



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA SALUD
MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOMÉDICAS Y DE LA SALUD

“Evaluación del contenido nutrimental, fibra dietética y propiedades antioxidantes de dos variedades de xoconostle (*Opuntia, spp*)”

Tesis para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS BIOMÉDICAS Y DE LA SALUD

Presenta:

L.N. MARIEL GARCÍA HERNÁNDEZ

Directora de Tesis

DOCTORA ESTHER RAMÍREZ MORENO

Codirectora

DOCTORA NELLY DEL SOCORRO CRUZ CANSINO

San Agustín Tlaxiaca Hgo., a 19 de octubre del 2017



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
 Instituto de Ciencias de la Salud
 School of Health Sciences
 Área Académica de Medicina
 Department of Medicine
 Maestría en Ciencias Biomédicas y de la Salud

19/SEPTIEMBRE/2017
 AAM/MCBS/071/2017

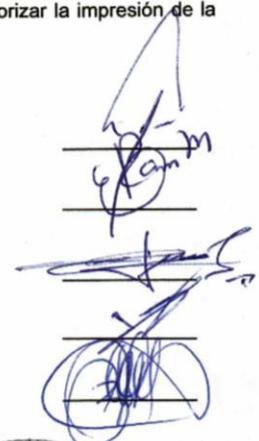
Asunto: Asignación de Jurado de Examen

Mariel García Hernández
 Alumna de la Maestría en Ciencias Biomédicas y de la Salud

Por este conducto le comunico el jurado que le fue asignado a su Tesis titulada "Evaluación del contenido nutrimental, fibra dietética y propiedades antioxidantes de dos variedades comerciales del xoconostle (*Opuntia spp*)" con el cual obtendrá el **Grado de Maestra en Ciencias Biomédicas y de la Salud**; después de revisar la tesis mencionada y haber realizado las correcciones acordadas, han decidido autorizar la impresión de la misma.

A continuación, se anotan las firmas de conformidad de los integrantes del jurado:

- PRESIDENTE DRA. NELLY DEL SOCORRO CRUZ CANSINO
- PRIMER VOCAL DRA. ESTHER RAMÍREZ MORENO
- SECRETARIO DR. ERNESTO ALANÍS GARCÍA
- SUPLENTE DR. JOSÉ ALBERTO ARIZA ORTEGA
- SUPLENTE M.N.H. ZULI CALDERÓN RAMOS



Sin otro asunto en particular, reitero a usted la seguridad de mi atenta consideración.

Atentamente
 "AMOR, ORDEN Y PROGRESO"

M.C. ESP. ADRIÁN MOYA ESCALERA
 DIRECTOR



DRA. LYDIA LÓPEZ PONTIGO
 COORDINADORA DE POSGRADO ICESA

DR. MANUEL SÁNCHEZ GUTIÉRREZ
 COORDINADOR DEL PROGRAMA



Instituto de Ciencias de la Salud
 Exhacienda la Concepción s/n Camino a Tilcuautila.
 San Agustín Tlaxiaca, Hgo. C.P. 42160
 Teléfono: 52 (771) 71 720 00 Ext. 4308
 mtria_bio_sal@uaeh.edu.mx

www.uaeh.edu.mx

Durante el desarrollo de estos estudios, 01 de agosto de 2015 - 31 de julio de 2017, se contó con una beca de manutención mensual otorgada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), número de beca 584753. Además, en el periodo de 01 de octubre a 30 de noviembre de 2016 se realizó una estancia internacional de investigación en el Departamento de Nutrición y Bromatología II de la Facultad de Farmacia de la Universidad Complutense de Madrid (UCM), en Madrid, España, apoyada por una Beca Mixta del CONACyT.

Se extiende el agradecimiento a la UCM y a los profesores Dra. María de Cortés Sánchez Mata, Dra. María Luisa Pérez Rodríguez y Dr. Manuel Córdoba Díaz, por el recibimiento en las instalaciones de la universidad, por la atención prestada y el acceso a los reactivos y equipos necesarios para el cumplimiento de los objetivos establecidos durante la estancia internacional.

Un profundo y grato agradecimiento a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), por permitir la realización de estudios de posgrado en los laboratorios pertenecientes al Instituto de Ciencias de la Salud (ICSa) de esta Máxima Casa de Estudios. Así como a los responsables de dichos laboratorios, en donde se desarrolló el presente proyecto: Laboratorio de Tecnofuncionalidad de Alimentos (Dra. Nelly del Socorro Cruz Cansino) y Laboratorio de Alimentos Funcionales y Nutracéuticos (Dr. Ernesto Alanís García) ya que, sin el espacio, reactivos y apoyo, no se hubiesen logrado los objetivos establecidos.

Dedicatoria y agradecimiento.

En primera instancia, agradezco a Dios por permitirme la vida y las capacidades físicas e intelectuales necesarias para el desenvolvimiento académico y profesional; antes, durante y después de la realización de estos estudios.

Este escrito lo dedico a mis padres: José Luis y Yolanda, así como a mis hermanas: Marianabel y Marlene, quienes han sido fuente de inspiración, motivación, apoyo y sobre todo amor, a lo largo de mi vida y durante cada proyecto realizado. Así mismo, a mi mejor amiga: Janeth, porque siempre he podido contar con ella, en las buenas y en las malas, tanto en mi vida académica como personal.

Agradezco a...

Mi Directora de Tesis: Doctora Esther Ramírez Moreno, por su dedicación, atención y sobre todo paciencia, para el desarrollo de este trabajo. De igual manera, mi más sincera admiración para ella, por sus extensos conocimientos académicos; así como su excelente compartición de los mismos.

Mi comité tutorial: Doctora Nelly, Doctor Alanís, Doctor José Ariza y Maestra Zuli, por su valioso tiempo invertido para el asesoramiento y revisión de la presente tesis de maestría.

Mi compañero de aventuras académicas y profesionales; por su amistad sincera, apoyo incondicional, comprensión y empuje constante para salir adelante siempre juntos: Salvador Manzur Valdespino. Así como por los incontables momentos de risas y diversión, incluyendo las nuevas experiencias en el extranjero

Mis compañeros y amigos de laboratorio que estuvieron presentes, apoyando desde lo más sencillo hasta lo más complejo, permitiendo así el avance óptimo del trabajo: Quina, Adrián, Liz, Ali, Chely, Tania, etc.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE TABLAS.....	9
ABREVIATURAS	10
RESUMEN	12
ABSTRACT	13
I. INTRODUCCIÓN	14
II. ANTECEDENTES	15
2.1 Generalidades.....	15
2.1.1 Situación actual de salud en México	15
2.1.2 Composición nutrimental y antioxidante de alimentos de origen vegetal	18
2.2 Antecedentes del problema.....	23
2.2.1 Xoconostle (<i>Opuntia spp</i>)	23
2.3 Marco teórico.....	27
III. JUSTIFICACIÓN.....	28
IV. HIPÓTESIS	29
V. OBJETIVOS.....	29
5.1 Objetivo general.....	29
5.2 Objetivos específicos.....	29
VI. MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
6.1 Obtención de muestras.....	31
6.1.1 Color.....	32
6.2 Composición nutrimental	32
6.2.1 Composición química proximal	32

6.2.3	Ácidos orgánicos	35
6.3	Fibra dietética total	37
6.3.1	Fibra soluble e insoluble	37
6.3.2	Propiedades fisicoquímicas de la fibra.....	38
6.4	Propiedades antioxidantes.....	40
6.4.1	Compuestos fenólicos totales	40
6.4.2	Actividad antioxidante ABTS ^{•+}	41
6.4.3	Actividad antioxidante DPPH [•]	41
6.5	Análisis estadístico	42
VII.	RESULTADOS	43
7.1	Obtención de muestras.....	43
7.1.1	Color.....	44
7.2	Composición nutrimental.....	45
7.2.1	Composición química proximal	45
7.2.2	Ácidos orgánicos	46
7.3	Fibra dietética total	46
7.3.1	Fibra dietética soluble e insoluble.....	46
7.3.2	Propiedades fisicoquímicas de la fibra.....	47
7.4	Propiedades antioxidantes.....	48
VIII.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	50
8.1	Obtención de muestras.....	50
8.1.1	Color.....	51
8.2	Composición nutrimental.....	51
8.2.1	Composición química proximal	51
8.2.3	Ácidos orgánicos	51

8.3 Fibra dietética total	53
8.3.1 Propiedades fisicoquímicas de la fibra.....	53
8.4 Propiedades antioxidantes.....	56
8.4.1 Compuestos fenólicos totales	56
8.4.2 Actividad antioxidante por ABTS ^{•+} y DPPH [•]	56
IX. CONCLUSIONES.....	57
X. RECOMENDACIONES	58
XI. BIBLIOGRAFÍA.....	59
XII. ANEXOS.....	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fruto xoconostle (<i>Opuntia spp</i>)	23
Figura 2. Diseño metodológico	30
Figura 3. Variedades estudiadas del fruto xoconostle	31
Figura 4. Cultivares de estudio del fruto xoconostle	43
Figura 5. Material orgánico homogenizado final	44
Figura 6. Esquema de parámetros de color por L*, a*, b*, ° h y croma de dos variedades de xoconostle	45
Figura 7. Propiedades fisicoquímicas de la fibra dietética de dos variedades de xoconostle	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades funcionales de la fibra dietética por su solubilidad.....	20
Tabla 2. Composición nutrimental, mineral y antioxidante del xoconostle (g/100 g bf)	25
Tabla 3. Mediciones realizadas a los frutos de dos variedades de xoconostle ^A	43
Tabla 4. Parámetros de color de dos variedades de xoconostle.....	44
Tabla 5. Composición química proximal de dos variedades de xoconostle (g/100 g bf)....	45
Tabla 6. Ácidos orgánicos de dos variedades de xoconostle (mg/100 g bf).....	46
Tabla 7. Vitamina C total de dos variedades de xoconostle (mg/100 g bf).....	46
Tabla 8. Fibra dietética total de dos variedades de xoconostle (g/100 g bf)	47
Tabla 9. Capacidad de retención de glucosa de dos variedades de xoconostle (μmol/L) ...	48
Tabla 10. Compuestos antioxidantes y actividad antioxidante de dos variedades de xoconostle.....	49

ABREVIATURAS

AA: ácido ascórbico

AACCI: Asociación Americana de Químicos de Cereales Internacional (American Association of Cereal Chemists International)

ABTS^{•+}: ácido 2,2'-azino-bis-(3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico) [2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid)]

ADHA: ácido dehidroascórbico

AGCC: ácidos grasos de cadena corta

AOAC: Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (Association of Official Analytical Chemists)

bf: base fresca

bs: base seca

CH: capacidad de hinchamiento

CoMeNTuna: Comisión Mexicana del Nopal y la Tuna

CRA: capacidad de retención de agua

CRG: capacidad de retención de glucosa

CRL: capacidad de retención de lípidos

cv: cultivar

DPPH[•]: 2,2-Difenil-1-picrilhidrazil (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl)

EAA: equivalentes de ácido ascórbico

EAG: equivalentes de ácido gálico

ENSANUT MC, 2016: Encuesta Nacional de Salud y Nutrición de Medio Camino, 2016

ENT: enfermedades no transmisibles

ET: equivalente de trolox

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (Food and Agriculture Organization of the United Nations)

FDT: fibra dietética total

HPLC: cromatografía líquida de alta resolución (High Performance Liquid Chromatography)

IMC: índice de masa corporal

OMS: Organización Mundial de la salud

rpm: revoluciones por minuto

r : correlación

R^2 : porcentaje de variación de la variable de respuesta que explica su relación con una o más variables predictoras

RESUMEN

México se encuentra en una transición epidemiológica y nutricional que genera un incremento en la tasa de morbilidad y mortalidad nacional. Una dieta variada e incluyente de alimentos autóctonos, como el xoconostle, caracterizado por un contenido de compuestos bioactivos, coadyuva a la prevención de enfermedades. Sin embargo, su consumo *per cápita* es bajo y únicamente se aprovecha ≈ 60 % del fruto como porción comestible.

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la composición nutrimental, las propiedades fisicoquímicas relacionadas con la fibra dietética y las propiedades antioxidantes del fruto completo de dos variedades comerciales de xoconostle (*Opuntia joconostle* F.A.C. Weber in Diguet cultivar Cuaresmeño y *Opuntia matudae* Scheinvar cultivar Rosa).

Estos frutos presentaron coloraciones atractivas (entre rosa-rojizo y amarillo naranja) y acidez debido a la presencia de ácido cítrico y málico. Ambos frutos presentaron un contenido alto de humedad (86-90 %) y carbohidratos totales (6-11 %), mientras que las grasas, proteínas y cenizas, constituyeron menos del 2.7 %. El contenido de fibra dietética total fue alto (3-4 g/100 g bf) en una proporción 3:1 para fibra insoluble y soluble, con propiedades fisicoquímicas (hinchamiento, retención de: agua, lípidos y glucosa) que implican importancia fisiológica. El contenido de compuestos fenólicos y ácido ascórbico fue alto y se correlacionó positivamente ($r=0.99$, $p < 0.01$) con la actividad antioxidante (ABTS^{•+} y DPPH[•]).

Por lo tanto, por sus características nutricionales, así como su alto contenido de fibra y actividad antioxidante elevada, debe fomentarse el consumo del xoconostle como fruto completo, sin eliminar sus residuos, o proponer alternativas para utilizarlo como aditivo y/o nutracéutico que coadyuve a la prevención y tratamiento de enfermedades.

Palabras clave: xoconostle, contenido nutrimental, fibra dietética total, propiedades fisicoquímicas, propiedades antioxidantes.

ABSTRACT

Mexico is in an epidemiological and nutritional transition that generates an increase in the national morbidity and mortality rate. A varied and inclusive diet of indigenous foods, such as xoconostle, characterized by a content of bioactive compounds, contributes to disease prevention. However, their *per capita* consumption is low and only ≈ 60 % of the fruit is used as an edible portion.

The objective of the present study was to evaluate the nutritional composition, dietary fiber-related physicochemical properties and antioxidant properties of the whole fruit of two commercial xoconostle varieties (*Opuntia joconostle* F.A.C. Weber in Diguet cultivar Cuaresmeño and *Opuntia matudae* Scheinvar cultivar Rosa).

These fruits presented attractive colorations (between reddish-pink and orange-yellow) and acidity due to the presence of citric and malic acid. Both fruits had a high moisture content (86-90 %) and total carbohydrates (6-11 %), while fats, proteins and ashes constituted less than 2.7 %. The total dietary fiber content was high (3-4 g/100 g bf) in a 3: 1 ratio for insoluble and soluble fiber, with physicochemical properties (swelling, retention of: water, lipids and glucose) implying physiological importance. The content of phenolic compounds and ascorbic acid was high and correlated positively ($r=0.99$, $p < 0.01$) with antioxidant activity (ABTS^{•+} and DPPH[•]).

Therefore, due to its nutritional characteristics, as well as its high fiber content and high antioxidant activity, the consumption of xoconostle must be promoted as a complete fruit, without eliminating its residues, or to propose alternatives to use as an additive and/or nutraceutical that contributes to prevention and treatment of diseases.

Key words: xoconostle, nutritional content, total dietary fiber, physicochemical properties, antioxidant properties.

I. INTRODUCCIÓN

La Organización Mundial de la Salud en el 2014, reporta que 38 millones de personas mueren cada año a causa de enfermedades no transmisibles (ENT). En México, las ENT como diabetes mellitus, hipertensión arterial e hipercolesterolemia, además del sobrepeso y la obesidad, son enfermedades que, por su magnitud, frecuencia, ritmo de crecimiento y las presiones que ejercen sobre el Sistema Nacional de Salud, representan una emergencia sanitaria, además de que afectan de manera importante la productividad de las empresas, el desempeño escolar y el desarrollo económico del país.

Una dieta correcta e incluyente alimentos naturales con compuestos bioactivos, como la fibra dietética y los antioxidantes, genera efectos fisiológicos beneficiosos para la salud y coadyuva en el tratamiento y prevención de ENT, disminuyendo de este modo las tasas de morbilidad y mortalidad nacional de dichas enfermedades.

Sin embargo, debido a la transición epidemiológica, demográfica, nutricional y a los procesos de globalización, alimentos naturales de México con cantidades importantes en fibra dietética y compuestos antioxidantes, están siendo desplazados por productos procesados.

El xoconostle, alimento autóctono de México, es un fruto producido principalmente en zonas áridas y semiáridas del país que se caracteriza por sus propiedades hipocolesterolémicas, hipoglucémicas e hipolipemiantes. En diversos estudios, ha sido evaluado por partes: cáscara, semillas y pulpa, encontrando un alto contenido de compuestos bioactivos, en sus tres diferentes fracciones. Sin embargo, el consumo del xoconostle (0.62 g de materia fresca de porción comestible por persona al día) es bajo, y únicamente se considera como porción comestible a la pulpa, la cual representa entre el 58 y 64 % del fruto, el resto (piel y semillas) es desechado.

II. ANTECEDENTES

2.1 Generalidades

2.1.1 Situación actual de salud en México

México se encuentra en un proceso de transición epidemiológica, la cual se define por cambios de los factores económicos y sociales, así como de estilos de vida que afectan a la población. Además el incremento de la inactividad física, la alimentación inadecuada, el consumo de drogas, etcétera (1).

De este modo, se han podido detectar tanto enfermedades de naturaleza infecto-contagiosa como ENT. Las ENT son aquellas que no se transmiten de persona a persona, son de larga duración y generalmente su evolución es lenta (1). A nivel mundial, los cuatro principales tipos de ENT son las enfermedades cardiovasculares (que se consideran como una de las principales causas de muerte y discapacidad: 17.3 millones de muertes cada año), el cáncer (8.2 millones de muertes al año), las enfermedades respiratorias crónicas (4 millones de muertes al año) y la diabetes (1.5 millones de muertes al año). De acuerdo al Informe de la Situación Mundial de las Enfermedades No Transmisibles de la Organización Mundial de la Salud (OMS), en 2014, 38 millones de personas mueren cada año a causa de estas enfermedades y generalmente son asociadas con grupos de edad avanzada, sin embargo, la evidencia demuestra que 16 millones de las muertes se producen en personas menores de 70 años de edad y se consideran como muertes prematuras, lo cual resulta preocupante para el sector salud y la población en general (2).

