en el endocarpio, son de color café oscuro, de forma ligeramente esférica. Este fruto no entra en estado de putrefacción tan rápidamente como la tuna dulce y puede permanecer hasta un año en la planta en estado de madurez sin que se deteriore (Mena, 2003).

La planta es típicamente xerófita, crece en forma silvestre y cultivada, en clima árido y semiárido. La planta de acuerdo con Bravo, (1978) mide de 3 a 4 m de altura, tiene el tallo pencas bien definido, con pencas de 20 cm largo grisáceas, ramificaciones abundantes; su flor es de color amarilla.

Los frutos del Xoconostle ‘Cuaresmeño’ son de mayor tamaño, con valores promedio de fruto (60.14 g) y peso del pericarpio (50.56 g), abundantes semillas (164.22) y área fotosintética (421.31 cm). La proporción relativa de los tres componentes principales del fruto, indica que el pericarpio constituye la porción más prominente (Sánchez, 1987) los promedios generales son: pericarpio 81.4 %, pulpa 16.37 % y semillas 2.23 %. Se localiza principalmente en los estados de Hidalgo, México y Querétaro (Bravo, 1978; González *et al.*, 2001).

4.7.2 *Opuntia duranguensis* ‘Joconostle’

Planta arborescente de hasta 4.0 m de alto, de tallo bien definido. Sus cladodios son obovados. Miden hasta 27.0 cm de longitud y 20.0 cm de anchura; epidermis pubescente de color verde claro amarillento y en invierno presenta manchas púrpuras bajo las areolas. Tienen frutos redondeados, ligeramente alargados; de 3.0 a 4.5 cm de longitud y 4.0 cm de diámetro; color verde amarillento a rojizo; con pericarpelo (cáscara) de sabor ácido. Se localiza principalmente en los estados de

Aguascalientes, Durango, Jalisco, México, San Luis Potosí y Zacatecas (Bravo, 1978; González *et al.*, 2001).

4.7.3 *Opuntia joconostle* Weber ‘Tuna Blanca’

La planta arbustiva de hasta 2.0 m de altura. Sus cladodios son obovados, ovados o romboides; miden hasta 28.0 cm de longitud y 21.0 cm de anchura; epidermis glabra (en ocasiones cerosa) color verde claro (ligeramente amarillento), en invierno presenta manchas púrpuras bajo las areolas. Sus frutos globosos, subglobosos o cilíndricos, de 3.5 cm de longitud y hasta 5.5 cm de diámetro con cicatriz floral (ombbligo) hundida; color verde-amarillo a rojo con pericarpelo (cáscara) gruesa y de consistencia y sabor ácido agradable (Bravo, 1978; Sánchez y Figueroa, 1994; González *et al.*, 2001).

Se localiza principalmente en los estados de Guanajuato, Jalisco, Querétaro, San Luis Potosí, Valle de México, Zacatecas (Bravo, 1978; González *et al.*, 2001).

4.7.4 *Opuntia leucotricha* de Candolle ‘Nopal Duraznillo’

La planta arborescente de hasta 5.0 m de altura. Sus cladodios son oblongos abovados; miden hasta 30.0 cm de longitud y 17.0 cm de anchura; epidermis pubescente, de color verde claro a oscuro. Sus frutos obovados a subglobosos; de 4.0 a 6.0 cm de longitud y 3.0 a 3.5 cm de diámetro, ligeramente umbilicado; color verde amarillento; con pericarpelo (cáscara) gruesa, ácida, aromática y comestible (Bravo, 1978; González *et al.*, 2001).

Se localiza principalmente en los estados de Coahuila, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Querétaro, San Luis Potosí y Zacatecas (Bravo, 1978; González *et al.*, 2001).

4.7.5 *Opuntia matudae* Scheinvar 'Xoconostle Colorado'

La planta arbustiva, de 1.5 m a 4.50 m de altura. Sus cladodios son abovados; de 20.0 cm a 25 cm de longitud y de 10.0 cm de anchura; epidermis de color verde azulado-grisáceo, con manchas púrpuras alrededor de las areolas. Sus fruto de forma elipsoide o piriforme; de 2.5 a 4.0 cm de longitud y 1.5 a 2.5 cm de anchura; color verde, amarillo o rojo; pericarpelo (cáscara) muy gruesa (Scheinvar, 1999). Se localiza principalmente en los estados de Hidalgo, México y Querétaro (Bravo, 1978; González *et al.*, 2001).

4.7.6 *Opuntia Joconostle* 'joconostle silvestre'

Son plantas arborescentes de hasta 3 a 4 m de altura de unos 20 cm de diámetro, grisáceo, con ramificaciones abundantes y cladodios pequeños, ovales, de espinas blancas de longitud desigual, flores amarillas. Sus frutos subgloboso de 3 a 5 cm de diámetro y de 3 a 4.5 cm de altura. Pulpa ácida de color rosácea, ligeramente perfumada, el pericarpelo (cáscara) delgado y de consistencia fibrosa (Domínguez, 1991).

4.8 Valor nutrimental

El fruto del Xoconostle 'Cuaresmeño' pesa 53 g en promedio. De su peso total, el 23 % corresponden a pericarpelo (cáscara) 62 % a la pulpa y 15 % a las semillas. Se considera como piel la porción que se desecha al pelar el fruto.

La cáscara aporta 0.12 g de proteína, 0.64 g de fibra, 0.34 g de lípidos, 0.60 g de ceniza y 4.92 g de carbohidratos. Si se consumiera la piel y la pulpa, el aporte de proteína y fibra se incrementaría en 33 y 43 %, respectivamente. En el caso de la fibra, este incremento es significativo dado que la piel y la pulpa aportan el 6 % del requerimiento diario recomendado.

En el fruto del Xoconostle el contenido de lípidos es similar al de la tuna y otros frutos de consumo común. Por su parte los carbohidratos son compuestos complejos que al no ser digeridos por el tracto digestivo superior no contribuyen a la ganancia de peso o de glucosa en la sangre

Con respecto al contenido de minerales, el Xoconostle 'Cuaresmeño' aporta cantidades similares a los de la tuna. Si se consume la piel y la cáscara de un Xoconostle de 53 g aporta: 0.28 mg de hierro, 0.09 mg de zinc, 0.20 mg de calcio, 0.24 mg de potasio y 0.08 mg de magnesio, lo que representa el 2.0 % del requerimiento mínimo diario, por lo que se puede considerar una fuente moderadamente aceptable de este mineral (Guzmán-Maldonado, 2010)

4.9 Estudios realizados con fruto de Xoconostle

Pimienta-Barrios *et al.*, (2008) realizaron la investigación "Efecto de la ingestión del fruto de xoconostle (*Opuntia joconostle* web.) sobre la glucosa y lípidos séricos", evaluando el efecto de indigestión de la cáscara en 23 personas sanas con niveles séricos de glucosa e insulina, y en 14 personas se analizaron los niveles de colesterol y triglicéridos, usando como dosis 250 g de cáscara, tomando 12 muestras de sangre en periodos de 20 min.

Después se evaluaron a 10 personas con Diabetes, como parte de la dieta, los cuales presentaban un nivel de 140 a 200 mg al menos en los últimos 3 meses.

Demostrando que tuvieron una disminución en las concentraciones de glucosa, colesterol, triglicéridos, e incremento de la concentración de insulina, en personas diabéticas por lo que recomiendan el consumo de la cáscara de Xoconostle en la dieta de dichas personas.

Guzmán-Maldonado *et al.*, (2010). Contribuyeron con Nutricional y fisicoquímico y características funcionales de frutos de Xoconostle (*Opuntia matudae*) de la región centro de México. Dando como resultados características morfológicas, pH 3.0 a 3.1, °Brix 1.10 a 1.35, acidez de 0.13 a 0.14 del Xoconostle 'Cuaresmeño' de tres regiones de producción en México (Estado de México, Guanajuato, y Puebla).

Osorio-Esquivel *et al.*, (2011). Realizaron la determinación de fenoles, betacianinas y actividad antioxidante en frutos de *O. joconostle* en diferentes partes del Xoconostle. Determinaron el contenido total de fenoles expresado como miligramos de equivalentes de ácido gálico (GAE) miligramos fue de 2.07 ± 0.01 mg/g en pericarpelo fresco (aproximadamente 19.9 mg GAE/g seco base de peso, DWB),

1.48 ± 0.01 mg/g para todo xoconostle fruta fresca (15.01 ± 0.11 mg/g DWB), 1.38 ± 0.03 mg/g para mesocarpio fresco (aproximadamente 17.03 mg GAE/g DWB), y 1.02 ± 0.03 mg/g para fresco endocarpio (17.28 mg/g DWB).

El contenido de betacianinas más alto fue encontrado en endocarpio (23.03 ± 0.029 mg betacianinas/100 g peso fresco, FW), seguido por mesocarpio (7.25 ± 0.005) y pericarpio (4.56 ± 0.004). La concentración en la fruta entera era 7.57 ± 0.015 mg betacianinas/100 g FW. La actividad antioxidante la reportan como porcentaje de inhibición de DPPH, en las tres regiones del xoconostle que varía de un 40 a 85 %.

4.10 Fenoles

Los compuestos fenólicos son efectivos donadores de hidrógenos. Su potencial antioxidante depende del número y la posición de los grupos hidroxilos, así como de la presencia de electrones donadores en su anillo aromático estructural. Las antocianinas poseen una estructura química adecuada para actuar como antioxidantes, ya que pueden donar hidrógenos o electrones a los radicales libres o bien, atraparlos y desplazarlos en su estructura aromática (Kuskoski *et al.*, 2004).

Los compuestos fenólicos constituyen una gran familia de metabolitos secundarios con distintas características químicas y propiedades biológicas, sin embargo, comparten algunas de ellas; una de las más importantes es la de neutralizar la acción de radicales libres, que evita o retarda los procesos de lipoperoxidación y, consecuentemente, el daño celular (Bruneton, 2000). Por esto, desde hace un tiempo se ha venido estudiando el impacto en la salud de la población, del consumo de alimentos y suplementos que los contienen; se ha observado una disminución en la mortalidad y morbilidad por causa de enfermedades degenerativas, sobre todo a nivel cardiovascular.

