



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

ALIMENTOS FUNCIONALES Y TRADICIONALES DE
MÉXICO: EL XOCONOSTLE COMO FUENTE DE
COMPUESTOS BIOACTIVOS.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE :

QUÍMICA DE ALIMENTOS

P R E S E N T A :

CLAUDIA EDITH FLORES MONZÓN



MÉXICO, D.F

2009



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE: Profesor: Hermilo Leal Lara
VOCAL: Profesor: Marco Antonio León Félix
SECRETARIO: Profesor: Arturo Navarro Ocaña
1er. SUPLENTE: Profesora: Luz Sandra Sánchez del Angel
2º. SUPLENTE: Profesora: Iliana Elvira González Hernández

Sitio donde se desarrolló el tema:

Departamento de Alimentos y Biotecnología

Laboratorio 321 conjunto "E" Facultad de Química

Universidad Nacional Autónoma de México

Asesor de tema:

Dr. Arturo Navarro Ocaña

Supervisor Técnico:

Dra. Hilda Calderón Villagómez

Sustentante:

Claudia Edith Flores Monzón

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Arturo Navarro Ocaña por haberme abierto las puertas de su laboratorio, y darme la oportunidad de culminar mis estudios, por darme su apoyo y compartir conmigo sus conocimientos durante la investigación y desarrollo de este trabajo.

A la Dra. Hilda Calderón Villagómez por su asesoría y apoyo en la realización del trabajo experimental y en la revisión de este trabajo escrito, cuyas observaciones hicieron el enriquecimiento de éste.

A la Q.F.B. Julieta Sandoval Guillén por tener siempre disponibilidad para dedicar parte de su tiempo en el desarrollo de este trabajo, por brindarme el apoyo necesario para solucionar mis dudas.

A los miembros del jurado: Hermilo Leal Lara, Marco Antonio León Felix, Luz Sandra Sánchez del Angel y Iliana Elvira González Hernández por haberme hecho las observaciones necesarias para el mejoramiento de este trabajo.

A la mejor Universidad de México, la Universidad Nacional Autónoma de México, por haberme abierto sus puertas, dejarme vivir una gran experiencia estudiantil y personal y por darme las herramientas necesarias para desarrollarme profesionalmente.

DEDICATORIAS

Principalmente a mis padres, quienes me dieron la vida y la oportunidad de vivir esta gran experiencia, por estar siempre conmigo apoyándome en las buenas y en las malas. Gracias por darme una carrera para mi futuro y por creer siempre en mí. Siempre les estaré totalmente agradecida, ustedes saben que los quiero con todo el corazón y que son los mejores padres del mundo. Este trabajo es para ustedes, es solamente una pequeña parte de todo lo que me han dado. ¡Muchas gracias!

A mis hermanos Miguel y Jimena por estar conmigo y apoyarme siempre en mis noches de desvelo, los quiero mucho.

A mia cognata Filo per avermi dato l'opportunità di migliorare il mio livello di inglese.

Alla mia piccola nipotina Francesca, per avermi dato più luce alla mia vita per avermi dato tanti momenti di allegria e per regalarmi un sorriso tutti i giorni.

A toda la Familia Monzón por compartir conmigo tantos momentos de dicha, tristeza y felicidad que nos han hecho una familia más unida.

A mi abuela Mary y a mis abuelos Miguel, Jesús y Carmen que aunque ya no están conmigo aquí en la tierra, sé que siempre estarán conmigo, cuidándome como mis ángeles de la guarda.

A la mejor amiga del mundo, Gaby por apoyarme siempre en las buenas y en las malas, por compartir conmigo la mejor etapa de mi vida, por todos los momentos inolvidables que pasamos dentro y sobre todo fuera de la prepa.

A mis amigos de 1er. semestre y a los que hice en el transcurso de la carrera: Rafael Araluce, Chalini, Luis, Sergio, Néstor, Miguel, Jesús, Jacob, Sol, Rafael Guzmán, Cristian, Miriam, Gina y a todos aquellos con los que compartí algún momento de mi

vida. Todos ustedes han sido parte aguas de mi vida y han marcado mi vida de alguna forma.

A mis amigos y compañeros de laboratorio: Tere, Minerva, Esther, Karla, Nancy, Elizabeth, Ricardo, Alicia Camacho, Berenice, Alicia Rivera por todo su apoyo, enseñanzas y consejos que fueron indispensables para la realización de este proyecto.

	Página
1.2.2.2 Cosecha y producción	45
1.2.2.3 Características químicas y morfológicas	48
1.2.3 Los alimentos tradicionales como alimentos funcionales	52
Capítulo 2. Desarrollo experimental	
2.1 Materia prima, reactivos y equipos	54
2.2 Esquema general de trabajo	56
2.3 Metodología	
Primera parte	
2.3.1 Determinación cualitativa	
2.3.1.1 Flavonoles	59
2.3.1.2 Ácidos fenólicos	59
2.3.1.3 Betalaínas	59
Segunda parte	
2.3.2 Determinación cuantitativa	
2.3.2.1 Humedad	60
2.3.2.2 Fenoles totales	60
2.3.2.3 Betalainas	61
2.3.2.4 Carotenos Totales	61
2.3.2.5 Ácido ascórbico	62
2.3.2.6 Fibra dietética	62
2.4 Análisis estadístico	63

Capítulo 3. Resultados y discusión

Primera parte

3.1 Determinación cualitativa

3.1.1 Flavonoles 64

3.1.2 Ácidos fenólicos 66

3.1.3 Betalaínas 67

Segunda parte

3.2 Determinación cuantitativa

3.2.1 Humedad 69

3.2.2 Fenoles Totales 70

3.2.3 Betalainas 71

3.2.4 Carotenos totales 73

3.2.5 Ácido ascórbico 76

3.2.6 Fibra dietética total 77

3.2.7 Aporte de compuestos bioactivos a la
recomendación dietética diaria 81

Capítulo 4. Conclusiones 84

Bibliografía 85

Anexos 94

Resumen

Estudios epidemiológicos han demostrado que hay una relación inversa entre el mayor consumo de frutas y verduras y la mortalidad ocasionada por enfermedades crónico-degenerativas como cáncer, patologías cardiovasculares y complicaciones respiratorias o diabetes. Los alimentos que tienen la propiedad de mejorar el estado de salud o prevenir enfermedades se les conoce como alimentos funcionales, en los cuales están presentes los compuestos bioactivos como la fibra dietética, vitamina C, carotenos, betalaínas, tocoferoles, ácidos grasos insaturados, esteroides, clorofilas, etc., que además de que pueden cumplir con un papel nutrimental pueden tener efectos benéficos en la salud, al presentar efectos antioxidantes, hipocolesterolémicos e hipoglucémicos (Diplock, 1987; Kris-Etherton *et al.*, 2002).

En la tuna dulce se ha demostrado la presencia de algunos compuestos bioactivos (Kuty, 2004), por lo que se decidió determinar la presencia de éstos en la cáscara de 3 variedades de tuna ácida, xoconostle: *O. joconostle* colorado, *O. joconostle* burro y *O. matudae* cuaresmeño.

En una primera etapa se determinó mediante cromatografía en capa fina (CCF) la presencia de compuestos fenólicos y betalaínas. En la segunda etapa se cuantificó el total de estos compuestos en base húmeda, además de carotenos totales, vitamina C y fibra dietética, encontrando que *O. matudae* cuaresmeño fue la que presentó un mayor contenido de fenoles totales (49.89 mg/100g) y ácido ascórbico (108.72 mg/100g), mientras que *O. joconostle* colorado presentó un mayor contenido de fibra dietética total (2.77g/100g) y betalaínas, y *O. joconostle* burro un contenido mayor en carotenos totales. Con estos datos se determinó el porcentaje de la recomendación dietética diaria (RDD) que aportan estas tres variedades, encontrando que la cáscara de xoconostle es

muy buena fuente de ácido ascórbico y fibra, ya que por cada 100g de ésta se tiene mas del 100% de la RDD de ácido ascórbico y de un 7.42 hasta un 15.28 % de la RDD de fibra dietética, mientras que el aporte de carotenos totales es desde un 0.75 hasta un 22.75%.

Introducción

Las enfermedades más prominentes en México, que actualmente es el segundo país con mayores problemas de sobrepeso y obesidad del mundo, relacionadas con la alimentación son: la obesidad, diabetes y las enfermedades cardiovasculares que ahora empiezan a afectar a la población en edades más tempranas. La comida rápida ha desplazado a algunos alimentos típicos los cuales tienen altos valores nutrimentales, entre los que se encuentran: productos del maíz, frijol, calabaza, chile, nopal, chayote y amaranto, además de frutas como la guanabana, piitaya, zapote, tejocote, ciruela y otros como el huitlacoche, xoconostle, maguey, achiote, el camote, los quelites y los romeritos (Torres, 1999).

La tuna tiene más de 25 mil años de existencia. Ayudó a los primeros pobladores de América a subsistir, proporcionándoles alimento, medicinas y forrajes para animales silvestres y domesticados, convirtiéndose así en un producto de gran tradición y símbolo a lo largo de la historia de nuestro país. Dentro de los frutos llamados tunas, algunos son ácidos como el "Xoconostli" que significa en náhuatl tuna agria, se utiliza como condimento en la cocina mexicana en la elaboración de platillos, refrescos caseros, mermeladas y dulces, como medicamento para el control de diabetes, colesterol y peso corporal, se utiliza también como laxante y en problemas de colitis (Olivares *et al.*, 2003).

La importancia de este trabajo radica en la determinación de compuestos bioactivos en la cáscara del xoconostle, la cual es comestible y representa mas del 70% del fruto entero para proponer su uso como ingrediente en la elaboración de platillos y poder considerarlo una fuente alternativa de compuestos bioactivos.

Objetivos

Objetivo general:

- Determinar el contenido de compuestos bioactivos en la cáscara de 3 variedades de xoconostle fresco: *O. joconostle* colorado, *O. joconostle* burro y *O. matudae* cuaresmeño para poder determinar el % RDD de éstos que aporta cada una de las tres muestras, y con ello poder considerarlas como una fuente de compuestos bioactivos.

Objetivos particulares:

- Determinar cualitativamente mediante cromatografía en capa fina (CCF) la presencia de betalainas (betacianinas y betaxantinas), flavonoles (quercetina, kaempferol e isorhamentina) y ácidos fenólicos (ácido cafeico, cumarico, ferúlico y gálico), así como su capacidad antioxidante.
- Cuantificar el contenido de ácido ascórbico, betalaínas, fenoles totales, carotenos totales y fibra dietética.
- Determinar el porcentaje de la recomendación dietética diaria (RDD) de ácido ascórbico, carotenos y fibra dietética que aporta la cáscara de las tres variedades de xoconostle.

Capítulo 1. Antecedentes

1.1 Alimentos funcionales

En las últimas décadas, las demandas del consumidor en el campo de la producción de alimentos ha cambiado considerablemente. Hoy en día la gente no sólo busca satisfacer su hambre y necesidades nutricionales a través de los alimentos, sino prevenir enfermedades relacionadas con la salud y mejorar su bienestar físico y mental, para lo cual los alimentos funcionales juegan un papel muy importante.

El término alimento funcional fue propuesto por primera vez en Japón en la década de los 80's para alimentos fortificados con constituyentes especiales que poseían diversos efectos fisiológicos. En 1991 el Ministerio de Salud publicó una reglamentación para la aprobación de una categoría específica de “alimentos para uso exclusivo de la salud” (Foods for specified health use” o FOSHU) y que se refiere a aquellos alimentos naturales o procesados los cuales contienen ingredientes que desempeñan un papel específico en las funciones fisiológicas del ser humano, más allá de las nutrimentales (Alvidrez *et al.*, 2002).

En la actualidad existe una gran variedad de definiciones del término “alimentos funcionales” generadas por los organismos de salud de distintos países como Japón, Canadá, E.U., entre otros. Una de las propuestas de mayor aceptación para alimentos declarados funcionales es “cualquier alimento o parte de un alimento, en forma natural o procesada, que además de sus compuestos nutritivos contiene componentes adicionales que favorecen la salud, la capacidad física y el estado mental, ayudando también a la prevención, reducción y tratamiento de enfermedades”.

Los alimentos funcionales han sido desarrollados en todas las categorías de producción de alimentos como por ejemplo: bebidas no alcohólicas, productos cárnicos y de

panadería. La mayoría de los primeros desarrollos de alimentos funcionales fueron aquellos que consistían en la fortificación con vitaminas y/o minerales, los cuales con el paso del tiempo se ha buscado su fortificación con otros micro nutrientes como los ácidos grasos ω -3, fitoesteroles y fibra soluble que puedan promover un buen estado de salud y/o prevenir enfermedades como el cáncer (Siró *et al.*, 2007).

1.1.1 Compuestos bioactivos

Los compuestos bioactivos son aquellos que se encuentran presentes de forma natural en los alimentos que ejercen un efecto beneficioso para alguna función corporal del individuo produciendo una mejora en su salud y bienestar o reduciendo el riesgo de una enfermedad. La presencia de estos compuestos en los alimentos es lo que hace a éstos funcionales (Goldberg, 1996). El concepto de compuesto bioactivo y su relación con los alimentos no es una idea nueva, aunque sí lo es el hecho de querer explotar su potencial y conocer las bases científicas de su modo de acción. Algunos compuestos considerados como bioactivos son:

1.1.1.1 Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos son sustancias químicas que poseen un anillo aromático con uno o mas grupos hidroxilo (Figura 1) incluyendo derivados funcionales (ésteres, metil ésteres, glicósidos, etc). Se presentan en las plantas en forma conjugada con uno o más residuos de hidratos de carbono unidos a los grupos hidroxilo, aunque en algunos casos se pueden producir uniones directas entre una molécula de azúcar y un carbono aromático. Los azúcares asociados a los polifenoles pueden ser monosacáridos,

disacáridos, o incluso oligosacáridos. Los compuestos a los que se encuentran unidos con mas frecuencia son: glucosa, galactosa, arabinosa, xilosa y ácidos glucurónico y galacturónico (Martínez *et al.*, 2000).

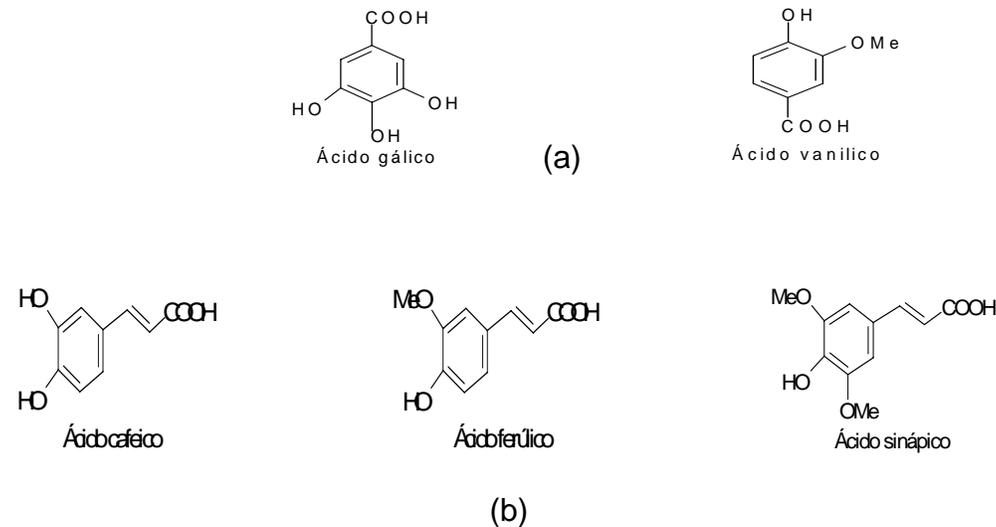


Figura 1. Ejemplos de ácidos benzoicos (a) e hidroxicinámicos (b) (Belitz y Grosch, 1997).

Las principales funciones de los compuestos fenólicos en las células vegetales son las de actuar como metabolitos esenciales para el crecimiento y reproducción de las plantas, y como agentes protectores frente a la acción de patógenos, siendo secretados como mecanismo de defensa.

Los compuestos fenólicos intervienen en las características sensoriales de las frutas y verduras, al intervenir en gran medida en el color natural y en el sabor que éstas poseen (Belitz y Grosch, 1997). El pardeamiento de las frutas y vegetales está también relacionado con el contenido de compuestos fenólicos. Así, la formación de pigmentos

amarillos y marrones durante la manipulación y procesado de los alimentos vegetales, está controlada por los niveles de polifenoles, la presencia de oxígeno y la actividad de la polifenol oxidasa.

La actividad antioxidante de los compuestos fenólicos tiene interés desde un punto de vista tecnológico y de salud. Así, los compuestos fenólicos intervienen como antioxidantes naturales de los alimentos, por lo que la obtención y preparación de alimentos con un alto contenido en estos compuestos supone una reducción en la utilización de aditivos antioxidantes, a la vez que se obtienen alimentos más saludables, que pueden llegar a englobarse dentro de los alimentos funcionales. Desde un punto de vista nutricional, esta actividad antioxidante se asocia con su papel protector en las enfermedades cardiovasculares y en el cáncer así como en procesos de envejecimiento (Martínez *et al.*, 2000).

La mayoría de las plantas contienen polifenoles los cuales están presentes en diferentes cantidades dependiendo de la planta y del grupo de compuesto fenólico estudiado (Tabla 1), diferenciándose estos contenidos de acuerdo a la parte del vegetal que se trate, bien sea fruto, hoja, o parte leñosa de la planta. En general, las hojas, flores, frutos y otros tejidos de las plantas contienen glicósidos, en tanto que los tejidos leñosos contienen agliconas, las semillas pueden contener ambas formas y las raíces y tubérculos contienen escasas concentraciones de flavonoides, a excepción de ciertas plantas como la cebolla.

Tabla 1. Concentración relativa de flavonoides y ácidos cinámicos en distintos tejidos vegetales (Martínez *et al.*, 2000)

Tejido	Contenido relativo
Frutas	Ácido cinámico > catequinas > leucoantocianidinas > flavonoles
Hojas	Flavonoles = ácido cinámico > catequinas = leucoantocianidinas
Corteza y madera	Catequina = leucoantocianidina > flavonoles > ácido cinámico

Las frutas destacan en la dieta por su alto contenido de flavonoles, presentando también cantidades considerables de otros compuestos fenólicos dependiendo del tipo de fruta. El principal flavonoide presente en las frutas es la quercetina (figura 18). En general el contenido de ácidos hidrogenzoicos es bajo, con la excepción de las moras, frambuesas, la grosella morada y la grosella roja, siendo mayor el contenido de ácidos hidroxicinámicos. El ácido cafeico es el ácido hidroxicinámico predominante en muchas frutas, constituyendo el 75 % del total de estos ácidos, encontrándose en ciruelas, manzanas, chabacanos y arándanos. Sin embargo, el ácido p-cumárico es el componente mayoritario, dentro del grupo de los ácidos hidroxicinámicos de los cítricos y de la piña (Martínez *et al.*, 2000).

