

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA**  
**“ANTONIO NARRO”**  
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL  
DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



Evaluación de sustancias hipoglucemiantes en extracto de nopal (*Opuntia ficus-indica*) en fresco y pasteurizado, obtenido mediante cuatro métodos de extracción.

Por:

MARÍA DE LOURDES VÁZQUEZ ALFARO

**TESIS**

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título Profesional de:  
**INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Noviembre de 2014

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO "**  
**DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL**  
**DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

Evaluación de sustancias hipoglucemiantes en extracto de nopal (*Opuntia ficus-indica*) en fresco y pasteurizado, obtenido mediante cuatro métodos de extracción.

Presentado por:

**MARIA DE LOURDES VAZQUEZ ALFARO**

**Tesis**

Elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y aprobada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

APROBADA:



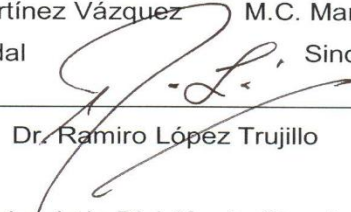
\_\_\_\_\_  
M.C. Mildred Inna Marcela Flores Verástegui  
Presidente del Jurado



\_\_\_\_\_  
Dra. Dolores Gabriela Martínez Vázquez  
Sinodal



\_\_\_\_\_  
M.C. María Hernández González  
Sinodal



\_\_\_\_\_  
Dr. Ramiro López Trujillo  
Coordinador de la División de Ciencia Animal

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Noviembre de 2014.



*Ponerse en movimiento es importante, pero lo más importante es mantener el entusiasmo inicial, persistir a pesar de las dificultades. Porque vamos a tener tropiezos. La clave no está en no caerse sino en saber levantarse y continuar.*

*Paulo Coelho*

## AGRADECIMIENTOS

*Fueron muchos los momentos claros y oscuros a lo largo de este camino, pero afortunadamente me puedo sentar a escribir la parte más emotiva y personal de este trabajo: los agradecimientos a todos aquellos quienes de una manera u otra me ayudaron a alcanzar esta meta.*

*En primer lugar, a mi “Alma Mater” por haberme dado algo tan valioso en la vida que fue la sabiduría, fueron tantos los momentos que viví en esta magnífica casa de estudios que me hicieron formarme tanto como persona y profesionalista que le estaré eternamente agradecida.*

*M. C. Mildred Inna Marcela Flores Verástegui (directora de tesis), por haberme dado la oportunidad de trabajar en este grupo de investigación, gracias por su confianza, paciencia, amistad, por compartir parte de sus conocimientos conmigo, sus valiosas asesorías y apoyo incondicional para la culminación de esta investigación, muchas gracias.*

*M. C. María Hernández González, por su apoyo y colaboración en la realización de esta investigación, confianza, disposición y asesoría.*

*Dra. Dolores Gabriela Martínez Vázquez, por su apoyo y colaboración para la realización de este trabajo, disposición en cada momento, así como sus valiosas asesorías.*

*L.C.Q. Magdalena Olvera Esquivel, Por brindarme su apoyo, su accesibilidad para el material de laboratorio, paciencia, confianza, por resolver las dudas en el desarrollo de la parte experimental para la culminación de este trabajo. Gracias.*

*Al departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos y todos mis maestros, (Mario, Xóchitl, Lourdes, Sarahí, Antonio) que durante mi estancia en la Universidad contribuyeron a mi formación como ingeniero.*

*A mis compañeros de generación CXVI de Ingeniero en Ciencia y Tecnología de Alimentos, gracias por los momentos que compartimos, en especial a Analí, Rosa, Sandra, Juan, Rafa.*

## DEDICATORIA

*A Dios, por permitirme vivir para alzar un sueño más, por ser mi guía y estar conmigo en todo momento, en mis días felices y tristes, mis triunfos y fracasos, gracias de todo corazón por dejarme culminar con bien lo que algún día fue un sueño. Gracias Señor.*

*Con todo amor, cariño, respeto y admiración a mis padres:*

*Sra. Ma. Leticia Alfaro Morales*

*Sr. Rafael Vázquez Morales*

*A tan maravillosas personas les dedico este humilde trabajo, con todo cariño, amor y admiración por haberme dado la vida y por brindarme la confianza y el apoyo cuando decidí alejarme del manto familiar, para permitirme realizar este sueño que después de caídas y tropiezos, estoy levantándome de nuevo gracias a sus valiosos consejos y fortaleza, les estaré eternamente agradecida, ¡los amo!*

*A mí(s) hermano (as). Flor, Saúl, Marilú y Marisol, porque siempre estaban ahí motivándome para alcanzar este gran sueño y estarán por siempre apoyándome incondicionalmente, por sus valiosos consejos y regaños y por tan inmensa confianza en mí. ¡Los amo!*

*A mí(s) sobrino (as). Nancy, Carolina, Fátima Ennid y Cristian por ser las personitas que me motivan a salir adelante, siempre los llevo*

*en mi corazón así como a mí(s) cuñado (as) José Sabino, Luis y Eu, gracias por su apoyo y confianza, y su valiosa amistad.*

*A mis amigos que durante esta larga trayectoria de mi vida he construido y me han brindado su amistad, gracias por sus ánimos y apoyo, porque están siempre conmigo, Marisol, Analí, Irene, Rosa, Sandra, Juan, Rafa, Lili, Lore, Samuel y Rodolfo, siempre los llevaré en mi corazón.*

## RESUMEN

La *Diabetes mellitus* se está convirtiendo en un problema creciente de salud pública y el tratamiento de este síndrome es de por vida, los fármacos son muy costosos y tienen efectos secundarios en el paciente, así el nopal se consume ampliamente como una alternativa por sus posibles beneficios para la salud y es reconocido por su potencial antioxidante así como antidiabético. El presente trabajo de investigación pretende cuantificar el potencial hipoglucemiante en el extracto de nopal (*Opuntia-ficus indica*) para brindar una alternativa más para el control de la *Diabetes* tipo 2. Por esta razón en este trabajo se estudió el efecto que tiene el método de extracción en el contenido de fenoles, flavonoides y fructosa, evaluando dos factores, el factor (a) con dos niveles, siendo el fresco y pasteurizado a 60°C y factor (b) con cuatro niveles, siendo los siguientes métodos de extracción: prensa, extractor de jugo, licuadora y nutribullet; así como entre estos dos factores.

Los resultados obtenidos, en cuanto a las sustancias hipoglucemiantes, analizando el factor a, muestran mayor contenido en el extracto de nopal fresco, encontrándose diferencia significativa entre tratamientos; en relación a los métodos de extracción los contenidos más altos se encontraron en los extractos obtenidos en la licuadora y nutribullet, no existiendo diferencia significativa entre ellos, pero si entre éstos y el resto; analizando la interacción entre los factores a y b se pudo determinar que existe diferencia significativa entre métodos de extracción y entre extractos frescos y pasteurizados, encontrándose la mayor concentración en extracto de nopal fresco, obtenido por el nutribullet.

En base a los resultados el contenido de sustancias hipoglucemiantes es afectado por el método de extracción y por el tratamiento térmico.

**Palabras clave:** diabetes, sustancias hipoglucemiantes, métodos de extracción, tratamiento, nopal



## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>i</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>iii</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>v</b>
<b>INDICE DE CONTENIDO.....</b>	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>xii</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 Justificación .....	3
1.3 Hipótesis .....	4
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo general .....	4
1.4.2 Objetivos específicos.....	4
<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>5</b>
2.1 Diabetes mellitus.....	5
2.1.1 Antecedentes históricos .....	5
2.1.2 Diabetes .....	5
2.1.3 Panorama actual .....	5
2.1.3.1 Los diferentes tipos de Diabetes.....	8
2.1.3.2 Posibles soluciones para el control de la Diabetes tipo 2 .....	9
2.2 Nopal.....	11

2.2.1	Importancia del nopal .....	12
2.2.2	<i>Opuntia ficus – indica</i> .....	13
2.2.3	Morfología y estructura .....	14
2.2.4	Composición química del nopal.....	15
2.2.5	Producción del nopal .....	17
2.3	Sustancias fitoquímicas .....	19
2.3.1	Antioxidantes .....	19
2.3.1.1	Compuestos fenólicos.....	21
2.3.1.2	Flavonoides.....	22
2.3.1.3	Fructosa .....	23
2.4	Jugo .....	25
2.4.1	Métodos de Extracción .....	27
2.4.1.1	Prensado.....	27
2.4.1.2	Extractores.....	27
2.4.1.2.1	Extractores de masticación .....	28
2.4.1.2.1.1	Extractor de jugo túrmix .....	28
2.4.1.2.2	Extractores hidráulicos .....	28
2.4.1.2.3	Extractores con aspas.....	29
2.4.1.2.3.1	Licuada .....	29
2.4.1.2.3.2	Nutribullet.....	29
3.	Materiales y metodología experimental .....	30
3.1	Localización del sitio experimental.....	30
3.2	Muestra experimental.....	30
3.3	Equipos, materiales y reactivos químicos .....	30
3.4	Metodología .....	34

3.4.1	Etapa I. Obtención de muestras de nopal fresco y pasteurizado.....	34
3.4.2	Etapa II. Determinación de características físicoquímicas.....	35
3.4.2.1	Determinación de pH.....	35
3.4.2.2	Determinación de sólidos solubles totales (SST).....	35
3.4.2.3	Determinación de color.....	36
3.4.3	Etapa II. Determinación de sustancias hipoglucemiantes.....	37
3.4.3.1	Fenoles.....	37
3.4.3.2	Flavonoides.....	38
3.4.3.3	Fructosa (inulina como azúcar reductor).....	39
3.4.3.3.1	Azúcares reductores.....	39
3.4.4	Análisis estadístico.....	40
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
4.1	Etapa I. Extracción de muestras en nopal ( <i>Opuntia -ficus indica</i> ).....	41
4.2	Etapa II. Determinación de parámetros físicoquímicos.....	41
4.2.1	Color.....	41
4.2.2	Determinación de pH.....	45
4.2.3	Sólidos solubles totales.....	48
4.3	Etapa III. Determinación de sustancias hipoglucemiantes en nopal ( <i>Opuntia ficus-indica</i> ).....	50
4.3.1	Cuantificación de fenoles.....	50
4.3.2	Cuantificación de flavonoides.....	53
4.3.3	Cuantificación de fructosa.....	55
5.	CONCLUSIÓN.....	57
6.	LITERATURA CITADA.....	58
7.	Anexos.....	67