A pesar de los efectos benéficos que presentan los agentes antioxidantes para la salud, su aplicación comercial es limitada, ya que factores como la luz, la humedad, el oxígeno y la temperatura afectan su estabilidad. Por esta razón, el uso de tecnologías para preservar estos compuestos, se vuelve una herramienta útil para obtener productos estables.

Los compuestos fenólicos pueden ser definidos como sustancias que poseen un anillo aromático teniendo uno o más grupos hidroxilos, incluyendo sus derivados funcionales (Andrés-Lacueva *et al.*, 2010). Las plantas pueden contener una larga variedad de derivados fenólicos incluyendo fenoles simples, fenilpropanoides, derivados de ácidos benzoicos, flavonoides, estilbenos, taninos, ligninos y ligninas.

Los ácidos fenólicos constituyen cerca de 1-3 fenoles de la dieta, los cuales pueden estar presentes en plantas en árboles en diferentes formas. Los fenoles tienen funciones como antibióticos, pesticidas naturales, agentes que protegen de la luz ultravioleta (UV) aislamiento material que hacen las paredes celulares impermeables al gas, agua y materiales estructurales que dan a las plantas estabilidad. Algunas de las propiedades en plantas como astringencia, efectos benéficos en salud y sus propiedades antinutricionales son asociados con la presencia, tipo y contenido de compuestos fenólicos.

Los fenoles en las plantas han recibido más atención en años recientes debido a su bioactividad (Shahidi & Naczki, 2004).

4.11 Betalaínas

El término Betalaínas fue establecido por Mabry y Dreiding en 1968, basado en consideraciones estructurales y biogénicas. En un sentido escrito, las Betalaínas no pertenecen a los alcaloides porque son de naturaleza ácida debida a la presencia de varios grupos carboxilo. Las Betalaínas son pigmentos hidrosolubles y existen como sales en las vacuolas de las células vegetales. Las plantas contienen estos pigmentos.

Químicamente, la definición de Betalaínas abarca a todos los compuestos con derivados de la condensación de una amina primaria o secundaria con el ácido betalámico (Sánchez, 2006).

Los frutos de cactáceas han atraído la atención de investigadores nacionales e internacionales debido a su valor comercial. Las propiedades fitoquímicas de O

joconostle no han sido estudiados, por eso es importante identificar los principales compuestos del fruto.

En tunas y otras cactus *Opuntia* su color es debido a la presencia de betalaínas, son N-heterocíclicas solubles en agua y sus pigmentos se encuentran en las vacuolas. El ácido betalámico es el común precursor de los compuestos consistentes de un sistema 1,7-diazahéptamethina, un sistema extendido electrón inhibido un color amarillo canario. El ácido betalámico puede ser considerado con ciclo dúo para producir betanidin, el común precursor aglicona de las betacianinas rojas. Betanidinas en vuelta puede ser glicosilatos y/o acilatos, dando 2^a estructura genuinos conocidas a la fecha debido a su estereoisomerización a Cis su número es doble, excepto para neobetaininas (4,15- deshidrobetaininas) las cuales son desprovisto del centro quiral a C-15 (Stintzing, Schreber, & Carle 2001). Las betalaínas más importantes en cactáceas son betacianinas y betaxantinas. Betacianinas son cuando muestran dos absorción máxima, una en el rango –UV entre 270 y 280 nm (ciclo-doble estructura) y un segundo cerca de 535-538 nm dependiendo del sistema solvente (Kobayashi, Schmidt, Wray & Schliemann, 2001).

Se ha demostrado en una amplia gama de ensayos que betalaínas son pigmentos con potentes propiedades antioxidantes (Zakharova & Petruva, 1998; KAner, Harel & Granit, 2001; Gentile, Tessoriere, Allagra, Liurea & Alession, 2004). Recientemente, se ha documentado que los colores naturales de alimentos pueden inhibir la proliferación de células de una variedad de células de tumores humanos (Montha-Reddy, Ruby, Lindo & Muraleed-Haran nair, 2005). Otros autores han reportado que Betalaínas inhiben el crecimiento de las células e inducen a cambios ultra estructurales y fragmentación de células K562 en mieloides humana (Sreekantha *et al.*, 2009).

4.12 Antioxidantes

Un antioxidante es una molécula capaz de retardar o prevenir la oxidación de otras moléculas. La oxidación es una reacción química de transferencia de electrones de una sustancia a un agente oxidante. Las reacciones de oxidación pueden producir

radicales libres que comienzan reacciones en cadena que dañan a las células. Los antioxidantes terminan estas reacciones quitando intermedios del radical libre e inhiben otras reacciones de oxidación, oxidándose ellos mismos. Debido a esto es que los antioxidantes son a menudo agentes reductores tales como tioles o polifenoles (Wenceslao *et al.*, 2008).

Un antioxidante biológico es definido como “cualquier sustancia que cuando está presente en bajas concentraciones comparado con el sustrato oxidable, reduce o previene significativamente la oxidación de este sustrato” (Benzie y Strain, 1996). Es así como los radicales libres y las ROS usualmente son removidos o inactivados *in vivo* por enzimas antioxidantes endógenas, como la superóxido dismutasa, la peróxidasa y por compuestos de bajo peso molecular como el tocoferol, el ácido ascórbico y por polifenoles, reduciendo de esta forma los posibles daños inducidos por el estrés oxidativo.

Por ello, el consumo de alimentos funcionales está asociado con la disminución de enfermedades crónicas, debido a la presencia de compuestos bioactivos, entre los que se encuentran antioxidantes tales como vitaminas C y E; carotenoides, flavonoides, taninos y otros compuestos fenólicos (Dasgupta y De, 2007). Esto sumado a la tendencia de los consumidores de incluir en sus dietas alimentos saludables y utilizar extractos de plantas y sus componentes activos para curar y prevenir enfermedades; ha conducido a la búsqueda de antioxidantes de origen natural que prevengan el estrés oxidativo en el cuerpo humano, y detengan la peroxidación lipídica que conduce al deterioro de los alimentos.

Aunque las reacciones de oxidación son cruciales para la vida, también pueden ser perjudiciales; por consiguiente las plantas y los animales mantienen complejos sistemas de múltiples tipos de antioxidantes, tales como glutatión, vitamina C y E. Los antioxidantes también son ampliamente utilizados como ingredientes en suplementos dietéticos con la esperanza de mantener la salud y de prevenir enfermedades tales como el cáncer y la cardiopatía isquémica (Wenceslao, *et al.*, 2008).

4.12.1 Actividad antioxidante

Se ha establecido que la exposición de los organismos a factores exógenos y endógenos, genera diversas especies oxigenadas reactivas tales como los radicales superóxido (O_2^-) e hidroxilo ($-OH$) y otras especies con radicales no libres como H_2O_2 y el oxígeno singulete (1O_2), que inducen alteraciones en las células, 51 citotoxicidad y/o indirectamente genotoxicidad; favoreciendo la aceleración del envejecimiento y la aparición de cáncer, enfermedades cardiovasculares y degenerativas (Dasgupta y De, 2007; Tripathi *et al.*, 2007).

4.12. 2 Mecanismos de reacción de los antioxidantes

En general los antioxidantes pueden ser clasificados en dos categorías respecto a su mecanismo; Antioxidantes preventivos, inhiben la formación de especies de oxígeno reactivo. Dentro de estos antioxidantes se encuentran el peróxido dismutasa, catalasa y peroxidasa; antioxidantes de rompimiento de cadena: son compuestos que eliminan el oxígeno radical y por lo tanto rompen la secuencia en cadena del radical. Ellos incluyen vitamina C, E, ácido úrico, bilirrubina y polifenoles, entre otros.

El sistema anti-oxidante contiene tres grupos principales de antioxidantes: primarios, secundarios y terciarios.

Antioxidantes primarios:

Previenen la formación de nuevos radicales libres, esto lo consiguen convirtiendo los radicales libres existentes en moléculas menos perjudiciales antes de que puedan reaccionar o evitando la formación de radicales libres a partir de otras moléculas, por ejemplo:

- Superóxido dismutasa (SOD): convierte O_2^- en peróxido de hidrógeno.
- Glutación peroxidasa (GPx): convierte el peróxido de hidrógeno y los peróxidos lipídicos en moléculas inofensivas antes de que formen radicales libres.
- Proteínas de unión a metales (Ferritina, Ceruloplasmina): Limitan la disponibilidad de Fe necesaria para formar el radical OH.

Antioxidantes secundarios:

Capturan los radicales evitando las reacciones en cadena, por ejemplo: Vitamina E (α - tocoferol), Vitamina C (ascorbato), β -caroteno, Ácido úrico, Bilirrubina, Albúmina.

Antioxidantes terciarios:

Reparan las biomoléculas dañadas por los radicales libres. Incluyen enzimas reparadoras de ADN y la metionina sulfóxido reductasa.

4.12. 3 Radicales libres

Los radicales libres son átomos o moléculas que poseen un electrón extra no apareado en su órbita externa, generando una alta inestabilidad, los cuales son tóxicos y generadores de enfermedades, activando reacciones en cadena que culmina en la destrucción total de la célula. Actualmente es evidente que existe una relación entre alimentación y las enfermedades crónico degenerativas, las cuales también se relacionan directamente con los radicales libres, esto es debido en gran parte al estrés oxidativo generado, contribuyendo de manera significativa el estilo de vida, tipo de alimentos que se ingieren y la manipulación o exposición a sustancias químicas que contribuyeron a la disminución de la resistencia a las enfermedades (Reyes, 2007).

Los radicales libres pueden afectar varios sustratos como: lípidos, ácidos nucleicos y las proteínas, siendo los más susceptibles los ácidos grasos poliinsaturados y los ésteres de colesterol (Speisky, 2000).