Además de las propiedades biológicas de los compuestos fenólicos, también se les atribuye actividades farmacológicas y médicas relacionadas con la prevención y/o mejora del estado de salud. Entre éstas destacan sus efectos vasodilatadores, anticarcinogénicos, antiinflamatorios, bactericidas, estimuladores de la respuesta inmune, antialérgicos, antivirales, efectos estrogénicos e inhibidores de la fosfolipasa A2, de la ciclooxigenasa, lipoxigenasa, glutathion reductasa y xantina oxidasa.

Los polifenoles pueden interferir distintas etapas que conducen al desarrollo de tumores malignos al proteger al ADN del daño oxidativo, inactivando de este modo los carcinógenos, inhibiendo la expresión de los genes mutágenos y de la actividad de las enzimas encargadas de la activación de procarcinógenos. Se han desarrollado numerosos estudios *in vivo* con animales para establecer los efectos anticarcinogénicos de los polifenoles, mediante aplicaciones típicas, o bien tras la administración de dietas enriquecidas con éstos, siendo necesarias altas concentraciones para poder observar este tipo de respuesta. Diferentes estudios epidemiológicos han puesto en evidencia el efecto preventivo de los polifenoles frente al cáncer de vejiga, así como frente a otros tipos de cánceres, como el de pulmón (Martínez *et al.*, 2000).

1.1.1.2 Fibra dietética

La fibra dietética (FD) es una mezcla de muchas sustancias orgánicas complejas, de las cuales cada una tiene propiedades físicas y químicas únicas, se define como una mezcla de oligosacáridos, polisacáridos y lignina (Figura 2) resistente a la hidrólisis por las enzimas digestivas del ser humano (Goldberg, 1996).

Una clasificación de la fibra está en base a su solubilidad en agua. La fibra dietética soluble (FDS) incluye a las pectinas, gomas, mucilagos y ciertos tipos de hemicelulosas solubles, es altamente fermentable y está asociada con el metabolismo de carbohidratos y lípidos, mientras que la fibra dietética insoluble (FDI) apenas sufre procesos fermentativos y tiene un efecto más marcado en la regulación intestinal contribuyendo con la reducción del tiempo de tránsito intestinal. (Goldberg, 1996).

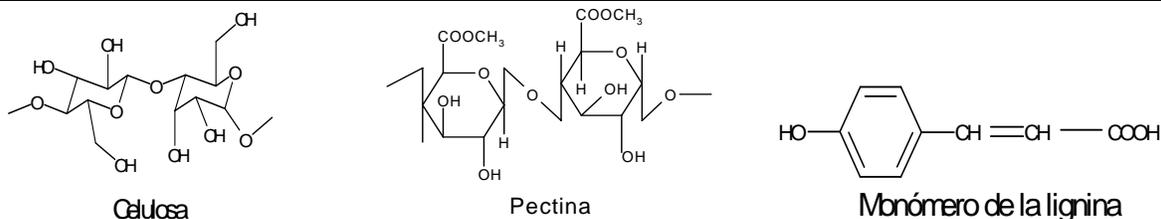


Figura 2. Estructuras químicas de la fibra dietética.

En México, así como en la mayoría del mundo, el consumo de dietas basadas en vegetales ricos en fibra dietética, cobra cada vez mayor importancia. Se ha encontrado que los cereales y vegetales son buena fuente de fibra (Tabla 2), los primeros aportan un contenido (base húmeda) de 0.2 a 26%, y dentro de los vegetales las frutas contienen de 0.3 a 7%, las verduras de un 0.9 a 45% y las leguminosas de un 3 a 7% (Rosado *et al.*, 1993).

Tabla 2. Contenido de fibra dietética (g/100g muestra base húmeda) en vegetales comúnmente consumidos en México (Rosado *et al.*, 1993).

Alimento	FDI	FDS	FDT
Chile serrano	5.4	0.3	5.7
Aguacate	3	1.8	4.8
Tortilla de maíz	4.9	0.6	5.5
Frijol negro	5.3	1.1	6.4
Cilantro	3.8	0.5	4.3
Brócoli	2.3	1	3.3
Epazote	5.3	0.2	5.5
Chile poblano	2.6	1.2	3.8
Nopal	2.7	0.8	3.5
Guayaba	4.9	1	5.9
Plátano	1.6	0.4	2
Manzana	2.1	0.3	2.4
Tuna	4	0.2	4.2

Una dieta rica en fibra tiene baja densidad energética, frecuentemente tiene un bajo contenido en grasa, es voluminosa y es rica en vitaminas y nutrimentos orgánicos, todos estos factores tienen efectos benéficos en la salud (Jones, 2002).

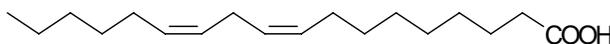
La evidencia acumulada sugiere que la ingesta de fibra dietética está directamente relacionada con un funcionamiento normal del tracto gastrointestinal, por lo que es usada comúnmente como agente terapéutico para aliviar muchos problemas gastrointestinales como el estreñimiento, diverticulosis, etc. También se ha comprobado que ésta tiene un impacto significativo en la prevención y tratamiento de enfermedades cardiovasculares, disminución de colesterol y glucosa en sangre, estreñimiento y obesidad, esta última es debido a que una dieta rica en fibra produce saciedad más temprana y duradera, lo que conduce a un menor consumo de alimentos. Estudios epidemiológicos y clínicos han demostrado una conexión entre la disminución del riesgo de padecer cáncer y el consumo de una dieta rica en fibra (Kris-Etherton, 2002).

1.1.1.3 Ácidos grasos

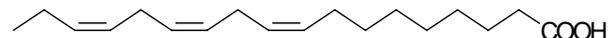
Se conoce como ácido graso a cualquier ácido monocarboxílico alifático que pueda liberarse por hidrólisis de las grasas naturales. La longitud de la cadena de la molécula del ácido graso, el grado de saturación, y la ubicación del primer doble enlace (Figura 3) aparentemente influyen en las funciones biológicas de éstos, en términos de sus efectos en los lípidos en el suero, agregación de plaquetas, formación de trombos, inflamación, comunicación celular y expresión de genes (Fennema, 2000).



Ácido oleico



Ácido linoleico



Ácido linolénico

Figura 3. Ejemplo de ácidos grasos con efectos en la salud (Fennema, 2000).

La fracción lipídica de la dieta proporciona los ácidos grasos indispensables (linoleico y linolénico). El ácido linolénico, o ácido α -linolénico (LNA), se encuentra en los cloroplastos de vegetales de hoja verde como la espinaca, en la nuez, en la linaza, etc. El ácido linoleico es encontrado en grandes cantidades en el aceite de maíz, aceite de canola, aceite de soya, etc., y es encontrado prácticamente en todas las semillas de las plantas con la excepción de las semillas de palma, cocoa y coco (Fennema, 2000).

Los ácidos ω -3 y ω -6 son esenciales para el desarrollo y crecimiento del organismo y el ácido docosahexaenoico (DHA) es particularmente importante para un funcionamiento cerebral normal (Fennema, 2000).

El consumo de ácidos grasos monoinsaturados puede reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares. En la tabla 3 se muestran algunos ejemplos de beneficios potenciales que se pueden obtener al consumir ciertos ácidos grasos, así como las fuentes principales de éstos.

Tabla 3. Propiedades funcionales de los ácidos grasos (IFIC, 2007).

Componente	Fuente	Beneficio potencial
Ácidos grasos monoinsaturados	Nueces de árbol	Puede reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares
Ácidos grasos poliinsaturados ω -3	Avellanas, linaza	Puede contribuir al mantenimiento de las funciones mentales y visuales
Ácidos grasos ω -3, DHA / EPA	Salmón, atún y aceites de pescado	Puede reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares y puede contribuir al mantenimiento de las funciones mentales y visuales
Ácido linoleico conjugado (CLA)	Carne de vaca y cordero, algunos quesos	Puede contribuir al mantenimiento de una composición corporal deseable y el saludable funcionamiento del sistema inmunológico

1.1.1.4 Ácido ascórbico

La vitamina "C" o ácido ascórbico (AA) es una vitamina hidrosoluble. Químicamente la vitamina C es un polialcohol que en solución se encuentra en forma de lactona insaturada, tiene dos grupos enólicos (Figura 4), por lo cual un agente oxidante puede producir su oxidación produciendo así el ácido deshidroascórbico (DHAA), el cual exhibe aproximadamente la misma actividad que el AA porque se reduce casi totalmente a AA en el organismo (Belitz y Grosch, 1997).

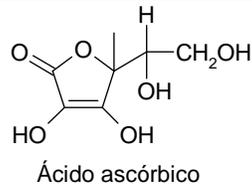


Figura 4. Estructura química del ácido ascórbico (Belitz y Grosch, 1997).

El ácido ascórbico existe naturalmente en frutas y hortalizas (Tabla 4) y, en menor extensión, en los tejidos animales y en los productos derivados de los mismos (Fennema, 2000).

Tabla 4. Contenido de vitamina C en alimentos (Muñoz M. y Ledesma A., 2002).

Alimento	mg ácido ascórbico /100 g de alimento fresco
Piña	15
Plátano	13
Jitomate	18
Nopal	8
Chile jalapeño	72
Guayaba	183
Limón	77
Naranja	53

El ácido ascórbico es esencial para la formación de colágeno y es necesario para el desarrollo del cartílago, huesos y dientes, así como también para la cicatrización de

heridas, la formación de hemoglobina y eritrocitos y se ha visto que incrementa las reacciones inmunológicas.

Se le ha atribuido al ácido ascórbico un papel como posible inhibidor del cáncer impidiendo la formación de agentes cancerígenos a partir de compuestos precursores. Estudios bioquímicos han sugerido que éste impide la reacción en el tracto digestivo de los nitritos con aminas y amidas para formar nitrosaminas, que son potentes agentes cancerígenos, y previene la oxidación de determinados compuestos químicos a su forma activa cancerígena, también se ha detectado asociaciones entre el consumo de alimentos ricos en éste y la reducción del riesgo de cáncer de esófago, estómago y cerviz (Machlin, 1991).

1.1.1.5 Fitoesteroles

Los fitoesteroles y sus formas reducidas, los fitoestanoles, son esteroides de origen vegetal ampliamente distribuidos en la naturaleza y cuya estructura es muy similar a la del colesterol (Figura 5); el anillo de esteroide es común en todos ellos, y las diferencias están en la cadena del anillo ciclopentano (Plat y Mensink, 2000).

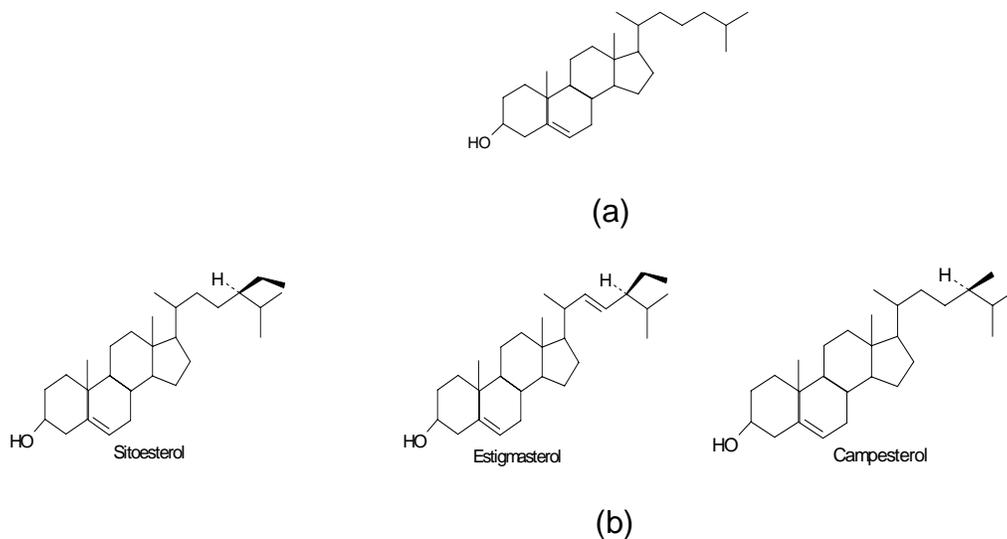


Figura 5. Estructura general de los fitoesteroles (a) y ejemplos (b) de los más comúnmente encontrados en vegetales (Fernandes y Cabral, 2006)

Los esteroides vegetales están presentes de forma natural, en pequeñas cantidades, en frutas, verduras, nueces, semillas, cereales, legumbres, aceites vegetales y otras fuentes similares. En plantas hay más de 200 tipos diferentes fitoesteroides pero los más comúnmente encontrados y en mayores concentraciones son: β -sitosterol, campesterol y stigmasterol (Marcone, *et al.*, 2004; Lagarda *et al.*; 2006).

El potencial que tienen los estanoles y esteroides vegetales para disminuir el colesterol es un hecho que se conoce desde hace más de 50 años, este efecto se debe a que tanto los esteroides como los estanoles son más lipofílicos que el colesterol, propiedad derivada de las características de mayor extensión y complejidad de su cadena lateral, produciendo un desplazamiento competitivo del colesterol desde la micela mixta, y por lo tanto tiene efectos hipocolesterolemicos cuando se consumen en un rango de 160-400mg/día, por lo cual se les considera importantes aliados en la prevención de enfermedades cardiovasculares (Bouic, 2001).

1.1.1.6 Carotenoides

Los carotenoides son los pigmentos más ampliamente distribuidos en la naturaleza. La gran mayoría de estos pigmentos son biosintetizados por la población de algas de los océanos. El esqueleto estructural básico de los carotenoides está formado por unidades de isopreno enlazadas covalentemente, ya sea cabeza-cola o cola-cola, creándose moléculas simétricas.

Los carotenoides pertenecen a dos grupos estructurales (Figura 6): los carotenos que son hidrocarburos y las xantofilas que están oxigenadas. Las xantofilas forman un grupo de derivados que frecuentemente contienen grupos hidroxilo, epoxilo, aldehído y cetona (Fennema, 2000).

casos, los pigmentos mayoritarios son carotenos, como es el caso del licopeno del jitomate. Se debe tener en cuenta que el patrón de carotenoides en un mismo fruto varía en función de factores como la variedad y las condiciones climáticas, entre otros (Meléndez-Martínez *et al.*, 2004).

Tabla 5. Distribución de carotenoides en diversos alimentos (Meléndez-Martínez *et al.*, 2004).

Alimento	Carotenoides mayoritarios
Zanahoria (<i>Daucus carota</i>)	α - y β -caroteno
Naranja (<i>Citrus sinensis</i>)	Violaxantina, β -criptoxantina, luteína, zeaxantina
Mango (<i>Mangifera indica</i>)	Violaxantina, β -caroteno
Jitomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	Licopeno
Pimiento rojo (<i>Capsicum annum</i>)	Capsantina, capsorrubina
Melocotón (<i>Prunus persica</i>)	β -criptoxantina, luteína
Papaya (<i>Carica papaya</i>)	β -criptoxantina, β -caroteno
Guayaba (<i>Psidium guajava</i>)	Licopeno, β -caroteno
Ciruela (<i>Spondias lutea</i>)	β -criptoxantina

Además de la contribución de los carotenoides al color atractivo de las frutas y verduras, destaca por su importancia a nivel fisiológico y dietético, la propiedad de algunos de ellos de tener actividad como provitamina A.

No todos los carotenoides son precursores de la vitamina A, por lo que se pueden dividir en dos grandes grupos: provitamínicos y no provitamínicos. El número de carotenoides precursores de vitamina A oscila entre 50 y 60, destacando los carotenos (α -, β - y γ -caroteno) y algunas xantofilas (β -criptoxantina).

La capacidad de los carotenos para actuar como provitamina A depende de la conversión en retinol por los animales, así como en la presencia de β -ionona. Los carotenos que contienen como mínimo un anillo de β -ionona pueden convertirse en retinol en los animales. De esta forma, el carotenoide más importante al respecto es el β -caroteno, que contiene dos de estos anillos (Meléndez-Martínez *et al.*, 2004).

Por otra parte, desde hace tiempo se viene postulando que los carotenoides actúan como potenciadores positivos de la respuesta inmune. En este sentido, parece ser que elevadas dosis de β -caroteno aumentan la relación entre los linfocitos CD8 y CD4, que es muy baja en enfermos de VIH.

Se ha propuesto que las funciones antioxidantes de los carotenoides juegan un papel para limitar el cáncer, las cataratas, la aterosclerosis y el proceso de envejecimiento. La actividad antioxidante de estos pigmentos depende de una serie de factores, como su estructura química (tamaño, número de sustituyentes, configuración *cis* o *trans*, etc.), su concentración, la presión parcial de oxígeno o su interacción con otros antioxidantes, sobre todo las vitaminas C y E (Fennema, 2000).

El papel protector para las células humanas frente a la radiación ultravioleta de diversos antioxidantes como β -caroteno, α -tocoferol y ácido ascórbico ha sido evaluado, llegándose a la conclusión de que el primero es el más eficiente, probablemente debido a su localización en la membrana celular. Luteína y zeaxantina, dos de los carotenoides mayoritarios en el suero humano, se localizan en cantidades apreciables en la retina, protegiéndola debido a sus propiedades antioxidantes. En cuanto al licopeno, se ha demostrado *in vivo* que una dieta rica en jitomate mantenida durante dos semanas protege a los linfocitos frente al radical dióxido de nitrógeno y al oxígeno singulete.

Hay estudios que relacionan la aparición de algunos tipos de cáncer con la carencia de ciertos carotenoides en la dieta, por lo que son considerados compuestos anticancerígenos. Varias investigaciones epidemiológicas han demostrado que el riesgo de padecer cáncer es inversamente proporcional al consumo de vegetales y frutas ricas en carotenoides. Si bien muchos de estos estudios se han centrado en el β -caroteno, otros carotenoides eficaces en la prevención de enfermedades son β -criptoxantina, zeaxantina, astaxantina e incluso el carotenoide no coloreado fitoeno. En un estudio reciente, se ha demostrado una relación inversa entre el consumo de alimentos ricos en luteína (como espinaca o lechuga) y el cáncer de colon, tanto en hombres como en mujeres. De igual forma se ha demostrado que los carotenoides típicos del pimiento rojo como capsantina y sus ésteres y capsorrubina, entre otros, son efectivos agentes antitumorales. La protección de los pigmentos carotenoides frente al cáncer y a otras enfermedades crónicas podría deberse, además de a sus propiedades antioxidantes, a otros efectos como la inhibición de la proliferación de células, mejora de la diferenciación celular, estimulación de la comunicación intracelular y filtración de la luz azul, entre otros (Meléndez-Martínez *et al.*, 2004).

1.1.1.7

Betalaínas

Las betalaínas son un grupo de pigmentos que contienen betacianinas (rojas) y betaxantinas (amarillas), son hidrosolubles y existen como sales internas (zwitteriones) en las vacuolas de las células vegetales. La fórmula general de las betalaínas (Figura 7) representa la condensación de una amina primaria o secundaria con el ácido betalámico (Fennema, 2000).