En México, de acuerdo a la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición de Medio Camino (ENSANUT MC, 2016), los niveles de sobrepeso y obesidad en la población mexicana representan una amenaza a la sustentabilidad del sistema de salud, por su asociación con las ENT y por el uso de recursos especializados, de mayor tecnología que imponen a los servicios de salud altos costos para su atención. Según esta encuesta, la prevalencia actual correspondiente para sobrepeso y obesidad (en combinación) para escolares, adolescentes y adultos es de 33.2, 36.3 y 72.5 %, respectivamente. Mientras que

las ENT (diabetes mellitus, hipertensión arterial e hipercolesterolemia) afectan entre el 9.4 y 25.5 % de la población nacional (3).

Teniendo en cuenta las diferentes enfermedades que aquejan a la población y la variabilidad de pacientes que pueden experimentarlas, existen preguntas con respecto a la eficacia y seguridad de los tratamientos disponibles, siendo tres los propuestos de acuerdo a la gravedad de la enfermedad (4).

a) *Quirúrgico*. En enfermedades con complicaciones graves, en estadios avanzados o cuando el tratamiento nutricional y farmacológico han fallado o no han tenido los resultados esperados, la opción a elegir es el tratamiento quirúrgico (5).

Por ejemplo, en casos de personas con obesidad mórbida ($IMC \geq 40 \text{ kg/m}^2$) o con un $IMC \geq 35 \text{ kg/m}^2$ con comorbilidades asociadas como la diabetes mellitus y la hipertensión, se sugiere la realización de una cirugía bariátrica la cual facilita la disminución de peso corporal y por tanto reduce los factores de riesgo de presentar otras enfermedades. Otro ejemplo, en personas con diabetes, se recurre a la amputación de extremidades inferiores cuando se presentan complicaciones como el pie diabético que engloba un conjunto de síndromes en los que la presencia de neuropatía, isquemia e infección producen lesiones tisulares o úlceras. En México, 5.5 % de quienes padecen diabetes han sido sometidos a algún tipo de amputación (3,6–8).

b) *Farmacológico*. El tratamiento farmacológico es aquel donde se indica el consumo de cualquier sustancia, diferente de los alimentos y se emplea como coadyuvante para el tratamiento de enfermedades. Sin embargo, actualmente el 50 % de los pacientes ingieren los fármacos de forma incorrecta, haciendo un uso irracional de los mismos: uso de demasiadas medicinas por paciente (polifarmacia); uso inadecuado de medicamentos antimicrobianos, a menudo en dosis incorrectas; uso excesivo de inyecciones en situaciones en las que serían más adecuadas las formulaciones orales; prescripciones no acorde con las directrices clínicas; y automedicación inadecuada, a menudo con medicinas que requieren receta médica (9,10).

La ENSANUT MC, 2016 reporta que el 67.9 % de los adultos con diabetes en México llevan un tratamiento exclusivo con fármacos, mientras que el 11.1 % lo hacen exclusivo de insulina, el 8.8 % en combinación de ambos y el 2.2 % no recibe ningún tipo de tratamiento (3).

- c) *Nutricio*. Si bien es cierto, hoy en día, la cirugía y la farmacoterapia facilitan el tratamiento de diversas enfermedades, sin embargo, esto conlleva un aumento de costos en tratamientos nacionales anualmente. En México, durante el periodo del año 2000 a 2008 se presentó un incremento de 26, 283 a 42, 246 millones de pesos, es decir, del 61 % en ocho años, y se estimó que para el 2017 sería un gasto total de aproximadamente 77, 919 millones de pesos. Por lo tanto, resulta importante tomar medidas, principalmente preventivas, que disminuyan los altos costos generados por dichos tratamientos. Una dieta correcta, en cambio, coadyuva a la disminución de complicaciones y permite el mantenimiento de un estado óptimo de salud del paciente, además que es de menor costo en comparación con otros tratamientos e incluso es considerado preventivo (11,12).

Para una dieta correcta, en México se cuenta con una amplia variedad de alimentos naturales y por tanto una gran cultura alimentaria. Estos recursos conforman capitales que deberían considerarse patrimonios nacionales para asegurar la sustentabilidad de las generaciones futuras. Desafortunadamente, la dieta actual se caracteriza por un alto contenido de energía, grasa total, grasa saturada y azúcares simples. Este tipo de dieta conocida como occidental, se ha ido adoptado a través de los años, como consecuencia de la transición alimentaria, la cual se refiere a los cambios que ocurren al aumentar los ingresos de una familia, comunidad y/o población, así como los cambios socioculturales, económicos y de comportamiento individual como la disminución de la actividad física. En consecuencia dichos alimentos naturales, principalmente alimentos de origen vegetal han sido desplazados por nuevos productos, generalmente procesados y provenientes de países extranjeros (13–15).

2.1.2 Composición nutrimental y antioxidante de alimentos de origen vegetal

2.1.2.1 Composición nutrimental

El valor nutritivo de los alimentos es un atributo de los mismos que definen y condicionan los distintos modelos de consumo de pueblos e individuos. Para determinar dicho valor, es necesario discutir diversos conceptos teóricos de los cuales cabe mencionar la composición química y su variabilidad, los factores que pueden modificarla y la diferente utilización de los nutrientes que pueden producirse en el organismo (16).

La composición química, supone el punto de partida en la fijación del valor nutritivo de los alimentos y una aproximación conduce al establecimiento de la denominada composición centesimal que engloba al porcentaje de agua o humedad, proteínas, lípidos, cenizas e carbohidratos (16,17). Todos los alimentos contienen agua en mayor o menor proporción. En frutas y verduras, las cifras de contenido de humedad varían entre un 75 y 96 %; este porcentaje, así como la forma molecular y su localización, son factores que afectan de modo significativo características específicas como apariencia, textura, color, etc. En general, las frutas y verduras presentan un bajo contenido en proteínas (≈ 0.1 y 2 %), lípidos (< 1 %) y cenizas (< 1 %), y alto en carbohidratos (entre 1 y 8 %). El contenido de cada elemento depende directamente del tipo de fruta o verdura y su grado de madurez (17,18).

Los ácidos orgánicos están ampliamente distribuidos en los alimentos y desempeñan un papel importante en las propiedades organolépticas (sabor, color y aroma), así como en la estabilidad y control microbiológico de productos alimenticios. En frutas, la presencia de ácidos orgánicos dependerá principalmente del estado de madurez, así como del tipo y el origen geográfico de la mismas, siendo el ácido málico y cítrico, los ácidos más comunes y los cuales les proporcionan el sabor ácido característico a determinados frutos como los cítricos (19).

Dentro del grupo de los ácidos orgánicos, se encuentra el ácido ascórbico (AA) el cual junto con el ácido dehidroascórbico (ADHA) son las formas activas de la vitamina C. La vitamina C, se encuentra presente en diversos alimentos de origen vegetal,

principalmente en frutas y se le atribuyen efectos en el organismo como la protección del cerebro y del sistema nervioso, participa en los procesos de cicatrización, ayuda a la absorción del hierro y en la formación del colágeno, entre otros. Además, esta vitamina presenta propiedades antioxidantes las cuales se relacionan con la disminución y prevención de cardiopatías (20).

2.1.2.3 Fibra dietética

Los carbohidratos, en la forma más simple pueden estudiados en dos grupos básicos de acuerdo a su digestibilidad en el tracto. El primer grupo (almidón, azúcares simples y fructanos) se hidroliza fácilmente por reacciones enzimáticas, se absorbe en el intestino delgado y se puede identificar como carbohidratos no estructurales, polisacáridos no fibrosos o carbohidratos simples. El segundo grupo (celulosa, hemicelulosa, lignina, pectina y beta-glucanos) puede ser referido como carbohidratos estructurales, polisacáridos fibrosos o carbohidratos complejos, debido a que son compuestos que se caracterizan por ser resistentes a la digestión en el intestino delgado, y requiere fermentación bacteriana localizada en el intestino grueso. Esta separación o clasificación de los carbohidratos, proporciona la base para empezar a definir y comprender a la fibra dietética (21).

En la actualidad, se reconoce que la fibra dietética abarca una gama mucho más amplia de sustancias de las que se reconocía anteriormente y que tienen un mayor significado fisiológico. La Asociación Americana de Químicos de Cereales Internacional (AACCI, por sus siglas en inglés: American Association of Cereal Chemists International) define fibra dietética como “la parte comestible de las plantas o los carbohidratos análogos que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado humano con la fermentación completa o parcial en el intestino grueso. La fibra dietética incluye polisacáridos, oligosacáridos, lignina y sustancias vegetales asociadas. Las fibras dietéticas promueven efectos fisiológicos beneficiosos incluyendo efecto laxante y disminución de colesterol y/o glucosa en sangre”. Esta definición describe de manera general los componentes de la fibra dietética, así como parte de sus propiedades fisiológicas y los beneficios que aporta a la salud (22,23).

La fibra dietética puede ser clasificada de diversas maneras: de acuerdo a la fuente de obtención (polisacáridos de origen vegetal, polisacáridos de origen animal y polisacáridos derivados sintéticos), el tipo de estructura (estructura molecular lineal y no lineal) y en cuanto a su solubilidad en agua, que es la más común y comprende dos categorías: fibra dietética soluble y fibra dietética insoluble (24).

La fibra soluble, como su nombre lo dice, se disuelve fácilmente en el agua formando geles viscosos, los cuales no son digeridos en el intestino delgado y son fermentados por la microbiota del intestino grueso. Las fibras insolubles, por el contrario, no son solubles en agua, difícilmente forman geles y la fermentación se ve limitada (21,25). Como puede observarse en la Tabla 1, la naturaleza soluble e insoluble de fibras dietéticas implica diferencias en su funcionalidad tecnológica y en los efectos fisiológicos (26).

Tabla 1. Propiedades funcionales de la fibra dietética por su solubilidad

	Fibra soluble	Fibra insoluble	Efecto fibra total
Estómago	Disminución del vaciamiento gástrico Aumento de distensión gástrica		Sensación de saciedad
Intestino delgado	Disminución en tiempo tránsito Formación de soluciones viscosas (geles)	Efecto esponja	Disminución de absorción de nutrientes (glucosa, lípidos) y de reabsorción de ácidos biliares
Colon proximal	Aumento de fermentación bacteriana Formación de: Ácidos grasos de cadena corta (AGCC) y gases	Absorción cancerígenos Aumento de la fermentación bacteriana Formación de AGCC Disminución en tiempo de tránsito	Efecto prebiótico Aumento en la absorción H ₂ O y Na ⁺ Disminución de pH luz intestinal Aumento de volumen en contenidos intestinales (efecto laxante)

Fuente de: Escudero et al. (26).

La interacción que se lleva a cabo entre las fibras y el agua ha sido ampliamente estudiada como la capacidad de hidratación (las más conocidas: capacidad de retención de agua e hinchamiento), solubilidad, viscosidad, formación de geles y la capacidad de unir moléculas orgánicas (retención de lípidos y glucosa) o minerales. Esta capacidad de hidratación de la fibra se relaciona con los efectos fisiológicos de la misma (27,28).

La capacidad de las fibras solubles de retención de agua es mayor a la de las fibras insolubles. La fibra soluble, se hidrata e hincha en el estómago incrementando la viscosidad del bolo alimenticio y por tanto la distensión gástrica, lo que genera una sensación de saciedad; además, dicha viscosidad hace que sea más difícil la absorción de nutrientes (glucosa, lípidos y/o minerales, etc.) en la mucosa intestinal y constituye un sustrato altamente fermentable para la microbiota colónica. Mientras que la fibra insoluble se caracteriza por su alta capacidad de retención de agua en el colon distal favoreciendo el aumento de volumen del contenido colónico, lo que provoca un incremento en el peristaltismo, facilitando así la función evacuatoria, manifestando un efecto laxante (25,27,29,30).

La ingesta de fibra y lípidos en la dieta tiende a ser inversamente proporcional. Junto con las propiedades de hidratación, las fibras solubles poseen la capacidad de retener lípidos, colesterol reducido, disminuir la absorción de ácido biliar, aumentar la síntesis de ácidos biliares y la síntesis de colesterol alterado, debido a la formación de las soluciones viscosas en el intestino delgado y por el aumento en el espesor de la capa de agua que han de traspasar los solutos para alcanzar la membrana del enterocito (11,25,26).

La fibra dietética llega al intestino grueso de forma inalterada y aquí las bacterias del colon, con sus numerosas enzimas de gran actividad metabólica pueden digerirla en mayor o menor medida dependiendo de su estructura. Este proceso de digestión se produce en condiciones anaerobias, por lo que se denomina fermentación (26).

En cuanto a la fermentabilidad, es probable que sea la propiedad funcional más importante de un gran número de fibras, ya que de ella derivan multitud de efectos tanto locales como sistémicos. En el colon, las fibras fermentables mantienen y aumentan la flora bacteriana, así como de las células epiteliales y algunas actúan como prebióticos para promover bacterias beneficiosas para la salud como lactobacilos y las bifidobacterias (26,31,32).

Como resultado de esta fermentación bacteriana, se produce hidrógeno, dióxido de carbono, gas metano (que son los responsables de cierto grado de flatulencia), y ácidos grasos de cadena corta (AGCC), acético, propiónico y butírico, en una proporción molar casi constante 60:25:20 y representan el sustrato energético fundamental del colonocito (29,32).

Como consecuencia de todo ello, el paso de la fibra a lo largo del aparato digestivo puede tener diversos efectos: sensación de saciedad, lo que provoca una menor ingesta de alimentos; regulación intestinal; disminución del tiempo de tránsito intestinal de los alimentos; control del estreñimiento y aumento de la excreción; retraso de la absorción de glucosa y por tanto, menor índice glicémico; disminución del colesterol; menor contenido calórico en la dieta; mantenimiento y desarrollo de la microbiota intestinal; mayor excreción de lípidos y proteínas; y constituir un factor preventivo de cáncer intestinal (30).

2.1.2.2 Propiedades antioxidantes

Además de las propiedades antes mencionadas de la fibra, los alimentos de origen vegetal, principalmente las frutas, presentan diversos metabolitos secundarios, con propiedades antioxidantes, como el ácido ascórbico (AA) y los compuestos fenólicos, los cuales tienen una gran capacidad para captar radicales libres causantes del estrés oxidativo, atribuyéndoles a su vez un efecto beneficioso en la salud para la prevención de enfermedades cardiovasculares, circulatorias, cancerígenas y neurológicas. Los seres humanos son incapaces de sintetizar el AA y dependen de fuentes dietéticas para satisfacer las necesidades. Los fenoles se relacionan con la calidad sensorial de frutas, tanto frescas como procesadas, les atribuyen pigmentaciones rosas, rojas o azules (antocianinas) y

amarillas o marfiles (flavonas), así mismo el sabor amargo de ciertas frutas como los cítricos (flavononas) (33,34).

Debido a su facilidad, velocidad y sensibilidad, los métodos más ampliamente utilizados para la evaluación de la actividad antioxidante de dichos compuestos son el de ABTS^{•+} [ácido 2,2'-azino-bis-(3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico)] y DPPH[•] (2,2-Difenil-1-picrilhidrazil) (35)..

2.2 Antecedentes del problema

2.2.1 Xoconostle (*Opuntia spp*)

El xoconostle (Figura 1), fruto proveniente del nopal perteneciente a la familia *Cactaceae*, el cual ha sido un importante factor de sustento económico del campesino mexicano, quien lo utiliza en su alimentación y medicina alternativa (36,37).



Figura 1. Fruto xoconostle (*Opuntia spp*)

Su nombre común es derivado de las palabras Nahuatl: *xoco* (ácido) y *nochtli* (tuna), por lo que también se conoce como “tuna ácida”, sin embargo, el xoconostle puede ser caracterizado por un menor tamaño en comparación con la tuna tradicional o tuna dulce (36–38).

De las especies de xoconostle producidas en México, diez han sido descritas y nueve de ellas pertenecen al género *Opuntia* (*Opuntia heliabravoana* Scheinvar, *Opuntia*

elizondoana E. Sánchez y Villaseñor, *Opuntia joconostle* F.A.C. Weber, *Opuntia matudae* Scheinvar, *Opuntia spinulifera* SalmDyck, *Opuntia leucotricha* DC, *Opuntia zamudioi* Scheinvar, *Opuntia durangensis* Britton y Rose, *Opuntia oligacantha* C.F. Förster). Siendo *Opuntia joconostle* cv cuaresmeño la especie más explotada y comercializada, con una producción de 10 mil toneladas al año (encontrándose durante todo el año); seguida de *Opuntia matudae* cv rosa, de la cual su producción es estacional (39,40).

Este fruto, puede permanecer en la planta durante varios meses sin deteriorarse, e incluso puede mantenerse durante varias semanas en un ambiente seco y fresco sin perder sabor, color y/o humedad. Es cultivado principalmente en la zona centro de México, zona árida y semiárida, principalmente en Puebla, Estado de México, Hidalgo y Guanajuato (39).

El xoconostle es una baya, cilíndrica, piriforme o esférica, tiene un peso aproximado de 60 g, un diámetro que oscila entre los 4 y 5 cm, y presenta una depresión o receptáculo apical, llamado ombligo. Está compuesto por el epicarpio (cáscara, 22 a 24 %), el mesocarpio (pulpa, 58 a 64 %) y el endocarpio (donde las semillas se encuentran de manera estrecha empaquetadas por una estructura mucilaginosa, 13 a 18 %) (40–42).

El mesocarpio o pulpa, que es considerada como la parte comestible del xoconostle, se caracteriza por una coloración entre rosa-rojizo o amarillo-anaranjado, tiene un sabor ácido y generalmente se utiliza como condimento en la cocina mexicana, así como en la elaboración de dulces, jaleas y bebidas. Durante la preparación de dichos productos se retira la cáscara y se extraen las semillas para ser desechadas (39,41). Gallegos-Vázquez et al. (43) apoyan que a lo largo de los siglos la selección informal de este fruto por los agricultores se ha centrado en el sabor ácido de la pulpa.

En diversos estudios se ha analizado al xoconostle por fracción, es decir, cáscara, pulpa y semillas por separado, y se ha descubierto una gran cantidad de compuestos nutricionalmente activos, los cuales le aportan un valor nutritivo alto y han sido relacionados con sus beneficios para la salud, como hipoglucémico; hipolipemiante;

hipocolesterolémico; antiinflamatorio; antidiurético; antiulcerogénico y la actividad inmunoestimulante; así como en la prevención de algunos tipos de cáncer (36,39,41).