Los antioxidantes neutralizan la acción de los radicales libres; éstos al interactuar con el radical libre ceden un electrón y se oxidan. Por lo que la reposición de ellos debe ser continua mediante la ingestión de alimentos que los contienen (Yanishlieva, 2001).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Sitios de colectas

Los frutos de Xoconostles de las variedades Café (*O. leucotricha* Salm-Dyck x *O. joconostle* F.A.C Weber), Güerito (*O. oligacantha* Föster), Rojo Sainero (*O. matudae* Scheinvar), Del Ranchito (*O. joconostle* F.A.C. Weber), Chaveñito (*Opuntia* sp. *O. sainaltense* Scheinvar), Sardo (*O. galleguiana* Scheinvar & Olalde), Cenizo (*O. oligacantha* Föster), Apastillado (*O. oligacantha* Föster), Alimonado (*O. joconostle* F.A.C. Weber), Arroyo Hondo (*O. spinulifera* x *O. joconostle*), Turbinado (*Opuntia* sp.), fueron cosechados en los estados de Zacatecas e Hidalgo, de junio a agosto y de septiembre a febrero como se observa en el Cuadro 6.

Cuadro 6 Información general de genotipos de xoconostles y datos de sitios de origen.

Nombre común	Color	Nombre científico	Origen	Tipo
Café	Rosa	<i>O. leucotricha</i> Salm-Dyck x <i>O. joconostle</i> F.A.C Weber	SAZ ¹	S
Güerito	VC	<i>O. oligacantha</i> Föster	SAZ	S
Rojo Sainero	Rosa	<i>O. matudae</i> Scheinvar	SAZ	S
Del Ranchito	Rosa	<i>O. joconostle</i> F.A.C. Weber	SAZ	S
Chaveñito	Rosa	<i>Opuntia</i> sp. <i>O. sainaltense</i> Scheinvar	SAZ	S
Sardo	VC	<i>O. galleguiana</i> Scheinvar & Olalde	SAZ	S
Cenizo	VC	<i>O. oligacantha</i> Föster	SAZ	S
Apastillado	Rosa	<i>O. oligacantha</i> Föster	SAZ	S
Alimonado	VC	<i>O. joconostle</i> F.A.C. Weber	VTH ²	CC ³
Arroyo Hondo	VC	<i>O. spinulifera</i> x <i>O. joconostle</i>	SA	S
Turbinado		<i>Opuntia</i> sp.	SAZ	S

¹Saín Alto Zacatecas; ²Villa de Tezontepec Hidalgo; ³Colección comunitaria; VC, Verde claro; S, Silvestre

El estado de Hidalgo se encuentra a una altitud de 2320 msnm, a una latitud de 19°53'00" y una longitud de 98°49'00', y el municipio de Saín Alto, Zacatecas a una altitud de 2193 msnm, a una latitud de 23°34'46" y una longitud de 103°14'49"). El promedio de la temperatura de los sitios de colecta es de 14.5 y 16.2 °C con una lluvia anual promedio de entre 460 y 560 mm (García, 2004).

5.2 Materia prima

Los frutos de xoconostle se seleccionaron con base a su índice de madurez, determinado por color, que estuvieran libres de daños mecánicos y patológicos.

Los frutos fueron lavados y separados en pericarpelo (cáscara), mesocarpio (pulpa) y endocarpio (mucílago con semillas)

5.2.1 Establecimiento del experimento

Una vez cosechados los frutos, se trasladaron al Laboratorio de Poscosecha del Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología de los Alimentos del ICAp (N 20°, 3 769' y W 98°, 22.856') de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, en donde se realizó la determinación de los análisis fisicoquímicos, análisis proximal y actividad antioxidante de los genotipos de xoconostle.

5.3 Diseños de tratamientos

Cada uno de los genotipos de frutos de xoconostle de los estados de Hidalgo y Zacatecas constituyo un tratamiento, teniéndose un total de 11 tratamientos; T1, Café, T2, Güerito; T3, Rojo Sainero; T4, Del Ranchito; T5, Chaveñito; T6, Sardo; T7, Cenizo; T8, Apastillado; T9, Alimonado; T10, Arroyo Hondo y T11, Turbinado.

5.4 Variables de estudio

5.4.1 Determinaciones fisicoquímicas

Determinación de color.

La determinación de color se realizó con un colorímetro por reflexión "Hunter L, a, b", el cual se basó en el empleo de funciones trigonométricas. Una rueda de color dividida en 360°; con rojo púrpura situado en el extremo derecho en el ángulo 0); el amarillo en 90 °; el verde a azul en 180 ° y el azul en 270 °, el Hunter Lab, indicó el

cambio de coloración en el fruto en tres direcciones; L*, a* y b*, las cuales marcan los cambios de brillantez. L* mide la oscuridad a luminosidad, a* representa el rojo si es positivo y el verde si es negativo; b* corresponde al amarillo si es positivo y al azul en caso de ser negativo. La medición se realizó en un pequeño círculo que se marcó en la parte ecuatorial del cáliz (A.O.A.C. 2000).

Acidez titulable.

Esta variable se determinó de acuerdo a la metodología de la AOAC (2000), 942.15 expresando los datos como porcentaje de ácido cítrico. El cálculo se realizó con base a la siguiente fórmula:

$$\% \text{ AC. cítrico} = \frac{G * N * \text{meq} * \text{vol total}}{P * A} * 100$$

Donde:

G: mL NaOH 0.1 N usados en la titulación

N: Normalidad química de NaOH

meq: miliequivalente de ácido cítrico

P: peso de la muestra utilizada (g)

A: alícuota del jugo (ml)

Vol total: volumen total

Sólidos solubles totales o grados Brix (°Brix).

Para la determinación de grados °Brix se determinó por el método propuesto por la A.O.A.C. (2000), se utilizó el refractómetro digital PR-101ATAGO PALETTE. Se tomó una gota de jugo previamente extraído del fruto, esta gota se colocó en el sensor

óptico del refractómetro para obtener la lectura correspondiente, la cual se expresó como porcentaje de sólidos solubles totales.

pH

Se determinó obteniendo jugo de la muestra y después se le introdujo el potenciómetro digital HANNA®, se esperó a que diera lectura y se enjuagó con agua destilada para pasar a la otra muestra (AOAC, 2000).

Para la determinación de pH en la cáscara se hizo una disolución de 10 g de la muestra en 50 mL de agua destilada y posteriormente se introdujo el potenciómetro (A.O.A.C, 2000).

5.4.2 Calidad nutricional

Minerales

Para la determinación de minerales (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn y Mn), se empleó el equipo de Absorción Atómica (Marca GBC, MODELO 932AA). El análisis se realizó de acuerdo al método descrito en (NMX-AA-051-SCFI-2001), y la cuantificación mediante el programa de computo denominado “GBC AVANTA, VER. 1.31”.

Determinación de cenizas (AOAC, 1997a)

Se pesaron 5 g de la muestra en un crisol puesto a peso constante (dejar en la estufa por 24 h), Se carbonizo bajo la flama de un mechero hasta que no hubiera desprendimiento de humo. Se calcino en la mufla a 600°C por 13 horas hasta peso constante, se enfriar en el desecador y se pesó.

Los resultados se calcularon de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{B - A}{PM} * 100$$

Donde:

B = peso del crisol con cenizas

A = peso del crisol

PM = peso de la muestra

Determinación de Nitrógeno Proteína (AOAC, 1980)

Se utilizó el Método Kjeldahl el cual consistió en tres etapas:

1ª Etapa: digestión

Se pesaron 1 g de muestra en un papel libre de nitrógeno (mega pack), se pasó a un matraz de Keldahl se añadió 8.5 g de la mezcla digestora (con 20 g de sulfato cúprico pentahidratado y 200 g de sulfato de potasio), 25 mL de ácido sulfúrico concentrado y 3 perlas de ebullición. Se prendió el extractor de humos y las parrillas de calentamiento. A partir de que el líquido estaba en un color verde transparente se calentó por una hora. Se enfrió y procedió con la destilación.

2ª Etapa: Destilación

Se colocó el tubo terminal del refrigerante del aparato un matraz erlenmeyer con 50 mL de ácido bórico del 2 % (6 g de ácido con 294 mL de agua destilada) con 2 gotas de rojo de metilo. Se prendió las parrillas y abrir a las llaves del agua de los refrigerantes, posteriormente se añadieron 300 mL de agua destilada al matraz con la muestra digestora previamente enfriado, se disolvió bien, enfrió si es que reacciona, se añadió unas ganillas de zinc (0.5 g) y 90 mL de sosa al 40 % (500 mL de agua y 333.3 g de NaOH) lentamente de manera que se formaron dos estratos. Se conectó el matraz a la trampa, y agitar y destilo aproximadamente 250 mL, se apagó la parrilla e inmediatamente se sacó la terminal del refrigerante del matraz erlenmeyer y lavo con una piceta con agua destilada.

3ª Etapa: Titulación

Se tituló el líquido destilado con ácido sulfúrico (H_2SO_4) 0.1 N dependiendo de la cantidad de nitrógeno que se espera encontrar. El punto final de la titulación fue

cuando al adicionar una gota más el ácido sulfúrico diluido haya virado de amarillo a rosa.

Los resultados se calcularon de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\% N = \frac{(\text{mL problema de H}_2\text{SO}_4 \text{ gastados} - \text{mL blanco H}_2\text{SO}_4 \text{ gastados})(\text{meq N})(N \text{ del H}_2\text{SO}_4)}{\text{Peso de la muestra}} * 100$$

$$\% \text{ Proteína} = (\% N) * (6.25)$$

5.4.3 Determinación de extracto etéreo (lípidos) (AOAC, 1997b)

Se utilizó el sistema de extracción de la marca Buche colocando en el cartucho de papel whatman la muestra seca ya libre de humedad y se utilizó como solvente éter de petróleo, enseguida se colocó en el extractor, añadiendo aproximadamente un volumen de 90 ml del solvente para lograr las descargas correctamente. El sistema se programó para que la extracción se realizara aproximadamente en cuatro horas, terminando ese tiempo siguió el secado que duro de 3 a 4 min. Inmediatamente el vaso soxhlet se colocó en un desecador para evaporar el éter y después en la estufa por media hora, la muestra del cartucho se utilizó para la determinación de fibra cruda.

$$\text{Extracto etéreo} = \frac{B - A}{PM} * 100$$

Donde:

B = peso del vaso con grasa

A = peso del vaso

PM = peso de la muestra

Nota: se reportó como porcentaje de grasa cuando se empleó una mezcla de éter de petróleo y éter dietílico

Determinación de la fibra cruda AOAC (2000)

De la muestra del cartucho de extracción de grasa se colocó en un vaso berzelius, se añadió 200 mL de ácido sulfúrico diluido, se calentó el vaso en el aparato condensador y se roto periódicamente los vasos para evitar que los sólidos se pegaran, se dejó hervir por 30 min, se filtró, se lavó hasta pH neutro con agua caliente destilada, se dejó pasar el residuo y se añadieron 200 mL de NaOH y se puso otra vez por 30 min a hervir, posteriormente se filtró y lavo hasta un pH neutro, enjuago con 25 mL de alcohol, se puso en crisol y se dejó secar por dos horas a 130 °C en frío en un desecador y se pesó, se calcina a 600 °C, se dejar enfriar en un desecador y se pesó.