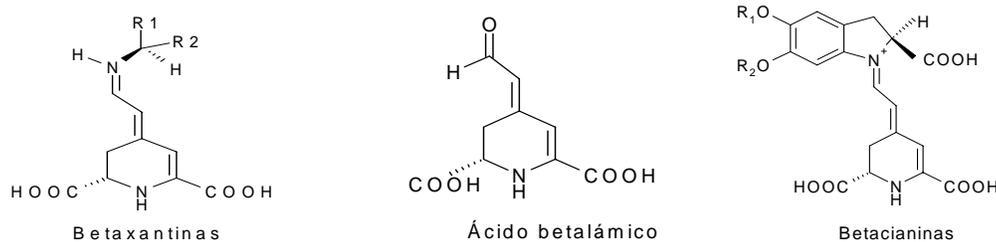


Figura 7. Estructura básica de las betalaínas (Strack *et al.*, 2003).

Las plantas que contienen estos pigmentos se limitan a 10 familias del orden Centrospermae: Aizocea, Amaranthacea, Basellacea, Cactacea, Chenopodiacea, Didieracea, Holophytacea, Nyctaginacea, Phytolactacea y Portulacea. Las betalaínas se encuentran en distintos órganos de la planta, y se acumulan en las vacuolas celulares, principalmente en tejidos epi y subdérmicos. Muchas plantas acumulan betalaínas pero sólo dos (*B. Vulgaris* y la tuna *O. ficus- indica*) están aprobadas para ser utilizadas en alimentos (Delgado y Paredes, 2003).

La importancia biológica de estos compuestos es variada y se ha determinado que pueden presentar actividad antiviral y antibacterial (Viloria *et al.*, 2002). Las

betacianinas son una clase de compuestos que presentan actividad antioxidante, por lo que éstas previenen los procesos oxidativos, lo cual contribuye a que no se produzcan enfermedades degenerativas, ya que en estudios in vitro se ha visto que éstas inhiben la oxidación del colesterol LDL, así como la descomposición del grupo hemo (Kanner *et al.*, 2001).

1.1.1.8 Recomendación dietética diaria de compuestos bioactivos

Para los nutrimentos, así como para algunos compuestos bioactivos hay una recomendación dietética diaria (RDD) la cual depende de las características de la población para la cual se establece ésta, tomando factores como estatura, peso, actividad física, etc (Tabla 6).

Tabla 6. RDD de compuestos bioactivos para 2 grupos poblacionales de México (Chávez y Ledesma, 1997)

Grupo poblacional	Peso (Kg)	Energía (kcal)	Ácido ascórbico (mg)	Vitamina A (µg equivalentes de retinol)	Fibra dietética total (g)
Mujeres 25-60 años	53	1950	60	800	18-24
Hombres 25-60 años	68	2650	60	1000	18-24

Para otros compuestos bioactivos no hay un valor de RDD, sin embargo se han hecho estudios acerca de la dieta del Mediterráneo, la cual se ha asociado con la longevidad. Investigaciones han determinado que un menú semanal, representativo de la dieta tradicional griega es compatible con las recomendaciones nutrimentales de la Comisión Europea y además contiene un alto contenido de flavonoides (Tablas 7 y 8). Las características de la dieta son las siguientes: alto consumo de aceite de olivo, leguminosas, cereales no refinados, frutas, vegetales y pescados, consumo moderado de productos lácteos y vino, y bajo consumo de carne y productos cárnicos (Trichopoulou *et al.*, 2006).

Tabla 7. Ingesta diaria de macro y micronutrientes del menú mediterráneo (Trichopoulou *et al.*, 2006).

Componente	Ingesta diaria (g)	Componente	Ingesta diaria (mg)
Proteína	74.5	Esteroles totales	256.8
Lípidos totales	110.7	Carotenoides totales	65.7
Fibra dietética	29.8	α -tocoferol	4.3
Carbohidratos	255.8	K	1774
Etanol	14	Fe	14.9
Energía (kcal)	2 473	Na	2 632
Ácidos grasos saturados	29.8	Ca	696
Ácidos grasos monosaturados	63.8	Mg	234
Ácidos grasos polinsaturados	9.9	Zn	10.3

Tabla 8. Consumo semanal de flavonoides del menú mediterráneo (Trichopoulou *et al.*, 2006).

Flavonoides	Consumo (mg/semana)
Flavonoles totales	260.2
Flavonones totales	71.15
Flavon-3-oles totales	221.72
Total	553.07

1.2 Alimentos tradicionales

Muchos de los platillos y bebidas legados por nuestros antepasados son posibles gracias a las materias primas autóctonas de nuestra región, producto de todo un abanico de climas y accidentes orográficos que generan una de las biodiversidades más ricas del planeta.

Esta riqueza gastronómica en la actualidad ha rebasado nuestras fronteras. Materias primas como el huitlacoche, que no era utilizado y que en otras latitudes del mundo era considerado un daño a los cultivos del maíz, pero que los antiguos pobladores de Mesoamérica pudieron aprovechar y consumir, hoy en día es un componente de la alta cocina en lugares selectos del mundo.

Bebidas como el pulque, el cual era considerado por los aztecas como la bebida de los dioses y era utilizado en ceremonias religiosas y festividades, sigue siendo un producto de tipo popular en ciertas regiones. La tradición de muchas de nuestras comunidades de consumir alimentos autóctonos está siendo influenciada por el mundo globalizado en que estamos inmersos; así, cada día es mas frecuente el consumo de comida rápida.

Por ello recobra especial importancia el redescubrimiento de los alimentos que emplearon nuestros antepasados mesoamericanos para preservarlos y reinsertarlos en la dieta actual. Plantas como el nopal y su tuna, el frijol criollo y silvestre, el grano de amaranto o productos derivados de ellas, abren un amplio panorama de estudio desde varias vertientes, como son la tecnologías para la elaboración de productos mínimamente procesados y que puedan tener una vida de anaquel más prolongada, con la idea de expandir su mercado de consumo (Paredes *et al.*, 2006).

1.2.1 Tuna

Al fruto del nopal tunero, de la familia de las cactáceas, se le denomina genéricamente *Opuntia* spp. y vulgarmente se le llama "tuna" en español, "prickly pear" en inglés, "figue de barbarie" en francés o "ficco d'india" en italiano. Todas estas denominaciones son despectivas, lo que entorpece su aceptación y consumo mundial (Sáenz, 2006). En la tabla 9 se muestra la clasificación que los mexicanos le dieron a la tuna de acuerdo a sus características

Tabla 9. Nombres náhuatl con base en caracteres de la tuna (Olivares *et al.*, 2003).

Nombre en castellano	Nombre en náhuatl
Tuna blanca	Yztacnochtli
Tuna amarilla	Coznochtli
Tuna escarlata	Tlapalnochtli
Tuna mansa	Tzaponochtli
Tuna pequeña y espinosa	Zacanochtli
Tuna ácida	Xoconostli

Existen pruebas de que los nopales tuneros fueron cultivados 500 años a.C. en las zonas semiáridas de Mesoamérica, y especialmente en Teotihuacan; en México, la mayor diversidad se encuentra en las planicies del norte y centro.

El cultivo del nopal y de la tuna ha sido muy importante para numerosos grupos indígenas desde las épocas prehispánicas. En sus culturas utilizaban estas plantas en celebraciones religiosas, en la magia y para curar enfermedades, motivo por el cual se les ha apreciado por sus cualidades alimenticias y se les ha considerado actualmente como el recurso natural más importante en las zonas áridas y semiáridas del país. El cultivo de la tuna se ha restringido a las zonas marginales, con mala calidad de suelo y escasa lluvia, realizándose totalmente de temporal, pues a las áreas de riego se les utiliza para otros cultivos más lucrativos o de mayor necesidad para el desarrollo del país y de la población, como el maíz, trigo, etc.

Aún cuando México ocupa el primer lugar como productor a nivel mundial y cuenta con técnicos capacitados para un adecuado aprovechamiento de esta fruta, no ha logrado mejorar su presencia en los mercados internacionales.

Actualmente, cada día son más los países que están desarrollando el cultivo de la tuna, destacando entre ellos: México, Chile, Argentina, Bolivia, Perú, Colombia, Estados Unidos, Sudáfrica, Marruecos, Argelia, Túnez, Egipto, Jordania, Pakistán, Israel, Grecia, Italia, España y Portugal. Sin embargo, únicamente producen para el comercio internacional: México, Italia, Sudáfrica, Chile, Israel y Estados Unidos (Sáenz, 2006).

1.2.1.1 Composición química

La tuna es una fruta ovalada, baya alargada, con cáscara dura y pulpa jugosa, en general, con un alto contenido en semillas. La cáscara en composición representa del 33 – 55% del total, mientras que la pulpa es el 45 – 67% y las semillas del 2 – 10 %, estos parámetros, así como la composición química de la pulpa se muestran en la tabla 10, donde se puede observar una gran variabilidad en porcentajes, la cual depende de las prácticas de cultivo, el número de semillas fecundadas, clima, exposición a la luz, época de cosecha, etc. (Piga, 2004).

**Tabla 10. Composición química de la tuna
(Piga, 2004).**

Parámetros tecnológicos	Intervalo
Pulpa (%)	43 – 57
Semillas (%)	2 – 10
Cáscara (%)	33 – 55
pH	5.3 – 7.1
Acidez (% ác. cítrico)	0.05 – 0.18
° Brix	12 – 17
Sólidos totales (%)	10 – 16.20
Composición química de la pulpa	Intervalo
Humedad (%)	84 –90
Proteína (%)	0.2 – 1.6
Grasas (%)	0.09 – 0.7
Fibra (%)	0.02 – 3.1
Cenizas (%)	0.3 – 1
Carbohidratos totales (%)	10 –17
Vitamina C (mg / 100g)	1 – 41
Minerales (mg/100g)	Intervalo
Ca	12.8 – 59
Mg	16.1 – 98.4
Fe	0.4 – 1.5
Na	0.6 – 1.1
K	90 – 217

La tuna tiene un contenido más alto de vitamina C que otras frutas comunes como la manzana, pera, uva y el plátano, mientras que otras vitaminas, como los carotenoides, tiamina, riboflavina y niacina están en cantidades traza. Otros componentes como los lípidos, proteínas, minerales, y fibra no difieren significativamente de otras frutas tropicales. La mayor cantidad de fibra proviene de las semillas (Piga, 2004) y el ácido linoleico es el ácido graso poliinsaturado predominante en cáscara, pulpa y semillas (Ramadan y Mörsel, 2003 a y b).

Otros estudios realizados se han basado en la determinación de compuestos antioxidantes a distintas variedades de la tuna, entre los cuales se encuentran las betalaínas, las cuales se ha visto que son los pigmentos mayoritarios de la tuna (Butera *et al.*, 2002).

A continuación, se presentan las betalaínas identificadas para diferentes variedades de tuna (Tabla 11), así como la determinación cuantitativa de éstas en tres variedades de *O. ficus indica* (Tabla 12) y la estructura química de las betalaínas más comúnmente encontradas en la tuna (Figura 8).

Tabla 11. Betacianinas y betaxantinas encontradas en *Opuntia spp* (Piga, 2004).

Especie	Betacianinas	Betaxantinas
<i>O. bergeriana</i>	betanidina betanina phylocactina	indicaxantina miraxantina II vulgaxantina I vulgaxantina II
<i>O. decumbens</i>	betanina	
<i>O. dillenii</i>	betanina	
<i>O. engelmannii</i>	betanina phyllocactina	
<i>O. ficus-indica</i>	betanina isobetanina neobetanina	indicaxantina miraxantina II vulgaxantina I vulgaxantina II vulgaxantina IV
<i>O. guatemalensis</i>	betanina	
<i>O. monacanthat</i>	betanina betanidina phyllocactina	indicaxantina vulgaxantina I
<i>O. paraguensis</i>	betanina phyllocactina	
<i>O. polycantha</i>	betanina betanidina	
<i>O. ritteri</i>	betanina phyllocactina	
<i>O. robusta</i>	betanina	
<i>O. streptacantha</i>	betanina phyllocactina	
<i>O. stricta</i>	betanina neobetanina	
<i>O. tomentella</i>	betanina phyllocactina	
<i>O. tormentosa</i>	betanina phyllocactina	
<i>O. vulgarist</i>	betanina	indicaxantina vulgaxantina I

Tabla 12. Contenido de betalainas (mg /100g pulpa) de diferentes variedades de *Opuntia ficus indica* (Butera *et al.*, 2002)

Variedad	Indicaxantin a	Betanina
Amarilla	8.42 ± 0.51	1.04 ± 0.12
Roja	2.61 ± 0.30	5.12 ± 0.51
Blanca	5.86 ± 0.49	0.10 ± 0.02

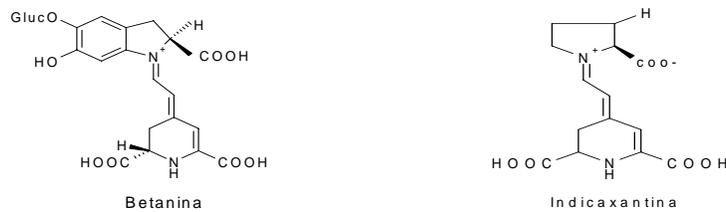


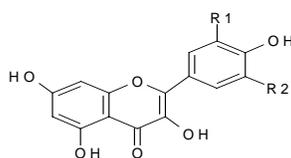
Figura 8. Estructura química de las betalainas más comúnmente encontradas en la tuna (Fernández y Almela, 2001).

Otros compuestos bioactivos han sido reportados para la familia *Opuntia*, entre los cuales se encuentran los flavonoides, carotenos y vitamina C, los cuales se ha encontrado que éstos varían de acuerdo a la variedad, el tipo de tejido y con el estado de madurez (Kuty, 2004; Butera *et al.*, 2002). En las tablas 13 y 14 se muestran los resultados obtenidos por Kuty, 2004 en la determinación de flavonoles (Figura 9), carotenos totales y vitamina C de la cáscara y pulpa de 4 variedades de tuna.

Tabla 13. Contenido de flavonoles en pulpa y cáscara en 4 variedades de tuna (Kuty, 2004).

Especie Opuntia	Kaempferol ($\mu\text{g} / \text{g}$ peso fresco)	Quercetina ($\mu\text{g} / \text{g}$ peso fresco)	Isorhamentina ($\mu\text{g} / \text{g}$ peso fresco)
<i>O. ficus-indica</i>	2.2 \pm 0.3	43.2 \pm 2.5	24.1 \pm 1
<i>O. lindhheimeri</i>	1.1 \pm 0.4	90.5 \pm 11.5	1.9 \pm 0.5
<i>O. strepthacantha</i>	3.8 \pm 0.5	51 \pm 4.6	No detectado
<i>O. stricta</i> var. <i>stricta</i>	No detectado	9.8 \pm 3	No detectado

O. ficus-indica (tuna de cáscara verde), *O. lindhheimeri* (tuna de cáscara morada), *O. strepthacantha* (tuna de cáscara roja), *O. stricta* var. *stricta* (tuna de cáscara amarilla).



Quercetina (R1= OH; R2= H)

Kaempferol (R1=R2= H)

Isorhamentina (R1= OCH₃; R2= H)

Figura 9. Estructura química de los flavonoles reportados en diferentes variedades de tuna (Kuty, 2004).

Tabla 14. Contenido de carotenoides y ácido ascórbico en cáscara y pulpa de 4 variedades de tuna (Kuty, 2004).

Especie Opuntia	Carotenoides totales (mg /100 g peso fresco)	Ácido ascórbico (mg / 100 g peso fresco)
<i>O. ficus-indica</i>	0.29	45.8
<i>O. lindhheimeri</i>	0.67	12.1
<i>O. strepthacantha</i>	1.46	81.5
<i>O. stricta</i> var. <i>stricta</i>	2.37	43.7

El género *Opuntia* contiene varios compuestos que se utilizan ampliamente en la industria alimenticia y farmacéutica, pero que sólo en los últimos años han adquirido relevancia tanto nacional como internacional. En un estudio comparativo de la tuna frente a otras frutas, se observó una mayor proporción de fibra cruda 3.7 y 4.3%, frente a valores de 0.5, 0.6 hasta 1.8%, del plátano, durazno y pera respectivamente, lo que ha incentivado su uso a gran escala como estimulante del peristaltismo, entre algunas de sus ventajas; los niveles de calcio son igualmente elevados, triplicando en algunos casos al de los frutos antes mencionados (Olivares *et al.*, 2003).

En los últimos años también se han realizado estudios químicos con la finalidad de caracterizar los lípidos extraídos de la cáscara de la tuna (*Opuntia ficus indica*), donde se encontró que la cáscara, pulpa y semillas de la tuna son una buena fuente de ácidos grasos poliinsaturados, antioxidantes naturales, vitaminas y esteroides (Ramadan y Mörsel, 2003 a y b).

1.2.2 Xoconostle

Dentro de los frutos llamados tunas, algunos son ácidos como el "Xoconostli" que significa en náhuatl tuna agria, se utiliza como condimento en la cocina mexicana en la elaboración de platillos, refrescos caseros, mermeladas y dulces. Además de la versatilidad de usos, los xoconostles presentan propiedades importantes desde la óptica de producción y comercialización, como lo es el conservarse por varios meses sobre los cladodios, sin que sufran deterioro. Una vez cosechados, se conservan por varias semanas en lugares frescos y secos sin refrigeración y sin perder sus propiedades de sabor, color y humedad. A pesar de todas estas características, su utilización y producción está restringida a determinadas regiones geográficas de

México: zonas áridas y semiáridas, alcanzando precios hasta 10 veces superiores al de las tunas dulces. A la fecha se han realizado pocos estudios en los xoconostles, tanto geográficos, taxonómicos, de productividad y distribución de las especies (Olivares *et al.*, 2003).

Las opuntias, incluidos los xoconostles, son plantas que se encuentran distribuidas en diferentes condiciones ambientales del país, donde soportan desde la escasa humedad hasta altas y bajas temperaturas. Las poblaciones silvestres se encuentran prácticamente en cualquier tipo de topografía, con excepción de las laderas con pendientes pronunciadas. Las cactáceas han generado mecanismos para optimizar el escaso recurso hídrico y soportar la inclemencias del medio ambiente de estos lugares, pero cuando se establecen para cultivo, resulta conveniente proporcionarles condiciones adecuadas para su producción (Tabla 15), principalmente en lo que refiere al agua, temperatura y fertilidad.

Tabla 15. Condiciones ambientales necesarias para establecer una plantación (Olivares *et al.*, 2003).

Factor ambiental	Intervalos
Temperatura media anual	15 – 28 °C
Temperatura promedio, durante el periodo de formación del fruto	15 – 25 °C
Temperaturas mínimas no inferiores a	- 5 °C
Heladas durante la primavera, durante la emisión de brotes	Ausencia
Suelos	Buen drenaje, bajo contenido de arcilla, nivel freático profundo, contenido de NaCl < de 70 moles /m ³
Precipitación anual	300 – 700 mm

1.2.2.1 Especies del xoconostle

El nombre científico del xoconostle es *Opuntia joconostle* del cual existen varios tipos, el más conocido de ellos recibe el nombre de "cuaresmeño" o "burro", según la región y se encuentra presente en gran parte de la zona semiárida del territorio mexicano.