7.1	Anexos. Evaluación físicoquímica.....	67
7.1.1	Anexo 1. Análisis de varianza para luminosidad en extracto de nopal fresco y pasteurizado .....	67
7.1.2	Anexo 2. Análisis de varianza para PH en extracto de nopal fresco y pasteurizado .....	68
7.1.3	Anexo 3. Análisis de varianza para SST (solidos solubles totales) en extracto de nopal .....	68
7.2	Anexos. Sustancias hipoglucemiantes.....	68
7.2.1	Anexo 4. Análisis de varianza para la variable fenoles en extracto de nopal fresco y pasteurizado con el programa JMP 5.0.1 .....	69
7.2.2	Anexo 5. Análisis de varianza para la variable flavonoides en extracto de nopal fresco y pasteurizado con el programa JMP 5.0.....	69
7.2.3	Anexo 6. Análisis de varianza para la variable fructosa en extracto de nopal fresco y pasteurizado con el programa JMP 5.0.1 .....	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Opuntia ficus-indica. A, hábito.....	14
<b>Figura 2 .</b> Acción de los antioxidantes. Los antioxidantes pueden detener la Reacción en cadena dañina al organismo provocada por los radicales libres .....	20
<b>Figura 3.</b> Mecanismo preventivo de los compuestos funcionales.....	22
<b>Figura 4.</b> Estructura de los flavonoides .....	22
<b>Figura 5.</b> Estructura química de uno de los flavonoides más comunes encontrados en la naturaleza, la quercetina .....	23
<b>Figura 6.</b> Las principales formas en la que la fructosa está presente en la dieta.	24
<b>Figura 7.</b> Estructura química de la inulina .....	25
<b>Figura 8.</b> Representación de los cuatro métodos de extracción utilizados en la presente investigación. ....	32
<b>Figura 9.</b> Reactivos utilizados en la presente investigación .....	33
<b>Figura 10.</b> Proceso de extracción de muestra de nopal .....	35
<b>Figura 11.</b> Determinación de pH.....	35
<b>Figura 12.</b> Determinación de sólidos solubles totales (%Brix).....	36
<b>Figura 13.</b> Parametro de color en el que los valores $L^*$ , $a^*$ y $b^*$ .....	36
<b>Figura 14.</b> Determinación de color mediante un Colorímetro Konica Minolta Modelo CR-400 .....	37
<b>Figura 15.</b> Procedimiento para la determinación de fenoles en muestra de nopal	38
<b>Figura 16.</b> Procedimiento para flavonoides en muestra de nopal.....	39
<b>Figura 17.</b> Procedimiento para la cuantificación de fructosa en muestras de nopal .....	40
<b>Figura 18.</b> Diagrama de cromaticidad $a^*$ y $b^*$ .....	42
<b>Figura 19.</b> Representación de extracto de nopal en cuatro métodos de extracción donde el lado derecho indica la muestra fresca y lado izquierdo la muestra pasteurizada.....	43
<b>Figura 20.</b> Gráfico de medias para la comparación de luminosidad del factor (a) .....	44

<b>Figura 21.</b> Gráfico de medias para luminosidad en el factor (a) .....	45
<b>Figura 22.</b> Gráfico para la comparación luminosidad en la interacción del tratamiento* método de extracción.....	45
<b>Figura 23. Gráfico de medias para la comparación de pH en el factor (a) .....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 24.</b> Gráfico de medias para la comparación del método de extracción para la variable PH.....	<b>47</b>
<b>Figura 25.</b> Gráfico para la comparación pH en la interacción del tratamiento* método de extracción.....	<b>47</b>
<b>Figura 26.</b> Gráfico para la comparación de SST (%Brix) en el factor (a).....	<b>48</b>
<b>Figura 27.</b> Gráfico para la comparación de medias del método de extracción para la variable SST (% Brix) .....	<b>49</b>
<b>Figura 28.</b> Gráfico para la comparación SST (% Brix) en la interacción del tratamiento* método de extracción.....	<b>49</b>
<b>Figura 29.</b> Gráfico del factor (a) para la cuantificación de Fenoles (mg/ml) .....	<b>50</b>
<b>Figura 30.</b> Grafico del factor (b) para la cuantificación de Fenoles (mg/ml) .....	<b>51</b>
<b>Figura 31.</b> Representa la interacción del Tratamiento* Método de extracción para la cuantificación de Fenoles (mg/ml).....	<b>51</b>
<b>Figura 32.</b> Representación de fibra presentes en los métodos de extracción en prensado y extractor de jugo.....	<b>52</b>
<b>Figura 33.</b> Representación de fibra presentes en los métodos de extracción en licuadora y nutribullet .....	<b>52</b>
<b>Figura 34.</b> Gráfico del factor (a) para la cuantificación de Flavonoides (mg/ml)..	<b>53</b>
<b>Figura 35.</b> Grafico del factor (b) para la cuantificación de Flavonoides (mg/ml)...	<b>54</b>
<b>Figura 36.</b> Gráfico de la interacción del Tratamiento* Método de extracción para la cuantificación de Flavonoides (mg/ml) .....	<b>54</b>
<b>Figura 37.</b> Gráfico de medias para el factor (a) el contenido de Fructosa (mg/ml) .....	<b>55</b>
<b>Figura 38.</b> Gráfico de t de student para el contenido de Fructosa (mg/ml) por medio de los métodos de extracción.....	<b>56</b>
<b>Figura 39.</b> Interacción del tratamiento* método de extracción para el contenido de Fructosa (mg/ml) .....	<b>56</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Los principales 10 países en número de habitantes con diabetes.....	8
<b>Tabla 2.</b> Composición química del nopal .....	16
<b>Tabla 4.</b> Equipos y materiales empleados .....	31
<b>Tabla 5.</b> Volumen de extractos en muestra de nopal obtenidos de los equipos de extracción.....	41
<b>Tabla 6.</b> Cromaticidad en extracto de nopal fresco y pasteurizado .....	42

### 1. INTRODUCCIÓN

#### 1.1 Antecedentes

De acuerdo con Marx, J. (2002), la *Diabetes mellitus* es una epidemia para el siglo XXI, dicha enfermedad puede definirse como un síndrome en el que el factor común es una concentración alta de glucosa en la sangre (hiperglucemia), como consecuencia de la disminución o de la falta de una hormona producida en el páncreas, llamada insulina, la que regula el nivel de glucosa en la sangre, así como la entrada de ésta en diversos tejidos.

Existen dos tipos de *Diabetes mellitus*: la *Diabetes* tipo 1 se manifiesta en la niñez y en la adolescencia, el páncreas no produce insulina en lo absoluto, son pacientes que dependen de la insulina para poder vivir (Gagliardino, 1997).

La *Diabetes* tipo 2 aparece alrededor de los treinta años y también se conoce como resistencia a la insulina. Este tipo de diabetes está asociada a la obesidad, sobrepeso, y al sedentarismo (Gagliardino, 1997, Heredia *et. al*, 2008).

La *Diabetes* tipo 2 es la primera causa de muerte, ocasionando frecuentemente incapacidad prematura y hospitalización en adultos. La presencia de esta enfermedad disminuye 8 años de vida en promedio (Aguilar-Salinas CA *et. al*, 2001).

De acuerdo con Moreno (2001) y Jung (2006) en 1995 existían 135 millones de pacientes diabéticos, para el 2005 se duplicaron las cifras, y se estima que entre los años 1955 y 2025 se incrementará en un 35%.



La nutrición es una parte importante para el control de la *Diabetes*, el uso de plantas puede fungir como una alternativa ya que en ellas se encuentran propiedades antidiabéticas y un sinnúmero de vitaminas, como: nopal, sábila, tuna, alpiste, ajo, cebolla, higo y fresa (Concepción *et. al.*, 2009). En los últimos años se han realizado investigaciones sobre el efecto de diversos compuestos en el control de los niveles de glucosa en la sangre después de la ingesta de alimentos, tales como almidones modificados (Wolf, 2001), antocianinas (Jayaprakasam, 2005), polifenoles, flavonoides (Landrault, 2003) y particularmente algunas plantas que son utilizadas tradicionalmente para el control de las *Diabetes* dentro de ellas como el nopal que es una verdura representativa de México (Yeh, 2003).

Jung (2006), menciona que los efectos de algunas plantas usadas como remedios antidiabéticos en las poblaciones rurales se han comenzado a estudiar.

De acuerdo con Barbera, (1999) México es rico en producción de nopal con cerca de 50 000 hectáreas; no contando las nopaleras silvestres que estas ocuparían millones de hectáreas.

De acuerdo con Sáenz, (2006) y Sloan, (2000), el nopal (*Opuntia spp.*) es un alimento funcional con una fuente importante fibra, hidrocoloides, pigmentos (betalainas), calcio y potasio, y vitamina C que proporciona un beneficio a la salud, principalmente en problemas de enfermedades crónicas.

Guevara A. *et. al.*, (2002), Menciona que en cuestión al ámbito de la salud el nopal, va dirigido a la medicina naturista, en cuanto el consumidor prefiere los productos provenientes de fuentes naturales, el consumo de extractos vegetales que contenga el principio activo, con eso se previene los efectos que pueden ocasionar el consumo de medicamentos a largo plazo.

Un tratamiento complementario para enfermedades crónico degenerativo es una dieta rica en antioxidantes y fibra, ya que estos tienen beneficios para la salud. En el caso de la *Diabetes mellitus*, estos compuestos ayudan a regular los niveles de glucosa sanguíneos y a disminuir el estrés oxidativo generado en el organismo reduciendo complicaciones de esta enfermedad. Dichos compuestos se encuentran en frutas y en residuos industriales del procesamiento de las mismas como obtención de jugos (Gutiérrez Ruiz, Itzel Mireya, 2014)

Los jugos, los concentrados y los extractos de frutas y verduras frescas, debidamente seleccionadas, facilitan la absorción y el aprovechamiento de los elementos nutritivos de cualquier hortaliza y evitan la pérdida de las cualidades que el tratamiento térmico produce. Representan una alternativa más para las personas con mala digestión, ancianos con dificultades para masticar, enfermedades crónicas y para niños pequeños a los que no les gustan las verduras, pero en cambio se deleitan con sus extractos (Murray G., 1989).

## **1.2 Justificación**

Debido a que la *Diabetes mellitus* se está convirtiendo en un problema creciente de salud pública y el tratamiento de este síndrome es de por vida, los fármacos requeridos por los pacientes son muy costosos y tienen efectos secundarios, el objetivo de esta investigación es brindar un extracto de nopal con potencial hipoglucemiante como una alternativa más para el control de la diabetes tipo 2.

En la actualidad no es raro observar el consumo de licuados y de productos elaborados de nopal por industrias alimenticias, debido al conocimiento popular de los beneficios proporcionados por dichos productos. Debido a los compuestos fenólicos, flavonoides e inulina presentes en los nopalitas, se desarrolla la presente investigación, cuantificando las sustancias hipoglucemiantes presentes en extractos de nopal, obtenidos a través de cuatro métodos de extracción,

realizando un análisis estadístico para determinar el método de extracción conveniente.

### **1.3 Hipótesis**

Los compuestos presentes en extracto fresco y pasteurizado de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) con potencial hipoglucemiante, no serán afectados por el método de extracción.

### **1.4 Objetivos**

#### **1.4.1 Objetivo general**

- ✓ Determinar el efecto del método de extracción en el contenido de las sustancias hipoglucemiantes en extracto de nopal (*Opuntia Ficus-indica*) en fresco y con tratamiento térmico.

#### **1.4.2 Objetivos específicos**

- ✓ Obtener extractos de nopal (*Opuntia ficus-indica*) por prensa, extractor de jugo, licuadora y nutribullet.
- ✓ Determinar características fisicoquímicas en los extractos obtenidos en fresco y pasteurizado.
- ✓ Cuantificar el contenido de fenoles totales, flavonoides y fructosa en los extractos de nopal fresco y pasteurizado.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Diabetes mellitus

#### 2.1.1 Antecedentes históricos

La *Diabetes mellitus* es una enfermedad crónica no contagiosa que aparece descrita por primera vez en el papiro de Ebers (1550 a.C.), el cual la caracterizó por el exceso abundante de orina de algunos enfermos. Posteriormente, cerca del inicio de nuestra era, Areteo de Capadocia le dió el nombre de diabetes, que significa eliminación exagerada de agua por el riñón y más adelante Tomás Willis en 1679 le añadió la palabra *mellitus* que se traduce como azúcar; el describió a la diabetes, como una sintomatología clínica refiriéndose al sabor dulce de la orina, le dio el nombre de *Diabetes mellitus* (sabor miel). En la segunda mitad del siglo XIX Bouchardat señaló la importancia de la obesidad y del sedentarismo en el origen de la diabetes y estableció normas para el tratamiento dietético, basándose en la disminución de los glúcidos y bajo valor calórico en los alimentos, (Pérez Rodríguez A. *et. al.*, 2009).