Los resultados se calcularon de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\% \text{ fibra cruda} = \frac{(\text{peso del crisol con muestra seca} - \text{peso del crisol con muestra calcinadas})}{\text{Peso real de la muestra}} * 100$$

5.4.4 Calidad Funcional

Fenoles Totales

Se realizó una curva patrón para ver el rango de absorbancia de las muestras y se observaron los datos del Cuadro 7. Se pesó 1 mg. de ácido tánico por mL (10mg en 10 mL) se tomaron 2 mL de esta solución y se aforan a 100 mL quedando a una concentración de 20 µg en 1 mL de la solución anterior.

Cuadro 7 Curva de ácido Tánico.

Ac. Tánico (mL)	Agua destilada (mL)	Folin (mL)	Na ₂ CO ₃ (mL)
1.0	7.0	0.5	1.5
1.5	6.5	0.5	1.5
2.0	6.0	0.5	1.5
3.0	5.0	0.5	1.5
4.0	4.0	0.5	1.5
5.0	3.0	0.5	1.5

Se pesó 0.1 g de muestra con 5 mL de etanol absoluto al 70 %, se homogenizo (en baño de hielo colocados los tubos de fondo plano), y se extrajeron dejando en viales de cristal con tapón por 24 h.

Se tomaran 600 µL del sobrenadante y se llevó a 8 mL con agua destilada, después se le agregaron 500 µL. de folin se agitará la muestra, posteriormente se le agrego 1.5ml de carbonato de sodio al 20 % (Na₂CO₃) y se agito.

Después se dejaron en reposo por 2 h. en la oscuridad total, después se les agrego el Na₂CO₃. Se tomó la lectura en un espectrofotómetro (JENWAY®, modelo G715) a 760 nm. El blanco llevo el mismo proceso pero con 1 mL de agua (Singleton & Rossi, 1999).

5.4.5 Determinación de Betalaínas

Se utilizó el método espectrofotométrico de Nilsón (1970)

Este método se basa en que las betaxantinas se absorben a 476 a 478 nm y las betalaínas a 535-540nm pero también se absorben en el máximo visible de las betaxantinas. El cálculo de la relación de 538, a 477 nm, determina la concentración de las betalaínas.

Se pesaron 100 mg de fruto (pulpa) liofilizado, se molió y se homogenizo con 10 mL de metanol, se agito por 1 h (Vórtex), después se filtró (Whatam #5) y en tubos se enjuago el tubo con 5 mL de metanol (2 veces) y se filtró con papel. Posteriormente se leyó en espectrofotómetro (JENWAY®, modelo G715), a una absorbancia de 476, 538 y 600 nm.

Los resultados se expresaron en términos de concentración de betalaínas y betaxantinas totales.

Ecuación

$$X = 1.095(a - c) \quad Z = (a - c) \quad Y = b - z \left(\frac{X}{3.1} \right)$$

$$\% B = \frac{X}{1120FD} * FD * 100 \quad \% V = \frac{Y}{750} * FD * 100$$

Donde:

%B=Porcentaje de Betalaínas

%V= Porcentaje de vulgaxantinas o betaxantinas.

FD = factor de dilución

a= abs 538 nm b= abs 476 nm c= abs 600 nm

5.4.6 Actividad Antioxidante.

Se realizó una curva patrón de la siguiente forma:

Se prepararon las siguientes concentraciones de ácido Ascórbico y aforaron a 100 mL con agua para HPLC.

Concentraciones de ácido ascórbico: 5 mg, 10mg, 15 mg, 20 mg.

Los resultados se expresaron en VCEAC (actividad antioxidante equivalente a vitamina C), en este último caso por tratarse de alimentos.

Se pesaron 0.1 g de muestra y se agregó 5 mL de etanol absoluto al 70 %, se homogenizo (en baño de hielo colocados los tubos de fondo plano), y se dejó en viales de cristal con tapón por 24 h en refrigeración en la oscuridad. Posteriormente después de las 24 horas.

En una celda de cuarzo se agregó 3.9 mL de ABTS y 100 µl del sobrenadante, después se colocó en el espectrofotómetro (JENWAY®, modelo G715), y se tomaron lecturas a dos tiempos 1 y 7 min (Re *et al.*, 1999).

5.5 Análisis de resultados

Se realizó análisis de varianza utilizando el procedimiento ANOVA de SAS (Statistics Analysis System); versión 9.0, (SAS; 2002), se utilizó el diseño experimental completamente al azar y la prueba de comparaciones múltiples de medias de Tukey con un nivel de significancia de ($P \leq 0.05$). Para determinar cada variable se utilizaron 3 repeticiones por tratamiento y la unidad experimental consistió de un fruto.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades fisicoquímicas

Sólidos solubles totales (°Brix)

Se observaron diferencias estadísticas significativas en el contenido de sólidos solubles totales en la pulpa de los once genotipos evaluados (Cuadro 8). El mayor contenido de sólidos solubles totales (SST) se observó en los frutos de xoconostle 'Limonado' (8.60%) y 'Chaveñito' (6.48%), mientras que los frutos de xoconostle 'Güerito' y 'Arroyo Hondo' presentaron el menor contenido de SST, con valores de 4.48 % y los valores intermedios se observaron en xoconostle 'Café' (4.72 %), 'Turbinado' (4.86%), 'Sardo' (5.20%), 'Cenizo' (5.42 %) y 'Apastillado' (5.76%). Al respecto Guzmán-Maldonado et al., (2010), reporta valores de 4.0 a 5.9 % de SST, lo cual coincide con los valores intermedios encontrados en los genotipos evaluados.

Acidez titulable

En el contenido de acidez titulable se observaron diferencias estadísticas significativas en la pulpa de los once genotipos evaluados (Cuadro 8). Los frutos de xoconostle 'Güerito' (0.50 g/100g peso fresco), 'Limonado' (0.64 g/100g), 'Arroyo Hondo' (0.84g/100g) y 'Ceniza' (0.86g/100g) presentaron el menor contenido de acidez titulable, sin embargo el mayor contenido de acidez titulable se obtuvo en los frutos de xoconostle 'Sardo' (1.40g/100g) y 'Apastillado' (1.38g/100g).

Los valores encontrados en este trabajo fueron más altos que aquellos reportados por Guzmán-Maldonado et al., (2010) para frutos de Xoconostle 'Cuaresmeño' y por Silos-Espino et al., (2003) para xoconostle 'Blanco' (0.70% de peso fresco). Una de las características de estos frutos es su alto contenido de SST y su bajo contenido de acidez titulable .

pH

En el pH se observaron diferencias estadísticas significativas en la pulpa de los once genotipos evaluados mostrándose en el Cuadro 8. Los valores en pH estuvieron en el rango de 2.97 a 4.08, presentando los valores más bajos los frutos de xoconostle 'Cenizo' (2.97) y Güerito (3.03) y los valores más altos son los frutos de xoconostle 'Alimonado' (4.08) y 'Rojo Sainero' (3.72). Valores similares fueron reportados por Silos-Espino et al., (2003), Pimiento-Barrios et al., (2008) y Contreras et al., (2011) quienes mencionan que la diferencia en el contenido de sólidos solubles totales, acidez titulable y pH son significativas las características de los diferentes genotipos de xoconostles y a las condiciones geográficas de las regiones en donde son colectados los frutos de xoconostle. El pH juega un papel importante en la incidencia de microorganismos dañinos al presentar valores bajos disminuyen (Saenz, 1993).

Cuadro 8 Características fisicoquímicas de genotipos de xoconostle.

Genotipos	°Brix (%)	Acidez titulable (g/100g)	pH
Café	4.72 ± 0.13fg	1.18 ± 0.09cd	3.17 ± 0.04cd
Güerito	4.48 ± 0.10g	0.50 ± 0.07g	3.03 ± 0.06de
Rojo Sainero	5.66 ± 0.11cd	1.07 ± 0.04de	3.72 ± 0.08b
Del Ranchito	5.36 ± 0.10de	1.24 ± 0.06bc	3.20 ± 0.07c
Chaveñito	6.48 ± 0.14b	0.97 ± 0.08ef	3.27 ± 0.08c
Sardo	5.20 ± 0.10e	1.40 ± 0.11a	3.18 ± 0.07cd
Cenizo	5.42 ± 0.16de	0.86 ± 0.02f	2.97 ± 0.08e
Apastillado	5.76 ± 0.11c	1.38 ± 0.07a	3.15 ± 0.05cd
Alimonado	8.60 ± 0.23 ^a	0.64 ± 0.05g	4.08 ± 0.06 ^a
Arroyo Hondo	4.48 ± 0.14g	0.84 ± 0.02f	3.22 ± 0.06c
Turbinado	4.86 ± 0.186f	1.33 ± 0.04ab	3.29 ± 0.07c

^z Valores con las mismas letras dentro de la columna son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una P≤0.05.

DMS: Diferencia mínima significativa; CV: Coeficiente de variación.

Calidad nutricional

Proteína

La composición proximal de la pulpa de xoconostle se muestra en el Cuadro 9. En el contenido de proteína se observaron diferencias estadísticas significativas en la pulpa de los frutos de xoconostle de los once genotipos evaluados (Cuadro 9).