Scheinvar (Olivares *et al.*, 2003) en un estudio biosistemático de los xoconostles mexicanos se refiere a nueve especies del género *Opuntia* (subgéneros *Opuntia* y *Cylindropuntia*), que son:

- ***Opuntia elizondoana***: fruto de 3 a 3.5 cm de largo, ovoide, de color rojo a rosa. Se halla en Querétaro, en el bosque tropical caducifolio perturbado.
- ***O. heliabravoana* (xoconostle blanco)**: fruto subgloboso de color amarillo verdoso cuando está maduro, a veces con manchas purpúreas en la parte superior y su interior de color blanco verdoso. Hasta hoy su distribución se encuentra referida a los estados de Hidalgo y de México, en suelos de origen volcánico.
- ***O. imbricata***: fruto tuberculado, ovoide, de 2.5 a 4.5 cm de largo y de 2 a 3 cm de ancho, de color amarillo, sin espinas. Se distribuye en el altiplano mexicano desde Chihuahua, Tamaulipas, Durango, Coahuila, Zacatecas, Aguascalientes, Querétaro, Guanajuato, Hidalgo, estado de México y D.F.
- ***O. joconostle* (burro o xoconostle blanco)**: fruto subgloboso de 2 cm de diámetro, de pulpa blanca a rosada, ligeramente perfumada. Es la especie de xoconostle mas conocida. Se encuentra silvestre en varios lugares del altiplano mexicano y se le conoce con el nombre de burro, cultivado en los estados de Jalisco, Querétaro, Michoacán y Estado de México.

-
-
- ***O. leucotricha***: fruto globoso, con numerosas aréolas pequeñas, con fieltro blanco grisáceo. Se distribuye en los estados de Durango, Zacatecas, San Luis Potosí, Hidalgo, Guanajuato y Querétaro.
 - ***O. mutadae* (xoconostle cuaresmeño)**: fruto ovoide de color verde púrpuro, con manchas púrpuras bajo las aréolas y el interior rojizo. Se encuentra en los estados de México e Hidalgo.
 - ***O. oligacantha* (xoconostle corriente)**: fruto ovoide de color verde claro, amarillento grisáceo a púrpura. Se halla en el estado de Hidalgo y Estado de México.
 - ***O. spinulifera***: fruto subgloboso, de color verde grisáceo y el interior blanco verdoso. Se encuentra en los estados de México, Hidalgo y Tlaxcala.
 - ***O. zamudioi***: fruto elíptico a piriforme, aromático, de 5 cm de largo y 2.5 cm de diámetro, con paredes anchas, de pulpa amarilla a anaranjada. Se encuentra en el estado de Querétaro.

1.2.2.2 Cosecha y producción

La cosecha de la tuna es una actividad que por las características peculiares del fruto, al contar con la presencia de espinas, se realiza manual y lentamente, por lo que la eficiencia es baja e incrementa los costos de cultivo del xoconostle. Por lo general, esta actividad se realiza en las primeras horas del día entre las 6:00 y 10:00 horas, pues a esa hora es menos intenso el viento y las espinas pequeñas están humedecidas por el rocío, lo que dificulta que se desprendan y se incrusten fácilmente en el cuerpo de los cosechadores. La cosecha de este fruto se debe realizar con mucha precaución para

evitar magulladuras, las causas mas comunes de éstas son: ejercer una presión exagerada al cortar y desespinar la tuna, así como depositarlas violentamente en los recipientes de recolección.

Las características de maduración del xoconostle van de acuerdo con la especie (Tabla 16), generalmente se toma como indicador el color de la cáscara, que se manifiesta por el cambio de color de verde a rojo o a tonalidades semejantes. Sin embargo, en algunos tipos de xoconostle se ha observado que cuando el pericarpio empieza a mostrar los cambios iniciales de color verde, la pulpa presenta un grado avanzado de maduración y las experiencias han demostrado que este es el momento óptimo de cosecha, a este estadio se le denomina “inicio de rayado”. El corte del fruto se debe realizar en este momento con objeto de reducir pérdidas en poscosecha.

Tabla 16. Principales especies y tipos de xoconostle que se cultivan en México y sus periodos de maduración.

Especie	tipos	Estado productor	Periodo de maduración	Cosecha
<i>O. matudae</i>	blanco	Hidalgo	abril – julio	agosto – septiembre
<i>O. matudae</i>	rosa	Hidalgo	mayo - agosto	septiembre – noviembre
<i>O. matudae</i>	rojo	Hidalgo	junio – octubre	noviembre – enero
<i>O. matudae</i>	cuaresmeño	Hidalgo, Edo. México	mayo – diciembre	febrero – junio
<i>O. joconostle</i>	burro	Zacatecas, S.L.P., Querétaro, Hidalgo	mayo – diciembre	febrero – mayo
<i>O. leucotricha</i>	duraznillo rojo	Zacatecas, S.L.P.	abril – junio	julio - septiembre
<i>O. leucotricha</i>	duraznillo blanco	Zacatecas, S.L.P.	abril – junio	julio - septiembre

En México, la producción anual del nopal tunero puede ser alta, cuando se realiza un correcto manejo de la plantación aportando fertilizantes, manejo de poda, control de plagas y enfermedades, entre otras prácticas. La planta de nopal tunero inicia su producción al segundo o tercer año de establecida y alcanza su nivel óptimo al sexto o séptimo año, el cual puede mantenerse hasta el vigésimo año, en función del manejo y las condiciones del huerto.

El centro de producción y comercialización más grande del país, se encuentra localizado en la región de San Martín de las pirámides en el Valle de Teotihuacan, Estado de México, en donde la extensión de huertos dedicados al xoconostle es de 600 hectáreas (ha), con una producción de 4 toneladas/ha, distribuidas en su mayoría en pequeñas parcelas que varían en superficie de 1 a 5 ha. En la región se encuentran básicamente dos especies: *O. oligacantha* y *O. matudae* que es la de mayor distribución en la región.

1.2.2.3 Características químicas y morfológicas

El xoconostle se caracteriza por ser un fruto de forma ovoide o esférico, con una depresión en el extremo distal, llamada también “cicatriz umbilical” que corresponde al lugar que ocupó la flor, esta depresión puede ser leve o profunda, dependiendo del tipo o especie, al igual que el pericarpio. El xoconostle se encuentra constituido por 3 elementos que son: epicarpio, mesocarpio y endocarpio, estas tres estructuras son delgadas y no están diferenciadas en la tuna dulce, mientras que en el xoconostle, el epicarpio corresponde a la cáscara y los tejidos restantes; el mesocarpio y endocarpio forman la pulpa.

La acidez del fruto se encuentra entre un pH de 3.7 a 4.5, de ahí su nombre, lo que restringe su consumo, a diferencia de la tuna dulce que presenta valores entre 5.2 a 6.0. este bajo pH permite que pueda almacenarse por periodos más amplios que la tuna dulce, presentando bajos niveles de descomposición (Olivares *et al.*, 2003). En la tabla 17 se muestran las características morfológicas de 6 variedades de xoconostle.

Tabla 17. Características morfológicas del xoconostle (García et al., 2005).

Atributo	O. duranguensis	O. joconostle, variedad Colorado	O. joconostle, variedad Xoconostle	O. leucotricha	O. mutadea Blanco	O. mutadea Cuaresmeño
Forma	Globular	Ovoide	Globular	Globular	Globular	Globular
Diámetro (cm)	4.7	3.3	4.3	3.2	4.0	3.8
Longitud (cm)	6.4	3.8	4.8	3.1	5.9	4.6
Peso fresco total (g)	71.9	24.2	49.2	18.0	53.7	42.0
Color de la cáscara (código Munsell)	5.8R 5/7	2.5R 4/8	4.2R 7/6	2.5GY 5/7	2.5GY 8/6	5.0RP 7/6
Color de la pulpa (código Munsell)	5.0R 6/6	5.0R 3/8	2.5R 4/4	2.5GY 8/4	2.5R 4/6	5.0R 4/8
Porción relativa de cáscara (%)	72.0	81.4	87.2	83.9	87.2	80.0
Porción relativa de pulpa (%)	24.9	14.9	9.3	11.7	9.8	16.0
Porción relativa de semillas (%)	3.1	3.7	3.5	4.4	3.0	4.0

En la tabla 18 se presenta el valor nutritivo de la pulpa del xoconostle, que es la parte que usualmente se utiliza como condimento en la elaboración de salsas y platillos

siendo que representa menos del 30 % del fruto entero, por lo que la cáscara que es comestible se puede utilizar en la preparación de estos platillos, así como en la elaboración de otros productos como jugos y dulces. La forma más sencilla de utilización de xoconostle es en platillos mexicanos tradicionales como el caso del mole de olla, al cual se le agrega el mesocarpio en trozos para mejorar el sabor. Al igual que en los guisos, las salsas con xoconostle son de uso cotidiano en la comida mexicana y principalmente en zonas rurales marginadas en donde el tomate alcanza precios elevados en algunas épocas del año.

Tabla 18. Valor nutritivo del Xoconostle (Muñoz y Ledesma, 2002).

Porción comestible	70 %
Nutrimiento	Por cada 100 g
Energía (kcal)	25
Humedad (g)	86.3
Fibra dietética (g)	2.3
Hidratos de Carbono (g)	5.2
Proteínas (g)	0.1
Lípidos totales (g)	0.4
Ácido ascórbico (mg)	22
Calcio (mg)	126

En la actualidad la cáscara se comercializa como fruta deshidratada con diferentes variedades de sabor, así como también se utiliza en la preparación de licor y vinagre. En la tabla 19 se muestran las características nutrimentales de la cáscara de diferentes especies de xoconostle, donde se puede observar que el mayor componente en base

seca lo ocupa la fibra detergente neutra, seguida de los carbohidratos, proteína y lípidos, lo cual coincide con lo mencionado anteriormente respecto a los altos valores de fibra reportados para la familia *Opuntia* (Piga, 2004; Olivares *et al.*, 2003; Paredes *et al.*, 2006).

Tabla 19. Características nutricionales de la cáscara seca de diferentes especies de Xoconostle (*Opuntia* sp.) (García *et al.*, 2005).

Atributo	<i>O. duranguensis</i>	<i>O. joconostle</i> , variedad Colorado	<i>O. joconostle</i> , variedad Xoconostle	<i>O. leucotricha</i>	<i>O. matudea</i> Blanco	<i>O. mutadea</i> Cuaresmeño	Promedio
pH	3.3	3.1	3.2	4.5	2.9	3.1	3.3 ± 0.07
Proteína cruda (%)	2.9	3.1	3.2	3.2	3.4	2.2	3.0 ± 0.02
Lípidos (%)	0.8	0.9	1.0	1.2	0.8	0.8	0.9 ± 0.02
Carbohidratos (%)	12.0	9.1	10.7	15.0	9.3	14.9	11.8 ± 0.22
Fibra detergente -neutra (%)	14.4	11.6	16.7	13.5	14.4	14.4	14.2 ± 0.15
Na (mg / 100g)	14.4	5.9	12.1	10.9	4.8	10.5	9.8 ± 0.11
K (mg / 100g)	1 746.8	1 943.3	3 328.7	3 227.0	1 742.2	1 451.8	2248.3 ± 19.52

1.2.3 Los alimentos tradicionales como alimentos funcionales

Debido a la gran biodiversidad de la región mesoamericana, hay una cantidad notable de plantas que han sido tradicionalmente utilizadas como alimento y para la prevención o cura de ciertas enfermedades. Muchas de estas plantas autóctonas no han sido estudiadas y sólo se sabe, por la transmisión de conocimientos de una generación a otra, de su poder nutricional o curativo, lo cual ha contribuido a que no se tenga un mejor aprovechamiento o aplicación de dichos materiales (Paredes *et al.*, 2003).

Entre estos alimentos se encuentran el frijol, el cual es efectivo para reducir los niveles de colesterol en la sangre, al amaranto también se le ha asociado este efecto, así como una disminución del riesgo de osteoporosis. Otro alimento que debe mencionarse debido a su importancia en la alimentación del pueblo mexicano es el chile, del cual su consumo ha sido asociado con la cura de ciertas enfermedades que van desde la cicatrización de una simple herida hasta la prevención de infartos. En la actualidad el chile es utilizado como estimulante y en el tratamiento de malestares digestivos y respiratorios (Paredes *et al.*, 2003).

Así como estos alimentos hay muchos otros, a los cuales se le ha asociado un efecto benéfico en la salud, como es el caso del nopal y sus frutos. El nopal era empleado por los aztecas para muchos usos medicinales: para la fiebre bebían el jugo, el mucílago o baba era empleado para curar labios partidos, la pulpa curaba la diarrea, las espinas para las infecciones; la fruta era usada para el exceso de bilis, control de diabetes, colesterol y peso corporal, y la raíz para el tratamiento de hernias, hígado irritado y úlceras estomacales. En adición a las funciones antes mencionadas, se sabe que el nopal y sus frutos ayudan a la prevención de cáncer de colon, a disminuir ciertos trastornos digestivos como el estreñimiento, la diverticulosis, entre otras más, así como

también el nopal se ha usado desde hace muchos años para el control de la diabetes y la arteriosclerosis (Ennouri *et al.*, 2006). Los aspectos medicinales mas recientes del nopal incluyen el tratamiento de la celulitis, y para la aceleración del metabolismo de la glucosa en la sangre debido a la estimulación de la secreción de insulina, hormona importante para la utilización de la glucosa por el organismo, lo que trae como consecuencia que no se acumule este carbohidrato y por lo tanto no se sinteticen ácidos grasos ni colesterol. Debido al alto contenido de minerales, se dice que el nopal ayuda a la eliminación de toxinas presentes en el organismo, previniendo muchas enfermedades relacionadas con este tipo de sustancias. También se ha visto que el mucílago ayuda a la prevención y tratamiento de úlceras gástricas y que el consumo de nopal tiene funciones antiestresantes, como laxante y en problemas de colitis (Paredes *et al.*, 2003). Las características mencionadas anteriormente hacen al xoconostle un fruto ideal para ser industrializado en la elaboración de productos farmacéuticos, químicos y alimenticios.

Capítulo 2. Desarrollo experimental

2.1 Materia prima, reactivos y equipo:

Materia prima

Se trabajó con la cáscara de tres variedades de Xoconostle: *O. joconostle* colorado (xcol), *O. joconostle* burro (Xb) y *O. matudae* cuaresmeño (Xcuar). Las muestras fueron compradas en el mercado de la Merced, se contó con 4 kg de cada una de las variedades: *O. joconostle* colorado y *O. matudae* cuaresmeño (Xcuar) y con 3 kg de *O. joconostle* burro (Figura 10) de las cuales se desconoció el estado de madurez y origen; pero que sin embargo si se realizó su identificación botánica en el Instituto de Biología.



***O. joconostle* colorado**



***O. matudae* cuaresmeño**



***O. joconostle* burro**

Figura 10. Muestras utilizadas en el análisis.

El muestreo se realizó de forma aleatoria para la obtención de 300 g de cáscara de cada variedad, que correspondieron a 430 g de fruto entero aproximadamente, con lo que se puede decir que el muestreo fue representativo ya que para cada determinación se consideró mas del 10 % de la población. La cáscara obtenida se maceró y se tomaron 3 replicas para cada determinación.

Reactivos:

- Disolventes orgánicos de grado analítico: Hexano (Reproquifin), metanol, etanol y acetato de etilo (High Purity), ácido acético (Química Meyer), ácido clorhídrico, ácido fórmico y ácido sulfúrico (J.T. Baker).
- Carbonato de sodio (J.T. Baker), reactivo de Folin-Ciocalteu (HYCEL), buffer de K_2PO_4 de pH 6 (Reprofiquin), carbazol 0.125 %, fenol 5% (Mallinckrodt).
- Reveladores: sulfato cérico (Aldrich), vainillina H_2SO_4 (Sigma-Aldrich) y radical DDPH (Aldrich).
- Estándares empleados: quercetina (Sigma), ácido gálico, ácido p-cumárico (Fluka, 98%), ácido cafeico (Sigma-Aldrich, 99%), ácido ferúlico (Fluka) y ácido ascórbico (Sigma-Aldrich),
- Kit enzimático para fibra dietética (SIGMA-CHEM).
- Bolsas para diálisis (12000-15000 PM).

Equipos

- Rotavapor (Büchi Modelo R-205).
- Sonificador (Branson Modelo 1510)
- Estufa de vacío (National Appliance Co. Modelo 5831)
- HPLC Waters Modelo 1525 con doble bomba y detector de doble longitud de onda Waters Modelo 2478
- Placas de sílice y celulosa para CCF (Alugram).
- Espectrofotómetro (GBC Modelo Cintra 101)
- Columna (Waters Modelo Symetry C-18 $5\mu m$ 3.9*150mm)

2.2 Esquema general de trabajo

La investigación se dividió en dos partes, en la primera se determinó cualitativamente mediante cromatografía en capa fina (CCF) la presencia de los compuestos bioactivos: flavonoles, ácidos fenólicos y betalaínas (Diagrama 1).

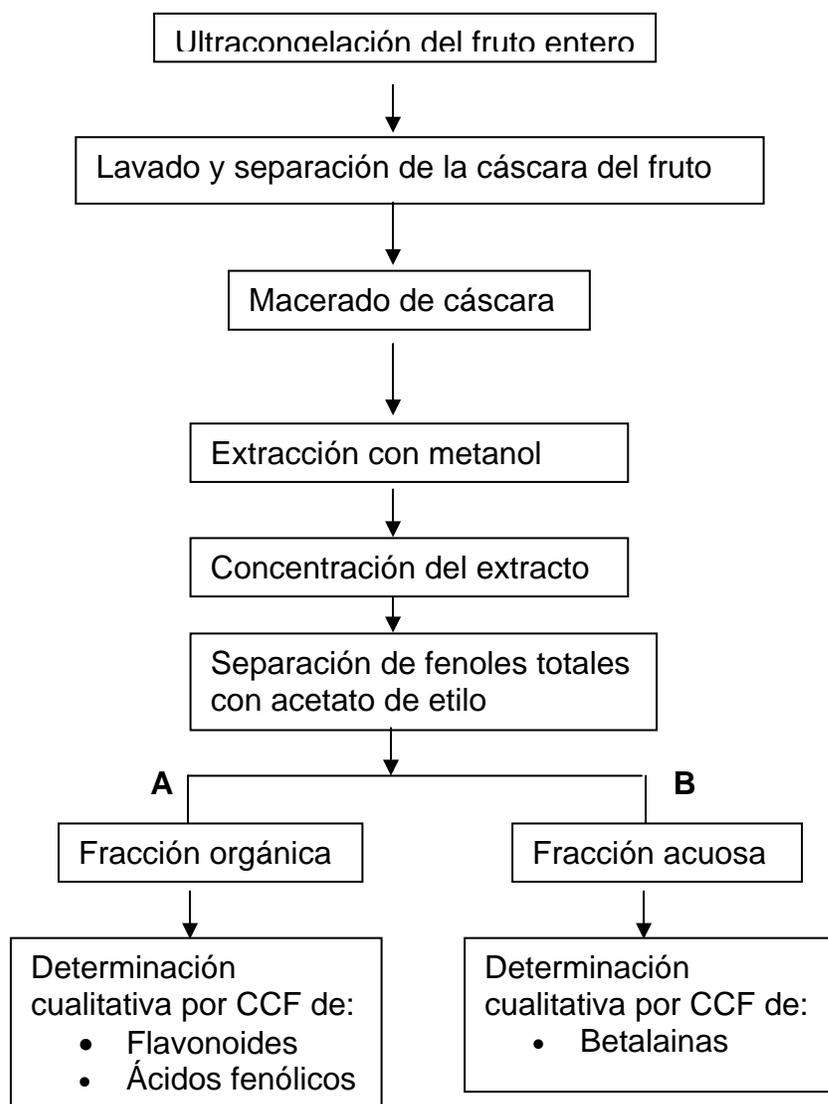
En la segunda etapa, se determinó el contenido de fenoles totales, carotenos totales, ácido ascórbico, betalaínas y fibra dietética total (Diagrama 2).