#### 2.1.2 Diabetes

#### 2.1.3 Panorama actual

De acuerdo con la definición de Mellado- Valero A, *et al.* (2011), la *Diabetes mellitus* es una enfermedad crónica sucede cuando el páncreas no produce

insulina suficiente y está caracterizada por un aumento de los niveles de glucosa en sangre. La insulina es una hormona que se encarga de regular el azúcar en la sangre. La *Diabetes* se conoce también como hiperglucemia (aumento de azúcar en la sangre), y ésto se ha convertido en un problema grave de salud a nivel mundial.

México ocupa el tercer lugar en América Latina con la mayor incidencia de esta enfermedad, después de Brasil y Chile. En México el estado de Coahuila es uno de los estados que tiene un mayor número de pacientes diabéticos donde mensualmente se añaden alrededor de 700 casos nuevos. Según datos del Instituto Nacional de Salud Pública actualmente más de 70 millones de mexicanos tienen problemas de obesidad y sobrepeso. Más de cuatro millones de niños de entre 5 y 11 años, y más de 5 millones de jóvenes y adolescentes, sufren de obesidad. Coahuila es el estado con mayor índice de obesidad a nivel nacional, en tanto que 26.70 por ciento de la población que visita al médico familiar cuenta con un diagnóstico de diabetes, hipertensión o insuficiencia renal crónica. (Ramírez O. R. A. 2006).

Marx, J. (2002) considera la *Diabetes mellitus* una epidemia para el siglo XXI, define a la *Diabetes* como un síndrome en el que existe una concentración alta de glucosa en sangre llegando a ocasionar daño a los riñones, al corazón, generando ceguera, mala circulación y en ocasiones daña los miembros inferiores hasta ocasionar amputaciones.

La Diabetes Care, (2012) define a la *Diabetes mellitus* como un grupo de enfermedades metabólicas que se caracteriza por el aumento de azúcar en la sangre, resultante de la alteración de la secreción de la insulina. La hiperglucemia crónica de la *Diabetes mellitus* se asocia con el daño a largo plazo. Un incremento en el consumo de carbohidratos, grasas y proteínas en un paciente con *Diabetes* genera acción deficiente de la insulina sobre los tejidos.

La *Diabetes* es una enfermedad metabólica presente en alto porcentaje en la población y con gran morbilidad, por lo que las medidas preventivas y el control de la enfermedad son esenciales de acuerdo a Sanz-Sánchez I., (2009) y Bascones Martínez A., (2009)

Carvajal Martínez., (2000) define a la *Diabetes mellitus* como una enfermedad metabólica crónica, causada por un defecto heredable para utilizar carbohidratos, proteínas y grasas, secundaria cuando la insulina falta o se segrega en cantidades menores a las necesarias y se traduce por un aumento de la glucosa en sangre y orina.

De acuerdo con Vázquez Castellanos J., *et. al.*, (2001) es un problema de salud a nivel mundial, principalmente en los países desarrollados. En el 2001 en México existían 4.5 millones de pacientes diabéticos, por lo que se encuentra entre las poblaciones con elevado riesgo de desarrollar esta enfermedad, lo que significa que al menos el 22% de la población tendrá problemas en el futuro, indicando un excesivo consumo de fármacos y servicios médicos con elevados costos.

Menciona Aguilar-Salinas C. A. *et. al.*, (2011) que actualmente la *Diabetes mellitus* tipo 2 es uno de los problemas de salud, siendo la primera causa de muerte, ceguera, incapacidad prematura y de amputaciones en México, existen estimaciones de que para el año 2025 se pueden llegar a triplicar los casos.

De acuerdo con los resultados de la Encuesta Nacional de Salud (ENSA) del 2000, la *Diabetes mellitus* tipo 2 en hombres y mujeres con más de 20 años se presentó en el 7.5%. En el 2006 la misma informó que se presentó un aumento de un 14%, (Lozano Guzmán E. *et. al.*, 2010).

Los datos de la ENSANUT 2012 identifican a 6.4 millones de adultos con *Diabetes*. Por condición de aseguramiento, el porcentaje de adultos con diagnósticos previo de *Diabetes* que no cuenta con protección social es del 6% y

cerca del 15% se atiende en instituciones de seguridad social diferentes al IMSS, de acuerdo a Hernández Ávila M., (2012) y Gutiérrez J. P., (2012).

Una de cada 20 muertes es causada por la *Diabetes mellitus*. La Tabla 1 enlista los 10 países con mayor número de habitantes con esta enfermedad y la proyección para el año 2025; donde se calcula que habrá 380 millones de personas con *Diabetes* con vida sedentaria, alimentación pobre en nutrientes y alimentación rica en grasa (Yanick Farmer *et. al.*, 2008).

**Tabla 1.** Los principales 10 países en número de habitantes con diabetes con un grupo de edad de 20 a 79 y la proyección en los años 2007 a 2025.

10 principales países en número de habitantes con diabetes (grupo de edad de 20 a 79) <sup>4</sup>			
2007		2025	
País	Habitantes (millones)	País	Habitantes (millones)
India	40,9	India	69,9
China	39,8	China	59,3
EEUU	19,2	EEUU	25,4
Rusia	9,6	Brasil	17,6
Alemania	7,4	Pakistán	11,5
Japón	7,0	México	10,8
Pakistán	6,9	Rusia	10,3
Brasil	6,9	Alemania	8,1
México	6,1	Egipto	7,6
Egipto	4,4	Bangladesh	7,4

Yanick Farmer, *et. al.*, 2008

### 2.1.3.1 Los diferentes tipos de *Diabetes*

***Diabetes* tipo 1.** Se manifiesta en la niñez y en la adolescencia, el páncreas no produce insulina en lo absoluto, son pacientes que dependen de la insulina para poder vivir. La causa exacta se desconoce (Alemzadeh R. *et. a.*, 2011).

***Diabetes tipo 2.*** Aparece alrededor de los treinta años y se diferencia de la tipo 1 por una alta cantidad de glucosa en sangre, este tipo de *Diabetes* está asociada a la obesidad, sobrepeso, sedentarismo, y la herencia, esta última tiene un papel importante en la aparición de la enfermedad, caracterizada por un defecto relativo de insulina y aumento de la resistencia a su acción, es el tipo más frecuente. Suele aparecer de manera silenciosa, por lo que puede pasar desapercibida durante largos periodos de tiempo (Gagliardino, 1997, Heredia *et. al.*, 2008).

### **2.1.3.2 Posibles soluciones para el control de la *Diabetes* tipo 2**

Una alternativa para el control de esta enfermedad es la búsqueda de nuevos fármacos a partir de plantas que la población utiliza como antidiabéticas. El interés por las posibilidades terapéuticas que ofrecen los fármacos de origen vegetal ha estado creciendo desde hace años (Hansel y Trunzler, 1985).

La *Diabetes* ocupa el primer lugar en número de muertes por año en México. Aunado a esto, el desarrollo de nuevos fármacos tales como la insulina y varios agentes antidiabéticos, fungen como una alternativa para una posible solución, sin embargo muchos de éstos tienen efectos adversos. El diagnóstico temprano mediante la utilización de métodos de análisis, ayudará a un mejor control, evitando el consumo de fármacos, debido a que el consumo excesivo causará daño a la salud a largo plazo (SEGOB-ENSANUT, 2006).

De acuerdo con Hernandez-Avila M. *et al.*, (2013) considerando la magnitud entre los adolescentes, es importante generar interés público sobre el problema de la *Diabetes* a nivel nacional, social y del individuo, para de esta manera implementar políticas públicas saludables que vayan ligadas al estilo de vida, como puede ser la disminución de bebidas azucaradas y una alimentación adecuada, para reducir el impacto de la *Diabetes* tipo 2 en México.



La Asociación Mexicana de *Diabetes*, indica que para controlar la *Diabetes* tipo 1 no existe ningún método que sea eficaz por el momento, más que solo el suministro de insulina diariamente. A diferencia de la de *Diabetes* tipo 2, que esta está relacionada con la obesidad y se puede controlar manejando hábitos de vida saludables como: el ejercicio físico de forma regular, consumo de alimentos más sanos (incluir frutas y verduras) y el abandonar definitivamente el tabaco, drogas y bebidas alcohólicas, (Alpizar Salazar M., 2001).

La nutrición es básica para los dos tipos de *Diabetes*, un buen cuidado de la misma ayuda a controlarla, para ello en los pacientes diabéticos tipo 2 con obesidad, se recomienda dieta baja en calorías, que permita reducir los niveles de triglicéridos y de colesterol, sin evidencia alguna de que existe una disminución glucémica, en cuanto al consumo de carbohidratos se recomiendan los que poseen un bajo índice glucémico y se prefieren los almidones, que inducen una menor hiperglucemia después de la comida, a la glucosa. La fructosa tiene un índice glucémico más bajo que la glucosa y mejora la sensibilidad a la insulina (López Martínez J. *et. al.*, 2005)

Los alimentos saludables como los funcionales, que son consumidos como una dieta normal, reducen el riesgo de contraer enfermedades crónicas, seguido de que son productos naturales que no ocasionan ningún daño a la salud (Mazza, 1998).

El uso de plantas medicinales de acuerdo con la OMS puede ser de gran aplicación en la atención primaria de los sistemas de salud, basándose en soporte científico que sustenta seguridad, efectividad y calidad para su administración en humanos (Sánchez, 2000; Kumar, 2007). El empleo de extractos de las plantas ejerce en muchos casos un efecto benéfico sobre el organismo humano y produce a diferencia de los fármacos menos efectos secundarios indeseables (Sánchez, 2000).

Los efectos hipoglucemiantes de algunas plantas usadas como remedios antidiabéticos se han comprobado en las poblaciones rurales que las usan, y los mecanismos de la actividad hipoglucemia de estas plantas se han comenzado a estudiar (Jung, 2006). Estos remedios son aparentemente efectivos, producen efectos secundarios mínimos y son de bajo costo comparados con los agentes hipoglucémicos sintéticos orales (Kumar, 2007).

De acuerdo con Quiguango Yaselga W., (2011) el nopal es una fuente rica de fibra insoluble y soluble, rica en lignina, celulosa, hemicelulosa, pectina, mucílago y gomas naturales. Estas fibras son responsables de muchos de los beneficios del nopal para la salud ya que es también una fuente buena de vitaminas A, B1, B2, B3, y C; potasio, calcio, magnesio y hierro además de contener 18 aminoácidos.

El nopal ha sido recomendado para el control de diferentes desórdenes que ocurren en el cuerpo tales como la regulación del azúcar en la sangre de pacientes con *Diabetes mellitus*

## **2.2 Nopal**

Los nopalitos se consideran como cladodios jóvenes (brotes tiernos) de la planta perteneciente a la familia de las *Cactáceas*, de los géneros *Opuntia spp.* y *Nopalea spp.* (Roque Díaz J., 2006).