Tabla 2. Composición nutricional, mineral y antioxidante del xoconostle (g/100 g bf)

	Epicarpio	Mesocarpio	Endocarpio
Contenido energético (Kcal)		29.48 – 34.76	
Humedad (%)		87.7 – 94.11	
pH		2.8 – 3.2	
Proteína	2.38 – 3	1.63 – 1.78	6.84 – 8.16
Grasa	4.51 – 4.78	5.05 – 5.28	7.15 – 8.10
Fibra	Total	8.51 – 10.64	0.95 – 1.31
	Soluble	1.60 – 3.03	0.30 – 0.72
	Insoluble	6.91 – 7.60	0.60 – 0.72
Carbohidratos		5.81 – 7.98	
Ceniza	13.57 – 14.04	8.27 – 9.41	1.70 – 1.90
Minerales (mg)			
Fe	6.2 – 9.6	1.3 – 1.6	1.6 – 1.9
Zn	1.0 – 1.7	0.5 – 0.8	1.4 – 2.4
Ca	2690 - 3200	1410 - 1960	480 - 490
K	3000 – 3290	2200 - 2510	200 - 220
Mg	820 – 920	510 – 690	140 - 190
Antioxidantes (mg)			
Fenoles solubles	840 – 863	919 – 986	128 – 168
Ácido ascórbico	81 – 95.9	200.3 – 229.2	7.6 – 10.2
Betalainas			
β cianinas	0.59 – 1.11	1.24 – 1.30	0.49 – 5.21
β xantinas	3.93 – 7.15	2.00 – 2.34	2.23 – 3.05

Fuente modificada de: Guzmán-Maldonado et al. (40), Contreras et al. (37), Morales et al. (39,41,44).

Como puede observarse en la Tabla 2, la parte comestible del xoconostle (mesocarpio) presenta un contenido de humedad alto, una cantidad apreciable de fibra insoluble y compuestos antioxidantes tales como ácido ascórbico, fenoles y betalaínas. Las semillas (endocarpio) presentan un mayor contenido en grasa y proteínas, mientras que la cáscara (epicarpio) es una excelente fuente de fibra, minerales, fenoles y betalaínas (37,39–41).

La fibra dietética y los compuestos antioxidantes, se usan ampliamente como ingredientes funcionales en los alimentos procesados. El mercado en este campo es competitivo y el desarrollo de nuevos tipos de ingredientes de calidad es un reto para la industria alimentaria para otorgar beneficios a la salud (45).

Por lo tanto, por sus propiedades nutricionales, en sus tres fracciones, el xoconostle podría ser un alimento atractivo para la industria farmacéutica para emplearlo como nutracéutico o para la industria de los alimentos como aditivo. Morales et al. (39,41) establecen que este fruto debe considerarse de gran interés como fuente de compuestos bioactivos para su incorporación en otros alimentos, de manera que todos los compuestos presentes se utilicen completamente, en lugar de ser desechados.

2.3 Marco teórico

México cuenta con una amplia variedad de alimentos naturales y por tanto una gran cultura alimentaria. Estos recursos conforman capitales que deberían considerarse patrimonios nacionales para asegurar la sustentabilidad de las generaciones futuras. Sin embargo, dichos alimentos han sido cambiados por el consumo de nuevos productos procesados provenientes de otros países.

Dentro de los alimentos étnicos de México, que han sido cambiados, se encuentra el xoconostle, fruto proveniente del nopal, producido en las zonas áridas y semiáridas del país. Este fruto ha sido evaluado (incluyendo las partes no comestibles) y considerado un producto con alto valor nutricional por su contenido en fibra dietética y antioxidantes. La presencia de estos compuestos está relacionada con beneficios para la salud, por su carácter de hipoglucémico, hipolipemiante, hipocolesterolémico, antiinflamatorio, antidiurético, antiulcerogénico, así como en la prevención de algunos tipos de cáncer.

El mesocarpio o pulpa, que representa del 58 al 64 % del fruto, es considerada como la parte comestible del xoconostle y se utiliza como condimento en la cocina mexicana, así como en la elaboración de dulces, jaleas y bebidas. Durante la preparación de dichos productos se retira la cáscara y se extraen las semillas para ser desechadas.

Por sus propiedades nutricionales, el xoconostle podría ser un objetivo atractivo para la industria alimentaria y/o debería considerarse de gran interés como fuente de compuestos bioactivos para su incorporación en otros productos alimenticios, de manera que todos los compuestos presentes se utilicen en lugar de ser desaprovechados.

III. JUSTIFICACIÓN

De acuerdo a la OMS, las ENT representan una de las principales causas de muerte a nivel mundial, cobrando millones de vidas cada año. En México, el sobrepeso y la obesidad, en conjunto, tienen una prevalencia alta (72.5 %) a nivel nacional y aunado a ello se pueden derivar ENT tales como diabetes mellitus, hipertensión arterial y/o hipercolesterolemia.

Una dieta variada e incluyente de alimentos autóctonos (como el xoconostle) con compuestos bioactivos, como la fibra dietética y los antioxidantes, está relacionada con efectos fisiológicos beneficiosos para la salud que coadyuvan al tratamiento y prevención de ENT.

En diversos estudios el xoconostle ha sido considerado como un producto con cualidades hipocolesterolémicas, hipoglucémicas e hipolipemiantes. Sin embargo, su consumo es poco convencional debido a su desplazamiento por nuevos productos, así como por su sabor ácido y el bajo conocimiento por parte de la población sobre sus propiedades nutricionales, además, únicamente se considera a la pulpa como porción comestible, desaprovechando la cáscara y las semillas.

Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue la evaluación del fruto completo (pulpa, cáscara y semillas) de las dos variedades de xoconostle de mayor producción en el país, considerándolas como fuente de fibra dietética y compuestos antioxidantes, relacionándolos con propiedades fisiológicas saludables, de tal forma que estos efectos beneficiosos puedan ser aprovechados en su totalidad y dichos cultivares puedan ser considerados para su uso como nutracéutico y/o aditivo en la industria alimentaria o farmacéutica.

IV. HIPÓTESIS

Las dos variedades de xoconostle (*Opuntia joconostle* F.A.C. Weber in Diguet cultivar cuaresmeño y *Opuntia matudae* Scheinvar cultivar rosa) presentarán una capacidad antioxidante elevada, además de un contenido de fibra dietética total alto relacionada con propiedades fisicoquímicas de interés fisiológico.

V. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Determinar la composición nutrimental; el contenido de fibra dietética total, así como las propiedades fisicoquímicas relacionadas con la misma; y las propiedades antioxidantes de dos variedades de xoconostle de mayor producción en México (*Opuntia joconostle* F.A.C. Weber in Diguet cultivar cuaresmeño y *Opuntia matudae* Scheinvar cultivar rosa), mediante técnicas validadas, que permitan valorizarlas por sus propiedades beneficiosas a la salud.

5.2 Objetivos específicos

- Determinar la composición nutrimental (composición químico proximal: humedad, proteína, grasa, cenizas y carbohidratos totales; ácidos orgánicos y vitamina C) del fruto entero de dos variedades de xoconostle, mediante técnicas establecidas para compararlas con otros estudios realizados sobre las mismas variedades.
- Determinar el contenido de fibra dietética total (fracción soluble e insoluble) del fruto entero de dos variedades de xoconostle, así como las propiedades fisicoquímicas (hidratación, retención de agua, retención de lípidos y retención de glucosa) de la fibra y relacionarlas con los beneficios que estos frutos aportan a la salud.
- Determinar el contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante del fruto entero de dos variedades de xoconostle, mediante técnicas de ABTS^{•+} y DPPH[•] para compararlas con otros estudios realizados sobre las mismas variedades.
-

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

El diseño metodológico tuvo diversas etapas que constaron desde la obtención y selección de los frutos de estudio hasta la determinación de las propiedades fisicoquímicas de importancia fisiológica de la fibra dietética total contenida en los mismos (Figura 2).

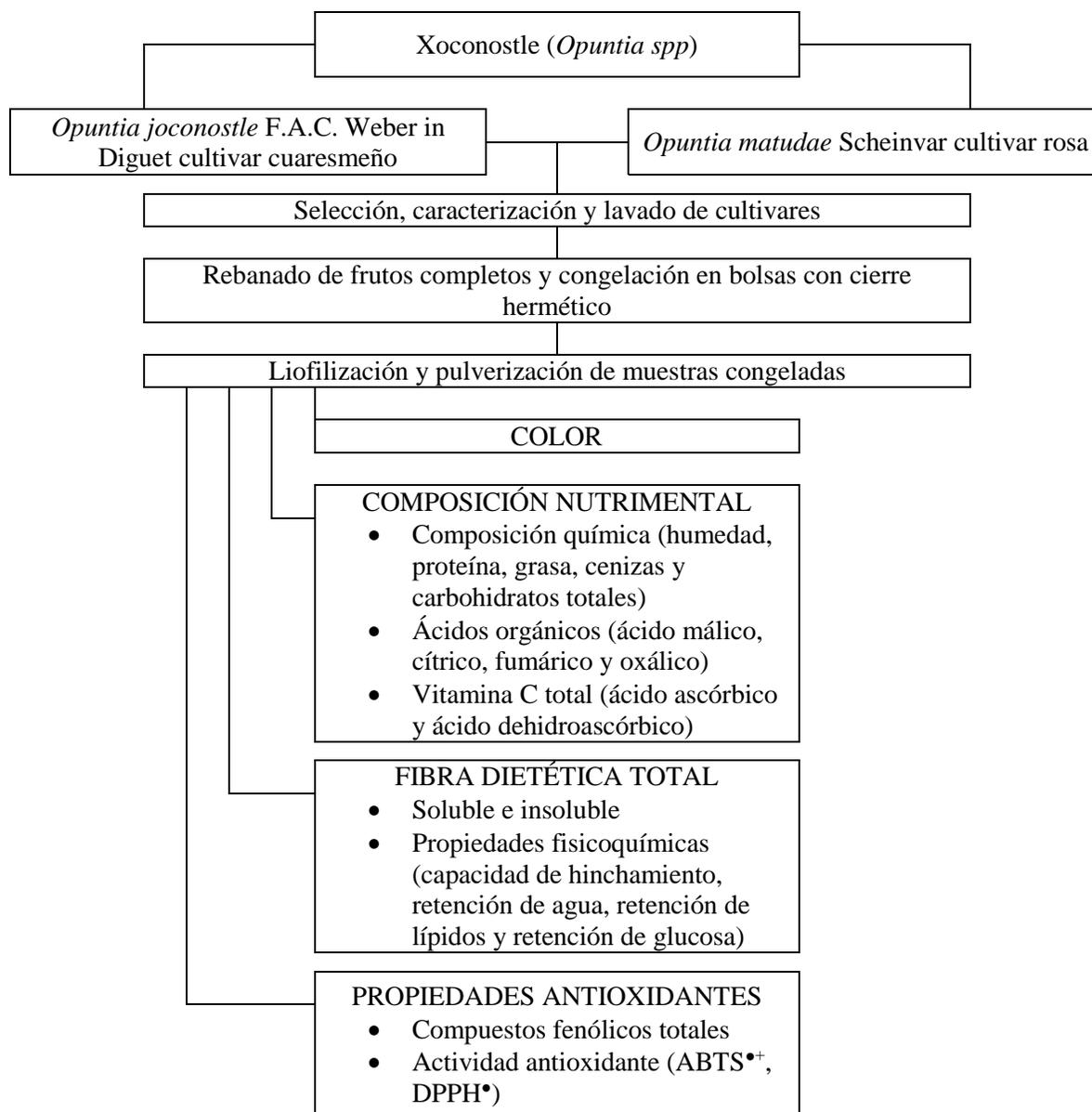


Figura 2. Diseño metodológico.

6.1 Obtención de muestras

Las variedades de xoconostle seleccionadas para la realización de este estudio fueron: *Opuntia joconostle* F.A.C. Weber in Diguet cultivar cuaresmeño (Figura 3 a) y *Opuntia matudae* Scheinvar cultivar rosa (Figura 3 b), por ser las dos variedades de mayor producción en el país anualmente.



Figura 3. Variedades estudiadas del fruto xoconostle

- a) *Opuntia joconostle* F.A.C. Weber in Diguet cultivar cuaresmeño; b) *Opuntia matudae* Scheinvar cultivar rosa

Las muestras de xoconostle fueron proporcionadas por productores de la Comisión Mexicana del Nopal y la Tuna (CoMeNTuna) ubicada en el municipio de Actopan, Hidalgo, México, localizada a una latitud de 20° 16' 12" N, longitud de 98° 56' 42" O y altitud de 2600 m sobre el nivel del mar, en el mes de septiembre de 2015. Dichos frutos fueron seleccionados de acuerdo a las especificaciones establecidas por la NMX-FF-030-1995 para productos alimenticios no industrializados para uso humano fruta fresca. Tuna (*Opuntia spp*) (46).

A los cultivos de estudio se les realizaron 3 mediciones (peso, diámetro polar y diámetro ecuatorial), las cuales se describirán a continuación:

Peso. Esta determinación se obtuvo utilizando una balanza analítica (ADAM MOD PW128031, serie AE4361013) reportando en gramos.

Diámetro polar y ecuatorial. Para realizar estas mediciones se utilizó un vernier (FUTREX Elbowmeter de 100 mm). El diámetro polar se midió de manera vertical

tomando como punto de media del receptáculo apical hasta al extremo opuesto a éste. Mientras que para el diámetro ecuatorial los frutos se colocaron de forma horizontal ubicando las puntas del vernier en la zona de mayor protuberancia de cada xoconostle.

Una vez seleccionados y medidos todos los xoconostles, se reservaron dos de cada variedad para la determinación de humedad y cenizas, el resto de los frutos, completos (cáscara, pulpa y semillas) fueron lavados y rebanados verticalmente en láminas de aproximadamente 1 cm de grosor para ser guardados en bolsas con cierre hermético. De esta forma se sometieron a congelación (-32 °C, 48 h). Posteriormente fueron liofilizados con las siguientes condiciones: -55 ± 1 °C con vacío de 0.140 mbar por 4 días. Las muestras obtenidas fueron molidas utilizando un molino de semillas y finalmente tamizadas a un tamaño de partícula de 500 μm . El pulverizado final fue utilizado para las determinaciones de: composición nutrimental, propiedades antioxidantes y propiedades fisicoquímicas, las cuales se describirán a continuación.

6.1.1 Color

Para la determinación de color se empleó el método descrito por Aular et al. (47) utilizando un colorímetro (Hunter Lab, MiniScan, USA), el cual graba el color como L^* , a^* y b^* que son términos de la Comisión Internacional en Iluminación (CIE, por sus siglas en francés), según la cual: L^* mide la luminosidad de 0 a 100, es decir de blanco a negro; a^* es el eje de cromaticidad de verde (-) a rojo (+); y b^* es el eje de azul (-) a amarillo (+). Los valores numéricos de a^* y b^* se utilizaron para obtener el ángulo de Hue o ángulo de color ($^{\circ} h = \text{tg}^{-1} (b^* / a^*)$), que comienza en el eje + a^* y se expresa en grados que van de 0° (inclusive) a 360° (excluido); y para calcular cromaticidad o saturación de color ($C = [a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}$) y es la distancia desde el eje de luminosidad (L^*).

6.2 *Composición nutrimental*

6.2.1 Composición química proximal

Humedad

Se entiende por humedad a la pérdida en peso que experimenta un alimento al someterlo a las condiciones de tiempo y temperatura determinados (48).

El método se basa en una determinación gravimétrica en la que se determina humedad por la diferencia de pesos obtenidos en una muestra antes y después de secarla a una temperatura constante (49).

Los xoconostles frescos y enteros de cada variedad (reservados previamente), fueron picados en cubos de aproximadamente 1 mm. Se pesaron 2 g de la muestra fresca homogenizada (Pi) en cápsulas de porcelana, puestas previamente a peso constante. Las cápsulas se colocaron en un horno a 105 °C durante 3 h. Posteriormente se tomó el peso (Pf) y el cálculo se realizó mediante la siguiente fórmula.

$$\% \text{ de Humedad} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

Proteína

El método Kjeldahl o digestión de Kjeldahl, en química analítica, es un proceso de análisis químico para determinar el contenido de nitrógeno de una sustancia química y se engloba en la categoría de medios por digestión húmeda y se usa comúnmente para estimar el contenido de proteínas de los alimentos (50).

La determinación de proteína total se realizó siguiendo el método de Kjeldahl, y la metodología oficial correspondiente de la AOAC (49).

Se utilizó el equipo de digestión, destilación y neutralización marca Gerhardt modelo Vapodest 50 USA. El procedimiento determina la materia nitrogenada total, basándose en la digestión de la muestra utilizando ácido sulfúrico para reducir el nitrógeno orgánico hasta amoníaco el cual queda en forma de sulfato de amonio. Concluida la digestión se alcaliniza y se destila directamente o por arrastre con vapor para desprender el amoníaco, el cual es atrapado por una solución ácida y titulada automáticamente por el equipo (50).

Se pesó por triplicado 250 mg de muestra y cada una se colocó en un tubo de digestión junto con una tableta catalizadora marca Gerhardt. Se adicionaron 2 mL de agua desionizada y 15 mL de ácido sulfúrico al 97.9 %. Fue necesario la utilización de dos blancos durante todo el proceso.

La determinación se llevó a cabo en 2 pasos:

- A) Digestión: se colocaron los tubos de digestión y se conectaron al sistema de neutralización y se indicó una temperatura de 230 °C, verificando que los gases formados fueran neutralizados con una solución de NaOH al 10 %, una vez que el digestor alcanzó la temperatura se mantuvo durante 30 min. Posteriormente, se elevó la temperatura a 260 °C (5 min), 300 °C (10 min), 400 °C (20 min) y finalmente a 405 °C hasta que se observó un tono verde esmeralda (aproximadamente 2 h). Y finalmente se dejaron enfriar los tubos.
- B) Destilación: una vez enfriados, los tubos se colocaron uno a uno en el destilador automático programado para realizar la destilación del amoníaco adicionando automáticamente NaOH 32 %. Posteriormente se realizó la titulación automática con HCl 0.1N, recogiendo la solución de H₃BO₃ al 3 % (pH 4.6 – 4.7). El porcentaje de nitrógeno presentado por el equipo fue multiplicado por el factor de corrección 6.25 para obtener el porcentaje de proteína.

Grasa

Con esta determinación se obtiene el contenido total de lípidos, incluyendo ácidos grasos libres, lípidos simples y compuestos, prostaglandinas, esteroides, pigmentos y vitaminas liposolubles. Esta prueba se basa en que los lípidos libres se pueden extraer por disolventes con poca polaridad sin extraer lípidos compuestos como pigmentos y ceras.