Primera parte

Las muestras fueron congeladas (-70 °C) y se mantuvieron así hasta el día del análisis, para lo cual la muestra se descongeló, se lavó y se realizó la separación y maceración de la cáscara.

En esta primera etapa se realizaron extracciones con disolventes orgánicos para obtener los extractos crudos y realizar la determinación cualitativa de los compuestos fenólicos y betalaínas mediante CCF (Diagrama 1).

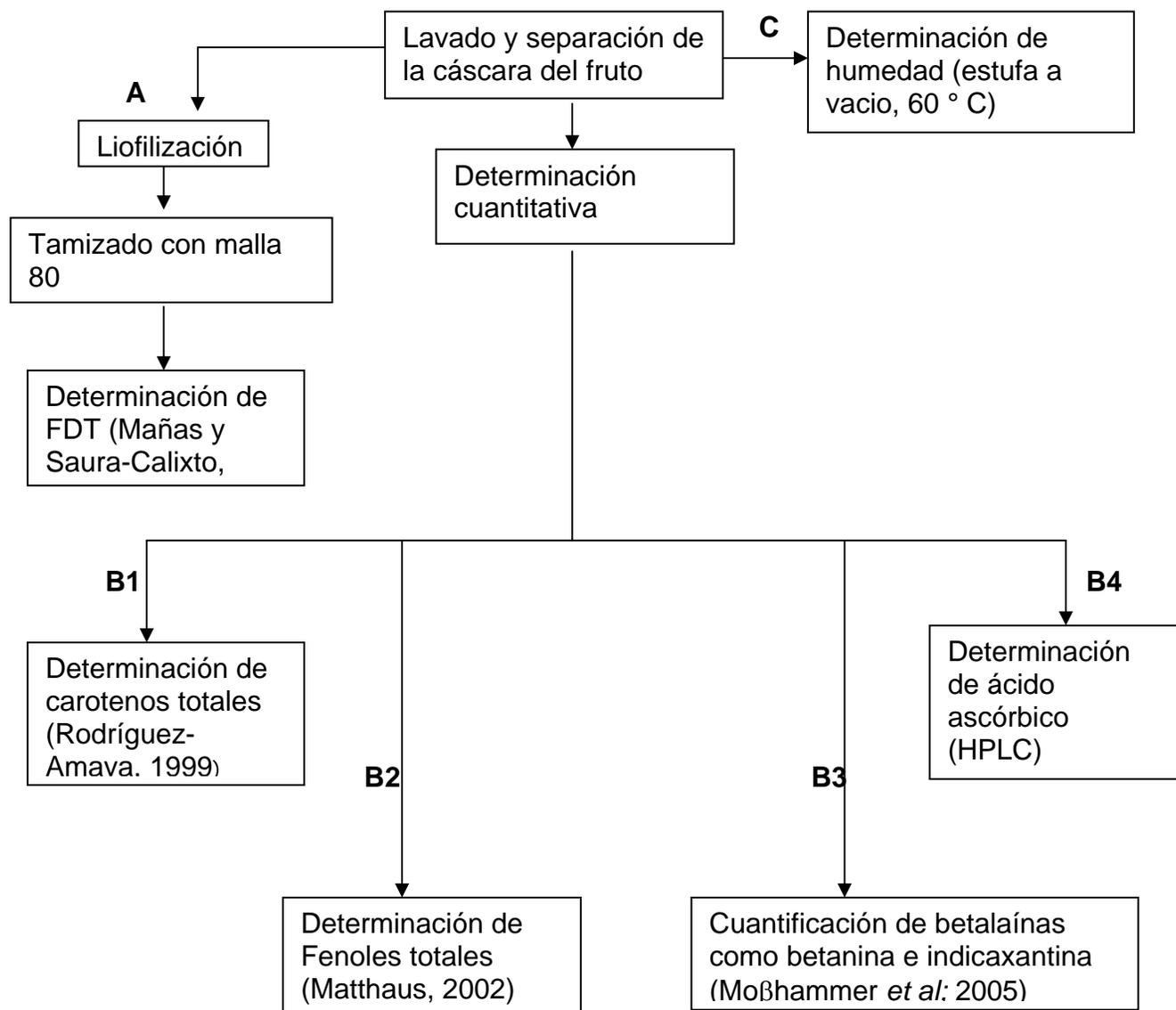
Diagrama 1



Segunda parte

Una vez que se comprobó la presencia de los compuestos bioactivos de interés, se determinó cuantitativamente a los polifenoles totales, carotenos totales, ácido ascórbico, fibra dietética total (FDT) y betalainas (Diagrama 2). Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

Diagrama 2



2.3 Metodología

Primera parte

2.3.1 Determinación Cualitativa

2.3.1.1 Determinación Cualitativa de Flavonoles

Para determinar la presencia de flavonoles (quercetina, kampferol e ishoramentina) en la fracción orgánica del extracto (Diagrama 1, sección a) se realizó un sistema de cromatografía en capa fina (CCF) empleando placas de sílica, como fase eluyente: acetato de etilo y ácido fórmico (170:30) para flavonoles conjugados y como reveladores: vainillina-H₂SO₄, sulfato sérico y DPPH (Soczewinski *et al.*, 2005).

Los estándares utilizados fueron: quercetina, extracto de ginko biloba (Kobil), el cual contiene los tres flavonoles de interés (Gray *et al.*; 2006) y extracto de nopal, en el cual se ha demostrado que también se encuentran presentes estos compuestos (Arzate, 2007).

2.3.1.2 Determinación Cualitativa de Ácidos Fenólicos

Para determinar la presencia de ácidos fenólicos (ácido gálico, ácido cafeíco, ácido ferúlico y ácido p-cumarico) en la fracción orgánica del extracto (Diagrama 1 sección a) se realizó un sistema de CCF empleando placas de sílica, como fase eluyente: cloroformo, acetato de etilo y ácido fórmico(7:3:0.1) y como reveladores: vainillina-H₂SO₄, sulfato sérico, cloruro férrico y DPPH (Sharma *et al.*, 1998).

2.3.1.3 Determinación Cualitativa de Betalaínas

Para determinar la presencia de betalaínas en la fracción acuosa del extracto (Diagrama 1 sección b) se realizó un sistema de CCF empleando placas de celulosa,

como fase móvil: 2-propanol, etanol, agua, ácido acético (6:7:6:1) y DPPH como revelador (Moreno *et al.*, 2001).

Segunda parte

2.3.2 Determinación Cuantitativa

2.3.2.1 Determinación del Contenido de Humedad

Para conocer el contenido de humedad tanto en las muestras frescas como en las liofilizadas se empleo el secado en estufa a vacío a 60 °C por 24 horas (Diagrama 2, sección C).

2.3.2.2 Determinación de Fenoles Totales

Para la extracción de fenoles totales se empleó el método descrito por Butera *et al.*, (2002) (Diagrama 2, sección B2), el cual consistió en homogeneizar 5g de muestra fresca con 50 ml de metanol, la mezcla se dejo en reposo por 1 hora a temperatura ambiente, posteriormente fue centrifugada a 12 000 rpm por 10 minutos a 4 ° C y filtrada, obteniendo un sobrenadante, el cual se concentró a 35 °C hasta sequedad. Al extracto seco se le adicionaron 15 ml de acetato de etilo para separar los compuestos fenólicos de las betalaínas. Los fenoles totales recuperados se concentraron y se redisolviaron en 10 ml de etanol, y se determinó el contenido de fenoles totales utilizando el método oficial de la AOAC, por el método de Folin-Ciocalteu descrito por Mattheus, 2002 utilizando una curva de calibración en un intervalo de concentración de 0.05 – 0.8 mg ácido gálico/ml (ver anexo 1).

2.3.2.3 Determinación de Betalaínas

Del extracto obtenido en el punto anterior, se realizó la separación de las betalaínas para lo cual el residuo del extracto seco se redisolvió en 10 ml de agua y se filtró por una columna Bond Elut para eliminar la fibra soluble. Las betalaínas se cuantificaron espectrofotométricamente a 536 y 482 nm como betanina e indicaxantina usando un $\epsilon = 60\,000\text{ L / mol cm}$ y un peso molecular de 550 g /mol para betanina y un $\epsilon = 48\,000\text{ L / mol cm}$ y un peso molecular de 308 g /mol para indicaxantina de acuerdo con Moßhammer *et al.*, 2005.

2.3.2.4 Determinación de Carotenos Totales

Se homogeneizaron 2 g de muestra con 20 ml de hexano/acetona (50:50) (Delgado y Paredes, 2003), las muestras se centrifugaron a 12000 rpm a 4 °C por 15 minutos, después se recuperó la fracción colorida y ésta se llevo a un volumen final de 25 ml (Diagrama 2, sección B1). El total de carotenoides se determinó midiendo la absorbancia a 450 nm y se calculó utilizando un coeficiente de extinción del β -caroteno, $E^{1\%} = 2592$ (Rodríguez, 1999).

Ejemplo de cálculo de la determinación de carotenos totales:

$$x \text{ (mg)} = \frac{A * y(\text{ml}) * 10^3}{A_{1\text{cm}}^{1\%} * 100} = \frac{0.056*(25)*10^3}{2592*100} = 0.005 \text{ mg } \beta\text{-caroteno}$$

$$x \text{ (mg/100g)} = \frac{x \text{ (mg)} (100)}{\text{g muestra}} = \frac{0.005*(100)}{3.3561} = 0.153 \text{ mg } \beta\text{-caroteno/ 100g muestra fresca}$$

Donde

x = concentración de carotenoides

y = volumen de solución

A = coeficiente de absorción del β -caroteno

2.3.2.5

Determinación de Ácido ascórbico

Se pesaron 5 g de muestra, los cuales fueron inmediatamente homogeneizados con 50 ml de ácido acético al 5 %. La mezcla fue filtrada y llevada a un volumen final de 100 ml con agua desionizada. De cada muestra se tomaron alícuotas, las cuales se pasaron a través de un filtro de membrana Millipore 0.45 μ m antes de inyectar en el HPLC (Diagrama 2, sección B4).

Las condiciones de inyección empleadas en el HPLC fueron: columna C-18 5 μ m 3.9*150mm, fase móvil agua / ácido acético 1% (50:50 v/v), flujo 1 ml/min, longitud de onda 261 nm (Zapata y Dufour, 1992), temperatura ambiente en la columna.

Para calcular la concentración de ácido ascórbico se efectuó una curva de calibración en concentración de 0.05 – 0.5 mg ácido ascórbico/ ml (ver anexo 1).

2.3.2.6 Determinación de Fibra dietética total

Las fracciones de FD se obtuvieron mediante una modificación del método de la AOAC propuesta por Mañas y Saura-Calixto, 1993 (Diagrama 2, sección A).

A 0.5 g de muestra seca se le realizó una hidrólisis enzimática con amilasa (90 °C, 15 min), proteasa (60 °C, 30 min) y amiloglucosidasa (60 °C, 30 min), después de la cual la muestra fue centrifugada hasta obtener las fracciones de FDS y FDI.

Para la determinación de FDI los residuos obtenidos después de la centrifugación se sometieron a una hidrólisis secuencial con ácido sulfúrico 12 M (1h, 35 °C) para solubilizar la celulosa y 1 M (2 h, 90 °C) para hidrolizarla (Kritchevsky *et al.*, 1990). Después de la hidrólisis, la fracción de FDI se volvió a filtrar y el material residual se secó en la estufa a 50 °C por 48 horas y se cuantificó como lignina de Klason.

Para la determinación de FDS, el sobrenadante obtenido de la centrifugación se dializó por 48 horas con recambios continuos de agua (cada 2 horas). Una vez transcurrido este tiempo se realizó una hidrólisis secuencial de igual manera que para la FDI. A las fracciones hidrolizadas, tanto de FDS y FDI se les cuantificó ácidos urónicos (AU) (Bitter y Muir, 1962) y azúcares neutros (AN) con el método de fenol sulfúrico (Southgate, 1969). Para calcular la concentración de ácidos urónicos y azúcares neutros, se realizaron curvas de calibración usando ácido galacturónico en concentraciones de 0.008 – 0.08 mg /ml y de glucosa en concentración de 0.01 – 0.1 mg/ml como estándares respectivamente (ver anexo 1).

2.5 Análisis Estadístico

Las determinaciones se realizaron por triplicado y los resultados obtenidos son presentados como el promedio \pm desviación estándar. Mediante un análisis de varianza (ANOVA) y con la prueba de diferencia mínima significativa de Duncan con un $\alpha= 0.05$ se determinó si hay diferencia significativa en la concentración de compuestos bioactivos.

Capítulo 3. Resultados y discusión

Primera parte

3.1 Determinación cualitativa de compuestos bioactivos

3.1.1 Determinación cualitativa de flavonoles

En la figura 11, se muestran los resultados obtenidos para las fracciones de acetato de etilo, las placas se revelaron con vainillina- H_2SO_4 y sulfato sérico, en donde se puede observar que el estándar de quercetina (Q) eluyó con el frente del disolvente, lo cual se debe a que se encuentra en forma de aglicón y no conjugado como se encuentra en los vegetales como en el nopal (N) y ginkgo biloba (GB).

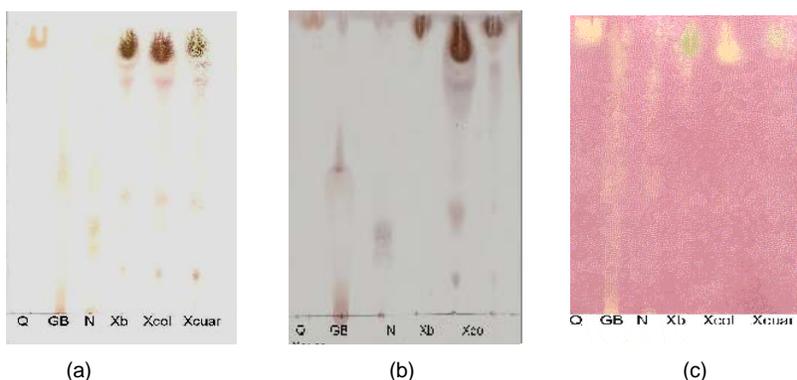


Figura 11. Identificación de flavonoles por CCF de los extractos de las muestras: Xb: *O. joconostle* burro, Xcol: *O. joconostle* colorado, Xcuar: *O. matudae* cuaresmeño, utilizando como estándares Q: quercetina, GB: ginkgo biloba, N: nopal, y como reveladores: (a) Vainillina- H_2SO_4 ; (b) sulfato sérico; (c) DPPH,

Al comparar el extracto de GB y N con las tres muestras se puede observar que los dos primeros eluyeron a la misma distancia, mientras que los extractos de las tres muestras (Xb, Xcol, Xcuar) muestran un patrón que no corresponde a la presencia de los

flavonoles, por lo que se puede decir que en la cáscara de las tres variedades de xoconostle no se encuentran presentes la quercetina, kaempferol e isorhamentina o que se encuentran en cantidades muy pequeñas para ser detectadas por el revelador, como lo reportado en la tuna dulce (Kuty, 2004).

También se puede observar que los compuestos mayoritarios en la fracción de acetato de etilo están presentes en las tres variedades de xoconostle y que éstos eluyeron con el frente del disolvente, lo que se debe a que son compuestos con poca polaridad y se podría tratar de terpenos o de otros compuestos característicos de la familia Opuntia.

Para observar la actividad antioxidante de los extractos se empleó DPPH como revelador. En la figura 11 (c), se puede observar que las fracciones de acetato de etilo de las tres muestras presentan poca actividad antioxidante, comprobando que en éstas no se encuentran presentes los flavonoles, ya que estos extractos no presentan la misma intensidad en coloración amarilla que el ginko biloba.

3.1.2 Determinación cualitativa de ácidos fenólicos

En la figura 12, se muestran las placas obtenidas con el extracto de acetato de etilo reveladas con vainillina- H₂SO₄ (a), sulfato sérico (b) y DPPH (c).

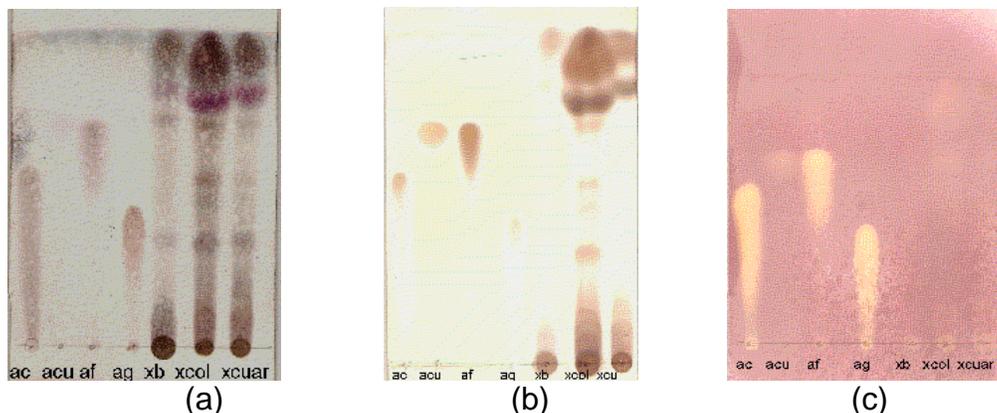


Figura 12. Identificación de ácidos fenólicos por CCF de las muestras: Xb: *O. joconostle* burro, Xcol: *O. joconostle* colorado, Xcuar: *O. matudae* cuaresmeño, utilizando como estándares: ac: ácido cafeico, acu: ácido cumárico, af: ácido ferúlico, ag: ácido gálico, y como reveladores: (a) Vainillina-H₂SO₄; (b) sulfato sérico; (c) DPPH.