De acuerdo con Barbera *et. al.*, (1992) es una cactácea que se utiliza para elaborar preparaciones antidiabéticas, también se cultivan como opción hospedante del insecto cochinilla (*Dactylopius coccus*), sus flores son usadas para preparar bebidas diuréticas, los frutos son utilizados para preparar jugos, jaleas, miel, mermeladas y pastas, y se extrae aceite de sus semillas.

### 2.2.1 Importancia del nopal

De acuerdo con Flores Valdez C. *et. al.*, (1995) la importancia económica y social del cultivo del nopal en México radica principalmente sobre todo en la gran superficie ocupada por nopaleras tanto silvestres como cultivadas, en el tipo y número de productores involucrados ya que debido a estos dos aspectos, se genera una mayor producción y el número de empleos aumenta, en la variedad y cantidad de los productos que son generados.

Para Ramírez J. C. *et. al.*, (2012) el nopal es un producto mexicano, se destaca por ser una verdura económica y con un sin número de productos que se elaboran a partir de él, como platillos mexicanos dándole un sabor muy especial. Así mismo se le ha dado importancia por propiedades benéficas entre las que se encuentran las siguientes:

**Poder hipoglucemiante:** en investigaciones realizadas por el Instituto Mexicano para el estudio de las Plantas Medicinales, entre los años 1964 a 1979, se determinó al nopal como alimento funcional, ya que es recomendable en el tratamiento de la diabetes para disminuir las concentraciones de glucosa (azúcar) en la sangre sin llegar a niveles no deseados.

**Protector natural contra *Diabetes* y osteoporosis:** se demostraron en investigaciones recientes que el consumo de 200 y 300 gr de nopal tierno puede disminuir notablemente el riesgo de desarrollar diabetes. A su vez previene el debilitamiento de huesos y dientes, así como evitar su aparición (Sierra A. 2013)

Hay una gran cantidad de enfermedades, entre ellas *Diabetes mellitus*, hiperlipidemia y obesidad que según la medicina popular Mexicana se pueden combatir con el nopal, sin embargo pocas aplicaciones tienen bases científicas.

(Gulias y Robles, 1989). Frati – Murani *et. al.*, (1983) estudiaron el efecto hipoglucémico del nopal, concluyendo con los resultados obtenidos que aumenta la sensibilidad a la insulina además de un posible retraso en la absorción de la glucosa.

El efecto del nopal en el metabolismo de lipoproteínas de baja densidad ha sido estudiado por Giuseppe Barbera y Paolo Inglese (1999), quienes encontraron que el extracto de nopal actúa de una manera similar a otros compuestos utilizados para reducir los niveles de colesterol. El alto contenido de fibra de los cladodios de nopal y la alta capacidad de absorción de agua del mucílago, explican el uso actual de ciertos productos para controlar la obesidad, tales como cápsulas de nopal deshidratado, a esto debe agregarse la tendencia a usar productos naturales con propósitos alimenticios y medicinales en algunos sectores de ciertos países.

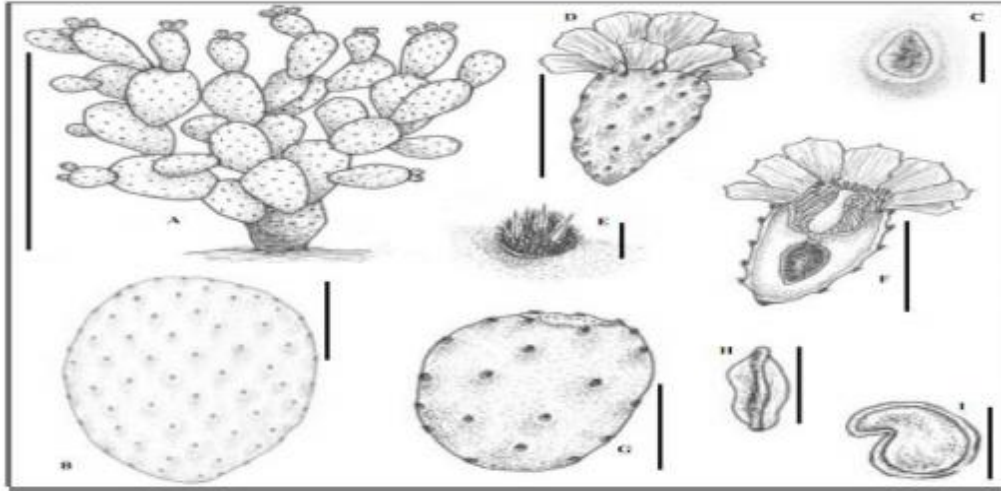
Compuestos presentes en el extracto de nopal como la quercentina coadyuvan a que el consumo de nopal afecte positivamente en el balance redox corporal, disminuye el daño oxidativo en los lípidos y mejora el estado antioxidante general (Guevara A. 2009).

### **2.2.2 *Opuntia ficus – indica***

*Opuntia ficus-indica*, pertenece a la familia *Cactaceae*, que cuenta con los géneros: *Echinocactus*, *Cereu*, *Mammillaria*, *Rhipsalis*, *Phyllocactus*, *Melocactus* y *Opuntia* conformado por 250 especies, siendo la *ficus–indica* la que predomina en México (Jensey, W. 1988)

Del género *Opuntia*, hay solo 10 o 12 especies hasta ahora utilizadas por el hombre, ya sea para producción de fruta y nopalitos para alimentación humana, forraje o cultivo de cochinilla para obtención de colorante; entre ellas se encuentran, como especies cultivadas para producción de fruta: *Opuntia ficus-*

*indica*, *O. amyclaea*, *O. xoconostle*, *O. megacantha* y *O. streptacantha*. De las especies citadas, la Figura 1 describe la descripción botánica de *Opuntia ficus-indica* (Uzun, 1996).



**Figura 1.** *Opuntia ficus-indica*. A, hábito; B, cladodio; C, areola del cladodio; D, flor; E, aréola de la flor; F, sección longitudinal de la flor; G, fruta; H, vista dorsal de la semilla; I, vista ventral de la semilla. Barras= 1 m (A), 10 cm (B), 5 mm (C, E), 4 m. Reyes – Agüero J. *et al.*, (2005)

### 2.2.3 Morfología y estructura

*Opuntia ficus-indica* es una planta arbustiva, rastrera o erecta que puede alcanzar más o menos tres metros de altura. Es densamente ramificada, rica en raíces finas absorbentes y superficiales en zonas áridas de escasas lluvias, la longitud de las raíces está en relación con las condiciones hídricas y el manejo de riego y fertilización (Sudzuki *et. al.*, 1993; Sudzuki, 1999; Villegas y de Gante, 1997).

Los tallos suculentos y cladodios, comúnmente llamados pencas, presentan forma de raqueta ovoide alcanzando hasta 60-70 cm de longitud, dependiendo del agua y de los nutrientes disponibles. Cuando miden 10-12 cm son tiernos y se pueden consumir como verdura. El aumento del área del cladodio dura alrededor de 90 días, sobre ambas caras del mismo se presentan las yemas, llamadas areolas,

que tienen la capacidad de desarrollar nuevos cladodios, flores y raíces aéreas según las condiciones ambientales (Sudzuki *et. al.*, 1993).

Las areolas presentan en su cavidad espinas, que generalmente son de dos tipos: algunas pequeñas, agrupadas en gran número que en México comúnmente se llaman aguates y las grandes que son, según algunos botánicos, hojas modificadas (Granados y Castañeda, 1996).

#### **2.2.4 Composición química del nopal**

La evolución de la composición de algunos parámetros hasta la madurez, tales como pH, sólidos solubles, ó fibra, deberá ser tomada en cuenta dependiendo del proceso a que se someterán los cladodios (Sáenz *et. al.*, 2006)

De acuerdo con Rodríguez-Félix y Cantwell (1988) la composición química de los nopalitos frescos es principalmente agua (90%), 1,5 % de proteínas; 0,2 % de lípidos; 4,5 % de hidratos de carbono totales; 1,3 % de cenizas, del cual el 90 % es calcio; además, contiene 11 mg/100 g de vitamina C y 30 µg/100 g de carotenoides; mientras que el contenido de fibra es de 1,1.

En la Tabla 2 se representa la composición química del nopal (en 100 g de peso neto) de acuerdo a Wilson K., (2011).

Tabla 2. Composición química del nopal

COMPUESTO QUIMICO	CANTIDAD
Agua	85-90%
Solidos solubles totales	12-17%
Azucares totales	10-17%
Azucares reductores	4-14%
Proteína	1,4-1,6%
pH	5,3-7,1
Grasa	0,5%
Fibra	1.1%
Acidez titulable (% Ac. Cítrico)	0,01-0,12
Ácido ascórbico (vitamina C)	12,70 mg/100g
Viscosidad (30°C)	1,37 cps
Triptófano	8,0 mg/100g proteína
Calcio	49 ppm
Magnesio	13-15 mg/100g
Fosforo	38 ppm
Hierro	2,6 ppm
Vitamina A	0,002 ppm
Tiamina	0,0002 ppm
Riboflavina	0,02 ppm
Niacina	0,20 ppm
Acido nicotínico	0,40-0,60 mg/ 100g
Vitamina B6	0,06 mg
Beta caroteno	12,90 mg/100g
Vitamina B2	0,04 mg
Vitamina B1	0,03 mg

Wilson kleiber Quiguango Yaselga, 2011

### 2.2.5 Producción del nopal

El lugar que ocupa el nopal es de importancia para la economía agrícola del país, para el año de 1994 por superficie en producción, este cultivo ocupó el 7° lugar entre los frutales y por el volumen de su producción se ubicó en el 10° lugar, de entre los 15 frutales más importantes de México (Flores *et.al.*, 1995).

Menciona Guevara Arauza *et. al.*, (2002), que el nopal verdura se encuentra en el séptimo lugar de producción, sólo superado por cultivos como el melón, sandía, cebolla, chile, papa y tomate rojo.

De acuerdo al SIAP (2009), en México, en el año 2007, la superficie sembrada con nopal fue de 11 583.56 ha sin riego, con riego y de temporal; el Distrito Federal tuvo una superficie sembrada de 4337 (38 % del total de hectáreas) y el estado de Morelos 2530 ha, lo cual representó el 60 % del cultivo. En nuestro país, el volumen cosechado en 2007 fue de 124 721.78 toneladas, con 2 104.38 hectáreas de superficie en producción.

El nopal se utiliza principalmente como alimentación, se consume en todo el país con diferentes niveles de aceptación. Además se ha utilizado en medicina como cápsulas para control de peso, prevención y control de la *Diabetes mellitus* entre otras, (INEGI. Censo Agropecuario, 2007).