La metodología que se siguió fue la determinada por la AOAC (49) modificada, empleando un equipo Soxhlet con placa de calentamiento controlada Barnstead Lab Line.

Se pesó 1 g de muestra (M) por cuadruplicado en cartuchos de celulosa y se colocaron en el equipo de extracción Büchi. En los vasos de extracción, previamente llevados a peso constante (A), se agregaron 80 mL de hexano y se indicó la extracción durante 3 h con el objetivo de que se liberara el contenido graso de la muestra y el hexano se evaporara. Posterior a este tiempo, los vasos con la grasa extraída se colocaron en un horno a 40° C durante 12 h para que el hexano restante terminara de evaporarse. Se registró el peso final de los vasos (B) para obtener el porcentaje de grasa utilizando la siguiente fórmula.

$$\% \text{ grasa} = \frac{(B - A)}{M} \times 100$$

Cenizas

Su principio se basa en una determinación gravimétrica en la que se obtiene la diferencia del peso inicial de la muestra menos el peso que se obtiene al final después de realizar una carbonización y un incinerado (49).

Se realizó por el método de incineración empleando una mufla (FURNACE 1500 Thermolyne).

En crisoles de cerámica, puestos previamente a peso constante, se colocaron las muestras resultantes de la determinación de humedad y se registraron los pesos de cada una (A). Posteriormente se realizó una carbonización con mechero y pinzas para crisol en el interior de una campana de extracción, para después llevar a incineración en la mufla a 500 °C durante 5 h. Al término de este tiempo se disminuyó la temperatura a 200 °C para poder pasar las muestras al desecador dejándolas enfriar durante 1 h y finalmente se pesaron (B) en una balanza analítica obteniendo el porcentaje de cenizas por diferencia de peso. Los cálculos se obtuvieron con la siguiente fórmula.

$$\% \text{ ceniza} = (B - A) \times 100$$

Carbohidratos totales

El contenido total de carbohidratos se calculó por la diferencia del peso total de la muestra con el peso de la determinación de humedad, proteína, grasa y cenizas.

6.2.3 Ácidos orgánicos

El contenido de ácidos orgánicos individuales (málico, cítrico, fumárico y oxálico) se cuantificó por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC, por sus siglas en inglés “High Performance Liquid Chromatography”), de acuerdo a la metodología seguida por Ruiz-Rodríguez et al. (51).

Se pesaron 500 mg por triplicado de cada muestra para homogenizar con 20 mL de ácido metafosfórico (4.5 %), con agitación magnética durante 15 min en la oscuridad. Posteriormente se llevaron a centrifugación (9000 rpm, 15 min), se retiró el sobrenadante y se aforó a 25 mL con ácido metafosfórico (4.5 %), los extractos se filtraron a través de

papel filtro y después a través de una membrana de nylon de 0.45 μm , para su inyección en HPLC.

El equipo HPLC (Micron Analítica, Madrid, España), equipado con una bomba isocrática (modelo PU II), un inyector automático AS-1555 (Jasco, Japón), con columna Sphèreclone ODS (2) (250 x 4.60 mm, 5 μm Phenomenex), un detector de UV-visible (Thermo Separation Spectra de la serie UV100); y el uso de software Cromanec XP (Micronec, España). Las condiciones para el equipo, fueron: velocidad de flujo 0.4 mL/min a 215 nm y fase móvil de H_2SO_4 , 1.8 mM (pH = 2.6).

La identificación de cada compuesto se hizo por comparación de los tiempos de retención de cada pico cromatográfico, mediante disoluciones estándar de cada ácido en una concentración de 1.4, 1.39, 1.34 y 1.45 mg/mL de ácido málico, cítrico, oxálico y fumárico, respectivamente, en ácido metafosfórico al 4.5 %, en un intervalo de inyección de 10 a 100 μL , que una vez inyectados en el equipo, permitieron obtener una curva de calibrado con ajuste lineal ($R^2 = 0.99$) (Anexo I).

Finalmente se procedió a inyectar en el HPLC 50 μL del extracto filtrado de cada muestra para la identificación de los ácidos correspondientes.

Vitamina C

La vitamina C puede presentarse de manera oxidada como ácido dehidroascórbico (ADHA) o reducida como ácido ascórbico (AA) (52). Para determinar vitamina C por HPLC se utilizó el método descrito por Vázquez-Oderis et al. (53), el cual permite, cuantificar tanto AA como ADHA y de este modo obtener el contenido de vitamina C total.

Se pesaron 500 mg de cada muestra por triplicado para homogenizar en 25 mL ácido metafosfórico (4.5 %) en agitación magnética durante 15 min. Posteriormente se filtraron a través de papel filtro. Parte de este extracto se utilizó para cuantificar AA. Otra parte del extracto del ácido metafosfórico se utilizó para la determinación de vitamina C total. Para ello, se llevó a cabo la reducción del ácido dehidroascórbico (ADHA) a ácido ascórbico (AA) en presencia de L-cisteína al 4 % de acuerdo a lo descrito por Arella et al. (54). Los extractos y las muestras reducidas fueron filtradas (0.45 μm), e inyectadas en el sistema HPLC.

La cuantificación de la vitamina C en las muestras se llevó a cabo mediante disoluciones estándar de AA (Merck) en ácido metafosfórico al 4.5 %, en un intervalo de concentración de 25 a 100 mg/mL, que una vez inyectadas en el equipo, permitieron obtener una curva de calibrado con un ajuste lineal ($R^2 = 0.99$) (Anexo II) entre las áreas de los picos cromatográficos y las concentraciones de los estándares. De esta forma se obtuvieron los valores de concentración de AA en extracto sin reducir y de vitamina C total en cada muestra (ADHA + AA).

6.3 Fibra dietética total

6.3.1 Fibra soluble e insoluble

La determinación de fibra dietética total (FDT) consistió de 3 etapas: digestión enzimática, filtración, y corrección de valor de FDT con determinación de proteína y ceniza. Se utilizaron métodos gravimétricos y enzimáticos empleando un kit comercial de ensayo de FDT (TDF-100A, SIGMA) (55).

En la primera etapa se pesaron 500 mg de muestra (P) en matraces Erlenmeyer de 250 mL adicionando a cada matraz 25 mL de solución amortiguadora de fosfatos 0.08 M, pH 6.0, y 50 μ L de α -amilasa termoestable para gelatinizar la muestra. Se cubrieron los matraces con papel aluminio y se colocaron en un baño de agua con agitación horizontal (95 °C, 15 min), una vez transcurrido el tiempo se dejaron enfriar a temperatura ambiente durante 15 min. Posteriormente se ajustó el pH a 7.5 ± 0.2 con la adición de NaOH 0.275 N. Una vez ajustado el pH, en cada matraz se colocaron 50 μ L de una solución de proteasa en amortiguador de fosfatos (50 mg/mL). Nuevamente, los matraces se cubrieron con papel aluminio y se colocaron en un baño de agua (60 °C, 30 min) con agitación continua. Las muestras se dejaron enfriar a temperatura ambiente durante 15 min para ajustar el pH entre 4.0 y 4.6 agregándole HCl 0.325 M. Una vez ajustado el pH, en cada matraz se añadieron 50 μ L de amiloglucosidasa para completar la hidrólisis del almidón y se colocó nuevamente en un baño de agua (60 °C, 30 min) con agitación continua.

Para determinar la fracción soluble e insoluble, las muestras ya digeridas, se centrifugaron a 3000 rpm durante 15 min y se separó el sobrenadante (fibra dietética soluble) del sedimento (fibra dietética insoluble) en matraces diferentes se agregó 300 mL

de etanol al 95 % a cada matraz y se dejaron las soluciones durante toda la noche a temperatura ambiente para permitir la insolubilización completa.

En la segunda etapa las muestras se filtraron utilizando crisoles Gooch No.2 (4 µm de porosidad, capacidad 30 mL), los cuales fueron llevados previamente a peso constante, manteniéndolos en un horno a 105 °C durante 1 h, una vez transcurrido el tiempo, se colocaron 500 mg de celita a cada uno y nuevamente fueron llevados a peso constante, posterior a ello, se añadieron unas gotas de etanol (78 %) para distribuir la celita en la totalidad del fondo de cada crisol y se procedió con la filtración de cada precipitado obtenido en la etapa uno, después se realizaron lavados para vaciar la totalidad de las muestras con 30 mL de etanol al 78 %, 10 mL de etanol al 95 % y 10 mL de acetona. Posteriormente, los crisoles ya con los residuos obtenidos del filtrado, fueron colocados en el horno de secado a 105° C durante 12 h.

Finalmente, en la tercera etapa, con los residuos obtenidos del secado (R) se determinó proteína (P residuo) y cenizas (A residuo) para corregir el valor de FDT.

$$\% FDT = \frac{((R \text{ residuo} - P \text{ residuo} - A \text{ residuo}) - B)}{SP} \times 100$$

B = R blanco - P blanco – A blanco

6.3.2 Propiedades fisicoquímicas de la fibra

Capacidad de hinchamiento

La capacidad de hinchamiento (CH) es la cantidad de agua que el sistema de gel retiene dentro de su estructura sin aplicar ninguna presión o fuerza externa (56).

Se pesaron 2 g de cada muestra en una probeta graduada de 25 mL y se midió el volumen ocupado (Vo). Se adicionarán 10 mL de agua destilada y se agitó manualmente durante 5 min. Se dejó en reposo durante 24 h a temperatura ambiente. Posteriormente se midió el volumen final de las muestras (V1). La CH (mL/g) se calculó mediante la siguiente fórmula.

$$CH = \frac{V1 - Vo}{\text{Peso muestra}}$$

Capacidad de retención de agua

La capacidad de retención de agua (CRA) se refiere a la cantidad de agua que el sistema de gel retiene después de haber sido aplicada una fuerza extrema, generalmente la centrifugación (56).

En tubos de centrífuga de 25 mL, se pesaron 500 mg de cada muestra (P_o), se adicionaron 10 mL de agua desionizada y se agitaron manualmente durante 10 min; se dejaron 24 h a temperatura ambiente. Posterior a este tiempo, los tubos se centrifugaron a 3000 rpm durante 10 min, inmediatamente se retiró el sobrenadante y se pesó el sedimento (P_1). La CRA (mL/g) se calculó mediante la siguiente fórmula.

$$CRA = \frac{P_1 - P_o}{P_o}$$

Capacidad de retención de lípidos

La metodología utilizada para determinar la capacidad de retención de lípidos (CRL) fue la de capacidad de absorción de moléculas orgánicas (56).

En tubos de centrífuga, por triplicado se pesaron 500 mg de cada muestra (P_o), se adicionaron 10 mL de aceite de girasol comercial y se agitó manualmente durante 10 minutos, luego se dejó en reposo durante 24 h a temperatura ambiente. Posterior a este tiempo, los tubos se centrifugaron a 3000 rpm durante 10 min, inmediatamente se retiró el sobrenadante y se pesó el sedimento (P_1). La CRL (mL/g) se calcula mediante la siguiente fórmula.

$$CRL = \frac{P_1 - P_o}{P_o}$$

Capacidad de retención de glucosa

Para determinar la capacidad de retención de glucosa (CRG), se siguieron las metodologías modificadas de Ou et al. (57) y Chau et al. (58).

Primero se determinó el contenido de azúcares reductores para obtener la curva patrón. Se preparó una solución de DNS (ácido 3,5 dinitrosalicílico): se pesó 1 g de DNS

para disolverlo en 10 mL de agua destilada y se agregaron 1 g de NaOH, 20 g de tartrato de sodio y potasio, 0.2 g de fenol (previamente calentado a 50 °C) y 0.05 de metarsulfito de sodio. Una vez mezclado todo se aforó a 100 mL de agua desionizada y se calentó durante 15 min a 99 °C, finalmente se dejó enfriar y se refrigeró hasta su uso.

Para la curva patrón se preparó una solución de glucosa, concentración 10 g/L, pesando 0.25 g de glucosa en 25 mL de agua destilada y se realizaron diluciones de uno en uno partiendo de la concentración 10 hasta llegar a 0. Se tomaron 30 µL de cada concentración y se le agregó a cada una 180 µL de la solución DNS, para ser incubadas a 99 °C durante 15 min, una vez transcurrido el tiempo se dejaron enfriar a temperatura ambiente, se adicionaron 1230 µL de agua destilada y finalmente se tomaron 200 µL de cada concentración en microplaca para ser leídas a 540 nm, obteniendo una curva de calibrado con ajuste lineal ($R^2 = 0.99$) (Anexo III). Como blanco se utilizó una solución de 30 mL de agua destilada con 180 µL de DNS tratada bajo las mismas condiciones que las concentraciones de la curva patrón.

Una vez obtenida la curva de calibrado se prepararon 3 concentraciones de glucosa: 1, 0.5 y 0.25 g de glucosa en 100 mL de agua desionizada (concentraciones: 200, 100 y 50 M, respectivamente). En tubos de 15 mL se pesaron por triplicado 250 mg de las muestras de estudio y se adicionaron 10 mL de cada concentración, se agitaron y se colocaron en baño maría con agitación a 37 °C durante 6 h. una vez transcurrido el tiempo de incubación, se centrifugaron a 3500 rpm por 15 min, se separó el sedimento del sobrenadante y a éste último se le aplicó la misma técnica de azúcares reductores para ser leído a 540 nm y determinar la CRG.

6.4 Propiedades antioxidantes

6.4.1 Compuestos fenólicos totales

La determinación de compuestos fenólicos totales se realizó por medio del método Folin-Ciocalteu descrito por Georgé et al. (59). El Folin-Ciocalteu, es una mezcla de ácido fosfotúngstico y ácido fosfomolibdico, los cuales son reducidos a óxidos azules de tungsteno y molibdeno durante la oxidación fenólica, esta reducción ocurre bajo condiciones alcalinas mediante la presencia de carbonato de sodio.

Se prepararon soluciones: Folin 1:10, carbonato de sodio al 7.5% y solución de ácido gálico. A partir de esta última se prepararon concentraciones: 0, 100, 200 y 300 mg/L, se tomaron 100 μ L de cada una agregando 400 μ L de solución de carbonato de sodio y 500 μ L de folin, se dejó reposar a temperatura ambiente durante 30 min y se tomaron 200 μ L de cada uno por triplicado en microplaca para ser leídos a 765 nm (blanco ácido gálico) y así poder obtener una curva de calibrado con ajuste lineal ($R^2 = 0.99$) (Anexo IV). Una vez obtenida la curva se realizó mismo procedimiento, sustituyendo AG por las muestras de estudio.

6.4.2 Actividad antioxidante ABTS \bullet^+

La metodología de ABTS \bullet^+ se describe como un ensayo de decoloración aplicable tanto a antioxidantes lipófilos como hidrófilos, incluyendo flavonoides, hidroxycinamatos, carotenoides y antioxidantes que pudieran estar presentes en el plasma. (60). La determinación de actividad antioxidante por ABTS \bullet^+ se realizó de acuerdo a la técnica modificada de Kuskoski et al. (33). Se prepararon soluciones: Trolox 0.075 mg/mL y solución ABTS \bullet^+ al 7 mM con persulfato de potasio al 2.45 mM, se incubó durante 16 h en completa oscuridad a temperatura ambiente, transcurrido el tiempo, se diluyó en agua desionizada (relación 1:15) hasta obtener una absorbancia de 0.7. Con la solución de trolox se prepararon concentraciones: 0, 60, 120, 180, 240, 300 mg/L, se tomaron 20 μ L de cada una agregando 980 μ L de ABTS \bullet^+ , se dejó reposar por 7 min, posterior a ello se tomaron 200 μ L de cada uno por triplicado en microplaca y fueron leídos a 754 nm para obtener una curva de calibrado con ajuste lineal ($R^2 = 0.99$) (Anexo V). Una vez obtenida la curva se realizó mismo procedimiento, sustituyendo trolox por las muestras de estudio usando como blanco agua desionizada (33).

6.4.3 Actividad antioxidante DPPH \bullet

La molécula DPPH \bullet es conocida como un radical libre estable debido a la deslocalización de un electrón desapareado sobre la molécula completa, por lo cual la molécula no se dimeriza, como es el caso de la mayoría de los radicales libres. La deslocalización del electrón también intensifica el color violeta intenso típico del radical, el cual absorbe en metanol. Cuando la solución de DPPH \bullet reacciona con el sustrato

antioxidante que puede donar un átomo de hidrógeno y el color violeta se desvanece (61). Para la determinación de la actividad de este antirradical se siguió la técnica de Morales et al. (62). Se prepararon soluciones: Trolox 0.075 mg/mL en agua y DPPH• 0.074 mg/mL en etanol. Con la solución de trolox se prepararon concentraciones: 0, 50, 100, 200, 300 $\mu\text{mol/L}$, se tomaron 100 μL de cada uno agregando 500 μL de DPPH•, se dejó reposar por 1 h, posterior a ello se tomaron 200 μL de cada uno por triplicado en microplaca y fueron leídos a 520 nm para obtener una curva de calibrado con ajuste lineal ($R^2 = 0.99$) (Anexo VI). Una vez obtenida la curva se realizó mismo procedimiento, sustituyendo trolox por las muestras de estudiado usando como blanco etanol (62).

6.5 Análisis estadístico

Los resultados obtenidos fueron expresados en base fresca como la media \pm la desviación estándar de al menos tres determinaciones, con el fin de llevar a cabo una interpretación objetiva de los resultados obtenidos. Los datos fueron analizados mediante el análisis de varianza (ANOVA por sus siglas en inglés) con un nivel de significancia $p < 0.05$, $p < 0.01$ y $p < 0.0001$ para establecer las diferencias entre las dos muestras de estudio. Para éste análisis se utilizó el programa estadístico Software GraphPad Prisma versión 5.03.

VII. RESULTADOS

En este apartado se presentan los resultados obtenidos en cada determinación realizada a las muestras de estudio. Dichos resultados abarcan desde la obtención de los frutos hasta el cumplimiento de los objetivos previamente establecidos.

7.1 Obtención de muestras

Las muestras de estudio *Opuntia joconostle* F.A.C. Weber in Diguet cultivar cuaresmeño y *Opuntia matudae* Scheinvar cultivar rosa, presentaron características físicas diferentes entre ambos cultivares. El cultivar cuaresmeño tuvo menor tamaño (Figura 4), peso (77.64 g) y diámetro polar (5.83 cm) ($p < 0.0001$), pero un mayor diámetro ecuatorial (4.98 cm) ($p < 0.05$) en comparación con el cultivar rosa (80.08 g, 7.003 cm y 4.77 cm, respectivamente) (Tabla 3).