El contenido más alto de proteína encontrado se observó en los frutos de Xoconostle 'Café' (1.10 g/100g peso seco), siguiendo los frutos de xoconostle 'Güerito', 'Rojo

Sinero', 'Sardo', 'Apastillado', 'Alimonado' y 'Arroyo Hondo' no se observaron diferencias significativas entre ellos con valores de 0.85 o 0.97 g/100g de peso fresco, sin embargo el menor contenido de proteína se observó en los frutos de xoconostle 'Chaveñito' (0.74 g/100g peso fresco), 'Turbinado' (0.78 g/100g peso fresco), 'Cenizo' (0.80g/100g peso fresco) y 'Del Ranchito' (0.81g/100g peso fresco). Estos valores fueron similares a los reportados por Morales et al., (2012) y Contreras et al., (2010), se sugiere que tiene potencial para ser usada en alimentos y la necesidad de evaluar la calidad de proteína.

Lípidos (extracto etéreo)

En fibra cruda (lípidos) se encontraron diferencias estadísticas significativas en los once genotipos de Xoconostles evaluados (Cuadro 9). Los valores más altos se observaron en los frutos de xoconostle 'Cenizo', 'Apastillado' y 'Turbinado' con valores de 0.27 g/100g peso fresco y no se observaron diferencias significativas entre ellos y los valores más bajos se observaron en los frutos de xoconostle 'Café' y 'Rojo Sainero' para extracto libre de nitrógeno (carbohidratos totales y cenizas).

Extracto libre de nitrógeno (Carbohidratos totales y cenizas)

No se encontraron diferencias estadística significativas excepto para los frutos de Xoconostle 'Café' y 'Chaveñito' con valores de 9.20 y 8.68 g/100g peso fresco respectivamente y en los genotipos 'Güerito', 'Rojo Sainero', 'Del Ranchito', 'Sardo', 'Cenizo', 'Apastillado', 'Alimonado' y no se observaron diferencias significativas entre ellos con valores de 9.00 a 9.20g/100g de peso fresco mostrándose en el Cuadro 9. Las diferencias pueden ser explicadas por los diferentes orígenes de los Xoconostles y a los años de cosecha (Guzmán-Maldonado, et al., 2010)

Cuadro 9 Análisis proximal, proteínas, extracto etéreo (lípidos) y extracto libre de nitrógeno (Carbohidratos totales y cenizas) de Xoconostles (*Opuntia* spp.).

Genotipos	Proteína	Lípidos (extracto etéreo)	Carbohidratos totales y cenizas (Extracto libre de N)
Café	1.10 ± 0.10 a	0.018 ± 0.001 c	8.86 ± 0.05 b
Güerito	0.97 ± 0.13 ab	0.024 ± 0.004 ab	8.96 ± 0.06 ab
Rojo Sainero	0.87 ± 0.04 ab	0.018 ± 0.001 c	9.10 ± 0.11 ab
Del Ranchito	0.81 ± 0.01 b	0.024 ± 0.001 ab	9.16 ± 0.06 ab
Chaveñito	0.74 ± 0.07 b	0.022 ± 0.002 abc	9.20 ± 0.10 a
Sardo	0.91 ± 0.16 ab	0.019 ± 0.002 bc	9.00 ± 0.10 ab
Cenizo	0.80 ± 0.13 b	0.027 ± 0.001 a	9.03 ± 0.15 ab
Apastillado	0.96 ± 0.13 ab	0.027 ± 0.002 a	8.90 ± 0.17 ab
Alimonado	0.85 ± 0.04 ab	0.022 ± 0.002 abc	9.13 ± 0.06 ab
Arroyo Hondo	0.94 ± 0.09 ab	0.020 ± 0.001bc	9.00 ± 0.10 ab
Turbinado	0.78 ± 0.014 b	0.027 ± 0.001 a	8.96 ± 0.10 ab

^z Valores con las mismas letras dentro de la columna son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una P≤0.05.

DMS: Diferencia mínima significativa; CV: Coeficiente de variación.

Contenido nutrimental

Potasio (K)

Se observaron diferencias estadísticas significativas en el contenido de potasio (K) en los 11 genotipos evaluados mostrándose en el Cuadro 10.

La concentración más alta de K se presentó en los frutos de xoconostle 'Alimonado' (1.870 mg/100g) y el xoconostle 'Arroyo Hondo' (1.540 mg/100g), siguiendo los xoconostles 'Rojo Sainero' (1.230 mg/g) y 'Güerito' (1.216 mg/g) y no se observaron

diferencias significativas entre ellos; mientras que los valores intermedios en xoconostles 'Sardo' (0.696 mg/100g), 'Cenizo' (0.710 mg/100g) y 'Apastillado' (0.736 mg/100g) y los valores más bajos de K se observaron en xoconostles 'Del Ranchito' (0.656 mg/100g) y 'Café' (0.633 mg/100g).

Al respecto García-Pedraza et al . , (2005) reportaron valores de 1.746 mg/100g para xoconostle *O. duranguensis*, 1.943 mg /100g y para *O. joconostle* variante colorado 3.338 mg/100g para joconostle variante xoconostle 3.277 mg/100g para *O. leucotriche*, 1,742.2 mg/100g para *O. matudae* variante Blanco, 1,451.8 mg/100g para *O. matudae* variante Cuaresmeño, los valores encontrados en los 11 genotipos de xoconostles evaluados en este trabajo estuvieron por debajo de lo reportado por García – Pedraza et al . , (2005).

El polvo de chile pimiento (*Capsicum annun* L.), cebolla (*Allium cepa* L.), ajo (*Allium sativum* L.) se han reportado por parte de Farrel (1990) valores de 1,916.0, 943.0 y 1,10.0 mg/100g respectivamente, Harlan (1992) mencionan que en las variantes criollas frecuentemente más ricos en algunos nutrimentos que en aquellos cultivados. Al respecto García- Pedraza et al., (2005) reportaron valores de 1,746.8 mg/100g para xoconostle *O. duranguensis* 1,943.3 mg/100 g para *O joconostle* variante colorado, 3,328.2 mg/100g para xoconostle variante xoconostle, 3,277.0 mg/100g para *O.leucotricha*, 1,742.2 mg/100g para *O. matudae* cv Blanca 1,451.8 mg/100g para *O. matudae* cv Cuaresmeño.

Los frutos criollos de *leucotricha* y de huertos familiares de *O. joconostle* A. web tuvieron valores más altos de K, mientras que los frutos de una plantación comercial de *O. matudae* scheinvar cv Cuaresmeño tuvieron valores más bajos de K. Esto confirma las observaciones de Harlan (1992) que variantes criollos son frecuentemente más ricos en algunos nutrimentos, que en aquellos cultivados, las plantas cultivadas relativamente sus frutos se ven favorecidos en tamaño, mientras que la calidad nutricional puede no necesariamente incrementarse proporcionalmente.

Análisis de correlación mostraron que el potasio se incrementó cuando se incrementa el pH ($P \leq 0.05$), los cuales podrían ser debido a la presencia de ácidos orgánicos los cuales confieren la acidez al fruto (ácido cítrico málico, ascórbico y succínico) (Sánchez y Ortega, 1996).

Guzmán-Maldonado et al., (2010) reportaron valores en el contenido de potasio para cáscara de frutos de xoconostle cv Cuaresmeño de 3,290 mg/100g peso seco para frutos del estado de Guanajuato 3,090 mg/100g para frutos del Estado de México y 3,000 mg/100g para frutos de Puebla.

Calcio (Ca)

En el contenido de calcio (Ca), se observaron diferencias significativas en los 11 genotipos evaluados observados en el Cuadro 10.

La mayor concentración de calcio se observó en los xoconostle 'Arrollo Hondo' (2.40 mg/100g) y 'Cenizo' (2.51 mg /100 g), valores intermedios se observaron en xoconostle 'Güerito' (1.73 mg/100g), 'Chaveñito' (1.62 mg/100g) y 'Turbinado'(1.43 mg /100g), mientras que el menor contenido de calcio se observó en los xoconostle 'Del Ranchito'(0.980 mg/100g) y ' Apastillado' (0.92 mg/100g).

Pimienta-Barríos et al., (2008) mencionan que la mayoría de especies tienen contenidos relativamente altos de calcio (Ca) en comparación con otras especies vegetales (Nobel, 1993). Lo anterior permite sugerir que probablemente el contenido de Ca en *O. joconostle* podría ser responsable parte de la función hipoglucemiante. Regularmente el Ca estimula la secreción de insulina en las células β de los islotes de Langerhans debido a que la concentración citosólica de Ca es crítica durante la inducción de la secreción de insulina (Davidson et al ., 1988; Turk et al., 1993).

Guzmán – Maldonado et al., (2010) reportaron para frutos de xoconostle cv 'Cuaresmeño' del estado de Guanajuato contenidos de Ca de 2,690mg /100g de

peso seco para frutos del estado de México 3,200 mg/100g de peso seco y para frutos del estado de Puebla 3,060 mg/100g de peso seco.

Los niveles de calcio en cáscara de xoconostle (1,410 a 1,960 mg/100g de peso seco) fueron más bajos en comparación con lo reportado por el Kossori et al.,(1998) (2,090 mg/100g peso seco) para cáscara de tunas cultivadas, el calcio en pulpa de xoconostle fue más alto (480 a 490 mg/100g peso seco) en comparación con lo reportado por el Kossori et al., (1998) 163 mg/100g de peso seco y por Silos-Espino et al., (2003) 11 al 17 mg/100g peso seco. Tales diferencias podrían ser atribuidas a la variación en concentraciones de Fe, Ca y otros minerales en suelos donde el xoconostle y tuna crecen.

Magnesio (Mg)

Se observaron diferencias significativas en el contenido de magnesio (Mg) en los genotipos evaluados (Cuadro 10).

El mayor contenido de magnesio se observó en los xoconostles 'Chaveñito', 'Cenizo', 'Alimonado', 'Arroyo Hondo' y 'Turbinado' y no se observaron diferencias significativas entre ellos con valores de 0.440, 0.403, 0.461, 0.460 y 0.440 mg/100g respectivamente, los valores intermedios se observaron en los xoconostles 'Café', 'Rojo Sainero' y 'Apastillado' con valores de 0.230, 0.323 y 0.206 mg/100g respectivamente y la menor concentración de magnesio se observó en los frutos de xoconostles 'Sardo', 'Güerito' y 'Del Ranchito' con valores de 0.130, 0.133 y 0.156 mg/100 g respectivamente.