En la placa (a) se puede identificar un compuesto común para las tres muestras, que eluyó a la misma distancia que dos de los estándares: el ácido p-cumárico y ferúlico; se puede observar que en las 3 placas eluyen a la misma distancia por lo que no es posible confirmar la presencia de uno o de otro, ya que se ha reportado la presencia de ambos en cáscara y pulpa en frutos de *O. megacantha* (Ndhlala *et al.*, 2007) y *O. dillenii* (Chang *et al.*, 2008), así como en residuos de cladodio de nopal (*Opuntia spp.*) (Cadena, 2006). El ácido cumárico es uno de los ácidos que se reporta como mayoritario para cierto tipo de frutas por lo que no es posible confirmar la presencia de

cualquiera de éstos (Martínez *et al.*, 2000). Tanto en la placa (a) como en la (b) se puede observar la presencia de ácido cafeico en las tres muestras, el cual es el otro ácido que se menciona como mayoritario para otro cierto de frutas como la manzana y la ciruela, por lo que para comprobar la presencia de estos compuestos, así como determinar su perfil es necesario aplicar una técnica más precisa como el HPLC que permita la separación e identificación de los compuestos presentes en las muestras (Martínez *et al.*, 2000).

En la placa (c), se puede observar que de los cuatro estándares utilizados, el ácido cumárico es el que presenta menor actividad antioxidante, y que las muestras presentan muy poca actividad antioxidante, debido probablemente a la baja concentración en la que se encuentran.

3.1.3 Determinación cualitativa de betalaínas

Las betalaínas son pigmentos naturales, por lo que no fue necesario el uso de reveladores para observar su presencia, el único revelador que se utilizó fue el DPPH para demostrar su actividad antioxidante.

Se utilizó un extracto de tuna roja como referencia ya que se ha reportado que ésta presenta un alto contenido de estos compuestos (Reynoso *et al.*, 1997).

En la figura 13 (a) se muestra que fue posible identificar la presencia de betacianinas (rosas) y betaxantinas (amarillas) para la muestra de Xcol, mientras que para las otras dos variedades, Xb y Xcuar, no se observan las betacianinas, probablemente debido a que éstas se encuentran en concentraciones muy bajas para poder ser observadas.

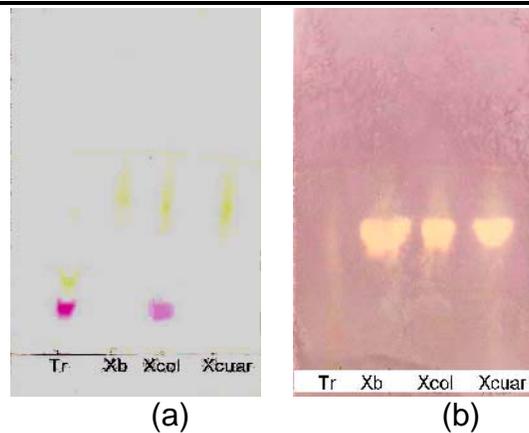


Figura 13. Determinación cualitativa de betalaínas de las muestras: Xb: *O. joconostle* burro, Xcol: *O. joconostle* colorado, Xcuar: *O. matudae* cuaresmeño, utilizando como referencia extracto de tuna roja (Tr) y como reveladores (a) sin revelador, (b) DPPH.

En la figura 13 (a) también se puede observar que la betacianina presente tanto en la tuna roja como en el xoconostle colorado es la misma, ya que eluyeron a una misma distancia. Lo anterior no ocurrió con las betaxantinas, lo cual puede ser debido a que no son las mismas, o a que el pH del extracto del xoconostle es menor que el de la tuna por lo que se logró una mejor separación de estos compuestos.

En la figura 13 (b) se puede observar que las betaxantinas presentes en las tres muestras poseen una actividad antioxidante importante, ya que ésta se relaciona directamente con la intensidad de la coloración amarilla producto de la reducción del radical DPPH. Sin embargo, ni las betacianinas de la tuna roja como la del xoconostle colorado fueron capaces de reducir este radical, aunque se ha visto que frente a otros radicales como el ABTS, sí presentan actividad antioxidante aún mayor que las betaxantinas (Escribano *et al.*, 1998; Butera *et al.*, 2002;).

Segunda parte

3.2 Determinación cuantitativa

3.2.1.1 Determinación del Contenido de Humedad

El contenido de humedad se determinó por secado en estufa a vacío a 60 ° C por 24 horas (Tabla 20). Este método se usó, ya que primero se probó el método de la AOAC (secado a 100 °C hasta peso constante), pero la muestra se quemó al tener compuestos susceptibles a altas temperaturas.

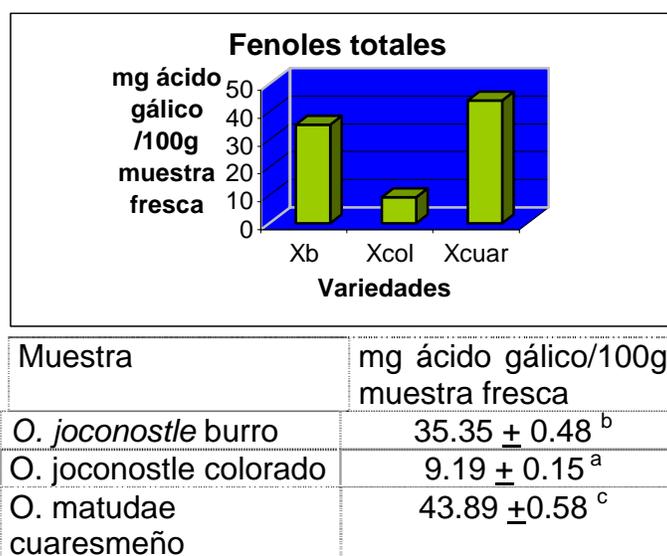
Tabla 20. Contenido de Humedad

Muestra	% de humedad
O. <i>joconostle</i> burro	93.56 ± 0.2
O. <i>joconostle</i> colorado	91.22 ± 0.14
O. <i>matudae</i> cuaresmeño	92.52 ± 0.08

El contenido de humedad para las tres muestras es muy alto considerando que son cáscaras; las tres variedades tienen una humedad mayor al 90%.

3.2.2 Determinación de fenoles totales

En la figura 14 se presenta el contenido de fenoles totales obtenidos de la fracción de acetato de etilo, a partir de la curva de calibración realizada, la cual tuvo un coeficiente de correlación de 0.998 que nos indica que en este intervalo de concentraciones hay una relación directa entre ésta y la absorbancia, y que este método es reproducible. Para la cuantificación de fenoles totales se realizó la separación de las betalainas y otros compuestos reductores como el ácido ascórbico e hidratos de carbono que podrían sobreestimar el contenido de éstos (Matthaus, 2002).



^{a,b,c} Las medias que presentan diferentes supraíndices son significativamente diferentes ($\alpha=0.05$).

Figura 14. Contenido de fenoles totales en extractos de acetato de etilo de cáscara de xoconostle

Se puede observar que hay una gran variación en el contenido de fenoles totales entre las tres muestras, la variedad que presenta un mayor contenido es *O. matudae* cuaresmeño seguido de *O. joconostle* burro y *O. joconostle* colorado. La variabilidad en el contenido de fenoles totales se puede deber a las diferencias en las prácticas de

cultivo, así como al estado de madurez, ya que se ha visto que el contenido de fenoles totales decrece a medida que el fruto que va madurando (Bashir *et al.*, 2003; Tavarini *et al.*, 2008).

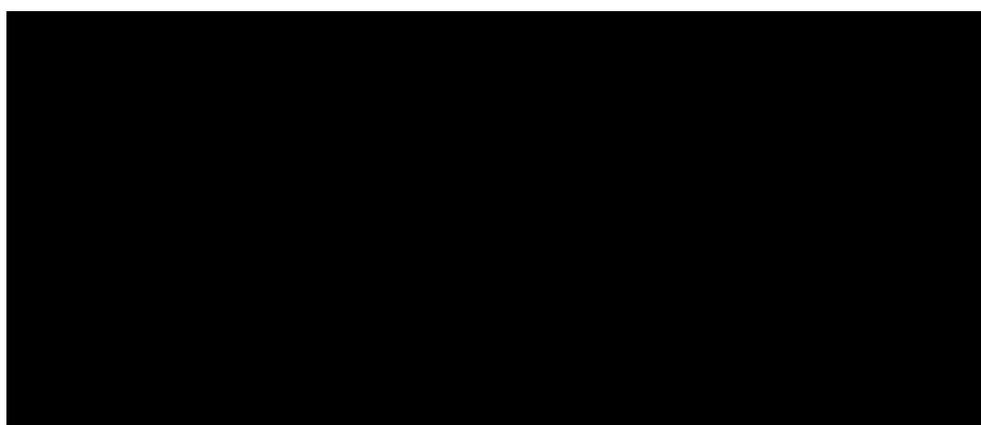
El contenido de fenoles totales en las tres variedades es bajo en comparación con la cáscara y / o pulpa de otros frutos como el mango (Ajila *et al.*, 2007), la guayaba (Bashir y Abu-Goukh, 2003), cítricos (Wang *et al.*, 2007) y otras frutas cactáceas como *O. dillenii* Haw (Chang *et al.*, 2008). Aunque no se determinó el contenido de fenoles totales en la pulpa, algunos estudios han demostrado que hay un mayor contenido de éstos en la cáscara con respecto a pulpa, en frutos como la guayaba (Bashir y Abu-Goukh, 2003), la tuna (Chang *et al.*, 2008) y el mango (Ajila *et al.*, 2007). Lo anterior se puede deber a su papel protector contra enfermedades e insectos.

Los compuestos fenólicos que pueden englobarse en esta determinación podrían ser los ácidos ferúlico, cumárico, cafeíco y gálico además de quercetina, catequina, epicatequina los cuales se han reportado para frutas cactáceas (Chang *et al.*, 2008), como se vio en las determinaciones cualitativas. También podrían estar presentes otros compuestos que son exclusivos de la familia *Opuntia* como el opuntiosido y el opuntiol (Stintzing y Reinhold, 2005).

3.2.3 Determinación de betalainas

En la figura 15 se presenta el contenido de betalaínas para las tres variedades estudiadas donde se puede observar una gran diferencia en el contenido de éstas en *O. joconostle* colorado con respecto a las otras dos variedades. Lo anterior es el resultado que se esperaba debido a la coloración rosa de la cáscara que podría indicar un alto contenido de betaninas, esto ya se había visto en la determinación cualitativa

puesto que se encontró un gran contenido de éstas, mientras que para *O. joconostle* burro y *O. matudae* cuaresmeño sólo se observó la presencia de indicaxantina que concuerda con los datos presentados, ya que el contenido de betanina es muy pequeño con respecto al de indicaxantina. Cabe mencionar que los valores reportados se obtuvieron por una técnica no específica, ya que además de que no fue posible saber si las betalaínas presentes en las muestras son betanina e indicaxantina, por lo que estos valores son una aproximación y para conocer el valor real se necesitaría identificar las betalaínas presentes y determinar su perfil por una técnica más específica como el HPLC.



Muestra	Betanina (mg/100g muestra fresca)	Indicaxantina (mg/100g muestra fresca)	Betalaínas totales (mg/100g muestra fresca)
<i>O. joconostle</i> burro	0.016 ± 0.06 ^a	0.139 ± 0.04 ^a	0.155
<i>O. joconostle</i> colorado	2.19 ± 0.01 ^c	0.919 ± 0.02 ^c	3.109
<i>O. matudae</i> cuaresmeño	0.035 ± 0.01 ^b	0.152 ± 0.03 ^b	0.187

^{a,b,c} Las medias que presentan diferentes supraíndices en cada columna son significativamente diferentes ($\alpha=0.05$)

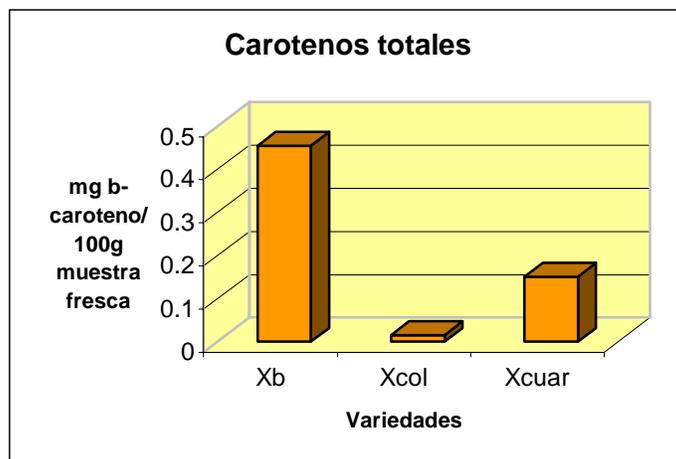
Figura 15. Contenido de betalaínas en el extracto acuoso de cáscara de xoconostle.

El contenido de betalaínas totales en la cáscara de las tres muestras es inferior al reportado por Butera *et al.*, (2002) para la pulpa de varios cultivares de *O. ficus indica*, lo que se puede deber a que ésta es una mejor fuente de betalaínas o a la diferencia de coeficientes de extinción molar que fueron empleados. Por otro lado la forma de obtención del extracto es distinta a la realizada en el presente trabajo, ya que la tuna al tener un alto contenido en fibra es posible que parte de la fibra soluble haya interferido en la cuantificación, sobreestimando el contenido de betalaínas. Con respecto a otras frutas cactáceas como el garambullo que es un fruto color púrpura, se tiene que la cáscara de *O. joconostle* colorado es una mejor fuente de betalaínas (Reynoso *et al.*, 1997).

3.2.4 Determinación de carotenos totales

En la figura 16 se reporta el contenido de carotenoides totales para las tres variedades estudiadas, en la cual se puede observar que se encontró un mayor contenido de carotenos en la variedad *O. joconostle* burro, seguido por *O. matudae* cuaresmeño y finalmente por *O. joconostle* colorado en el cual se encontró el contenido más bajo de éstos.

Lo anterior era de esperarse debido a la coloración roja de la cáscara y a la predominancia de betalaínas en éste, mientras que las otras dos variedades al tener la cáscara de color entre amarilla y verde se esperaba una concentración mayor de éstos.



Muestra	mg β-caroteno /100g muestra fresca
---------	------------------------------------

<i>O. joconostle</i> burro	0.455 ± 0.01 ^c
<i>O. joconostle</i> colorado	0.015 ± 1.6x10 ⁻³ ^a
<i>O. matudae</i> cuaresmeño	0.151 ± 0.06 ^b

^{a,b,c} Las medias que presentan diferentes supraíndices son significativamente diferentes ($\alpha=0.05$)

Figura 16. Contenido de carotenos totales en cáscara de xoconostle.

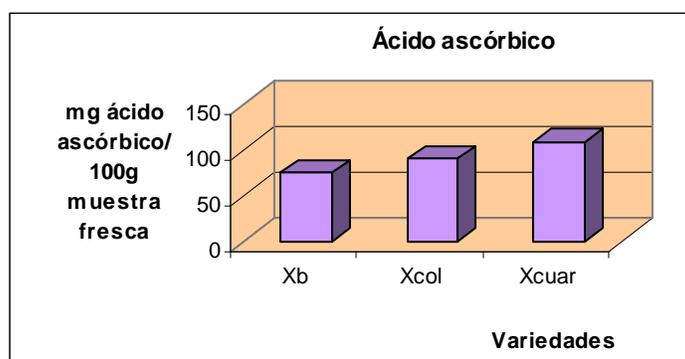
El contenido de carotenos en las tres variedades es muy bajo en comparación con el reportado en el nopal que es de 3.73 mg/ 100g, debido a la presencia de otros pigmentos como las betalaínas en los frutos (Stintzing y Carle, 2004), así como la interferencia de otros factores como el grado de madurez, y su alta sensibilidad a la luz solar, oxígeno, y a altas temperaturas provocando su oxidación e isomerización debido a los dobles enlaces conjugados que éstos presentan, por lo que todos estos factores juegan un papel determinante en la cuantificación de éstos desde el almacenaje hasta el procesamiento (Tavarini *et al.*, 2008).

Al comparar el contenido de carotenos totales y betalaínas se puede ver que el pigmento predominante en *O. joconostle* burro son los carotenos, mientras que en *O. joconostle* colorado y *O. matudae* cuaresmeño predominan las betalaínas.

El contenido de carotenos presentes en *O. joconostle* colorado y *O. matudae* cuaresmeño es inferior a los reportados para las cuatro variedades estudiadas por Kutty (2004), mientras que *O. joconostle* burro tiene un contenido mayor que *O. ficus-indica* que también es una tuna de cáscara verde, lo cual se puede deber al grado de madurez y a los factores antes mencionados.

3.2.5 Determinación de ácido ascórbico

En la figura 17 se muestra el contenido de ácido ascórbico para las tres variedades estudiadas obtenido a partir de una curva de calibración que tuvo un coeficiente de correlación de 0.996 que nos indica que el método es reproducible y que hay una relación directa entre la absorbancia y el intervalo de concentración al que se realizó ésta. El tiempo de retención promedio del ácido ascórbico de las muestras fue de 0.85 ± 0.01 minutos, igual que el del estándar (ver anexo 2).



Muestra	mg ácido ascórbico / 100g muestra fresca
<i>O. joconostle</i> burro	74.74 ± 0.15^a
<i>O. joconostle</i> colorado	90.64 ± 5.19^b
<i>O. matudae</i> cuaresmeño	108.72 ± 2.9^c

^{a,b,c} Las medias que presentan diferentes supraíndices son significativamente diferentes ($\alpha=0.05$)

Figura 17. Contenido de ácido ascórbico en cáscara de xoconostle

Se puede observar que el contenido de ácido ascórbico en las 3 muestras es superior al reportado en la pulpa del xoconostle y en ciertas variedades de tuna reportados por Kuty (2004) y Butera *et al.*, (2002). Todas las muestras presentan un alto contenido en ácido ascórbico, siendo *O. matudae* cuaresmeño la que presenta el mayor contenido, ésto se puede deber a las diferencias debidas a la variedad, a las prácticas de cultivo, y

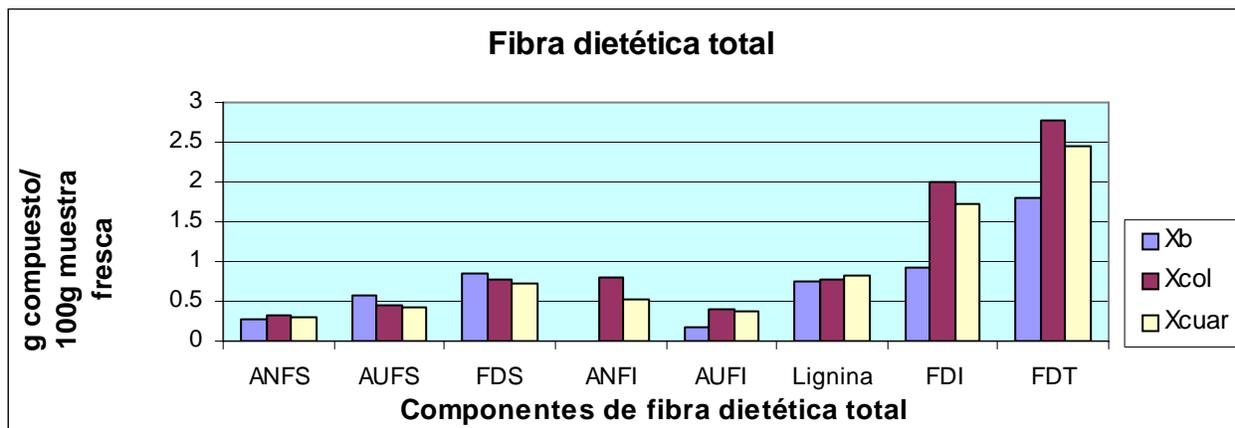
al estado de madurez ya que en estudios reportados en la literatura se ha determinado que dependiendo del tipo de fruta, el contenido de ácido ascórbico disminuye o aumenta a medida que ésta va madurando (Lee y Kader, 2000) y que al igual que los compuestos fenólicos, éste se encuentra en un mayor contenido en la cáscara con respecto a la pulpa (Bashir *et al.*, 2003).