En nuestro país, la mayor parte de la producción de nopal se comercializa en fresco, por lo que nos vemos en la necesidad de alargar su vida de anaquel, ya que es un producto muy perecedero. El nopal sin espinas es comercializado en centros comerciales, mercados y en menor cantidad en los tianguis, cuando existe mayor producción, la oferta supera a la demanda (SIAP, 2009). En el país se manejan tres sistemas de producción:



- ✓ Nopaleras silvestres
- ✓ Nopaleras en huertos familiares: son del medio rural principalmente en los estados del norte y centro.
- ✓ Plantaciones comerciales: principalmente en el Distrito Federal

Para conocer mejor la producción de nopal a nivel nacional, con datos del Sistema de Información de la SAGARPA se muestra la producción del nopal del 2000 al 2010 (Tabla 3):

**Tabla 3.** Resumen nacional de la superficie sembrada de nopal en el periodo 2000 – 2010

Resumen Nacional de la superficie sembrada de nopal del 2000 al 2010 en México											
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
<b>Nopal forrajero</b>	1,495	1,795.8	2,223.5	9,861.5	10,048	3,926.75	4,794.2	11,226.75	14,439.75	18,084.75	18,080.75
		8	0	0			5				
<b>Nopalitos</b>	8,817.1	9,118.6	9,668.1	9,710.3	10,207.89	10,930.18	11,140.	11,583.56	12,018.41	11,978.23	12,472.59
	5	5	4	4			56				
<b>Nopalitos (Orgánico)</b>							35				
<b>Tuna Amarilla</b>			405	405	1,565	5,246	8,807.3	9,581	9,387	9,043	9,091
							0				
<b>Tuna Blanca Burrona</b>				196	199	196	2,790	3,497.90	3,544.90	3,624.90	3,612.90
<b>Tuna Blanca Cristalina</b>			156	4,009	4,840	13,542	7,938	9,353.16	9,301.16	8,578.91	13,045.05
<b>Tuna Criolla</b>						1		7	6	20	20
<b>Tuna Roja</b>					832	4,213	5,107	4,913	5,222	5,194	5,290
<b>Tuna Xoconostle</b>			832	871	1,031	1,030	1,083	1,064	1,362	1,445	1,433
<b>Total</b>	12312.1	12915.5	15286.6	27055.8	30726.89	41089.93	43701.	53233.37	57289.22	59977.79	65055.29
	5	3	4	4			11				
<b>Incremento Anual (%)</b>		5%	18%	77%	14%	34%	6%	22%	8%	5%	8%
<b>Incremento (511 años)</b>											528

Fuente: Elaboración propia con información del Servicio de Información Agroalimentaria y pesquera. SAGARPA. Revisado el 20 de Junio del 2012

## **2.3 Sustancias fitoquímicas**

De acuerdo con Santos Buelga *et. al.*, (2001) las sustancias fitoquímicas son compuestos orgánicos constituyentes de alimentos de origen vegetal, éstos no son nutrientes y proporcionan a los alimentos propiedades fisiológicas que van más allá de las nutricionales propiamente dichas. Parecen ser responsables del beneficio a la salud asociada al consumo de frutas y hortalizas, dentro de las cuales hay sustancias de diversas familias químicas que poseen estructuras y propiedades muy variadas, como son los polifenoles, compuestos antioxidantes que se relacionan a la salud protegiendo contra enfermedades crónicas.

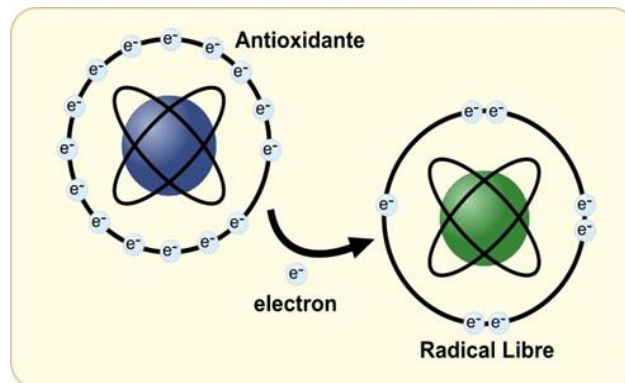
Estos compuestos se encuentran abundantemente en frutas, verduras y en productos conocidos como alimentos funcionales. Un alimento funcional es aquel que contiene un componente que le da al organismo un efecto protector. El término fitoquímico se define como sustancias químicas de las plantas, no son consideradas esenciales para el metabolismo, resultando ser beneficiosa a largo plazo define (Aponte, M. et al, 2008)

### **2.3.1 Antioxidantes**

Los antioxidantes son moléculas capaces de retardar o prevenir la oxidación de otras moléculas mediante una reacción química de transferencia de electrones de una sustancia a un agente oxidante. Las reacciones de oxidación pueden producir radicales libres que inician reacciones en cadena que dañan las células, esto es producido debido a que los radicales libres son átomos que tienen un electrón desapareado con capacidad de aparearse, es por ello que son muy reactivos, por lo que recorren nuestro organismo intentando robar un electrón de las moléculas

estables con el fin de alcanzar su estabilidad y lograr su función específica en la célula (Paredes Gonzáles M. 2013).

La formación de radicales libres en el sistema humano es muy problemático, la Figura 2 menciona la acción de los antioxidantes. Debido a que muchas moléculas de nuestro cuerpo participan en las funciones esenciales fisiológicas del organismo (Cox, S. 2001).



**Figura 2 .** Acción de los antioxidantes. Los antioxidantes pueden detener la Reacción en cadena dañina al organismo provocada por los radicales libres. (Aguirre Joya J. *et. al.*, 2012)

Los antioxidantes son compuestos químicos que el cuerpo humano utiliza para eliminar radicales libres, siendo estas sustancias muy reactivas que introducen oxígeno en las células y producen la oxidación de sus diferentes partes, alteraciones en el ADN y una gran serie de cambios que aceleran el envejecimiento del cuerpo (Ramírez Hernández J. *et al.*, 2012)

La actividad antioxidante de diversas plantas es debido principalmente a compuestos no nutricionales que presentan una gran actividad biológica, tales como polifenoles, vitaminas y minerales (Khalaf *et. al.*, 2008; Chemah *et. al.*, 2010). Entre los polifenoles mayormente encontrados en los materiales vegetales estudiados se encuentran los flavonoides, isoflavonas, flavonas, quercitina,

catequinas, isocatequinas y colorantes como betalainas e indicaxantina (Cai y col., 2010; Sumaya-Martínez *et. al.*, 2011).

### 2.3.1.1 Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos o polifenoles, se definen como aquellos compuestos orgánicos cuya estructura molecular contiene al menos un grupo fenol (químicamente hablando, consiste en un anillo aromático unido al menos a un grupo funcional hidroxilo), éstos son compuestos que se encuentran ampliamente distribuidos en las plantas, conociéndose en la actualidad más de 8000 estructuras fenólicas, muchas de las cuales están presentes en los alimentos (Julibert A. 2013).

Los polifenoles son los antioxidantes más abundantes en la dieta, ya que la ingesta media estimada es alrededor de 1 g, 10 veces más que la vitamina C, 100 veces más que la vitamina E y 500 la de carotenoides (Scalbert y Williamsom, 2000).

Los compuestos polifenólicos presentes en las frutas incluyen un amplio rango de componentes con actividad antioxidante, como lo son los flavonoides, flavonoles y antiocianinas. La abundancia de estos compuestos en las frutas depende de la especie, tipo de cultivo, piel, parte comestible o pulpa, suelo y estado de madurez (Rodrigo Garcia J. *et. al.*, 2011).

De acuerdo con Muñoz Jáuregui A. (2007) el efecto preventivo atribuido a los polifenoles es muy amplio, existe un sin número de investigaciones realizadas sobre las actividades fisiológicas de los componentes funcionales como se puede observar en la Figura 3, donde se ilustran los efectos preventivos de los componentes naturales.

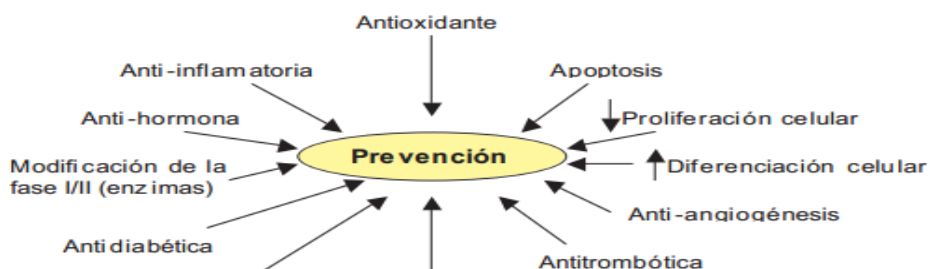


Figura 3. Mecanismo preventivo de los compuestos funcionales. Muñoz Jáuregui A. et. al., 2007

### 2.3.1.2 Flavonoides

Los flavonoides son moléculas que tienen dos anillos bencénicos unidos a través de una cadena de tres átomos de carbono, puesto que cada anillo bencénico tiene 6 átomos de carbono, los autores lo denominan simplemente como compuestos  $C_6 C_3 C_6$  (Paredes Gonzales M. 2013)

Son compuestos fenólicos que constituyen la parte no energética de la dieta humana. Están presentes en vegetales, semillas, frutas y bebidas. Se han realizado investigaciones en donde se han identificado más de 5000 flavonoides diferentes. El valor medio de ingesta de flavonoides se estima como 23 mg/día, siendo la quercentina el predominante con un valor medio de 16 mg/día y han demostrado efectos positivos debidos a su acción antioxidante y eliminadora de radicales libres (S. Martínez Flores *et. al.*, 2002).

En la Figura 4 se muestra la estructura química de los flavonoides y en la Figura 5 la estructura química de uno de los flavonoides más comunes: la quercetina

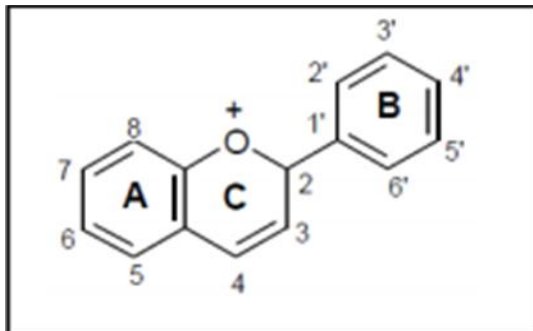
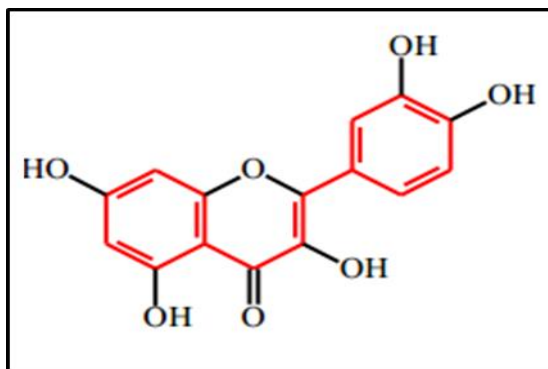


Figura 4. Estructura de los flavonoides  
Fuente: Shahidi y Naczk, 1995

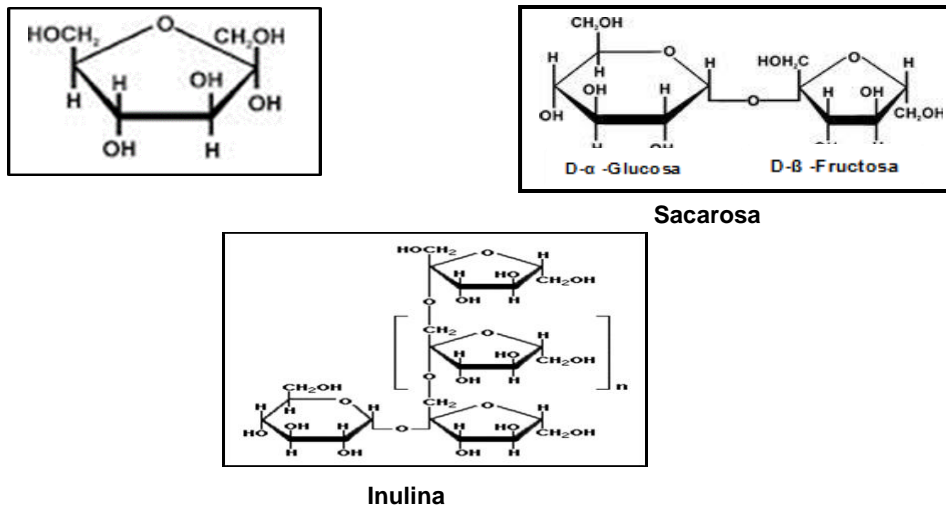


**Figura 5.** Estructura química de uno de los flavonoides más comunes encontrados en la naturaleza, la quercentina. Nótese en Color rojo la estructura básica de los flavonoides.  
Alejandro Martínez M., 2005

Los procesamientos industriales también afectan el contenido de flavonoides. Por ejemplo, en la producción de jugos de frutas algunas veces involucra pasos de clarificación o estabilización, con enzimas, especialmente para remover ciertos flavonoides responsables de la decoloración, por lo tanto, jugos de frutas procesados tienen bajo contenido de éstos (Manach, *et al.*, 2004).