Hierro (Fe)

En el contenido de hierro (Fe) se observaron diferencias significativas en los genotipos evaluados (Cuadro 10).

El mayor contenido de hierro lo presentaron los xoconostles 'Alimonado' (0.180 mg/100g) y 'Rojo Sainero' (0.175 mg/100g), los valores intermedios se observaron

en 'Güerito' (0.148 mg /100g), 'Cenizo' (0.144 mg/100g), 'Sardo' (0.139 mg/100g) y los valores más bajos se observaron en los xoconostles 'Del Ranchito' (0.122 mg/100g), 'Café' (0.115 mg/100g), 'Chaveñito' (0.105 mg/100g), 'Apastillado' (0.095 mg/100g), Turbinado (0.092 mg/100g) y Arroyo Hondo (0.084 mg/100g).

Al respecto Guzmán-Maldonado et al., (2010) reportaron contenidos de hierro en piel de xoconostle de 6 a 9.6 mg/100g peso seco y en cáscara de 1.3 a 1.6 mg/100g peso seco y fueron más bajos que los reportados por Kossori et al., (1998), para cáscara de tuna y encontraron valores de 8.31 mg /100g peso seco para pulpa 16.5 mg /100g peso seco, mientras que, comparando estructuras comestibles de xoconostle y tuna, el contenido de hierro en la cáscara de xoconostle reportado en cáscara fue similar a lo reportado por Silos-Espino et al., (2003) para pulpa de tuna(1.8 a 2.8 mg/100g). Resultados similares fueron observados para Zinc en las partes comestibles de xoconostle (piel) y tuna (pulpa) fueron comprados.

Una porción de 100 g de piel y cáscara de xoconostle 'Cuaresmeño' podrían contribuir un 58% % y 13% de los requerimientos diarios de Hierro y Zinc (Anlerson y Allen, 1999). En el contenido de hierro (Fe) se observaron diferencias significativas en los genotipos evaluados (Cuadro 10). El mayor contenido de hierro lo presentaron los xoconostles 'Alimonado' (0.180 mg/100g), 'Rojo Sainero' (0.175 mg/100g), los valores intermedios fueron 'Güerito' (0.148 mg /100g), 'Cenizo' (0.144 mg/100g), 'Sardo' (0.139 mg/100g) y los valores más bajo se observaron en los xoconostles 'Del Ranchito' (0.122 mg/100g), 'Café' (0.115 mg/100g), 'Chaveñito' (0.105 mg/100g), 'Apastillado' (0.095 mg/100g), 'Turbinado' (0.092 mg/100g) y 'Arroyo Hondo' (0.084 mg/100g).

Al respecto Guzmán-Maldonado et al., (2010) reportaron contenidos de hierro en piel de xoconostle de 6 a 9.6 mg/100g peso seco y en cáscara de 1.3 a 1.6 mg/100g peso seco y fueron más bajos que los reportados por Kossori et al., (1998), para cáscara de tuna y encontraron valores de 8.31 mg /100g peso seco, para pulpa 16.5 mg/100g peso seco, mientras que, comparando estructuras comestibles de

xoconostle y tuna, el contenido de hierro en la cáscara de xoconostle reportado en cáscara fue similar a lo reportado por Silos-Espino et al., (2003) para pulpa de tuna (1.8 a 2.8 mg/100g). Resultados similares fueron observados para Zinc en las partes comestibles de xoconostle (piel) y tuna (pulpa) y fueron comparados.

Una porción de 100 g de piel y cáscara de xoconostle 'Cuaresmeño' podrían contribuir en un 58% y 13% con los requerimientos diarios de Hierro y Zinc (Anlerson y Allen, 1999).

Zinc (Zn)

Diferencias estadísticas significativas en el contenido de Zinc se observaron en los 11 genotipos de xoconostle evaluados (Cuadro 10).

En los xoconostles 'Cenizo' (0.0060 mg/100g) y 'Alimonado' (0.0050 mg/100g) se observó el mayor contenido de Zn, los valores intermedios en 'Rojo Sainero' (0.0034 mg/100g), 'Arroyo Hondo' (0.0034 mg/100g), 'Güerito' (0.0040mg/100g) y 'Sardo' (0.0043 mg/100g), mientras que el menor contenido que se observó en los frutos de xoconostle 'Café' (0.0025 mg/100g), 'Chaveñito' (0.0030 mg/100g) , 'Turbinado' 0.003 mg/100g) y 'Apastillado' (0.0032 mg/100g).

Cuadro 10 Contenido nutrimental de Xoconostles (*Opuntia* spp.).

Genotipos	K	Ca	Mg	Fe ($\mu\text{g}/100\text{g}$)	Zn
Café	0.633 \pm 0.025e	1.32 \pm 0.068de	0.230 \pm 0.010c	0.115 \pm 0.002c	0.0025 \pm 0.00010f
Güerito	1.216 \pm 0.030c	1.73 \pm 0.045b	0.133 \pm 0.020e	0.148 \pm 0.006b	0.0040 \pm 0.00015d
Rojo Sainero	1.230 \pm 0.055c	1.29 \pm 0.072de	0.323 \pm 0.030b	0.175 \pm 0.003 ^a	0.0034 \pm 0.00025e
Del Ranchito	0.656 \pm 0.041e	0.980 \pm 0.010f	0.156 \pm 0.047de	0.122 \pm 0.001c	0.0046 \pm 0.00015bc
Chaveñito	0.830 \pm 0.052d	1.62 \pm 0.095bc	0.440 \pm 0.010 ^a	0.105 \pm 0.003d	0.0030 \pm 0.00010ef
Sardo	0.696 \pm 0.011de	1.23 \pm 0.010de	0.130 \pm 0.020e	0.139 \pm 0.005b	0.0043 \pm 0.00020cd
Cenizo	0.710 \pm 0.020de	2.51 \pm 0.092 ^a	0.403 \pm 0.015 ^a	0.144 \pm 0.003b	0.0060 \pm 0.00020 ^a
Apastillado	0.736 \pm 0.025de	0.92 \pm 0.036f	0.206 \pm 0.015cd	0.095 \pm 0.0010e	0.0032 \pm 0.00015e
Alimonado	1.870 \pm 0.101 ^a	1.12 \pm 0.095ef	0.461 \pm 0.037 ^a	0.180 \pm 0.0015 ^a	0.0050 \pm 0.00015b
Arroyo Hondo	1.540 \pm 0.110b	2.40 \pm 0.085 ^a	0.460 \pm 0.010 ^a	0.084 \pm 0.0020f	0.0034 \pm 0.00025e
Turbinado	0.726 \pm 0.020de	1.43 \pm 0.090cd	0.440 \pm 0.026 ^a	0.092 \pm 0.0015ef	0.0031 \pm 0.00010e

^z Valores con las mismas letras dentro de la columna son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

DMS: Diferencia mínima significativa; CV: Coeficiente de variación.

Calidad funcional

Fenoles totales

En el contenido de fenoles totales se observaron diferencias estadísticas significativas en los once genotipos de xoconostles evaluados (Cuadro 11).

El mayor contenido de fenoles totales se observó en los xoconostles 'Chaveñito' y 'Arroyo Hondo' con valores de 321.0 y 376.0 mg/100g respectivamente, sin embargo los valores intermedios se presentaron en los xoconostles 'Apastillado' (216.3 mg GAE/g), 'Güerito' (214.6 mg GAE/g) y 'Café' (209.6 mg GAE/g) y los valores más

bajos en los xoconostles 'Rojo Sainero' (123.3 mg GAE/g), 'Turbinado' (122.0 mg GAE/g) y 'Alimonado' (110.3 mg GAE/g).

Al respecto Osorio – Esquivel et al., (2011) mencionan que los resultados de los análisis del contenido de fenoles totales en extracción metanólica, demuestran que el xoconostle es una buena fuente de compuestos fenólicos.

Los compuestos fenólicos ayudan a proteger a la planta de la luz ultravioleta y actúan en defensa de los microorganismos patógenos en las plantas. Este tipo de protección puede ser necesaria para los frutos y puede explicarse por el alto contenido fenólico en el pericarpio, comparado con el contenido en mesocarpio y endocarpio.

Recientemente en estudios reportados por Guzmán- Maldonado et al., (2010) donde analizaron frutos de *Opuntia matudae* y reportaron valores en pericarpio en el rango de 8.63 a 8.40 mg GAE/g peso seco, para endocarpio valores de 1.68 a 1.28 mg GAE/g peso seco y para mesocarpio valores de 9.86 a 8.99 mg GAE/g peso seco. Las diferencias en los valores son debido al número de extracciones. La extracción se realizó una vez y en el estudio fueron dos extracciones las cuales mejoran el compuesto obtenido, Wu et al., (2006) analizaron pitaya (*Hilocereus cactila*) la cual es de otra planta cactácea, Jaramillo et al., (2003) encontraron que el contenido de fenoles totales en cladodios de nopal (*O. ficus indica*) fue de 1,589 mg/g de muestra, similares al contenido en pericarpio de xoconostle.

Es conocido que el contenido de fenoles en los extractos del fruto contribuyen a la actividad antioxidante, lo cual fue reportado en diferentes frutos por Hui-yu et al., (2004) quienes reportaron en frutos contenidos fenólicos que incluyen pulpa y semilla de guayaba (86.9 y 408.4 mg GAE/g peso fresco), pulpa y cáscara de berenjena (118.1 y 276.0mg GAE/g peso fresco), cáscara y pulpa de tomate (101.0 y 252.3 mg GAE /g peso fresco). Extractos de *O. ficus indica*, *O. stricta* y *O. undulata* tuvieron contenidos similares de fenoles totales (2.18, 2.04 y 1.64 mg GAE/g peso fresco) respectivamente.