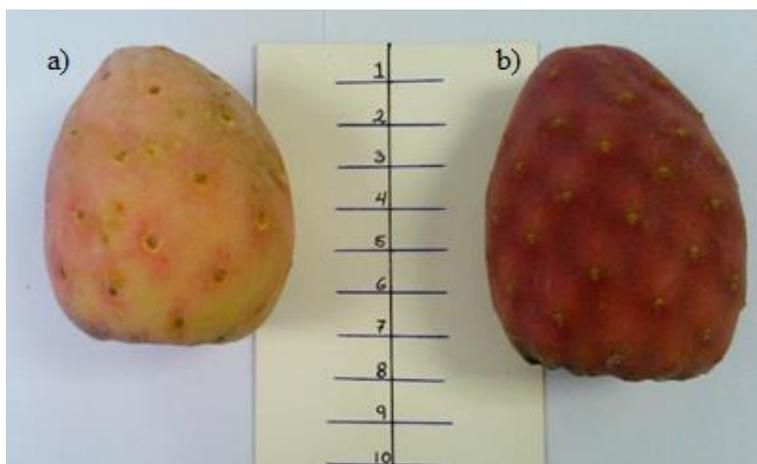


Figura 4. Cultivares de estudio del fruto xoconostle

a) *Opuntia joconostle* F.A.C. Weber in Diguet cultivar cuaresmeño, b) *Opuntia matudae* Scheinvar cultivar rosa cultivar rosa

Tabla 3. Mediciones realizadas a los frutos de dos variedades de xoconostle ^A

	cv cuaresmeño	cv rosa
Peso (g)	77.64 ± 2.66	80.08 ± 2.88
Diámetro polar (cm)	5.83 ± 0.11 ***	7.00 ± 0.13
Diámetro ecuatorial (cm)	4.98 ± 0.06 *	4.77 ± 0.06

^A Los resultados son expresados como el promedio de las mediciones de los frutos ($n \leq 20$) de cada cultivar. El asterisco en la columna refiere diferencias estadísticamente significativas entre las variedades ($*p < 0.05$,

*** $p < 0.0001$)

Posterior al proceso de liofilización y tamizaje se obtuvo una muestra homogénea final con un tamaño de partícula de 500 μm (Figura 5).

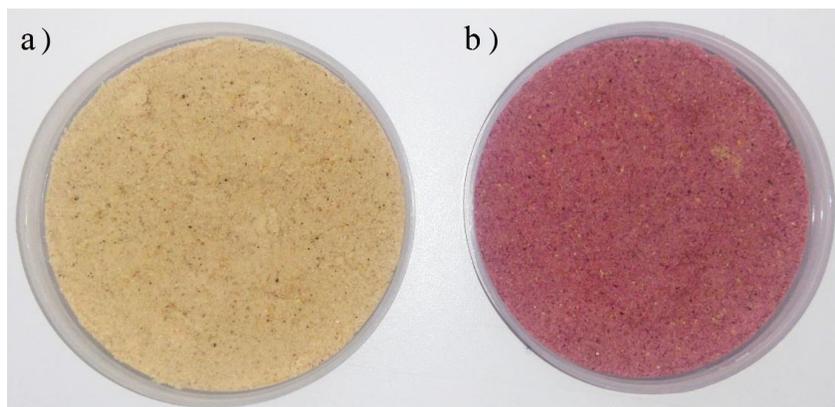


Figura 5. Material orgánico homogenizado final

a) cultivar cuaresmeño b) cultivar rosa

7.1.1 Color

De acuerdo a la ubicación de las coordenadas de a^* y b^* , , éstas se encontraron en el cuadrante rojo (a+) amarillo (b+), siendo más brillante e intenso el color del cultivar cuaresmeño en comparación con el cultivar rosa, lo cual se indica con un valor mayor de L^* y de cromaticidad (Tabla 4; Figuras 5 y 6).

Tabla 4. Parámetros de color de dos variedades de xoconostle

	cv cuaresmeño	cv rosa
L^*	33.48 \pm 0.14 ***	22.41 \pm 0.01
a^*	5.33 \pm 0.02 ***	10.42 \pm 0.01
b^*	14.01 \pm 0.02 ***	9.59 \pm 0.00
$^{\circ}h$	69.16 \pm 0.05 ***	42.65 \pm 0.04
Croma	14.99 \pm 0.02 ***	14.16 \pm 0.01

L^* Luminosidad (0 a 100), a^* [eje de cromaticidad de verde (-) a rojo (+)], b^* [eje de cromaticidad de azul (-) a amarillo (+)], $^{\circ}h$ [Ángulo Hue (tonalidad)] y Croma [Cromaticidad (saturación de color)]

El asterisco en la columna refiere diferencias estadísticamente significativas entre las variedades (*** $p < 0.0001$)

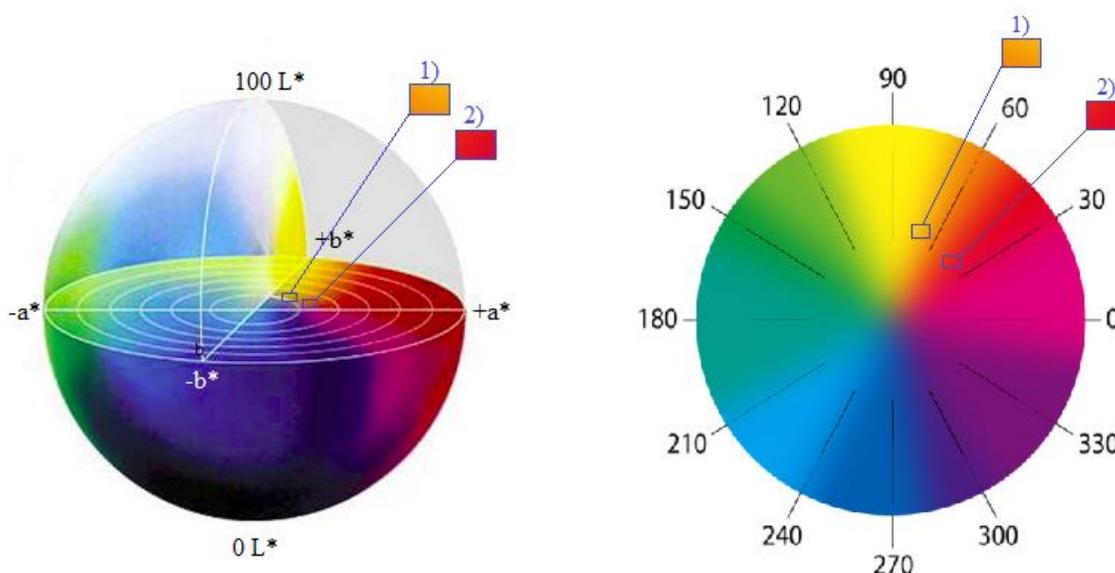


Figura 6. Esquema de parámetros de color por L^* , a^* , b^* , h y croma de dos variedades de xoconostle

1) color cv cuaresmeño y 2) color cv rosa

7.2 Composición nutrimental

7.2.1 Composición química proximal

Los dos cultivares de xoconostle presentaron un contenido alto de humedad (86 a 90 %), y los sólidos totales considerados en base fresca (bf), se conformaron por una mayor proporción de carbohidratos totales (6.92 a 11.33 g/100 g) y menor en grasa (0.3 a 1 g /100 g bf), proteínas (≈ 0.5 g/100 g) y ceniza (1 a 1.8 g /100 g) (Tabla 5).

Tabla 5. Composición química proximal de dos variedades de xoconostle (g/100 g bf)

	cv cuaresmeño	cv rosa
Humedad	85.94 \pm 1.34 *	90.36 \pm 0.70
Carbohidratos totales ^A	11.33	6.92
Proteína	0.56 \pm 0.00 ***	0.46 \pm 0.00
Grasa	0.35 \pm 0.01 ***	1.14 \pm 0.00
Ceniza	1.82 \pm 0.04 **	1.12 \pm 0.14

^A Los carbohidratos totales se calcularon como la diferencia de los valores de humedad, proteína, grasa y ceniza. El asterisco en la columna refiere diferencias estadísticamente significativas entre las variedades (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.0001$)

El cultivar cuaresmeño tuvo valores mayores para carbohidratos totales, proteína ($p < 0.0001$) y ceniza ($p < 0.01$); y, menor en humedad ($p < 0.05$) y grasa ($p < 0.0001$) en comparación con el cultivar rosa.

7.2.2 Ácidos orgánicos

En cuanto al contenido de ácidos orgánicos determinado por HPLC, el cultivar cuaresmeño presentó un contenido mayor ($p < 0.0001$) en todos los ácidos orgánicos evaluados, excepto en el ácido málico, donde el contenido fue menor (179.2 mg/100 g bf), en comparación con el cultivar rosa que tuvo 276.1 mg/100 g bf (Tabla 6).

Tabla 6. Ácidos orgánicos de dos variedades de xoconostle (mg/100 g bf)

	cv cuaresmeño	cv rosa
Ácido málico	179.2 ± 0.51 ***	276.1 ± 0.5
Ácido cítrico	2 650 ± 2.33 ***	1 309 ± 0.8
Ácido fumárico	17.67 ± 0.06 ***	13.92 ± 0.07
Ácido oxálico	79.54 ± 1.84 ***	46.23 ± 0.66

El asterisco en la columna refiere diferencias estadísticamente significativas entre las variedades (***) $p < 0.0001$

Vitamina C

Con la metodología aplicada de HPLC, fue posible la cuantificación de las dos formas activas de vitamina C: ácido ascórbico (AA) y ácido dehidroascórbico (ADHA) (Tabla 7).

Tabla 7. Vitamina C total de dos variedades de xoconostle (mg/100 g bf)

	cv cuaresmeño	cv rosa
Vitamina C total ^A	86.82 ± 1.79 ***	30.9 ± 0.72
Ácido ascórbico	54.24 ± 0.86 ***	16.35 ± 0.26
Ácido dehidroascórbico	32.58 ± 1.04 ***	14.55 ± 0.59

^A El total de vitamina C se calculó como la suma de los valores de ácido ascórbico y ácido dehidroascórbico.

El asterisco en la columna refiere diferencias estadísticamente significativas entre las variedades (***) $p < 0.0001$

Se encontró un contenido mayor de AA (54.24 mg/100 g bf) y ADHA (32.58 mg/100 g bf) en el cultivar cuaresmeño ($p < 0.0001$), comparado con el cultivar rosa que obtuvo valores de 16.35 mg AA/100 bf y 14.55 mg ADHA/100 g bf.

7.3 Fibra dietética total

7.3.1 Fibra dietética soluble e insoluble

El cultivar cuaresmeño obtuvo un mayor contenido ($p < 0.01$) de fibra dietética total (4.32 g/100 g bf) con respecto al cultivar rosa (3.55 g/100 g bf). Esta diferencia fue por el mayor contenido de fibra soluble presente en el cultivar cuaresmeño ($p < 0.0001$) sobre el

cultivar rosa. Ambos cultivares estudiados tuvieron un mayor contenido de fibra insoluble y menor de fibra soluble (Tabla 8).

Tabla 8. Fibra dietética total de dos variedades de xoconostle (g/100 g bf)

	cv cuaresmeño	cv rosa
Fibra dietética total	4.32 ± 0.09 **	3.55 ± 0.08
Fibra soluble	1.15 ± 0.05 ***	0.56 ± 0.03
Fibra insoluble	3.17 ± 0.05	2.98 ± 0.05

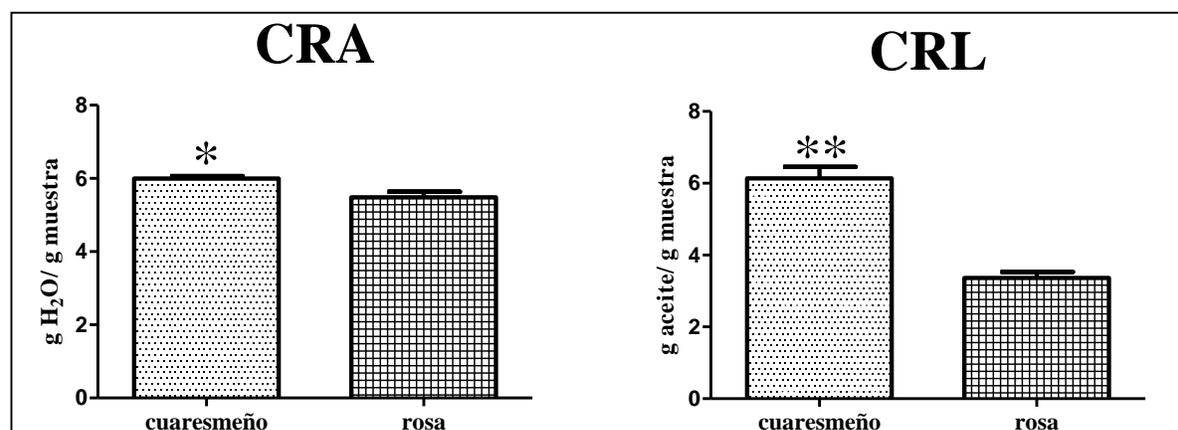
El asterisco en la columna refiere diferencias estadísticamente significativas entre las variedades (** $p < 0.01$, *** $p < 0.0001$)

7.3.2 Propiedades fisicoquímicas de la fibra

Las dos variedades de xoconostle contaron con propiedades fisicoquímicas de la fibra con diferencias estadísticamente significativas entre cultivares en todas las determinaciones realizadas, excepto en la capacidad de retención de glucosa (CRG) (Figura 7).

El cultivar cuaresmeño presentó una mayor ($p < 0.01$) capacidad de retención de lípidos (CRL) en comparación con la obtenida para el cultivar rosa, con valores de 6.13 y 3.36 g de aceite/g de muestra en base seca (bs), respectivamente.

Para capacidad de retención de agua (CRA) se obtuvieron valores de 5.99 y 5.48 g de H₂O/g de muestra bs ($p < 0.05$), CRG 92.38 y 90.74 % de retención e hinchamiento (CH), 5.24 y 5.46 H₂O/g de muestra bs ($p < 0.0001$) para el cultivar cuaresmeño y cultivar rosa, respectivamente.



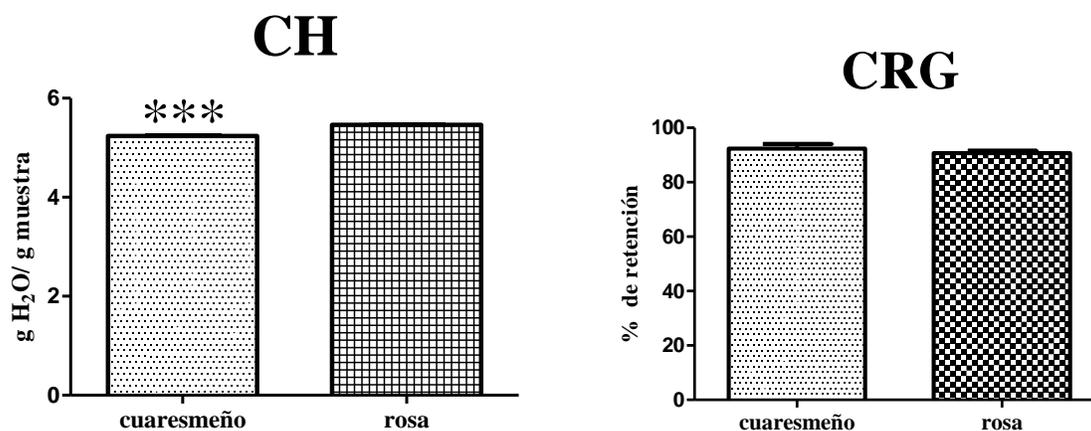


Figura 7. Propiedades fisicoquímicas de la fibra dietética de dos variedades de xoconostle

CRA capacidad de retención de agua, CRL capacidad de retención de lípidos, CH capacidad de hinchamiento, CRG capacidad de retención de glucosa. El asterisco en la columna refiere diferencias estadísticamente significativas entre las variedades (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.0001$)

Como puede observarse en la Tabla 9, la CRG, de acuerdo a la concentración de glucosa agregada a cada muestra (50, 100 y 200 mM), se presentó de manera ascendente y proporcional.

Tabla 9. Capacidad de retención de glucosa de dos variedades de xoconostle ($\mu\text{mol/L}$)

Concentración de glucosa (mM)	cv cuaresmeño	cv rosa
50	48.61 \pm 0.05 **	48.06 \pm 0.04
100	96.78 \pm 0.05 ***	95.1 \pm 0.17
200	189.15 \pm 0.54	189.78 \pm 0.03

El asterisco en la columna refiere diferencias estadísticamente significativas entre las variedades (** $p < 0.01$, *** $p < 0.0001$)

7.4 Propiedades antioxidantes

El cultivar cuaresmeño presentó un mayor contenido de compuestos antioxidantes: fenoles totales (222.3 mg de EAG/100 g bf) y ácido ascórbico; y por tanto de actividad antioxidante: ABTS^{•+} y DPPH[•] (458.9 y 466.9 μmol de ET/100 g bf, respectivamente), en comparación con el cultivar rosa, con una diferencia estadísticamente significativa de $p < 0.0001$ para todas las determinaciones (Tabla 10). Se encontró, además, una correlación positiva de la capacidad antioxidante medida por ABTS^{•+} y DPPH[•] con los fenoles totales y ácido ascórbico ($r = 0.99$, $p < 0.01$).

Tabla 10. Compuestos antioxidantes y actividad antioxidante de dos variedades de xoconostle

	cv cuaresmeño	cv rosa
Fenoles totales ^A	222.3 ± 2.69 ***	103.1 ± 3.94
Ácido ascórbico ^B	54.24 ± 0.86 ***	16.35 ± 0.26
ABTS ^{•+} ^C	458.9 ± 14.46 ***	130.1 ± 7.14
DPPH [•] ^C	466.9 ± 25.16 ***	169.2 ± 7.02

^A Los resultados son expresados en mg de equivalentes de ácido gálico EAG/100 g bf.

^B Los resultados son expresados en mg de equivalentes de ácido ascórbico EAA/100 g bf.

^C Los resultados son expresados en µmol de equivalentes de trolox ET/100 g bf.