### 2.3.1.3 Fructosa

De acuerdo con Gibson P. *et al.*, (2006) la fructosa es un monosacárido de 6 átomos de carbono que presenta una estructura de anillo de 5 miembros. La fuente de donde se obtiene es una hidrólisis ácida de la sacarosa o del almidón, siendo este último caso posterior a la isomerización. Sus formas de polimerizadas se describen de forma variable por inulina, fructanos y fructo-oligosacáridos, la Figura 6 ilustran la principales formas en la que la fructosa está presente en la dieta.

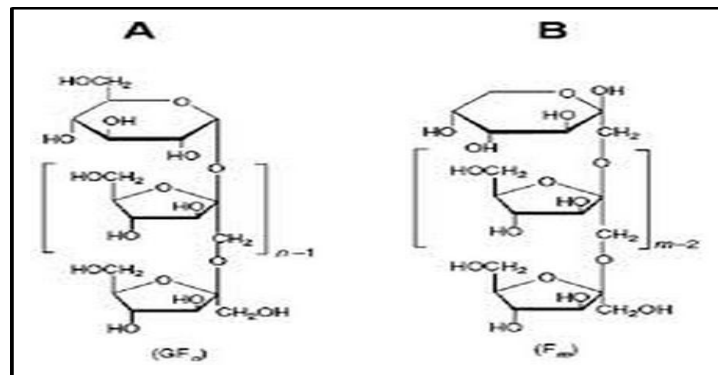


**Figura 6.** Las principales formas en la que la fructosa está presente en la dieta.

Gibson P. et al, (2006)

Define Frank A. (2006) a la inulina como un carbohidrato no digerible que está presente en muchos vegetales, frutas y cereales. En la actualidad, a nivel industrial se extrae de la raíz de la achicoria (*Cichorium intybus*) y se utiliza ampliamente como ingrediente en alimentos funcionales.

La inulina y sus derivados (oligofructosa, fructo-oligosacáridos) son generalmente llamados fructanos, estando constituidos básicamente por cadenas lineales de fructosa. En la Figura 7 se describe a la inulina:



**Figura 7.** Estructura química de la inulina: con una molécula terminal de glucosa ( $\beta$ -D-glucopiranosil) (A) y con una molécula terminal de fructosa ( $\beta$ -D-fructopiranosil) (B).

El uso de inulina, aporta beneficios a la salud, el primero de ellos es su función como fibra dietética, con los efectos fisiológicos atribuibles a este tipo de compuestos, como son la disminución de los niveles lipídicos, glucosa en sangre y la acción laxante. Otro beneficio es la capacidad de la inulina de modular la flora intestinal, debido a su efecto prebiótico. (Gibson PR, *et. al.*, 2006).

La fructosa, derivado de la inulina, se utiliza como sustituto del azúcar debido a que se absorbe más lentamente y es degradado por un mecanismo del azúcar independiente de la insulina, por lo que es muy utilizado en dietas para diabéticos. Tiene menores calorías que el azúcar común por lo que es óptimo su consumo como producto dietético (Herradon B. 2011).

Estudios en personas sanas y diabéticas demostraron que la fructosa produce un aumento menor en la glucosa después de ingerir alimentos que otros hidratos de carbono comunes. La sustitución de otros hidratos de carbono en la dieta con fructosa, produce una reducción del 13 % en la media de glucosa (Bantle John P., 2009).

La fructosa aporta mayor sabor debido a su dulzor, comparado con el de la glucosa la sacarosa, es de fácil absorción (Cheftel *et. al.*, 1983), posee un índice glucémico bajo, y ofrece la ventaja de inhibir la producción de cuerpos cetónicos, por lo tanto, es posible que cantidades pequeñas puedan beneficiar el control glucémico en pacientes con *Diabetes mellitus* (Pérez cruz, *et. al.*, 2007).

## 2.4 Jugo

El jugo, es la parte líquida de frutas u hortalizas que se obtiene por la aplicación de presión sobre éstas. Para la obtención de un jugo de alta calidad se recomienda el buen manejo de frutas y hortalizas, en la mayoría de las industrias el jugo se



elabora a partir de una base concentrada que es más fácil de conservar y manipular. La conservación del jugo se lleva a cabo por el tratamiento con calor (pasteurización), la higiene durante la preparación y el llenado, la baja acidez del producto, y el almacenamiento en ambientes refrigerados son recomendados (Paltrinieri *et. al.*, 2006).

De acuerdo con Chavarría S., (2010) el jugo de fruto es un “líquido de fruta”, no contiene colorantes ni preservativos, se obtiene directamente de frutas frescas y luego procede a ser envasado o embotellado. Es un producto agradable, nutritivo, saludable y barato. La importancia económica de esta industria es establecida por su valor como alimentos teniendo en cuenta los conocimientos científicos obtenidos en la producción y comercialización.

El jugo recién exprimido es una alternativa saludable a los jugos embotellados y enlatados, que en su mayoría contienen edulcorantes artificiales y aditivos como conservadores (Hampton, 2009).

De acuerdo con Smith D. (2007), los jugos de frutas son más agradables al paladar justo después de ser extraídos de la fruta fresca, y cualquier tratamiento aplicado para conservar o clarificar los jugos afecta la calidad. La conservación debe alcanzarse con tan poco daño como sea posible al sabor de frescura, color y otras características de calidad deseables.

Define Safina R. (1971) que la extracción de jugos de frutas y hortalizas se puede realizar de diferentes maneras, de acuerdo con las características de la materia prima y, en ocasiones todo depende de la disponibilidad del equipo. La selección del método y del equipo de extracción más adecuado debe determinarse a partir del rendimiento y la calidad del jugo que se desea obtener. Los principales sistemas para la extracción de jugos de frutas y hortalizas son prensado y extractor de cuchillas.

## **2.4.1 Métodos de Extracción**

A continuación se describen los principales métodos empleados para la obtención de jugos.

### **2.4.1.1 Prensado**

Consiste en una compresión mecánica de las frutas o verduras que provoca la separación de los líquidos contenidos en el producto. El prensado produce el jugo de la fruta u hortaliza entera y en lugar de cortarla, tritura para extraer el jugo. Contiene en su interior dos placas que se comprimen a presión. Este tipo de extractor mantiene el jugo fresco con sus nutrientes naturales retenidos en el proceso de extracción debido a que operan con menor calor, por lo que conserva los nutrientes intactos y no oxidan las vitaminas (Hampton, 2009).

### **2.4.1.2 Extractores**

Los exprimidores eléctricos que se encuentran disponibles más ampliamente son los centrífugos. Sin embargo la forma en que estas máquinas funcionan afecta a la calidad del jugo que producen. Extraen el jugo de la fruta con una cuchilla de alta velocidad interna que gira en contra de un colador de metal. El extracto es separado de la carne de la fruta o verdura por la fuerza centrífuga que es generada por la cuchilla y el filtro separa el jugo de la carne de la fruta. Esta al generar gran velocidad, produce parcialmente calor, lo que ocasiona una destrucción de enzimas de la fruta que se corta y se convierte en jugo dentro de la máquina. El calor oxida y separa los nutrientes haciendo menos puro al jugo (Hampton, 2009).

#### **2.4.1.2.1 Extractores de masticación**

Utilizan cortadores que trituran a la fruta o vegetal en trozos pequeños que giran dentro de la centrifuga del extractor pasando por un colador de metal. Son unidades de velocidad más bajas que producen un jugo con mayor calidad, ya que producen menor oxidación y liberan más nutrientes, y el jugo tiene una vida de anaquel más larga (Hampton, 2009).

##### **2.4.1.2.1.1 Extractor de jugo túrmix**

Este extractor es de tipo centrífugo y consta de un motor, un disco de corte de acero inoxidable y una canastilla centrifugadora que permite que la fruta o vegetal sea molido, y conserve el sabor del jugo. En este el extractor comúnmente se quedan pequeños resto de pulpa, por lo que la gente utiliza la pulpa para darle sabor a sus sopas, guisados, panes, pasteles y ensaladas. Mucha gente lo utiliza para composta para los jardines. El extractor de jugos funciona extrayendo el jugo por presión a baja velocidad lo que no modifica la temperatura, la fruta y verdura mantiene sus cualidades intactas. Con el extractor es mucho más sano, pues es un proceso más natural que no “rompe” en pedazos tan pequeños las moléculas de los alimentos. Esta compuestas de una canastillas de aluminio y con cuchillas filosas de acero inoxidable (<http://turmix.com.mx/instructivos/pdf/extractores-a.pdf>).

##### **2.4.1.2.2 Extractores hidráulicos**

Consisten en generar una baja presión en la parte inferior y una alta presión en la parte superior del cuerpo, estos extractores de jugo producen poca oxidación y son promocionados para hacer el jugo más alto de nutrientes, son también más caros que los extractores de jugo centrífugos y de masticación (Shannon Moudry, 2007).

### **2.4.1.2.3 Extractores con aspas**

#### **2.4.1.2.3.1 Licuadora**

Una licuadora es un electrodoméstico que se utiliza ampliamente para licuar y mezclar alimentos que se añaden por la misma acción del triturado. Consta de un motor eléctrico desde donde y por medio de un eje se conecta al vaso (en el interior de la licuadora hay unas cuchillas en forma de aspas), el motor actúa a muchas revoluciones y puede funcionar en diferentes velocidades, las aspas giran al contacto con la electricidad, genera un ciclón que atrae a los alimentos a las cuchillas giratorias triturando a los alimentos (Yepes et. al., 2009).

La licuadora extrae el jugo centrifugando las frutas y verduras provocando un aumento de la temperatura. Este aumento de temperatura ocasiona una cierta pérdida de vitaminas y otros componentes como enzimas y antioxidantes.

#### **2.4.1.2.3.2 Nutribullet**

El nutribullet no es como cualquier licuadora, tiene un motor de 600 vatios, y sus aspas liberan los nutrientes que se encuentran dentro de las frutas, semillas y vegetales. El aspa extractora pulveriza las semillas, rompe tallos y corta a través de la piel dura, para abrir las paredes celulares, es de acero inoxidable y no necesita ser afilada. Es conocido con el extractor de nutrición, por que extrae antioxidantes principalmente los polifenoles, flavonoides, ácidos fenólicos y el omega 3 (<https://www.elnutribullet.com/nutribullet-manual.pdf>). Define Martínez A. (2013) que el nutribullet no deja de ser una licuadora con un poco más de potencia con acción ciclónica patentada.