El xoconostle es una buena fuente de compuestos fenólicos antioxidantes debido a que contienen otros flavonoides y polifenoles. Los flavonoides constituyen cerca de la

mitad de los 8, 000 que son reconocidos como fenoles y son moléculas responsables del color de los frutos y vegetales (Shahidi& Naczk, 2004).

Guzmán – Maldonado et al., (2011) mencionan que los fenoles solubles totales son aproximadamente el 1% de ambos, pulpa y cáscara, de xoconostle. Los fenoles solubles totales encontrados en frambuesa, pomelos, naranja, uva verde, pera, manzana, durazno y plátano fueron de 38 a 228 mg GAE /100 g peso fresco y en vegetales como col roja, brócoli, cebolla, espinaca, col verde, coliflor, lechuga y tomate de 30 a 158 mg GAE /100g peso fresco. Proteggente et al., 2002 encontraron valores más bajos comparados con aquellos encontrados en pulpa y cáscara de xoconostle cv Cuaresmeño en peso fresco (268.5 mg GAE /100g) y los niveles fueron significativamente más bajos que los reportados para fresa (330 mg /100 g peso fresco) y ciruela roja (320 mg/100g peso fresco) (Proteggente et al., 2002).

Sin embargo los niveles de fenoles solubles totales reportados por Guzmán – Maldonado et al., (2010) podrían ser subestimados debido a que Folin Ciocalteu podría reaccionar con vitamina C, y la pulpa de xoconostle muestra valores mucho más bajos en el contenido de fenoles totales que los observados en cáscara.

Betacianinas

En el contenido de betacianinas (pigmentos de color rojo) se observaron diferencias estadísticas significativas en los 11 genotipos evaluados (Cuadro 11).

La mayor concentración de betacianinas se observó en los xoconostles 'Rojo Sainero'(4.41 mg/100 g) y xoconostle 'Alimonado' (4.38 mg/100 g) siguiendo los xoconostles 'Del Ranchito', 'Arroyo Hondo', 'Café' y 'Apastillado' con valores de 263, 251, 232 y 220 mg/100g ; los xoconostles que presentaron la menor concentración de betalaínas fueron 'Chaveñito', 'Turbinado', 'Cenizo', 'Sardo' y 'Güerito' con valores de 1.83,1.83,1.63,1.25 y 0.80 mg /100g respectivamente.

Guzmán- Maldonado et al., (2010) mencionan que el contenido de betalaínas en la piel de xoconostle 'Cuaresmeño' cosechado en Puebla fue significativamente más alto que en aquellos frutos de Guanajuato y del Estado de México. En la cáscara de xoconostle se observó el contenido más alto de betacianinas (0.59 a 1.14 mg /100g)

y betaxantinas (3.93 a 7.17 mg/100g) que en aquellos mostrados en la pulpa. Diferencias en betalainas esperan ser correlacionadas con el hecho de que los colores amarillos-rosas son mucho más intensos en la cáscara que en la pulpa. Además del alto contenido de betalaínas en la piel o cáscara esta correlacionado con Hue amarillos de frutas de xoconostle cv Cuaresmeño.

Por otro lado la alta variabilidad observada en el contenido de betaxantinas en cáscara y el contenido de betacianinas en cáscara se debe a la variación en el color de los frutos de xoconostle 'Cuaresmeño' que se presentan en cosecha, lo cual no ha sido estrictamente normalizado por el fitomejoramiento o regulación, con respecto a la alta variabilidad observada en el contenido de pigmentos de pulpa, esto es más probable a la diversidad de colores en el mucilago que se une y rodea a las semillas.

El interés en los compuestos de fenoles solubles, ácido ascórbico y betalaínas ha aumentado en el mundo debido a su potencial para prevenir el estrés oxidativo y las enfermedades crónicas (Frankel y German, 2006).

Betaxantinas

Se observaron diferencias estadísticas significativas en el contenido de betaxantinas (pigmentos de color amarillo) en los 11 genotipos de xoconostles evaluados (Cuadro 11).

El mayor contenido de Betaxantinas se encontró en los xoconostle 'Sardo', 'Del Ranchito' y 'Rojo Sainero' con valores de 4.40, 4.21 y 4.6 mg/100g respectivamente, mientras que los xoconostles 'Café' (3.73 mg/100 g), 'Arroyo Hondo' (3.63 mg/100 g), 'Apastillado' (3.43 mg/100 g), 'Chaveñito (3.40 mg /100 g), 'Turbinado' (3.33mg/100 g) presentaron los valores intermedios y los xoconostles que presentaron el menor contenido de betaxantinas fueron los xoconostles 'Alimonado' (2.76 mg /100g) y 'Güerito' (2.36 mg /100g).

Actividad antioxidante

En actividad antioxidante se observaron diferencias estadísticas significativas en los 11 genotipos evaluados (Cuadro 11).

La mayor actividad antioxidante se observó en los frutos de xoconostle 'Chaveñito' (8.20 μ mol Trolox E/g) siguiendo los xoconostles 'Apastillado' (5.19 μ mol Trolox E/g), 'Güerito' (4.20 μ mol Trolox E/g) y 'Arroyo Hondo' (4.08 μ mol Trolox E/g) y una actividad antioxidante intermedio; se observó en los xoconostles 'Rojo Sainero' (3.25 μ mol Trolox E/g), 'Turbinado' (3.37 μ mol Trolox E/g), 'Alimonado' (3.47 μ mol Trolox E/g), 'Cenizo' (3.56 μ mol Trolox E/g) y 'Café' (3.71 μ mol Trolox E/g), mientras que en los xoconostles 'Sardo' (2.42 μ mol rolox E/g y 'Del Ranchito' (2.21 μ mol trolox E/g) se observó la menor actividad antioxidante.

Cuadro 11 Fenoles totales, betacianinas, betaxantinas y actividad antioxidante (TEAC) en pulpa de frutos de *Xoconostles* (*Opuntia* ssp).

Genotipos	Total phenolics (mg GAE/g)	Betacianinas (mg/100g)	Betaxantinas (mg/100g)	Actividad antioxidante ($\mu\text{mol Trolox E /g}$)
Café	209.6 \pm 1.15d	2.32 \pm 0.14bc	3.73 \pm 0.37abc	3.71 \pm 0.10de
Güerito	214.6 \pm 2.00cd	0.80 \pm 0.10f	2.36 \pm 0.55d	4.20 \pm 0.16c
Rojo Sainero	123.33 \pm 1.7h	4.41 \pm 0.08 ^a	4.16 \pm 0.25ab	3.25 \pm 0.12f
Del Ranchito	141.33 \pm 2.30g	2.63 \pm 0.15b	4.21 \pm 0.12ab	2.21 \pm 0.14g
Chaveñito	321.0 \pm 2.88ab	1.83 \pm 0.06d	3.40 \pm 0.40abc	8.20 \pm 0.18 ^a
Sardo	189.3 \pm 2.08c	1.25 \pm 0.05c	4.40 \pm 0.34a	2.42 \pm 0.11g
Cenizo	163.3 \pm 1.15f	1.63 \pm 0.08d	3.80 \pm 0.20ab	3.56 \pm 0.12ef
Apastillado	216.3 \pm 2.51c	2.20 \pm 0.10c	3.43 \pm 0.32abc	5.19 \pm 0.14b
Alimonado	110.3 \pm 1.52i	4.38 \pm 0.16 ^a	2.76 \pm 0.15cd	3.47 \pm 0.11ef
Arroyo Hondo	376.0 \pm 2.64a	2.51 \pm 0.12bc	3.63 \pm 0.23abc	4.08 \pm 0.15cd
Turbinado	122.0 \pm 1.00 h	1.83 \pm 0.15d	3.33 \pm 0.55bcd	3.37 \pm 0.17ef

^z Valores con las mismas letras dentro de la columna son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

DMS: Diferencia mínima significativa; CV: Coeficiente de variación.

VII. CONCLUSIONES

De los once genotipos de xoconostle evaluados, la pulpa del xoconostle 'Alimonado' y 'Chaveñito' presentó el mayor contenido de sólidos solubles totales, mientras que la pulpa de los xoconostles 'Sardo' y 'Apastillado' presentó el mayor contenido de acidez titulable.

La pulpa de los frutos de xoconostle al presentar valores bajos de pH juega un papel importante en la disminución de la incidencia de microorganismos sobre todo la pulpa de los xoconostle 'Cenizo' y 'Güerito' que presentaron los valores más bajos de pH.

Por el alto contenido de proteína encontrado en la pulpa de xoconostles 'Café', 'Güerito', 'Rojo Sainero', 'Sardo', 'Apastillado', 'Alimonado' y 'Arroyo Hondo', se sugiere que tienen potencial para ser usados en alimentos.

La pulpa de xoconostle 'Cenizo', 'Apastillado' y 'Turbinado' presentaron los valores más altos en extracto etéreo, mientras que en pulpa de xoconostle 'Café' y 'Chaveñito' se observó el mayor contenido de carbohidratos totales y cenizas.

El mayor contenido de Potasio, Magnesio, Hierro y Zinc, se observó en los frutos de xoconostle 'Alimonado', mientras que el mayor contenido de Potasio, Calcio y Magnesio se observó en el xoconostle 'Arroyo Hondo'; sin embargo el mayor contenido de Calcio, Magnesio y Zinc se observó en el xoconostle 'Cenizo' y el mayor contenido de Magnesio en 'Chaveñito' y 'Turbinado' y mayor contenido de Hierro en 'Rojo Sainero', por lo que el xoconostle puede considerarse como una buena opción en la alimentación.

El mayor contenido de fenoles totales se observó en la pulpa de xoconostles 'Chaveñito' y 'Arroyo Hondo', mientras que el mayor contenido de betacianinas se encontró en pulpa de xoconostle 'Rojo Sainero' y 'Alimonado' y el mayor contenido de betaxantinas en 'Sardo', 'Del Ranchito' y 'Rojo Sainero', estos altos contenidos de fenoles totales y betalaínas le confieren al fruto de xoconostle un potencial para prevenir estrés oxidativo y enfermedades crónicas y por sus propiedades funcionales puede generar ventajas competitivas que pueden introducirse en

oportunidades para el desarrollo de nuevos productos que permiten el aprovechamiento integral tanto de la pulpa como de la cáscara.