En la cuantificación del ácido ascórbico (AA) mediante HPLC, se aseguró la cuantificación total de éste en su forma reducida al no tener interferencia de otros compuestos coloridos como las betalainas que hubieran interferido en la valoración de éste con el 2,6-diclorofenol-indofenol que es el método indicado por el AOAC (Ottaway, 1993).

Con los datos obtenidos se puede decir que la cáscara de xoconostle es una muy buena fuente de ácido ascórbico, ya que ésta aunque aporta un menor contenido que la guayaba, aporta una mayor cantidad de vitamina C que ciertas verduras como el nopal o el jitomate, así como de frutas que se consumen comúnmente como el plátano y la piña y aún mayor que las frutas cítricas como el limón y la naranja que son reconocidos como las mejores fuentes de ácido ascórbico.

3.2.6 Determinación de fibra dietética total

En la figura 18 se presentan los valores obtenidos en la determinación de fibra dietética, estos valores se presentan como azúcares neutros (AN) y ácidos urónicos (AU) tanto de la fracción de fibra soluble como de la insoluble, obteniendo con la suma éstas el total de cada fracción, fibra soluble total (FST) y fibra insoluble total (FIT). Con la suma de ambas fracciones se obtuvo la fibra dietética total (FDT). Finalmente también se muestra en la tabla la relación entre ambas fracciones.



Variedad	Fibra soluble (FS)			Fibra insoluble (FI)				FDT	Relación FI/FS
	AN (hemicelulosa soluble, pectina)	AU (pectina)	FST	AN (celulosa)	AU (hemicelulosa insoluble)	Lignina	FIT		
<i>O. joconostle</i> burro	0.274 ± 0.02 ^a	0.587 ± 0.02 ^c	0.861	0 ^a	0.185 ± 0.01 ^a	0.742 ± 0.07 ^a	0.927	1.788	1.0768
<i>O. joconostle</i> colorado	0.322 ± 0.01 ^c	0.454 ± 0.03 ^b	0.776	0.802 ± 0.03 ^c	0.406 ± 0.04 ^c	0.786 ± 0.05 ^b	1.994	2.770	2.5685
<i>O. matudae</i> cuaresmeño	0.301 ± 0.01 ^{-3 b}	0.426 ± 0.02	0.727	0.526 ± 0.01 ^b	0.385 ± 0.02 ^b	0.817 ± 0.06 ^c	1.728	2.455	2.3766

^{a,b,c} Las medias que presentan diferentes supraíndices en cada columna son significativamente diferentes ($\alpha=0.05$)

Figura 18. Análisis composicional de fibra dietética (g componente/100g muestra fresca) de cáscara de xoconostle.

El contenido de AN y AU de ambas fracciones de fibra se obtuvieron a partir de curvas de calibración en las cuales se obtuvieron coeficientes de correlación de 0.99 y 0.995 respectivamente, indicándonos que ambos métodos son reproducibles y que hay una relación directa entre la absorbancia y el intervalo de concentración a las que se realizaron éstas (ver anexo 1).

Respecto al contenido de FDS se puede observar que la fracción de AN que corresponde al contenido de hemicelulosa soluble y pectina es diferente en las tres variedades, mientras que la fracción de AU que corresponde al contenido de pectinas es igual en *O. joconostle* colorado y *O. matudae* cuaresmeño, mientras que *O. joconostle* burro presentó un mayor contenido de éstas, lo que cual indica una diferencia en la composición de la pared celular que se puede deber al estado de madurez, ya que el contenido de pectina disminuye a medida que el fruto madura (Vargas, 2000). *O. joconostle* burro al tener un mayor contenido de pectinas, es él que presenta el mayor contenido de fibra soluble.

Respecto a la fracción insoluble, el contenido muestra diferencias importantes de acuerdo a la variedad, ya que en la muestra *O. joconostle* burro no se encontró celulosa, además de presentar el contenido más bajo de hemicelulosa, lo cual se relaciona con su textura, ya que de las tres variedades ésta era la que presentó menos dureza al molerla y la variedad que presentó una mayor dureza y un mayor contenido de celulosa y de hemicelulosa fue *O. joconostle* colorado y por lo tanto es la variedad con un mayor contenido de FDI. El contenido de lignina, no mostró diferencias entre las tres muestras y es el componente mayoritario tanto de la FDI como de la FDT de *O. joconostle* burro y *O. matudae* cuaresmeño,

Al sumar las fracciones soluble e insoluble se calculó el contenido de fibra dietética total, el cual se encuentra en mayor cantidad en *O. joconostle* colorado, seguido de *O. matudae* cuaresmeño y *O. joconostle* burro.

El contenido de FDT de las tres variedades es superior a la fibra detergente neutra (FDN) reportado por García *et al.*, (2005) para la cáscara de 6 variedades de xoconostle. Para fines comparativos, en la tabla 21 se muestra de manera resumida el

contenido de FDT en base seca (bs) para las tres muestras analizadas. Se puede observar que el contenido de FDN es inferior al de FDT, debido a que el método que contabiliza la FDN no mide los polisacáridos solubles, en particular las sustancias pécticas, por lo que FDN corresponde a la FIT (Eliasson, 2006; Vollendorf y Marlett, 1993). Al comparar los valores de FDT y sus fracciones con los reportados para la pulpa de la tuna (Rosado *et al.*, 1993), se puede ver que el contenido de FDT de ésta es superior al de la cáscara de las tres variedades estudiadas, también el contenido de fibra insoluble es mayor que de soluble. Este bajo contenido de fibra soluble en la tuna se puede deber probablemente a la precipitación incompleta de los compuestos que forman la fibra soluble, ya que este error está asociado con la precipitación alcohólica que se realiza en el método de la AOAC (Mañas y Saura-Calixto, 1993). El contenido de FDT de la cáscara del xoconostle también es inferior al reportado tanto para el nopal (Rosado *et al.*; 1993) como para su residuo (Cadena, 2006; Ayala, 2007), pero es mayor al de otras frutas de consumo común como el plátano, la manzana, la papaya, el mango, entre otras (Rosado *et al.*, 1993) por lo que se puede considerar al xoconostle como una buena fuente de fibra dietética.

Tabla 21. Contenido de Fibra Dietética Total (bs)

	O. <i>joconostle</i> burro	O. <i>joconostle</i> colorado	O. <i>matudae</i> cuaresme ño
FST	13.37	8.83	9.72
FIT	14.40	22.70	23.11
FDT	27.77	31.53	32.83

La relación entre las fracciones soluble e insoluble FIT/FST de la FDT debe estar en un intervalo de 1.0 – 2.3 para poder tener el efecto fisiológico conjunto (Grigelmo y Martín,

1999). Esta relación la cumple *O. joconostle* burro, mientras que las otras dos variedades están por arriba de esta relación, lo que no significa que *O. joconostle* burro va a tener los efectos fisiológicos deseados y que *O. joconostle* colorado y *O. matudae* cuaresmeño no los tendrán, sino que dependerá de la propia matriz alimentaria, así como de los procesos a los que éstos se sometan.

3.2.7 Aporte de compuestos bioactivos a la recomendación dietética diaria

Tomando en cuenta la RDD de compuestos bioactivos para la población mexicana, se puede establecer el porcentaje de ésta que aporta la cáscara de xoconostle de las tres variedades estudiadas, estos valores se muestran en la tabla 22, en la cual se toman en cuenta dos grupos poblacionales: mujeres y hombres de 25 a 65 años (Chávez y Ledesma, 1997). En esta tabla se puede observar que el compuesto bioactivo que se aportan las cáscaras de las tres variedades en un mayor porcentaje con respecto a la RDD, es el ácido ascórbico. ya que cada 100g de cáscara fresca aportan mas del 100 % de la recomendación.

Tabla 22. Aporte (%) de la RDD de compuestos bioactivos de las cáscaras de tres variedades de xoconostle

Variedad	Aporte (%) de la RDD			
	Ácido ascórbico	Retinol (μg equivalentes)		Fibra dietética total
		Hombres y mujeres	Hombres	Mujeres
<i>O. joconostle</i> burro	125.6	22.75	28.43	7.42 – 9.8
<i>O. joconostle</i> colorado	151.1	0.93	0.75	11.46 – 15.28
<i>O. matudae</i> cuaresmeño	181.2	9.44	7.55	10.21 – 13.61

Respecto al aporte de los carotenos totales, éstos se consideraron como equivalentes de retinol, puesto que así están expresados en la RDD. La variedad que aporta un mayor porcentaje de la RDD es *O. joconostle* burro que aporta un 22.75% para hombres y 28.43% para mujeres, aunque hay que considerar que los carotenos totales no corresponden sólo al β -caroteno, sino a luteína y a α -criptoxantina que son los carotenos que se han reportado para cladodios de *O. ficus indica* (Jaramillo *et al.*, 2003). Este porcentaje se reduciría al considerar que probablemente el caroteno mayoritario sea la luteína debido al color verde del fruto, debido a esto mismo *O. joconostle* colorado es el que aporta el menor % de la RDD, aportando menos del 1% ya que como se mencionó anteriormente el pigmento predominante en esta variedad son las betalaínas, mientras que *O. matudae* cuaresmeño al ser un fruto de color amarillo probablemente el caroteno predominante sea el β -caroteno por lo que el porcentaje de RDD que aporta esta variedad sería muy bueno.

En el caso de la fibra dietética, las tres variedades aportan una buena cantidad de ésta, que va desde un 7.42% hasta un 15.28%, aunque hay que decir que en este caso la cáscara del xoconostle podría ser una mejor fuente de fibra como fruto seco (Tabla 21) ya que el contenido de ésta no se ve afectado al someterla a un tratamiento térmico como el resto de los compuestos bioactivos (Arzate, 2007).

Con estos datos obtenidos se puede decir que la cáscara del xoconostle podría ser incluida en la dieta, al ser una muy buena fuente de compuestos bioactivos, ya que aporta un alto contenido fibra dietética y de compuestos antioxidantes como el ácido ascórbico y carotenos, los cuales se ha demostrado que pueden prevenir enfermedades crónico degenerativas, además de otros compuestos para los cuales no hay una RDD

establecida como para las betalaínas y los compuestos fenólicos que debido también a su actividad antioxidante pueden ayudar a prevenir estas enfermedades (Kris-Etherton *et al.*; 2002., Jones, 2002; Dok-Go *et al.*, 2003; Agudo *et al.*, 2007).

El consumo de xoconostle fresco es difícil debido a su alta acidez, sin embargo un ejemplo de consumo de éste es en licuado con nopal, piña y jugo de naranja, el cual la gente lo toma para ayudar en la reducción de peso corporal, por lo que es necesario desarrollar productos con la cáscara de xoconostle con un mejor sabor y con la menor pérdida en el contenido de compuestos bioactivos.

Capítulo 4. Conclusiones

- La cáscara de *O. matudae* cuaresmeño es la que aporta un mayor contenido de compuestos fenólicos (43.89 ± 0.58 mg ácido gálico/100g cáscara fresca), y de ácido ascórbico al aportar el 182 % de la RDD de éste.
- La cáscara de *O. joconostle* colorado es la que aporta un mayor contenido de betalainas totales (3.109 mg betalainas totales/100g cáscara fresca), y de fibra dietética total al aportar de un 11.46 a un 15.28 % de la RDD de ésta.
- La cáscara de *O. joconostle* burro, es la que aporta un mayor contenido de carotenos totales, al aportar un 22.75 y 28.43 % de la RDD de μ equivalentes de retinol para hombres y mujeres respectivamente.
- La cáscara de xoconostle es una muy buena fuente de compuestos bioactivos al aportar una gran cantidad de compuestos con actividad antioxidante y de fibra dietética que en conjunto pueden reducir la probabilidad de padecer alguna enfermedad crónico-degenerativa.

Bibliografía:

- Agudo A., Cabrera L., Amiano P., Ardanaz E., *et al.*, “Fruit and vegetables intakes, dietary antioxidant nutrients, and total mortality in Spanish adults: findings from the Spanish cohort of the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition”. *American Journal of Clinical Nutrition* 2007, vol 85, p. 1634-1642.
- Ajila C.M., Naidu K.A., Bhat S.G. y Prasada R. “Bioactive compounds and antioxidant potential of mango peel extract”. *Food Chemistry*. 2007, vol 105, p. 982-988.
- Alvidrez M. A., González M. B. E. y Jiménez S. Z. “Tendencias en la producción de alimentos: Alimentos Funcionales” [en línea]. *Revista Salud Pública y Nutrición* 2002, [consulta 2008-06-15]. Disponible en http://www.respyn.uanl.mx/iii/3/ensayos/alimentos_funcionales.html.
- Arzate Ruiz Elizabeth. Tesis Licenciatura: “Alimentos Funcionales de México: Determinación del perfil de compuestos bioactivos en nopal deshidratado”. Facultad de Química, UNAM, México D.F., 2007
- Ayala Guevara Claudia Berenice. Tesis Licenciatura: “Aprovechamiento del subproducto generado en el desespinado del nopal verdura para la formación de fibra dietética”. Facultad de Química, UNAM, México D.F., 2007.
- Bashir H. A. y Abu- Goukh A- B. A. “Compositional changes during guava fruit ripening”. *Food Chemistry*. 2003, vol 80, p. 557- 563.
- Belitz y Grosch. “Química de los alimentos”, 1997, 2ª edición, editorial Acribia, Zaragoza (España), p. 445, 897.

-
-
- Bitter T. y Muir H. M. "A modified uronic acid carbazole reaction". *Analytical Biochemistry*. 1962, vol 4, p. 330-334.
 - Bouic P. J. "The role of phytosterols and phytosterolins in immune modulation: a review of the past 10 years". *Current Opinion Clinical Nutrition and Metabolic Care*. 2001, vol 4, p. 471-475.
 - Butera D., Tesoriere L., Di Gaudio F., Bongiorno A., Allegra M., Pintaudi A. M., Kohen R. y Livrea M. A. "Antioxidant Activities of Sicilian Prickly Pear (*Opuntia ficus indica*) Fruit Extracts and Reducing Properties of Its Betalins: Betanin e Indicaxantin". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2002, vol 50, p. 6895 – 6901.
 - Cadena Santos Vianey. Tesis Licenciatura: Nopal (*Opuntia spp.*): "Estudio para valorar la utilización de residuos de cladodio como fuente de fibra dietética y antioxidantes". Facultad de Química, UNAM, México D.F., 2006.
 - Chang S- F., Hsieh C- L. y Yen G- C. "The protective effect of *Opuntia dillenii* Haw fruit against low-density lipoprotein peroxidation and its active compounds". *Food Chemistry*. 2008, vol 106, p. 569- 575.
 - Chávez A. y Ledesma J. A. "Tabla de recomendaciones y valor nutritivo de los alimentos de mayor consumo en Latinoamérica", 1997.
 - Delgado F. y Paredes O. "Natural colorants for food and nutraceutical uses". CRC Press. 2003. Boca Raton Florida, E. U. A. p. 192- 205.
 - Diplock A. "Dietary supplementation with antioxidants. Is there a case for exceeding the recommended dietary allowance". *Free Radical Biology & Medicine*. 1987, vol 3, p. 199-201.

-
-
- Dok-Go H., Lee K. H., Kim H. J., Lee E. H., *et al.* “Neuroprotective effects of antioxidative flavonoids, quercetin, (+)-dihydroquercetin and quercetin 3-methyl ether, isolated from *Opuntia ficus-indica* var. *saboten*”. *Brain Research*. 2003, vol 965, p. 130-136.
 - Eliasson Ann-Charlotte. “Carbohydrates in food”, segunda edición, Taylor & Francis group. 2006. Boca Raton Florida, E. U. A. p. 146- 277.
 - Ennouri M., Fetoui H., Bourret E., Zeghal N., *et al.* “Evaluation of some biological parameters of *Opuntia ficus indica*. Influence of a seed oil supplemented diet on rats”. *Bioresource Technology*. 2006, vol 97, p. 1382-1386.
 - Escribano J., Pedreño M. A., García-Carmona F. y Muñoz R. “Characterization of the Antiradical Activity of Betalains From *Beta vulgaris* L. Roots”. *Phytochemical Analysis*. 1998, vol 9, p. 124- 127.
 - Fennema R. Owen. “Química de los alimentos”. 2000, 2ª edición, editorial Acribia, Zaragoza (España), p. 271- 273, 799- 804, 826- 828.
 - Fernandes P. y Cabral J. M. S. “Phytosterols: Applications and recovery methods”. *Bioresource Technology*. 2006 vol 98, p. 2335- 2350.
 - Fernández J. A. y Almela L. “Application of high-performance liquid chromatography to the characterization of the betalain pigments in prickly pear fruit”. *Journal of Chromatography A*. 2001, vol 913, p. 415- 420.
 - García- Pedraza L. G., Reyes- Agüero J. A., Aguirre- Rivera J. R. y Pinos- Rodríguez J. M. “Preliminary nutritional and organoleptic assessment of *Xoconostle fruti* (*Opuntia* spp.) as a condiment or appetizer”. *Italian Journal of Food Science*. 2005, vol 17, p. 333-340.

-
-
- Goldberg I. "Functional Foods Designer foods, pharmafoods, nutraceuticals". Chapman and May International Thomson Publishing. 1996, New York, p. 3 – 6, 183 – 184.
 - Gray D. E., Upton R., Chandra A., Porter A., *et al.* "Quantitative Análisis of Flavonol Glycosides in Ginko biloba: a Comparison of two Analytical Methods". *Phytochemical Analysis*. 2006, vol 17, p. 56- 62.
 - Grigelmo- Miguel N. y Martín- Belloso O. "Comparison of Dietary Fibre from By-products of Processing Fruits and Greens and from Cereals". *Lebensm- Wiss u- Technol*. 1999, vol 32, p. 503- 508.
 - IFIC (International Food Information Council) [en línea], [consulta: 14, agosto, 2007]. Disponible en <http://www.ific.org/sp/nutrition/functional/index.cfm>.
 - Jaramillo F. M. E., González C. L., Cornejo M. M., Dorantes A. L., *et al.* "Effect of Termal Treatment on the Antioxidant Activity and Content of Carotenoids and Phenolic Compounds of Cactus Pear Cladodes (*Opuntia ficus indica*)". *Food Science Technology International*. 2003, vol 9, p. 271- 278.
 - Jones P. "Clinical nutrition: 7. Functional foods- more than just nutrition". *CMAJ*. 2002, vol 166, p. 1555-1563.
 - Kanner J., Harel S. y Granit R. "Betalains- A new class of dietary cationized antioxidants". *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2001, vol 49, p. 5178- 5185.
 - Kris-Etherton P., Hecker K. D., Bonanome A., Coval S. M., *et al.* "Bioactive compounds in foods: their role in the prevention of cardiovascular disease and cancer". *The American Journal of Medicine*. 2002, vol 113, p. 71S-88S.