### **3. Materiales y metodología experimental**

#### **3.1 Localización del sitio experimental**

El presente trabajo de investigación se desarrolló en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Sede Saltillo, en el departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, en los laboratorios de: Bioprocesos y Procesamiento, ubicada en la Ciudad de Saltillo, Coahuila, México.

#### **3.2 Muestra experimental**

Nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*), obtenida de la central de abastos de la ciudad de Saltillo, Coahuila.

#### **3.3 Equipos, materiales y reactivos químicos**

En la Tabla 3 se muestran los equipos y materiales que se utilizaron en la presente investigación, mientras que en la Figura 8 se ilustran los equipos de extracción y el nombre de cada uno de ellos.

**Tabla 3.** Equipos y materiales empleados

EQUIPO Y MATERIALES	MODELO	MARCA	POTENCIA (watts)
<b>Balanza analítica</b>	Adventurer	Ohaus	
<b>Colorímetro</b>	CR-400	Konica minolta	
<b>Espectrofotómetro</b>	Genesys 10 uv	Thermo electron corporation	
<b>Extractor de Jugo</b>	Estándar	Túrmix	125
<b>Multilicudora</b>		Nutribullet	600
<b>Licudadora</b>		Osterizer	200
<b>Vortex</b>		Benchmark	
<b>Parrilla de agitación y calentamiento</b>		Talboys	
<b>Potenciómetro</b>		Hanna	
<b>Prensa</b>	Gigante		
<b>Refractómetro</b>	Pocket Pal-1	Atago	
<b>Celdillas para espectrofotómetro</b>			
<b>Matraz de aforación 10 ml</b>		Kimax	
<b>Micropipeta 100-1000 µl</b>		Accumax	
<b>Micropipeta 0-100 µl</b>		Mc de By	
<b>Vasos de precipitado 100, 250, 500 ml</b>		Kimax	
<b>Probetas 100 ml</b>		Kimax	
<b>Puntillas</b>			
<b>Termómetro</b>			
<b>Tubos de ensaye</b>		Kimax	



**Prensa**



**Extractor de jugo**



**Nutribullet**



**Licuadora**

**Figura 8.** Representación de los cuatro métodos de extracción utilizados en la presente investigación.

En la Tabla 4 se enlistan los reactivos empleados para la realización del trabajo de tesis y en la Figura 9 se pueden apreciar los mismos:

**Tabla 4.** Reactivos empleados

Reactivos
Ácido gálico
Agua destilada
Carbonato de sodio
Catequina
Cloruro de aluminio
DNS (ácido 3,5-dinitrosalicílico)
Folin-ciocalteu
Fructosa anhidra
Hidróxido de sodio
Nitrito de sodio
Tartrato de sodio y potasio



**Figura 9.** Reactivos utilizados en la presente investigación



### **3.4 Metodología**

Para el desarrollo de la presente investigación, se llevaron a cabo tres etapas, la primera de ellas fue la extracción de las muestras de nopal por los diferentes métodos de extracción; la segunda etapa, consistió en la determinación de características fisicoquímicas, para poder continuar con la última etapa, y llevar a cabo la cuantificación de las sustancias hipoglucemiantes.

Una vez terminada la metodología experimental se realizó un análisis estadístico de los resultados con el programa JMP (Starter, versión 5.0.1).

En las tres etapas se manejaron dos factores con cinco repeticiones, en donde el primer factor lo representamos con la letra (a) y corresponde a los tratamientos en base a dos niveles: fresco y pasteurizado; el segundo factor representado por la letra (b), es decir, los métodos de extracción en base a 4 niveles: nutribullet, licuadora, extractor de jugo y prensa.

#### **3.4.1 Etapa I. Obtención de muestras de nopal fresco y pasteurizado**

Para esta etapa, se procedió a limpiar el nopal quitándole restos de espinas, seguido de una limpieza general, se cortaron cubos de 5 mm sobre una tabla rígida empleando un cuchillo, se pesaron 50 gramos de material vegetal para cada repetición en una balanza analítica, se colocaron en el equipo de extracción corresponde, para recoger el jugo en un vaso de precipitado de 250 ml; posteriormente se procedió a medir el volumen obtenido en una probeta de 100 ml, el cual se separó en dos, una de las fracciones fue pasteurizada a 60°C y la otra se mantuvo en fresco como se observa en la Figura 10.



Figura 10. Proceso de extracción de muestra de nopal

### 3.4.2 Etapa II. Determinación de características físicoquímicas

#### 3.4.2.1 Determinación de pH

Para la determinación de acidez se utilizó un potenciómetro marca Hanna. Se sumergió en la muestra líquida fresca o pasteurizada de nopal como se ilustra en la Figura 11, se esperó a que éste se estabilizara y se tomó la lectura.



Figura 11. Determinación de pH

#### 3.4.2.2 Determinación de sólidos solubles totales (SST)

Para la determinación de SST se utilizó un refractómetro digital marca ATAGO modelo PAL-1, con escala 0.0 a 53.0 % Brix. Para esta evaluación se colocaron dos gotas de muestra de nopal en fresco o pasteurizada en la superficie del prisma y se presionó el botón START (Figura 12), enseguida el resultado se expresó como porcentaje (% Brix).



Figura 12. Determinación de sólidos solubles totales (%Brix)

### 3.4.2.3 Determinación de color

La determinación de color se llevó a cabo mediante un colorímetro marca Konica Minolta Modelo CR-400, mediante el sistema CIE  $L^* a^* b^*$  (International Commission on Illumination, Viena 1976), en donde el eje  $L^*$  es el de luminosidad (*lightness*) y va de 0 (negro) a 100 (blanco). Los otros dos ejes de coordenadas son  $a^*$  y  $b^*$ , y representan variación entre rojo-verde, y amarillo-azul. Como se ilustra a continuación en la Figura 13.

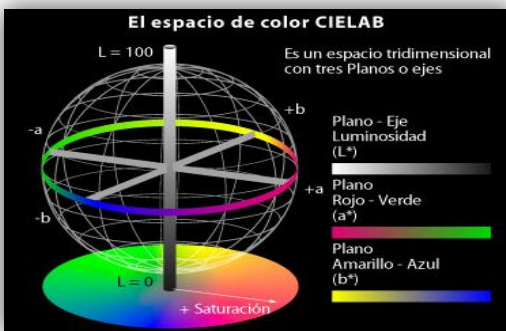


Figura 13. Parametro de color en el que los valores  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  se grafican usando un sistema de coordenadas cartesiano donde  $L^*$  representa la claridad, el valor  $a^*$  representa el eje rojo/verde y el valor  $b^*$  representa el eje amarillo/azul. Stephen Westla 2001

Para medir el color se colocó el brazo de medición sobre la superficie de la muestra fresca o pasteurizada de nopal, se presionó el botón y se tomó la lectura ( $L^* a^* b^*$ ) como se aprecia en la Figura 14.

Las lecturas que se obtuvieron en el colorímetro fueron directas para la obtención resultados en el diagrama de cromaticidad  $L^* a^* b^*$ .



**Figura 14.** Determinación de color mediante un Colorímetro Konica Minolta Modelo CR-400

### **3.4.3 Etapa II. Determinación de sustancias hipoglucemiantes**

#### **3.4.3.1 Fenoles**

El análisis se realizó conforme a la metodología de Folin-Ciocalteu, para esto a cada uno de los estándares y muestras previamente preparados se le adicionaron 250  $\mu\text{L}$  de reactivo de Folin-Ciocalteu 1N y se homogenizó por 5 minutos. Posteriormente se añadieron 1250  $\mu\text{L}$  de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  al 20% y se dejó reposar por 30 minutos.

Después los resultados fueron expresados en miligramos de ácido gálico por gramo de extracto (mg GA/g extracto).

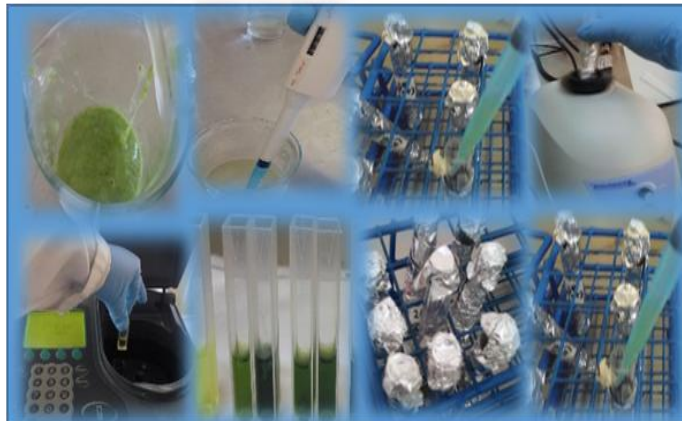


Figura 15. Procedimiento para la determinación de fenoles en muestra de nopal

La cuantificación del contenido de fenoles en las muestras se basa en la curva estándar generada con ácido gálico, los resultados promedio de cinco repeticiones se reportan como mg de GAE/mL de extracto.

#### 3.4.3.2 Flavonoides

El contenido de flavonoides se determinó mediante el ensayo de Liu *et. al.*, (2002). Para cada 1000  $\mu$ l de muestra de jugo extraído se adicionaron 1250  $\mu$ l de agua destilada y después de añadir 75  $\mu$ l de nitrito de sodio se dejaron reposar por 5 minutos. Posteriormente se adicionaron 150  $\mu$ l de cloruro de aluminio y se reposaron por 5 minutos. Después de esto se agregaron 500  $\mu$ l de hidróxido de sodio y finalmente se completó el volumen de cada tubo de ensaye con 25  $\mu$ l con agua destilada. El mismo tratamiento se realizó para el blanco con agua destilada. La absorbancia a 510 nm fue leída utilizando un espectrofotómetro Genesys 10 uv (Figura 16).



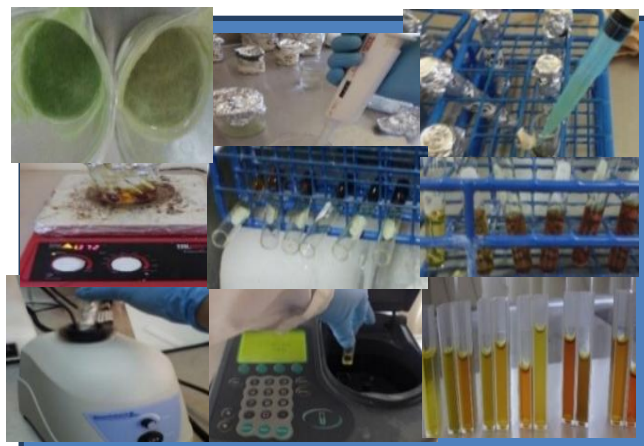
**Figura 16.** Procedimiento para flavonoides en muestra de nopal

La cuantificación de flavonoides en las muestras se basa en la curva estándar generada con catequina (0.1 mg/ml), los resultados promedio de cinco repeticiones se reportan como mg de C/mL de extracto.