El asterisco en la columna refiere diferencias estadísticamente significativas entre las variedades (***) $p < 0.0001$

VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Las dos variedades de xoconostle seleccionadas para este estudio, *Opuntia joconostle* F.A.C. Weber in Diguet cultivar cuaresmeño y *Opuntia matudae* Scheinvar cultivar rosa, tuvieron coloraciones atractivas (entre rosa-rojizo y amarillo naranja), una acidez característica y un contenido alto de fibra en una proporción adecuada (3:1 insoluble-soluble) de acuerdo a las recomendaciones establecidas para el consumo de fibra, con propiedades fisicoquímicas de importancia fisiológica relacionadas con la misma. Además, se encontraron propiedades antioxidantes que aportan beneficios para la salud como la reducción del estrés oxidativo.

8.1 Obtención de muestras

Tanto el cultivar cuaresmeño como el cultivar rosa, tuvieron características físicas que cumplen con las especificaciones establecidas por la NMX-FF-030-1995 para tuna como fruta fresca: frutos enteros, sanos y limpios; de consistencia firme; exentos de pudrición, deterioro, materia extraña visible, humedad exterior anormal, daños causados por plagas o enfermedades; y sin olores extraños (46). Todos los frutos evaluados, presentaron un grado de madurez comercial de acuerdo a los parámetros establecidos por los productores pertenecientes a la asociación CoMeNTuna.

Los resultados obtenidos para peso en ambos frutos fueron similares a los reportados para la variedad xoconostle amarillo, evaluada por González-Ramos et al. (36); y mayores a los obtenidos para el cultivar cuaresmeño (53.20 g) estudiado por Guzmán-Maldonado et al. (40), quienes evaluaron esta variedad perteneciente a tres diferentes comunidades del país. Las variaciones de peso entre los xoconostles, y en general de las frutas, depende del tipo de fruta, la zona geográfica donde se cosecha y principalmente del estado de madurez en que se encuentra al momento de ser recolectado, un fruto inmaduro pudiera caracterizarse por un menor tamaño y peso, en comparación con otro de la misma especie recolectado en un estado óptimo de maduración (63).

8.1.1 Color

El color de los frutos es uno de los atributos más importantes de calidad que incide en la decisión final de compra del consumidor. Las dos muestras de estudio tuvieron coloraciones atractivas con menor luminosidad (≈ 27) y mayor cromaticidad (≈ 14) que frutos (mismas variedades) analizados en otros estudios, con valores de ≈ 54 para L^* y ≈ 12 para croma, mientras que los valores obtenidos para a^* , b^* y $^{\circ}h$, fueron similares (40,42,64).

Las variaciones de color y luminosidad dependen del estado de madurez en que se encuentre el fruto al momento de la cosecha, con la maduración por lo general disminuye el color verde de las frutas, debido a una reducción de su contenido de clorofila y a un incremento en la síntesis de pigmentos de color amarillo, naranja y rojo; y del tiempo de almacenamiento postcosecha, período en el cual la calidad de las frutas se puede ver severamente afectada por las pérdidas de agua, la captación de oxígeno y por daños físicos que puedan presentar, lo cual genera oscurecimiento del color en la zona dañada (63). Además, estas variaciones también dependen del contenido de ciertos compuestos como las betacianinas (rojo-púrpura) y las betaxantinas (amarillo-naranja) (65,66).

8.2 Composición nutrimental

8.2.1 Composición química proximal

Los resultados obtenidos para la composición química proximal de los dos cultivares de xoconostle, presentaron la misma tendencia, alto contenido de humedad y carbohidratos totales, que los obtenidos en cultivar cuaresmeño por Guzmán-Maldonado et al. (40) y *opuntia joconostle* por Osorio-Esquivel et al. (42) quienes analizaron por separado las tres partes del fruto; y a los de Morales et al. (41), que únicamente analizaron pulpa y semillas de las mismas variedades de xoconostle utilizadas en este estudio.

8.2.3 Ácidos orgánicos

La proporción de ácidos orgánicos que se encuentran en los frutos depende del tipo de cultivar de xoconostle que se analice (67). En este estudio, ambos cultivares presentaron ácido cítrico, málico, oxálico y fumárico, en orden de contenido (mayor a menor). Esta tendencia descendente es similar a la obtenida en cultivar cuaresmeño analizado por Morales et al. (44) y en cultivar rosa por Morales et al. (39), quienes estudiaron cáscara y

semillas encontrando los mismos ácidos orgánicos, excepto el fumárico, el cual posiblemente no fue detectado por su bajo contenido en los frutos, ya que en este estudio fue el compuesto que presentó valores más bajos en comparación con el resto de los ácidos detectados.

Los dos cultivares de estudio tuvieron un mayor contenido de ácidos orgánicos totales en comparación con otros autores (39,44). Esto puede deberse a que en este estudio se trabajó con el fruto completo, mientras que en los otros estudios únicamente se analizó cáscara y semillas. Además, se obtuvieron mayores valores de ácido cítrico y málico, los cuales les proporcionan el pH y sabor ácido característico a estos frutos en su porción comestible (la pulpa). Lo anterior con base en el estudio de Medina et al. (67), quienes encontraron un mayor contenido de dichos ácidos, en la pulpa de guayaba, en comparación con las semillas y la cáscara.

Vitamina C

El ácido ascórbico junto con el dehidroascórbico, son agentes antioxidantes que pueden reducir la acción perjudicial de los radicales libres y debido a que los humanos no pueden sintetizar estos compuestos, los obtienen en la dieta como vitamina C con el consumo de frutas y vegetales principalmente (68).

De acuerdo a los resultados obtenidos y a las recomendaciones establecidas por la FAO (68) y del Reglamento (CE) No 1924/2006 del Parlamento y Consejo Europeo (69), para el consumo de vitamina C (75 a 80 mg/día), si se considera la ingesta de un xoconostle con un peso aproximado de 50 g, el cultivar cuaresmeño estaría cubriendo al menos el 50 % de estas recomendaciones, mientras que el cultivar rosa contribuiría con un porcentaje menor (entre el 15 y 20 %). Los dos cultivares de estudio podrían ser considerados como “fuente de vitamina C” y como “alimento con alto contenido en vitamina C”, por su contenido > 12 mg/100 g bf y > 24 mg/100 g bf, (69).

Además, comparando con otros estudios realizados en los mismos cultivares (39–41,44), ambas variedades de xoconostle presentaron un contenido mayor de vitamina C total, considerando el cálculo para fruto completo.

8.3 Fibra dietética total

Los resultados para FDT obtenidos en el cultivar cuaresmeño son similares a lo reportado por Guzmán Maldonado et al. (40) (≈ 4 g/100 g bf), mientras que los valores obtenidos para el cultivar rosa varían en comparación con otros autores quienes obtuvieron valores aproximados de 6 g/100 g bf, aunque estos valores solo contemplan la pulpa y semillas de este cultivar (41). Estas diferencias encontradas en el contenido de fibra entre los estudios previos, pudieran deberse a las condiciones climáticas en que está sometida la planta, las características del suelo y las condiciones de estrés que se presentan durante su proceso de almacenamiento (70).

Por otro lado, debido a la cantidad de fibra contenida en los xoconostles de estudio (> 3 g/100 g bf), estos frutos pueden ser considerados como “fuente de fibra”, de acuerdo a la clasificación establecida por el Reglamento (CE) No 1924/2006 del Parlamento y Consejo Europeo (69). Las recomendaciones establecidas para consumo de fibra dietética total en adultos según Asociación Americana en Dietética (ADA, por sus siglas en inglés “American Dietetic Association”), son de 25 a 30 g/día, en una proporción de 3:1 para fibra insoluble y soluble, esto con base en estudios epidemiológicos que muestran una protección contra enfermedades cardiovasculares. De acuerdo a estas recomendaciones, ambos cultivares estarían cubriendo entre el 9 y 16 % del consumo de FDT por cada 100 g de fruto fresco, y cumplen con las proporciones adecuadas para fibra soluble e insoluble. Por lo tanto, esta fibra puede ser utilizada para cubrir recomendaciones de consumo o bien para ser utilizada como un aditivo en alimentos funcionales.

8.3.1 Propiedades fisicoquímicas de la fibra

Las propiedades fisicoquímicas de la fibra juegan un papel importante en el proceso de digestión, partiendo desde la masticación hasta la formación de heces y la disminución de reabsorción de algunos nutrientes y sustancias tóxicas (26). No existen estudios previos sobre propiedades fisicoquímicas de la fibra evaluadas en xoconostle.

La CH está relacionada con la concentración de fibra soluble, mientras que la capacidad de retención de agua con la fracción insoluble (11). Los cultivares estudiados

presentaron un mayor contenido de fibra insoluble, por lo tanto, tuvieron una mayor capacidad de retención de agua y menor de hinchamiento.

Los valores obtenidos para CRA en los cultivares analizados son similares a los reportados para la harina de chabacano con valores de 5.6 g H₂O/g bs, evaluada por López et al. (71); y, mayores a los obtenidos para tres extractos comerciales de fibra de trigo, avena, manzana y el concentrado de fibra de jugo de toronja, limón, naranja y manzana (1.6 - 4.1 g H₂O/g bs) evaluados por otros autores (56,72).

Los valores para CH en las variedades estudiadas son similares a los presentados por Figuerola et al. (72), quienes evaluaron el concentrado de fibra de jugo de toronja, naranja y manzana con valores \approx 6 g H₂O/g bs; y superiores a los obtenidos para dos extractos comerciales de fibra de avena y de manzana, con valores entre 2 y 3 g H₂O/g bs, evaluados por Francia et al. (56).

Dichas diferencias en las propiedades de CRA y CH entre los xoconostles de estudio y los frutos y cereales analizados por otros autores, puede deberse al tipo y variedad del fruto o cereal con el que se esté trabajando, así como el tratamiento mecánico que se le da, por ejemplo, la molienda (73). Raghavendra et al. (74); al evaluar propiedades de la fibra en diferentes tamaños de partícula en una fuente de fibra a partir de pulpa de coco, obtuvieron una CRA de 4.42 g H₂O/g bs para un tamaño de partícula de 390 μ m, 7.21 para 550 μ m y 5.56 para 1127 μ m, de la misma forma existieron variaciones para CH, obteniendo valores de 18, 20 y 17 mL H₂O/g bs, para tamaño de partícula de 390, 550 y 1127 μ m, respectivamente.

La CH está relacionada con la formación de geles en el estómago, y en efecto, fisiológicamente pudiera presentar una sensación de saciedad en el organismo. La CRA se relaciona con la hidratación de la fibra por todo el tracto gastrointestinal, ocasionando la formación de heces con mayor volumen (11,25,26,75). Por lo tanto, la fibra contenida en estos frutos pudiera recomendarse en el tratamiento de sobrepeso, obesidad y enfermedades relacionadas con el tracto gastrointestinal, principalmente.

En el intestino delgado la fibra soluble, enlentece el tiempo de tránsito y aumenta el espesor de la capa de agua, que traspasan los solutos para alcanzar la membrana del enterocito, lo que provoca una disminución en la absorción de lípidos. Por otro lado, la fibra insoluble puede captar dichos compuestos, uniéndose a los residuos fenólicos y urónicos en la matriz de los polisacáridos, permitiendo ser excretados por las heces (26).

De este modo, podría relacionarse el mayor contenido de fibra insoluble con la mayor CRL obtenida por el cultivar cuaresmeño en comparación con el cultivar rosa analizados en este estudio. Los valores obtenidos para CRL de ambos cultivares fueron similares e incluso superiores a los valores obtenidos en diferentes muestras de alimentos considerados de consumo convencional como toronja, limón, naranja y manzana (0.8 a 6 g lípidos/g bs), analizados por otros autores (71–73).

En cuanto a la CRG, los valores obtenidos para los cultivares de estudio, así como la tendencia ascendente de la misma, conforme al incremento de las concentraciones de solución de glucosa agregada, éstos fueron similares a los obtenidos por Inurreta et al. (76), quienes analizaron tres harinas de bagazo de naranja y fibras comerciales como la arábica y celulosa; y a los obtenidos por Abirami et al. (77) para los extractos de fibra de cáscara, pulpa y semillas de la lima.

La CRG, también fue determinada en porcentaje obteniéndose para las dos variedades de xoconostle valores alrededor del 90 % de absorción en las tres diferentes concentraciones de solución de glucosa. Estos porcentajes fueron superiores a los obtenidos en otros estudios, donde se analizaron fibras convencionales como la pectina de manzana y la goma guar ($\approx 25\%$) (78). Sin embargo, estas variaciones en porcentaje pueden deberse a las diferentes metodologías utilizadas para el análisis de CRG. Ya que en este estudio se llevó a cabo una incubación de las muestras durante 6 h, permitiendo así una mejor formación de gel, el cual aumenta la capacidad de retención, mientras que en otros estudios no se realiza incubación.

Esta capacidad, además podría estar relacionada con las propiedades del fruto como hipoglucemiante, como lo mencionan Pimienta-Barrios et al. (79), quienes analizaron el efecto de la ingesta de la cáscara del xoconostle en personas sanas y en personas con diabetes tipo 2, obteniendo una disminución de la concentración sérica de glucosa, así

como un incremento de la insulina. Otro estudio, es el desarrollado por Guzmán Maldonado et al. (40), quienes evaluaron el efecto de la ingesta por separado de la cáscara y la pulpa del xoconostle (cv cuaresmeño) en ratas macho Wistar con diabetes inducida y se obtuvo una disminución en la concentración de glucosa en sangre.

8.4 Propiedades antioxidantes

8.4.1 Compuestos fenólicos totales

Dentro del amplio grupo de compuestos funcionales presentes en las frutas, están los polifenoles, los cuales tienen una función importante como antioxidantes, colorantes y propiedades sensoriales, entre otras (80,81).

Los resultados obtenidos para el contenido total de fenoles presentes en los xoconostles de estudio, fueron similares a los valores obtenidos por Osorio-Esquivel et al. (42) y Guzmán-Maldonado et al. (40), quienes encontraron estos compuestos distribuidos en las tres diferentes partes del fruto (piel, pulpa y semillas). De igual manera estos valores fueron similares, incluso superiores a los obtenidos en otros alimentos de origen vegetal como la manzana y la ciruela (50 a 200 mg EAG/100 g bf) analizados como fruto completo (82,83).

8.4.2 Actividad antioxidante por ABTS^{•+} y DPPH[•]

Los valores obtenidos para la actividad antioxidante determinada por ABTS^{•+} y DPPH[•], tanto en el cultivar cuaresmeño como en el cultivar rosa, son menores comparados con los resultados de otros autores, quienes analizaron las diferentes partes de diversas variedades de xoconostle (incluyendo los cultivares cuaresmeño y rosa) (40,84,85). Esta diferencia de actividad antioxidante entre xoconostles, puede estar relacionada con el desarrollo y maduración de los frutos utilizados en cada estudio, ya que durante la maduración ocurre la depresión de los sistemas de protección antioxidante que puede incrementar el estrés oxidativo y el deterioro celular (86).

Sin embargo, ambos cultivares en este estudio presentaron valores similares e incluso superiores comparados con los obtenidos para diversos frutos analizados como fruto completo (incluyendo cáscara y semillas) como la manzana, la ciruela, la uva verde, la pera y el durazno (100 - 870 $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$) (82,83,87).

IX. CONCLUSIONES

Las dos variedades de xoconostle evaluadas, incluyendo las porciones consideradas como residuo (cascara y semillas), se caracterizaron por tener un color atractivo entre amarillo-naranja (cultivar cuaresmeño) y rosa rojizo (cultivar rosa). Estos cultivares presentaron un alto contenido en agua (86-90 %) y de carbohidratos totales (incluyendo a la fibra dietética), así como de ácidos orgánicos, principalmente cítrico y málico. De acuerdo al alto contenido de vitamina C (30-86 mg/100 g bf), ambos cultivares, pueden ser considerados como fuente de esta vitamina.

Los dos cultivares de estudio, pueden ser considerados como fuente de fibra dietética, de acuerdo a su contenido de 3 a 4 g/100 g bf (en una proporción 3:1 de fibra insoluble y soluble), con propiedades fisicoquímicas de importancia fisiológica como la formación de geles, la retención de agua, lípidos y glucosa.

Los xoconostles analizados presentaron un alto contenido de compuestos fenólicos (103-222 mg de EAG/100 g bf) y ácido ascórbico (16-54 mg AA/100 g bf), relacionada con la actividad antioxidante (ABTS^{•+} y DPPH[•]) con una correlación positiva.

Por tanto, el xoconostle, como fruto completo, debe considerarse como un alimento con alto valor nutricional y fomentarse su consumo o proponer alternativas para utilizarlo como aditivo y/o nutracéutico en la industria farmacéutica o de alimentos, de modo que coadyuve a la prevención y tratamiento de enfermedades como la diabetes, la hipertensión, el sobrepeso y la obesidad, entre otras.

X. RECOMENDACIONES

Este estudio abarca gran parte de la caracterización del fruto completo de las dos variedades de xoconostle de mayor producción y consumo en México. El xoconostle presentó propiedades fisicoquímicas con importancia fisiológica relacionadas con la fibra y una capacidad antioxidante elevada evaluadas *in vitro*.

Por lo tanto, se recomienda la realización de estudios, que permitan darle seguimiento a las evaluaciones de las propiedades de la fibra y a la capacidad antioxidante del xoconostle como fruto completo en estudios *in vivo*, con poblaciones con un estado de salud óptimo y/o con alguna patología presente, como la obesidad y enfermedades no transmisibles; y de este modo determinar los efectos fisiológicos reales sobre la salud relacionadas con la fibra y los antioxidantes.