-
-
- Kritchevsky D., Bonfield Ch. y Anderson J. W. "Dietary Fiber Chemistry, Physiology and Health Effects". 1990. Plenum Press, Nueva York, E.U.A., p. 31 – 44.
 - Kuty J. O. "Antioxidant compounds from four *Opuntia cactus* pear fruit varieties". *Food Chemistry*. 2004, vol 85, p. 527-533.
 - Lagarda M. J., García L. G. y Farré R. "Analysis of phytosterols in foods". *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 2006, vol 41, p. 1486-1496.
 - Lee S. K. y Kader A. A. "Pre-harvest and post-harvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops". *Post-harvest Biology and Technology*. 2000, vol 20, p. 207- 220.
 - Machlin L., "Handbook of vitamins", segunda edición, 1991. Marcel Dekker Inc., Nueva York, E.U.A., p. 208 – 215.
 - Mañas E., y Saura-Calixto F. "Ethanol precipitation: A source of error in dietary fiber determination". *Food Chemistry*. 1993, vol 47, p. 351-355.
 - Marcone M. F., Kaduda Y. y Yada R. Y. "Amaranth as a rich dietary source of β -sitosterol and other phytosterols". *Plant Foods for Human Nutrition*. 2004, vol 58, p. 207-211.
 - Martínez- Valverde I., Periago M. J. y Ros G. "Significado nutricional de los compuestos fenólicos de la dieta". *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 2000, vol 50, p. 1-25.
 - Matthaus B., "Antioxidant activity of extracts obtained from residues of different oil seeds". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2002, vol 50, p. 3444-3452.

-
-
- Meléndez-Martínez A. J., Vicario I. M. y Heredia F. J. “Importancia nutrimental de los pigmentos carotenoides”. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 2004, vol 54, p. 1-13.
 - Moßhammer M. R., Stintzing F. C. y Carle R. “Colour studies on fruit blends from *Opuntia* and *Hylocereus* cacti and betalain-containing model solutions derived therefrom”. *Food Research International*. 2005, vol 38, p. 975-981.
 - Moreno M. J., Vilorio A. y Belén D. “Degradación de betalaínas en remolacha (*beta vulgaris* L.) estudio cinético”. *Revista Científica FCV-LUZ*, 2002, vol 12, p. 133-136.
 - Muñoz M. y Ledesma J. A., 2002. “Los alimentos y sus nutrientes. Tablas de valor nutritivo de los alimentos”, edición internacional, Mc. Graw-Hill, México, p. 74-88.
 - Ndhlala A. R., Kasiyamhuru A., Mupure C., Chitindingu K., *et al.* “Phenolic composition of *Flacourtia indica*, *Opuntia megacantha* and *Sclerocarya birrea*”. *Food Chemistry*. 2007, vol 103, p. 82- 87.
 - Olivares J. L., Zavaleta P., Chimal A., Montiel D., *et al.* “Xoconostle Biología y manejo agronómico”. 2003. 1ª edición. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, México D.F., p. 9- 27, 91- 96.
 - Ottaway P. “The technology of vitamins in foods”. 1993. Blackie Academic & Professional, Gran Bretaña. p. 225 – 228.
 - Paredes O., Guevara F. y Bello L. A. “Los alimentos mágicos de las culturas indígenas mesoamericanas”. 2006. 1ª edición. Fondo de Cultura Económica, México D. F., p. 13- 15, 70- 78, 104- 110.

-
-
- Piga A. "Cactus Pear: A Fruit of Nutraceutical and Functional Importance" [en línea]. *Journal of Professional Association Cactus Development*, 2000, [consulta 2007-11-04]. Disponible en: http://www.jpacd.org/V6/Piga_PF2fnl.pdf.
 - Plat J. K. D. A. y Menskin R. P. "Therapeutic potential of plant sterol and stanols". *Current Opinion in Lipidology*. 2000, vol 11, p. 571-576.
 - Ramadan F. M. y Mörsel J. T. "Recovered lipids from prickly pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill peel: a good source of polyunsaturated fatty acids, natural antioxidant vitamins and sterols". *Food Chemistry*. 2003 a, vol 83, p. 447- 456.
 - Ramadan F. M. y Mörsel J. T. "Oil cactus pear [*Opuntia ficus-indica* L.)". *Food Chemistry*. 2003 b, vol 82, p. 339- 345.
 - Reynoso R., García F. A., Morales D. y González de Mejía E. "Stability of Betalain Pigments from a Cactacea Fruit". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1997, vol 45, p. 2884- 2889.
 - Rodriguez D. B., "A guide to carotenoid analysis in foods". 2001, OMNI Research-ILSI Press, Washington, E. U. A., p. 37-45.
 - Rosado L. J., López P., Huerta Z., Muñoz E., *et al.* "Dietary Fiber in Mexican Foods". *Journal of Food Composition and Analysis*. 1993, vol 6, p. 215-222.
 - Sáenz C., Berger H., Corrales J., Galletti L., *et al.* "Utilización agroindustrial del nopal". *Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO*. 2006, número 162.
 - Sharma O. P., Bhat T. K. y Singh B. "Thin-layer chromatography of gallic acid, methyl gallate, pyrogallol, phloroglucinol, catech, resorcinol, hydroquinone, catechin, epicatehdin, cinnamic acid, p-coumaric acid, ferulic acid and tannic acid". *Journal of Chromatography A*. 1998, vol 822, p. 167-171.

-
-
- Siró I., Kápolna E., Kápolna B. y Lugasi A. “Functional food: Product development, marketing and consumer acceptance – a review”. *Appetite*. 2007, doi:10.1016/j.appet.2008.05.060
 - Soczewinski E., Wojciak M. y Matysik G. “Analysis of glycosides and aglicones of flavonoid compounds by double development thin layer chromatography”. *Camag Bibliography Service*. 2005, vol 95, p. 95021.
 - Southgate D. A. T. “Determination of carbohydrates in foods II. Unavailable carbohydrates”. *Journal of Food Science and Agricultural*. 1969, vol 20, p. 331-335.
 - Stintzing F. C. y Carle R. “Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition”. *Food Science & Technology*. 2004, vol 15, p. 19-38.
 - Stintzing F. C. y Reinhold C. “Cactus stems (*Opuntia sp*) A review on their chemistry, technology and uses”. *Molecular Nutrition and Food Research*. 2005, vol 49, p. 175-194.
 - Strack D., Vogt T. y Schliemann W. “Recent advances in betalain research”. *Phytochemistry*. 2003, vol 62, p. 247- 269.
 - Tavarini S., Degl’Innocenti E., Remorini D., Massai R., *et al.* “Antioxidant capacity, ascorbic acid, total phenols and carotenoids changes during harvest and after storage of Hayward kiwifruit”. *Food Chemistry*. 2008, vol 107, p. 282- 288.
 - Torres J. “Alimentos tradicionales mexicanos a punto de extinguirse” [en línea]. *Gaceta Universitaria*, 1999, [consulta 2007-10-18], disponible en: <http://www.comsoc.udg.mx/gaceta/paginas/113/10-113.pdf>.

-
-
- Trichopoulou A., Vasilopoulou E., Georga K., Soukara S., *et al.* "Traditional foods: Why and how to sustain them". *Food Science & Technology*. 2006, vol 17, p. 498-504.
 - Vargas M. Tesis Licenciatura: "Extracción, purificación y comparación de pectinas provenientes del bagazo del tejocote y cascara del xoconostle". Facultad de Química, UNAM, México D.F., 2000.
 - Vilorio-Matos A., Corbelli-Moreno D., Morteno-Alvarez M. J. y Belén D. R. "Estabilidad de betalaínas en pulpa de tuna (*Opuntia boldinghii* Br.et R.) sometidas a un proceso de liofilización". *Rev. Fac. Agron.* 2002, vol 19, p. 324-331.
 - Vollendorf N. W. y Marlett J. A. "Comparison of Two Methods of Fiber Analysis of 58 Foods". *Journal of Food Composition and Analysis*. 1993, vol 6, p. 203- 214.
 - Wang Y- C., Chuang Y- C. y Ku Y- H. "Quantitation of bioactive compounds in citrus fruits cultivated in Taiwan". *Food Chemistry*. 2007, vol 102, p. 1163-1171.
 - Zapata S. y Dufour J-P. "Ascorbic, Dehydroascorbic and Isoascorbic Acid Simultaneous Determinations by Reverse Phase Ion Interaction HPLC". *Journal of Food Science*. 1992, vol 57, p. 506- 511.

Anexos

Anexo 1

Curva de calibración de fenoles totales.

Para calcular la concentración de fenoles totales se efectuó una curva de calibración usando ácido gálico como estándar en un intervalo de concentración de 0.05 – 0.8 mg/ml (Figura 19). El procedimiento para realizar la curva fue el siguiente: se mezclaron 2 ml de la solución estándar con 3 ml de ácido clorhídrico al 0.3%, de esta mezcla se tomó una alícuota de 100µl que se mezcló con 2 ml de Na₂CO₃ al 2% por 2 minutos después de los cuales se adicionaron 100µl del reactivo de Folin-Ciocalteu diluido con agua (1:1) y se dejaron reposar por 30 minutos, después de los cuales se leyó su absorbancia por triplicado en el espectrofotómetro a una longitud de 750 nm.

Los resultados se expresan como mg de ácido gálico por 100 gramos de muestra en peso fresco.

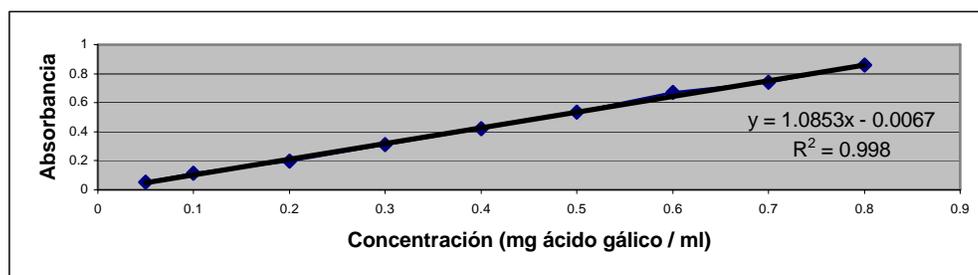


Figura 19. Curva patrón de fenoles totales

Curva de calibración de azúcares neutros.

Para calcular la concentración de azúcares neutros se efectuó una curva de calibración usando glucosa como estándar en un intervalo de concentración de 0.01 – 0.1 mg/ml (Figura 20). El procedimiento para realizar la curva fue el siguiente: se mezcló en tubos de ensaye 1 ml de la solución estándar con 1 ml de fenol y 5 ml de ácido sulfúrico, se

agitó con uniformidad y se dejó en reposo por 30 minutos después de los cuales se leyó su absorbancia por triplicado en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 490nm. Los resultados se expresan como mg de glucosa por 100 gramos de muestra en peso fresco.

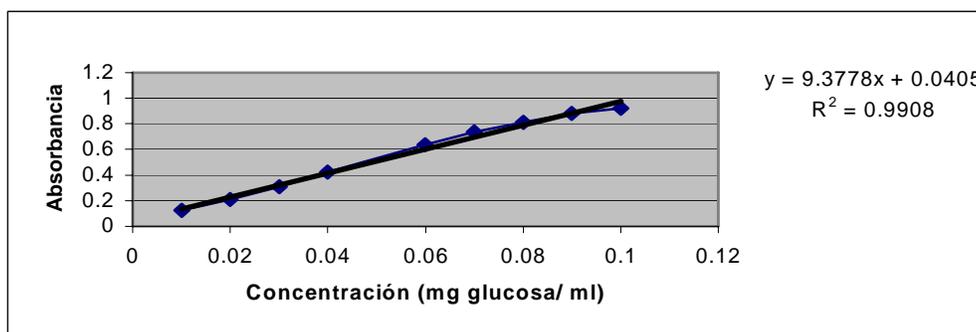


Figura 20. Curva patrón azúcares neutros

Curva de calibración de ácidos urónicos.

Para calcular la concentración de ácidos urónicos se efectuó una curva de calibración usando ácido galacturónico como estándar en un intervalo de concentración de 0.008 – 0.08 mg/ ml (Figura 21). El procedimiento para realizar la curva fue el siguiente: se mezclaron 5 ml de borato de ácido sulfúrico concentrado (0.025 M) frío (4 °C) con 1 ml de solución estándar, posteriormente se colocaron en un baño de agua hirviendo por 10 minutos y se enfriaron a temperatura ambiente para adicionar 0.2 ml de carbazol y volver a calentar durante 15 minutos a ebullición, después de los cuales se dejó enfriar y se midió la absorbancia por triplicado a una longitud de onda de 530 nm.

Los resultados se expresan como mg de ácido galacturónico por 100 gramos de muestra en peso fresco.

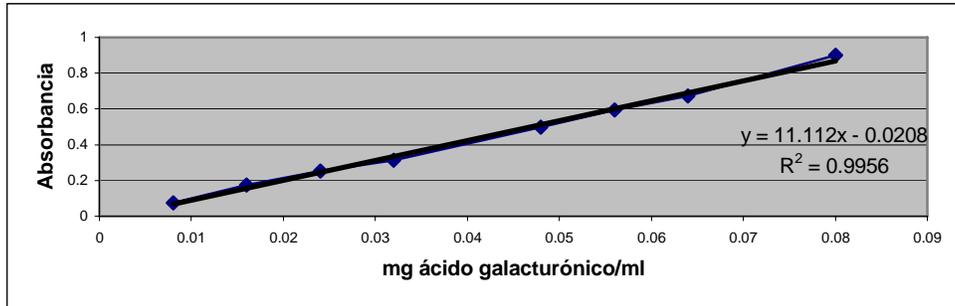


Figura 21. Curva patrón ácidos urónicos

Curva de calibración de ácidos ascórbico.

Para calcular la concentración de ácido ascórbico se efectuó una curva de calibración de ácido ascórbico en un intervalo de concentración de 0.05 – 0.5 mg/ ml ácido acético al 5% (Figura 22). Las condiciones de inyección en el HPLC fueron: longitud de onda 261 nm, fase móvil agua / ácido acético 1% (50:50 v/v), temperatura ambiente en columna C-18 5µm 3.9*150 mm. La inyección de la curva se realizó por triplicado. El ácido ascórbico tuvo un tiempo de retención promedio de 0.85 minutos.

Los resultados se expresan como mg de ácido ascórbico por 100 gramos de muestra en peso fresco.

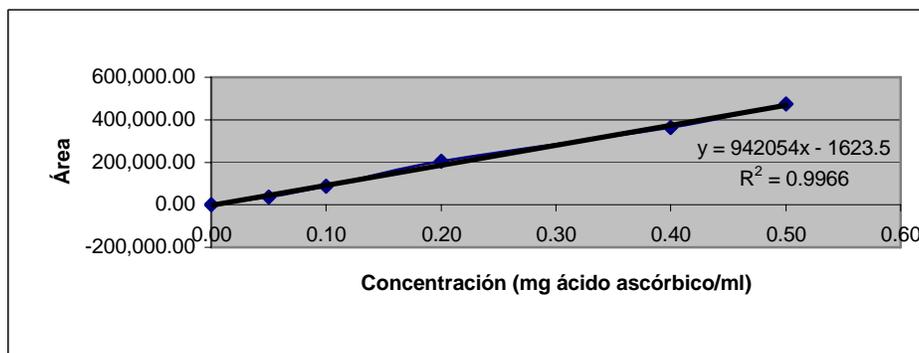


Figura 22. Curva patrón ácido ascórbico

Anexo 2

Cromatogramas

A continuación se muestran como ejemplos los cromatogramas obtenidos en el HPLC del estándar de ácido ascórbico (Figura 23) y del extracto de *O. matudae* cuaresmeño (Figura 24).

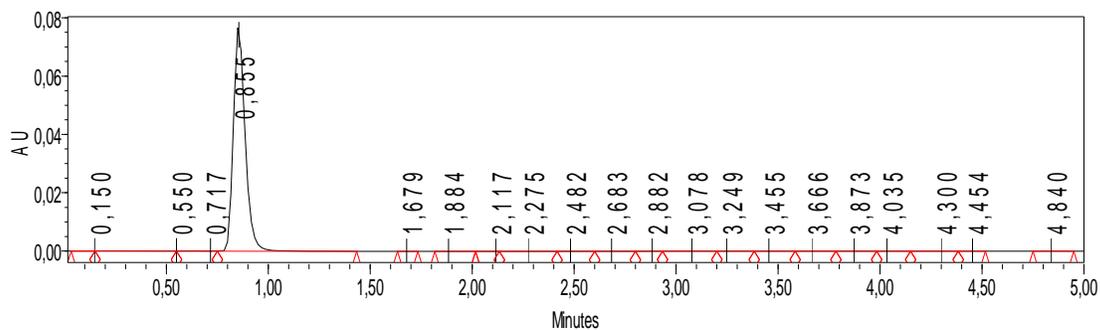


Figura 23. Cromatograma del estándar de ácido ascórbico (0.2mg/ml) en HPLC.

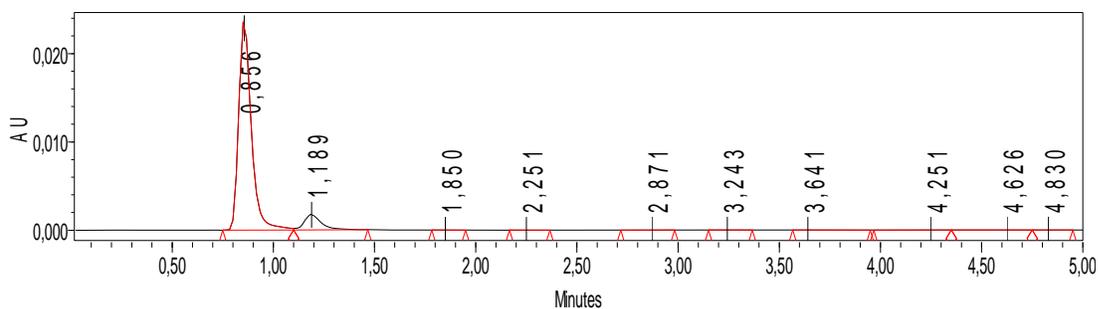


Figura 24. Cromatograma de xoconostle cuaresmeño en HPLC