La mayor actividad antioxidante se observó en los xoconostles 'Chaveñito', 'Apastillado' y 'Arroyo Hondo', esta alta capacidad antioxidante podría tener aplicaciones industriales para el procesamiento de alimentos y en la industria farmacéutica.

VIII. BIBLIOGRAFIA

Allegra, M., Furtmuller, P.G., Jantschko, W., Zederbauer, M., Tesoriere, L., Livrea, M.A., Obinger, C. (2005) Mechanism of interaction of betanin and indicaxanthin with human myeloperoxidase and hypochlorous acid. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* Pp 332:837-844.

AOAC. (2000). Vitamin and other nutrient. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists International. (17 ed). Gaithersburg, USA: Hoerwitz, W. Ed.

AOAC (1997b). Official methods of analysis of Association of Official Analytical Chemists 15thEd. Washington.

Barbera, G., Carimi, F., & Inglese, P. 1992.Papel pasado y presente de la pera espinosa india-fig (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller, Cactaceae) en la agricultura de Sicilia.*Botánica Económica*.46, pp 10-22.

Bedolla, B. S., Dueñas, G. C., Esquivel, I. I., Favela, T. T., Guerrero, H. R., Mendoza, E., Navarrete, L. A., Olguín, M. L. E., Ortiz, G. J., Pacheco, P. O., Quiroz, B M., Ramírez, S. A. y Trujillo, C. M. 2003. Introducción a la Tecnología de los Alimentos 2da. Ed. Ed. Limusa, México D. F. pp 43-75.

BIOFACH. 2008. World Organic Trade Fair. 21–24 February, 2008. Nuremberg, Germany.Available from: www.biofach.de/.

Borrego, E. F. y Burgos, V. N. 1986, El nopal. Ed. Universidad Autónoma de México Vol. 1. Pp. 13-24.

Bravo Hollis, H. (1978). Las cactáceas de México. Tomo 1. Ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

Casas, A. and Barbera, G. 2002. Mesoamerican domestication and diffusion. In P. S. Nobel (Ed), *Cacti, Biology and uses*. Berkeley/Los Angeles/y. London: Universit of California press. Pp 143-162

Contreras, L.E., Jaimez, O.J., Castañeda, O.A., Añorve, M.J., Villanueva, R.S. (2011). Sensory profile and chemical composition of *Opuntia joconostle* from Hidalgo, Mexico. *Journal of Storage productos and postharvest Research*, 22,37-39.

Dominguez-López., A. 1991. Use of Fruit and Stems of the Prickly Pear Cactus (*Opuntia ssp.*) into Human Food *Sci. Technol. Int.* 1, pp 65-74 edition, Arlington, I&I: 17-18, 40-62, 69-83, 1012.

Filardo, K.S., Peña, R. M., Sheinvar, L., Cruz M., B. R., Tapia A., J. T. y Estrada, Z.2006. Validación en una mermelada con xoconostle (*Opuntia matudae sheinvar*). *Tecnología Enero Febrero*. 18-29.

Frati, A. C., Jiménez, E., Ariza, C. R. 1990. Hypoglycemic Effect of *Opuntia ficus indica* in nom insulin-dependent diabetes mellitus patients. *Phytother. Res* 4. 195.197.

García-Pedraza L.G., Reyes Agüero, J.A., Aguirre-Rivera, J.R., y Pinos-Rodríguez, J.M. (2005). Preliminary nutritional and organoleptic assessment of Xoconostle fruit (*Opuntia spp.*) as a condiment or appetizer *Food. Italian J. Sci Science*, 3,17, 333-340 p.

González DA, Riojas LME, Arreola NHJ (2001) El género *Opuntia* en Jalisco. Guía de campo. Univ. de Guadalajara y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Guadalajara, México. 135 pp.

Gurrieri, S., Miceli, L. C., Lanza, m., Tomaselli, F., Bonomo, R. P., and Rizzarelli, E., 2000, Chemical Characterization of Sicilian Prickly Pear (*Opuntia ficus indica*) and Prespectives for the Storage of its Juice. *J. Agric Food Chem*. Pp 48, 5424-5431.

Guzmán-Maldonado, H. S., Morales-Montelongo, L. A., Mondragón-Jacobo, C., Herrera-Hernández, F., Guevara-Lara, R., Reynoso-Camacho, R. (2010).

Physicochemical, Nutritional and Functional Characterization of fruits Xoconostle (*Opuntia matudae*) pears from Central-México Region. Journal of Food Science, 75,6,485-492.

Hernández E., V. R. 1990. Algunas *Opuntias* en los remedios medicinales en los pobladores de San Luis Potosí. México. In: 3ra. Reunión Nacional y 1ra Reunión Internacional. El nopal: Su conocimiento y aprovechamiento. López J. J., y M. J. S. Ayala (eds). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buena vista, Saltillo, Coahuila, México. pp: 355-358.

Herwood, D. A. 1990, Human Hralthy discoveries whit *Opuntia sp.* (Princkly ies. In Wold Review pear), Hort. Sci. 25. pp. 1515-1516.

El Kossori, R.L., Villaume, C. El Boustani, E., Sauvaire, Y., Méjean, L. (1998). Composition of pulp. Skin and sedes of prickly pears fruit (*Opuntia ficus-indica* sp.) Plant Foods Hum Nutr, 52,263-270.

Morales, P., Ferreira, I.C.F.R., Carvalho, A. M., Sánchez-Mata, M. C., Cámara, M., Tardío, J. (2012). Fatty acids characterization of twenty Spanish wild vegetables. Food Science andTechnology International

Muños de Chávez, M., Chavez, A., Valles, V., Roldan, J. A. 1995. A plant of Mainfold Qualites. In Wold Review of Nutrition and Dietetics, Simopoulos, A. P., Ed., Karger: Basel, Switzerland. Pp 77, 109-134.

Nobel, P. S. y Bobich, E.G.2002. Environmental Biology. pp. 57-74. In: Nobel, P. S. ed. Cacti,Biology and uses. Ed. University of California Press. Los Angeles, California, EstadosUnidos de América.

Palevich, D., Earon, G. y Levin, I., 1993. Treatment of benign protatic hypertrophy with *Opuntia ficus indica* (L) Miller. J. Herbs Spices Med Plants 2, 45-49 p.

Pimienta-Barrios, E. M. R. Méndez-Morán, L. Ramírez-Hernández, C.B. García de Alba-García, E.J., Domínguez-Arias. (2008). Effect of Xoconostle (*Opuntia joconostle* Web.) fruit consumption on glucose and serie lipids. *Agrociencia*, 42,645–653.

Proteggente AL, Pannala ASD, Paganga G, Uren LV, Wagner E, Wiseman S, De Put FV, Dacombe C, Rice-Evans CA. 2002. The antioxidant activity of regularly consumed fruitand vegetables reflects their phenolic and vitamin C composition. *Free Rad Res* 36:217–33.

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yanga, M., Rice-Evans, CA. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Rad Biol Med*, 26,1231-1237.

Reyes-Agüero, J. A. Aguirre, R. J. R. and Valiente, B. A. 2005. Reproductivie biology of *Opuntia*: a review. *J. Adrid Environ*.

Sáenz, C. y Sepulveda, E. (1993). Alternativas de industrialización de la tuna (*Opuntia ficus-indica*). *Alimentos*, 18,29-32.

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

Scheinvar, 2010.. G. Olalde, S. Filardo y P. Beckler. (2010). Diez especies mexicanas productoras de xoconostles: *Opuntia* spp. y *Cylindropuntia imbricata* (Cactaceae). Universidad Nacional Autónoma de México/Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo/Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco.

Scheinvar, L. 1999. Biosistemas de los Xoconostles Mexicanos y su Potencial Económico. En Memoria del VIII Congreso Nacional y VI Internacional sobre Conocimientos y Aprovechamiento de el Nopal. 6-10 de Septiembre. San Luis Potosí, México. Pp. 255-274.

Scheinvar, L. 2001. Estudio Biosintemático de los Xoconostles Mexicanos y su Potencial Económico. En Memoria del XV Congreso Mexicano de Botánica. 13.21 de Octubre. San Luis Potosí, México. Pp. 255-274.

Scheinvar, L., 2001. Organic Fertilization in sour prickly pear (*Opuntia Joconostle* and *O. matudae*). *Agrociencia*. 35: Pp 609-614.

Singleton, V.L., Orthfer, R., Lamuela-Raventos, R.M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of the Folin-Ciocalteu reagent. *Methods Enzymol*, 299,152-78.

Silos-Espino, H., Fabian-Morales, L., Osuna-Castro, J.A. Valverde, M.E., Guevara-Lara, F., Paredes-López, O. (2003). Chemical and biochemical changes in prickly pears with different ripening behaviour. *Nahrung*, 47,334–338.

Stintzing, F. C., Herbach, K. M., Mosshammer, M. R., Carle, R., Yi, W., Selleppan, S., Akoh, C. C., Bunch, R., and Felker, P. 2005. Color, Betalain Pattern, and Antioxidant Properties of Cactus Pear (*Opuntia ssp.*) Clones. *J. Agric. Food Chem.* Pp 53, 442-451.

Tesoriere, L., Butera, D., Allegra, M., Fazzari, M., and Livrea, M. A. 2005. Distribution of Betalains Pigments in Red Blood Cells After Consumption of Cactus Pear Fruits and Increased Resistance of the Cells to ex Vivo Induced Oxidative Hemolysis in Humans. *J. Agric. Food Chem.*, N. 53. Pp 1266-1270.

Villegas y de Gante, M.1997. Los Nopales (*Opuntia spp.*) recursos y símbolos tradicionales en México..In: Memorias. VII Congreso Nacional y V Internacionalesobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México pp. 271-273.

Zavaleta-Beckler, P., Olivares-Orozco, L.J., Montiel-Salero, D., Chimal-Hernández, A., Scheinvar, L., 2001. Organic Fertilization in sour prickly pear (*Opuntia Joconostle* and *O. matudae*). *Agrociencia*. 35: pp 609-614