XI. BIBLIOGRAFÍA

1. Secretaria de Salud. Estrategia Nacional para la prevención y control de sobrepeso, la obesidad y la diabetes. 2013;
2. Organización Mundial de la Salud. Informe sobre la situación mundial de las enfermedades no transmisibles. Who. 2014;1–18.
3. MC E. Informe final de resultados. 2016;2016(ENSANUT):1–154.
4. Lau DCW, Douketis JD, Morrison KM, Hramiak IM, Sharma AM, Ur E. 2006 Canadian clinical practice guidelines on the management and prevention of obesity in adults and children. *Can Med Assoc J*. 2007;176(8):s1–13.
5. Zhang L, Li HT, Shen L, Fang QC, Qian LL, Jia WP. Effect of Dietary Resistant Starch on Prevention and Treatment of Obesity-related Diseases and Its Possible Mechanisms. *Biomed Environ Sci [Internet]*. 2015;28(4):291–7. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0895398815300301>
6. NOM-008-SSA3-2010. NORMA Oficial Mexicana NOM-008-SSA3-2010, Para el tratamiento integral del sobrepeso y la obesidad. D Of la Fed [Internet]. 2010;1–10. Available from: http://www.uco1.mx/content/cms/13/file/NOM/Nom_008-ssa3-2010.pdf
7. Singh AK, Singh R, Kota SK. Bariatric surgery and diabetes remission: Who would have thought it? *Indian J Endocrinol Metab [Internet]*. 2015;19(5):563–76. Available from: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=4566335&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
8. Venezuela SN de salud. 11. Pie diabético. Evaluación, prevención y tratamiento. *Guía De Práctica Clínica Sobre Diabetes Tipo 2*. 2012.
9. Organización Mundial de la Salud. Promoción del uso racional de medicamentos: componentes centrales - Perspectivas políticas de la OMS sobre medicamentos. *Perspect políticas sobre Medicam la OMS [Internet]*. 2002;5:6. Available from: <http://apps.who.int/medicinedocs/en/d/Js4874s/>
10. Lorenzo GM, Velázquez P cols. Velázquez. *Farmacología Básica y Clínica*. In: *Antisépticos [Internet]*. 2008. p. 883–90. Available from: <https://books.google.es/books?id=BeQ6D40wTPQC>

11. Smith CE, Tucker KL. Health benefits of cereal fibre: a review of clinical trials. *Nutr Res Rev* [Internet]. 2011 Jun [cited 2015 Aug 10];24(1):118–31. Available from: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3145818&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
12. Barrera-Cruz A, Avila-Jimenez L, Cano-Perez E, Molina-Ayala MA, Parrilla-Ortiz JI, Ramos-Hernandez RI, et al. Prevención, diagnóstico y tratamiento del sobrepeso y la obesidad exógena. *Rev Medica del Inst Mex Seguro Soc*. 2013;51(3):344–57.
13. Ortiz-Hernández L, Delgado-Sánchez G, Hernández-Briones A. Cambios en factores relacionados con la transición. *Gac Med Mex*. 2006;142(3):181–93.
14. López de Blanco M, Carmona A. La transición alimentaria y nutricional: un reto en el siglo XXI - Food and nutrition transition: a challenge in the XXI century. *An venez nutr* [Internet]. 2005;18(1):90–104.
15. Román S, Ojeda-Granados C, Panduro A. Genética y evolución de la alimentación de la población en México. *Rev Endocrinol y Nutr*. 2013;21(1):42–51.
16. Majem LS, Bartrina JA. *Nutrición y Salud Pública. Guia Metod para la enseñanza la Nutr y la Aliment*. 2006;826.
17. Ian C, German F, Carmen D, Elsa L. *Alimentacion y Nutrición*. PDF [Internet]. 2012;1:1–104. Available from: http://www.pesacentroamerica.org/biblioteca/plan_capacitacion.pdf
18. JM M-R. *Nutricion clinica y dietetica hospitalaria*. 2012.
19. Nollet L, Toldrá F. Organic Acids. In: *Food analysis by HPLC*. 3ra ed. 2013. p. 444.
20. Hickey S, W Saul A. *Vitamin C: the real story*. 2008. 1-3,123 p.
21. Lattimer JM, Haub MD. Effects of dietary fiber and its components on metabolic health. *Nutrients* [Internet]. 2010 Dec [cited 2014 Dec 3];2(12):1266–89. Available from: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3257631&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
22. DeVries JW, Camire ME, Cho S, Craig S, Gordon D, Jones JM, et al. The definition of dietary fiber. *Cereal Foods World*. 2001;46(3):112–29.
23. Gray J. *Fibra dietética. Definición, análisis, fisiología y salud*. [Internet]. Fst.Sagepub.Com. 2006. 1-48 p. Available from:

<http://fst.sagepub.com/content/3/4/306.2.full.pdf>

24. Chawla R, Patil GR. *Fiber*. 2010;9.
25. Elleuch M, Bedigian D, Roiseux O, Besbes S, Blecker C, Attia H. Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food Chem* [Internet]. Elsevier Ltd; 2011;124(2):411–21. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.06.077>
26. Escudero Álvarez E, González Sánchez P. La fibra dietética. *Nutr Hosp*. 2006;21(SUPPL. 2):61–72.
27. Dikeman CL, Murphy MR, Fahey GC. Dietary fibers affect viscosity of solutions and simulated human gastric and small intestinal digesta. *J Nutr*. 2006;136(4):913–9.
28. Tungland BC, Meyer D. Nondigestible Oligo- and Polysaccharides (Dietary Fiber): Their Physiology and Role in Human Health and Food. *Compr Rev Food Sci Food Saf* [Internet]. 2002;1(3):90–109. Available from: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1541-4337.2002.tb00009.x/abstract>
29. Gassul MA. Fibra alimentaria. *Nutrientes*. 2002. p. 121–8.
30. ISLÁN MEMM y ÁPM. La fibra dietética procesada como alimento funcional. *O F F A R M*. 2007;26(1):70–7.
31. Anderson JW, Baird P, Davis RH, Ferreri S, Knudtson M, Koraym A, et al. Health benefits of dietary fiber. Vol. 67, *Nutrition Reviews*. 2009. p. 188–205.
32. García Peris P, Bretón Lesmes I, de la Cuerda Compes C, Camblor Alvarez M. Metabolismo colónico de la fibra. *Nutr Hosp*. 2002;17 Suppl 2:11–6.
33. Kuskoski EM, Asuero AG, Troncoso AM, Mancini-Filho J, Fett R. Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Ciência e Tecnol Aliment*. 2005;25(4):726–32.
34. Martínez-Valverde I, Periago MJ, Ros G. Nutritional importance of phenolic compounds in the diet. *Arch Latinoam Nutr* [Internet]. 2000;50(1):5–18. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11048566>
35. Ali SS, Kasoju N, Luthra A, Singh A, Sharanabasava H, Sahu A, et al. Indian medicinal herbs as sources of antioxidants. Vol. 41, *Food Research International*. 2008. p. 1–15.

36. González-Ramos I, Ortega-Figueroa M.J, Mendoza-González S, Martínez-Peniche A.R. Caracterización física y química del fruto de xoconostle en la región suroeste del estado de Guanajuato
37. Contreras LE, Jaimez OJ, Castañeda O a, Añorve MJ, Villanueva RS. Sensory profile and chemical composition of *Opuntia joconostle* from Hidalgo, Mexico. *J Stored Prod Postharvest Res* [Internet]. 2011;2(February):37–9. Available from: <http://www.academicjournals.org/journal/JSPPR/article-full-text-pdf/4EE07C18512>
38. Basurto D, Lorenzana-jiménez M, Magos G. Utilidad del Nopal para el Control de la Glucosa en la Diabetes Mellitus tipo 2. *Fac Med UNAM*. 2011;49(4):157–62.
39. Morales P, Barros L, Ramírez-Moreno E, Santos-Buelga C, Ferreira ICFR. Xoconostle fruit (*Opuntia matudae* Scheinvar cv. Rosa) by-products as potential functional ingredients. *Food Chem* [Internet]. Elsevier Ltd; 2015;185:289–97. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814615005439>
40. Guzmán-Maldonado SH, Morales-Montelongo AL, Mondragón-Jacobo C, Herrera-Hernández G, Guevara-Lara F, Reynoso-Camacho R. Physicochemical, nutritional, and functional characterization of fruits xoconostle (*Opuntia matudae*) pears from Central-México Region. *J Food Sci* [Internet]. 2010;75(6):C485-92. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20722901>
41. Morales P, Ramírez-Moreno E, Sanchez-Mata MDC, Carvalho AM, Ferreira ICFR. Nutritional and antioxidant properties of pulp and seeds of two xoconostle cultivars (*Opuntia joconostle* F.A.C. Weber ex Diguet and *Opuntia matudae* Scheinvar) of high consumption in Mexico. *Food Res Int* [Internet]. Elsevier Ltd; 2012;46(1):279–85. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0963996912000166>
42. Osorio-Esquivel O, Alicia-Ortiz-Moreno, Álvarez VB, Dorantes-Álvarez L, Giusti MM. Phenolics, betacyanins and antioxidant activity in *Opuntia joconostle* fruits. *Food Res Int* [Internet]. Elsevier Ltd; 2011;44(7):2160–8. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0963996911000986>
43. Gallegos-Vázquez C, Scheinvar L, Núñez-Colín CA, Mondragón-Jacobo C. Morphological diversity of xoconostles (*Opuntia* spp.) or acidic cactus pears: a Mexican contribution to functional foods. *Fruits* [Internet]. 2012;67(2):109–20. Available from: <http://www.fruits-journal.org/10.1051/fruits/2012001>

44. Morales P, Barros L, Ramírez-Moreno E, Santos-Buelga C, Ferreira ICFR. Exploring xoconostle by-products as sources of bioactive compounds. *Food Res Int* [Internet]. Elsevier Ltd; 2014;65(PC):437–44. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2014.05.067>
45. Bensadón S, Hervert-Hernández D, Sáyago-Ayerdi SG, Goñi I. By-Products of *Opuntia ficus-indica* as a Source of Antioxidant Dietary Fiber. *Plant Foods Hum Nutr* [Internet]. 2010;65(3):210–6. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s11130-010-0176-2>
46. NMX-FF-030-1995. Productos alimenticios no industrializados para uso humano fruta fresca. Tuna. (*Opuntia spp*) especificaciones. Non industrialized food products for human use fresh fruit. Cactus pear (*Opuntia spp*). Specifications. Normas mexicanas. Dirección general de normas.
47. Aular J, Ruggiero C, Durigan J. Relación entre el color de la cáscara y las características del fruto y jugo de la parchita maracuyá. *Bioagro*. 2002;14(1):47–51.
48. NMX-F-083-1986. ALIMENTOS. Determinación de humedad en productos alimenticios. Foods. Moisture in food products determination. Normas mexicanas. Dirección general de normas.
49. AOAC. Official Methods of Analysis of AOAC International. Association of Official Analysis Chemists International. 2012. Method ce 2-66.
50. Kjeldahl J. Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern. *J Anal Chem* [Internet]. 1883;(22):366–82. Available from: <http://www.springerlink.com/index/J8330H8K3168RN81.pdf>
51. Ruiz-Rodríguez BM, Morales P, Fernández-Ruiz V, Sánchez-Mata MC, Cámara M, Díez-Marqués C, et al. Valorization of wild strawberry-tree fruits (*Arbutus unedo* L.) through nutritional assessment and natural production data. *Food Res Int* [Internet]. Elsevier Ltd; 2011;44(5):1244–53. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2010.11.015>
52. Fennema OR. Food Chemistry, Third Edition [Internet]. Food science and technology. 1996. 1262 p. Available from: <https://books.google.com.vn/books?id=1OhFPZ7tFz8C>
53. Vazquez Oderiz ML, Vazquez Blanco ME, Lopez Hernandez J, Simal Lozano J,

- Romero Rodriguez MA. Simultaneous determination of organic acids and vitamin C in green beans by liquid chromatography. *J AOAC Int* [Internet]. 1994;77(4):1056–9. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/htbin-post/Entrez/query?db=m&form=6&dopt=r&uid=0008069112>
54. HASSELMANN FAJ-LDJ-BBC. Application de la chromatographie en phase liquide haute performance à la détermination de l'acide L-ascorbique et de la vitamine C totale dans les aliments. Etude interlaboratoire. *Ann des Falsif l'expertise Chim Toxicol*. 1994;90.
 55. SIGMA. Total Dietary Fiber Assay Kit.
 56. Francia E, Valencia G, María O, Román M. Caracterización fisicoquímica y funcional de tres concentrados comerciales de fibra dietaria. *Physicalchemical and functional characterization of three commercial concentrates from dietary fiber* 2006;(53):54–60.
 57. Ou S, Kwok K, Li Y, Fu L. In vitro study of possible role of dietary fiber in lowering postprandial serum glucose. *J Agric Food Chem*. 2001;49(2):1026–9.
 58. Chau C-F, Huang Y-L. Comparison of the Chemical Composition and Physicochemical Properties of Different Fibers Prepared from the Peel of *Citrus sinensis* L. Cv. Liucheng. *J Agric Food Chem* [Internet]. 2003;51(9):2615–8. Available from: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf025919b>
 59. Georgé S, Brat P, Alter P, Amiot MJ. Rapid determination of polyphenols and vitamin C in plant-derived products. *J Agric Food Chem*. 2005;53(5):1370–3.
 60. Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic Biol Med*. 1999;26(9–10):1231–7.
 61. Tirzitis G, Bartosz G. Determination of antiradical and antioxidant activity: basic principles and new insights- Review. *Acta Biochim Pol* [Internet]. 2010;54(1):139–42. Available from: www.actabp.pl
 62. Morales FJ, Jiménez-Pérez S. Free radical scavenging capacity of Maillard reaction products as related to colour and fluorescence. *Food Chem*. 2001;72(1):119–25.
 63. Arias Velázquez C, Toledo Evia J. Manual de manejo de postcosecha de frutas tropicales. 2007.

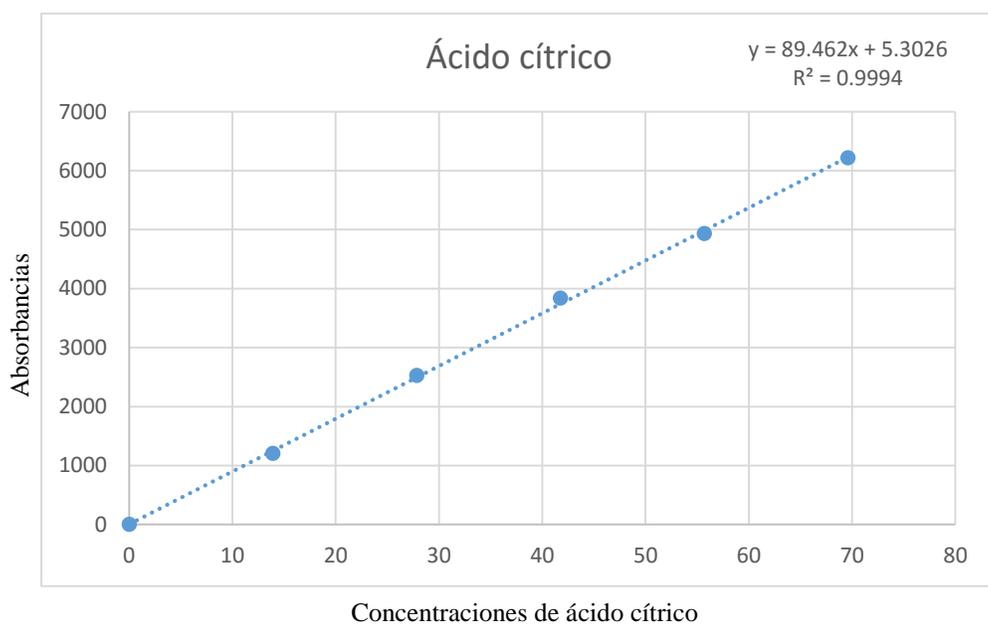
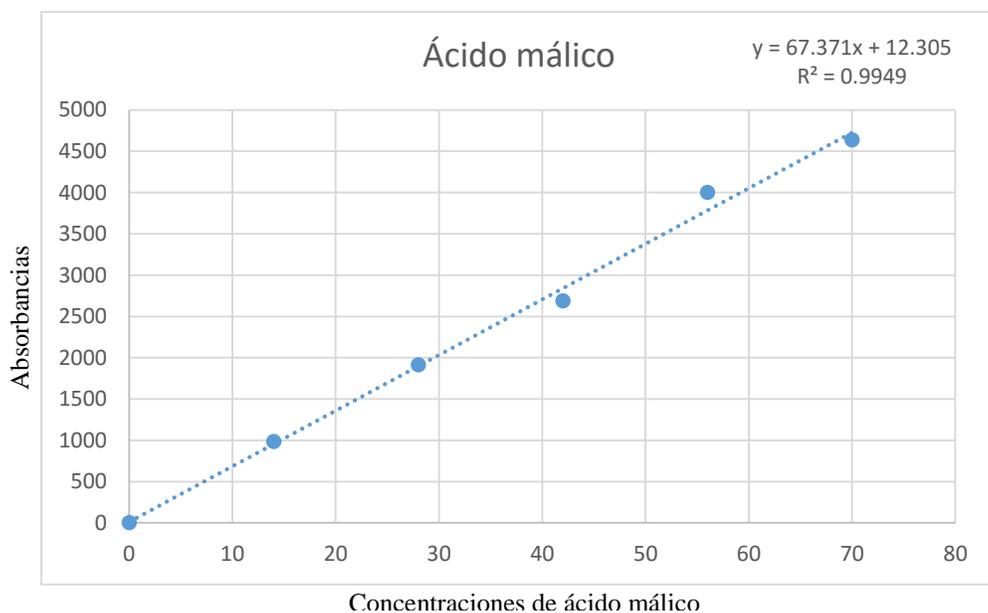
64. Canacuan HGC, Murillo BLV, Santos LEO. Efectos de los tratamientos térmicos en la concentración de vitamina C y color superficial en tres frutas tropicales. *Rev Lasallista Investig.* 2016;13(1):85–93.
65. Torres R, Montes EJ, Pérez OA, Andrade RD. Relación del color y del estado de madurez con las propiedades fisicoquímicas de frutas tropicales. *Inf Tecnol.* 2013;24(3):51–6.
66. Esquivel P. Los Frutos de las Cactáceas y su Potencial como Materia Prima. *Agron Mesoam.* 2004;15(2):215–9.
67. Medina ML, Pagano F. Caracterización de la pulpa de guayaba (*Psidium guajava L.*) tipo “ Criolla Roja ”. Characterization of guava pulp (*Psidium guajava L.*) “ Criolla Roja ”. *Rev la Fac Agron.* 2003;20(20° C):72–86.
68. FAO. Vitaminas. *Nutr humana en el mundo en Desarro.* 2002;99–204.
69. UE. Reglamento (CE) No 1924/2006 del parlamento europeo y del consejo del 20 de diciembre de 2006 relativo a las declaraciones nutricionales y de propiedades saludables en los alimentos. *D Of la Unión Eur.* 2006;9–25.
70. Torres-maravilla E, Ramírez-calzada C, Mayra A, Padilla L, Blancas-nápoles JA. Caracterización química y funcional del xoconostle (*Opuntia joconostle* variedad weber). XIX Congreso Nacional de Ingeniería Bioquímica VIII Congreso Internacional de Ingeniería Bioquímica XII Jornadas Científicas de Biomedicina y Biotecnología Molecular.
71. López G, Ros G, Rincón F, Periago M. J, Martínez MC, Ortuño J. Relationship between Physical and Hydration Properties of Soluble and Insoluble Fiber of Artichoke. *J Agric Food Chem.* 1996;44(9):2773–8.
72. Figuerola F, Hurtado ML, Estévez AM, Chiffelle I, Asenjo F. Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment. *Food Chem.* 2005;91(3):395–401.
73. Alarcón M, López J, Restrepo D. Caracterización de la Funcionalidad Tecnológica de una Fuente Rica en Fibra Dietaria Obtenida a partir de Cáscara de Plátano. *Rev Fac Nac Agron - Medellín* [Internet]. 2013;66(1):6959–68. Available from: <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v66n1/v66n1a13.pdf>
74. Raghavendra SN, Ramachandra Swamy SR, Rastogi NK, Raghavarao KSMS,

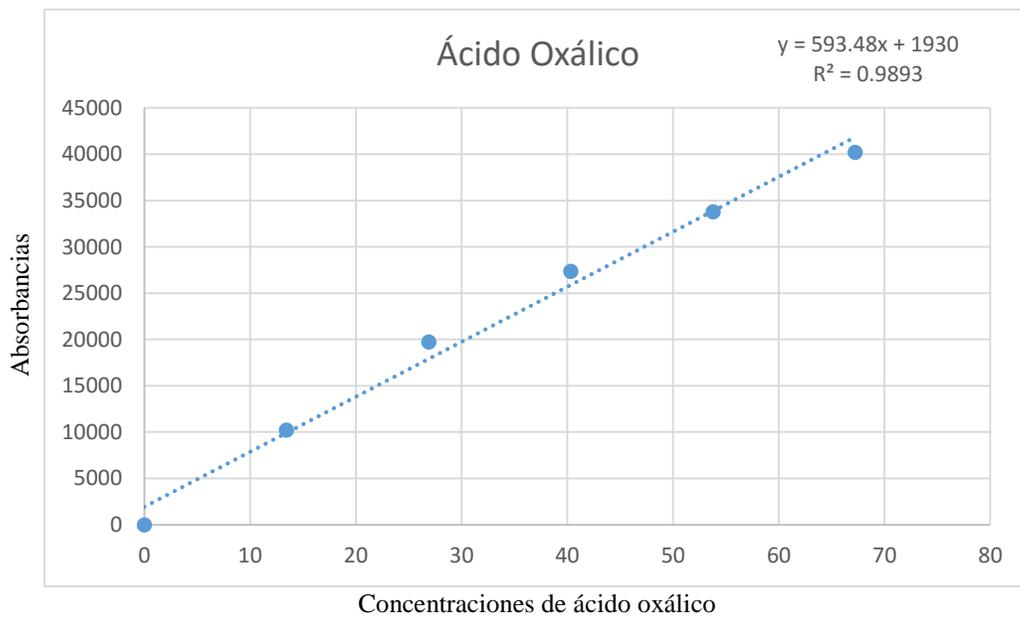
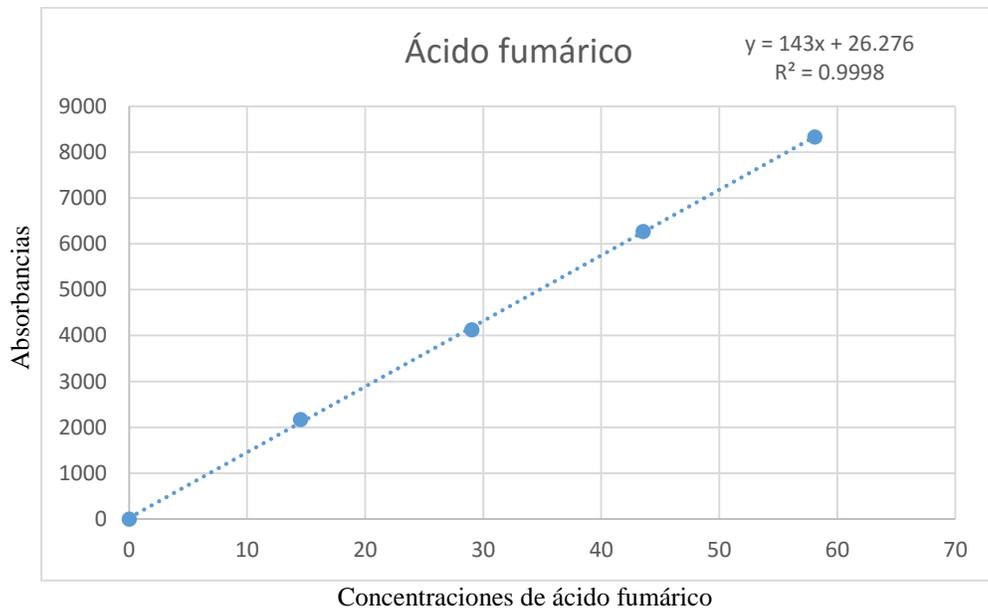
- Kumar S, Tharanathan RN. Grinding characteristics and hydration properties of coconut residue: A source of dietary fiber. *J Food Eng.* 2006;72(3):281–6.
75. Bouras E, Vazquez-Roque M. Epidemiology and management of chronic constipation in elderly patients. *Clin Interv Aging* [Internet]. 2015;10:919. Available from:
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26082622>
<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC4459612>
<http://www.dovepress.com/epidemiology-and-management-of-chronic-constipation-in-elderly-patient-peer-reviewed-article-CIA>
 76. Inurreta F, Gonzáles R, Domínguez M, Ruiz J, Betancur D, Chel L. IX Congreso de Ciencia de los Alimentos y V Foro de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Inc hidrolizados proteicos Divers fuentes Veg en extruidos mezclas maiz-leguminosa catacterización física y evaluación la Act antioxidante. 2007;4(1):538–45.
 77. Abirami A, Nagarani G, Siddhuraju P. Measurement of functional properties and health promoting aspects-glucose retardation index of peel, pulp and peel fiber from *Citrus hystrix* and *Citrus maxima*. *Bioact Carbohydrates Diet Fibre* [Internet]. Elsevier; 2014;4(1):16–26. Available from:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.bcdf.2014.06.001>
 78. Lecumberri E, Mateos R, Izquierdo-Pulido M, Rupérez P, Goya L, Bravo L. Dietary fibre composition, antioxidant capacity and physico-chemical properties of a fibre-rich product from cocoa (*Theobroma cacao* L.). *Food Chem.* 2007;104(3):948–54.
 79. Pimienta-Barrios E, Méndez-Morán L, Ramírez-Hernández B. Efecto de la ingestión del fruto de xoconostle (*Opuntia joconostle* Web.) sobre la glucosa y lípidos séricos. *Agrociencia.* 2008;42: 645-653.
 80. Camacho Romero O, Melgarejo Gómez S, de la Rosa Torres C, Puertas-Mejia MA, Rojano B. Correlación del contenido de fenoles y antocianinas con la capacidad antioxidante *Syzygium cumini* (L.) Skeels, (Jambolan). *Rev Cuba Plantas Med.* 2016;21(1):63–70.
 81. Chavez-Santoscoy RA, Gutierrez-Uribe JA, Serna-Saldívar SO. Phenolic composition, antioxidant capacity and in vitro cancer cell cytotoxicity of nine prickly pear (*Opuntia spp.*) juices. *Plant Foods Hum Nutr.* 2009;64(2):146–52.

82. Vieira FGK, Copetti C, Da Silva Campelo Borges G, Gonzaga LV, Da Costa Nunes E, Fett R. Activity and contents of polyphenols antioxidants in the whole fruit, flesh and peel of three apple cultivars. *Arch Latinoam Nutr.* 2009;59(1):101–6.
83. Almeida MMB, de Sousa PHM, Arriaga ÂMC, do Prado GM, Magalhães CE de C, Maia GA, et al. Bioactive compounds and antioxidant activity of fresh exotic fruits from northeastern Brazil. *Food Res Int.* 2011;44(7):2155–9.
84. Cortez-García RM, Ortiz-Moreno A, Zepeda-Vallejo LG, Necochea-Mondragón H. Effects of Cooking Methods on Phenolic Compounds in Xoconostle (*Opuntia joconostle*). *Plant Foods Hum Nutr.* 2015;70(1):85–90.
85. Delia A, Bañuelos F, Montiel C, German R, Manuel J, Zacatecas. Actividad antioxidante de genotipos de xoconostle (*Opuntia*). 2015.
86. Gaviria C, Hernández JD, Lobo M, Medina CI, Rojano B. Cambios en la Actividad Antioxidante en Frutos de Mortiño (*Vaccinium meridionale Sw.*) durante su Desarrollo y Maduración. *Revsita Univ Nac Fac Agron Medellín.* 2012;65(1):6487–95.
87. Proteggente AR, Pannala AS, Paganga G, Van Buren L, Wagner E, Wiseman S, et al. The antioxidant activity of regularly consumed fruit and vegetables reflects their phenolic and vitamin C composition. *Free Radic Res.* 2002;36(2):217–33.

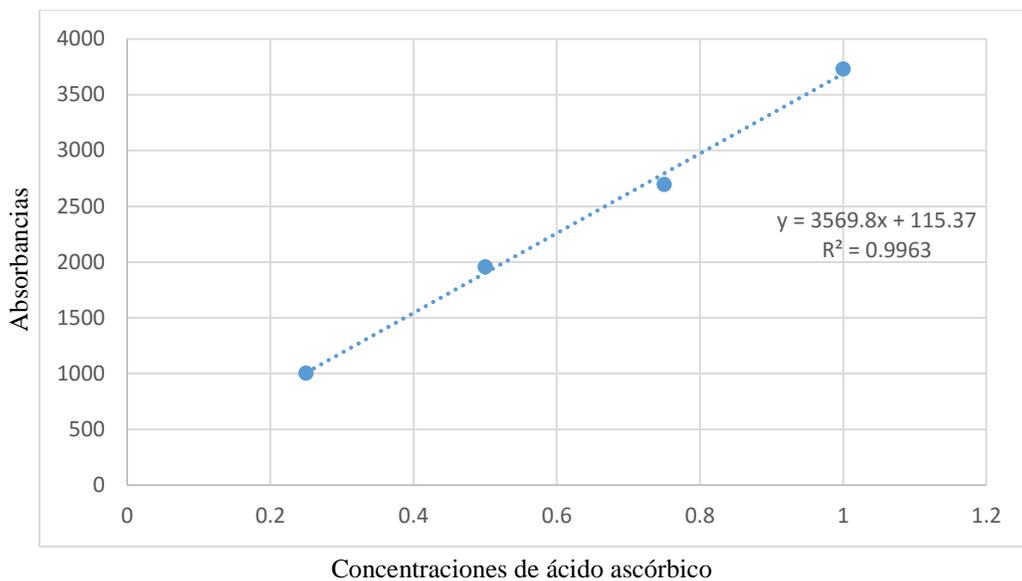
XII. ANEXOS

Anexo I. Curvas de calibrado de absorbancia de ácidos orgánicos por HPLC

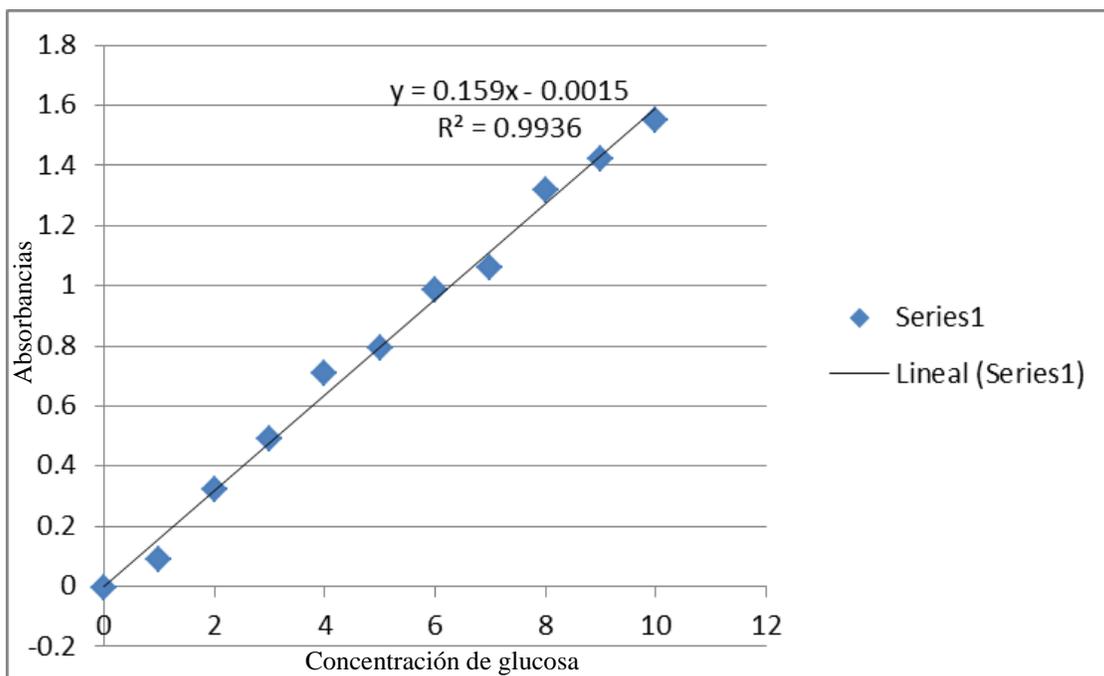




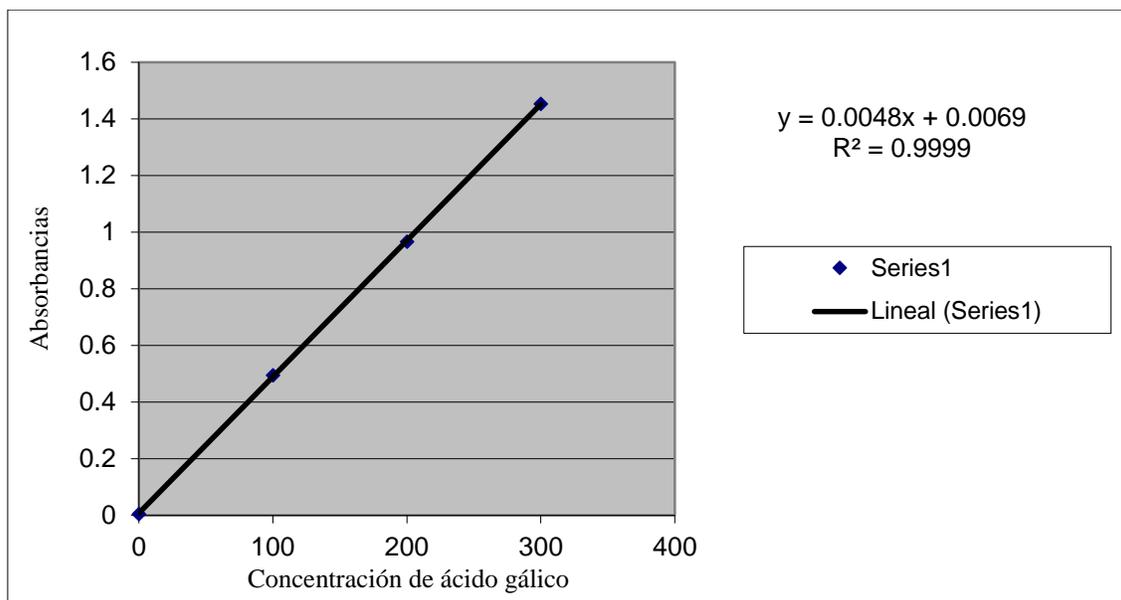
Anexo II. Curva de calibrado de absorbancia de AA y ADHA por HPLC



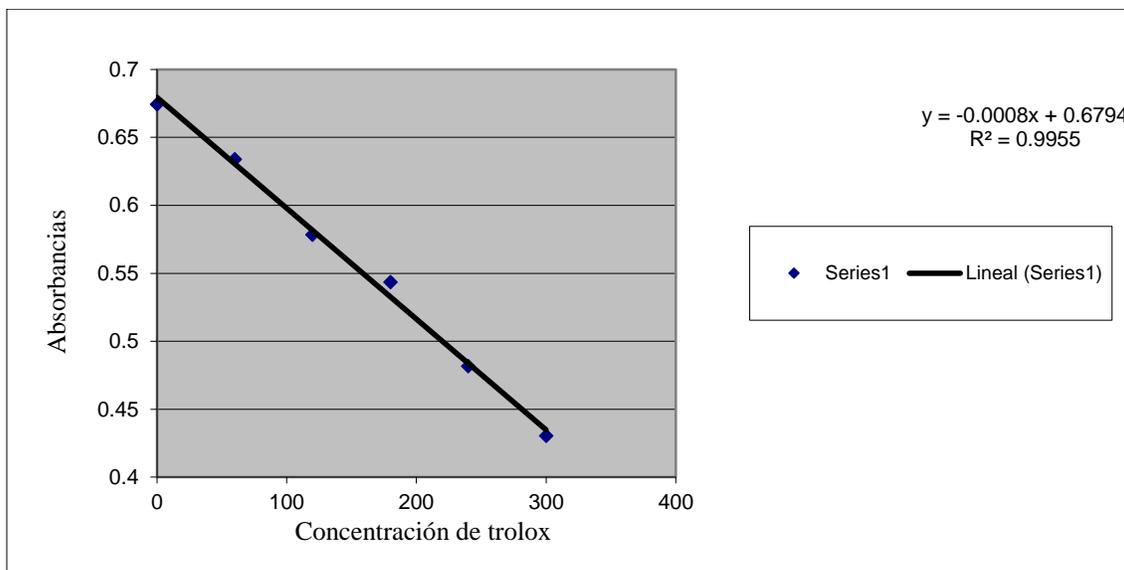
Anexo III. Curva de calibrado de absorbancia para capacidad de retención de glucosa.



Anexo IV. Curva de calibrado de absorbancia de compuestos fenólicos totales



Anexo V. Curva de calibrado de absorbancia de actividad antioxidante por ABTS●+.



Anexo VI. Curva de calibrado de absorbancia para actividad antioxidante por DPPH.