### **3.4.3.3 Fructosa (inulina como azúcar reductor)**

#### **3.4.3.3.1 Azúcares reductores**

Para cada 1000  $\mu$ l de muestra de jugo extraído se adicionaron 1000  $\mu$ l de reactivo DNS, se colocaron en ebullición por 5 minutos en baño de agua e inmediatamente se detuvo la reacción con baño de agua y hielo. Se reconstituyeron las muestras con 5 ml de agua destilada, se agitaron, se dejaron en reposo por 15 min, y se determinó su absorbancia a 540 nm (Figura 17). El mismo tratamiento se realizó para el blanco con agua destilada.



**Figura 17.** Procedimiento para la cuantificación de fructosa en muestras de nopal

La cuantificación de fructosa en las muestras se basa en la curva estándar generada con fructosa anhidra, los resultados promedio de cinco repeticiones se reportan como mg de FA/mL de extracto.

#### **3.4.4 Análisis estadístico**

El análisis estadístico de los datos obtenidos en la presente investigación consistió en una prueba de varianza factorial con dos factores, el primero (a) con dos niveles para evaluar el efecto de la pasteurización sobre el extracto de nopal con respecto a éste en fresco, y el segundo factor (b) con cuatro niveles que evalúan los métodos empleados para el proceso de extracción (prensado, extractor de jugo, licuadora y nutribullet), cada una de las determinaciones se realizaron en cinco repeticiones. Se realizó la prueba t de student para la comparación de medias. El paquete estadístico utilizado fue el JMP Starter (versión 5.0.1).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Etapa I. Extracción de muestras en nopal (*Opuntia -ficus indica*)

En la Tabla 4 se observan los volúmenes promedios de cinco repeticiones obtenidos de extractos de nopal, a partir de 50 g de materia fresca, utilizando los diferentes equipos de extracción: prensa, extractor, licuadora y nutribullet.

**Tabla 4.** Volumen promedio de cinco repeticiones de extractos de nopal obtenidos de los equipos de extracción.

EQUIPO DE EXTRACCIÓN	VOLUMEN (ml)
EXTRACTOR	36.2
LICUADORA	47.2
NUTRIBULLET	37
PRENSADO	14.6

### 4.2 Etapa II. Determinación de parámetros fisicoquímicos

#### 4.2.1 Color

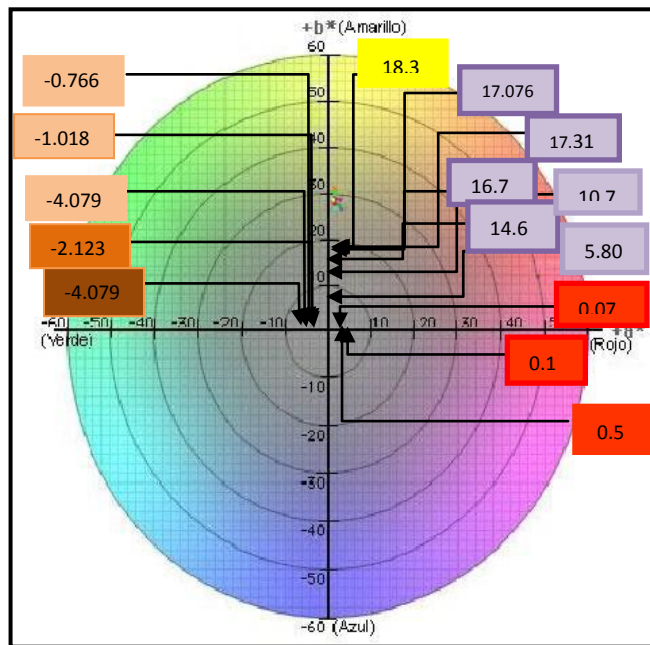
Al medir el color en extracto de nopal fresco y pasteurizado mediante el colorímetro se obtuvieron resultados numéricos en cuanto a la saturación del mismo ( $a^*$  y  $b^*$ ) como se ilustra en la Tabla 5 y en la Figura 18, en la que se representa el diagrama de cromaticidad (CIELAB 1976).



**Tabla 5.** Cromaticidad en extracto de nopal fresco y pasteurizado en relación a los métodos de extracción valores

COORDENADAS DE CROMATICIDAD EN EXTRACTO DE NOPAL FRESCO Y PASTEURIZADO								
Métodos de extracción	Prensa		Extractor		Licuadora		Nutribullet	
	a*	b*	a*	b*	a*	b*	a*	b*
Fresco	0.174	5.803	0.079	18.398	-4.079	17.316	-4.241	14.622
pasteurizado	0.505	10.78	-0.766	17.076	-1.018	16.783	-2.123	16.414

promedios de 5 repeticiones para las coordenadas de color a\* y b\*

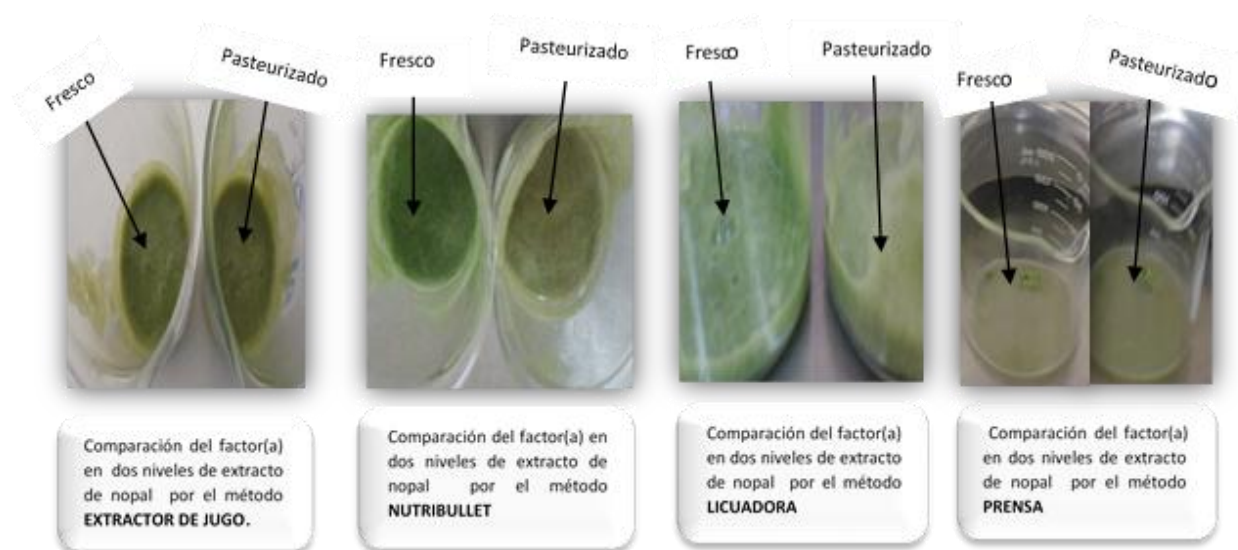


**Figura 18.** Diagrama de cromaticidad a\* y b\*

En relación al tratamiento térmico se aprecia que todos los extractos pasteurizados pierden saturación de color verde observándose mayor pérdida de este color en el producto obtenido por el extractor túrmix, cuyos valores se ubican fuera del rango verde en el diagrama de cromaticidad, lo anterior concuerda con Acevedo *et. al.*, (1977) quienes al evaluar jugos cítricos a los que se aplicaron diversos tratamientos térmicos, éstos presentan una disminución de color.

En un estudio con jugo de manzana se observó que al aplicar calor se degradó la calidad del jugo, se perdió un porcentaje de las vitaminas y ocasionó cambio de color y sabor ( Qin *et. al.*, 1995 y Charles-Rodríguez *et. al.*, 2007 )

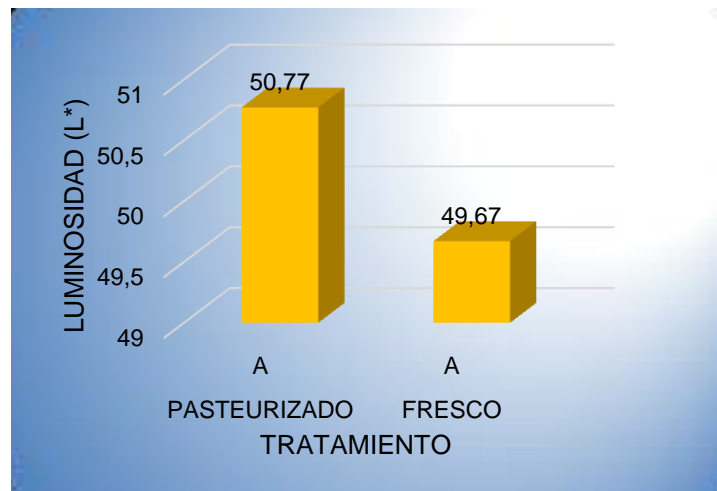
Lo anterior se refuerza con las imágenes presentadas en la Figura 19, observándose que el extracto en fresco se encuentra de lado derecho y el pasteurizado a la izquierda, corroborando la precisión del método instrumental en relación con la precisión de color llevada por el ojo humano (Konica-Minolta 2002-2013).



**Figura 19.** Representación de extracto de nopal en cuatro métodos de extracción donde el lado derecho indica la muestra fresca y lado izquierdo la muestra pasteurizada.

En cuanto a la variable de respuesta luminosidad ( $L^*$ ) en extracto de nopal pasteurizado los resultados se expresaron de la siguiente manera:

Con respecto al análisis de varianza Anexo 1 y la prueba t de student (Figura 20) estadísticamente no existe diferencia significativa entre tratamientos.



**Figura 20.** Gráfico de medias para la comparación de luminosidad del factor (a)

De acuerdo con Sáenz *et. al.*, (1992), en un experimento con jugos pasteurizados y concentrados de tuna verde, donde la clorofila juega un papel importante, observaron cambios en el color debido al tratamiento térmico; el color fue medido como luminosidad ( $L^*$ ), donde se mostró con una pérdida del tono verde brillante, tornándose más oscuro y blanquecino.

En la Figura 21, en cuanto el método de extracción, estadísticamente existe diferencia significativa, encontrándose mayor luminosidad en el extracto obtenido por la prensa, mientras que el del nutribullet tiene una  $L^*$  menor, lo anterior es debido probablemente que se mezclan todos los componentes del vegetal compactándose al final, no habiendo pérdida alguna.

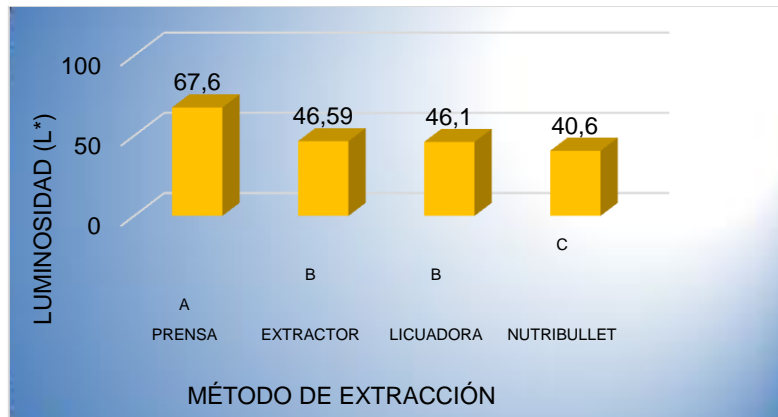


Figura 21. Gráfico de medias para luminosidad en el factor (a)

Interactuando el factor (a) y el factor (b) en la prueba de t de student, se observa que estadísticamente la diferencia es significativa para el parámetro luminosidad (Figura 22), encontrándose que no existe diferencia significativa entre el extracto obtenido por prensado fresco y pasteurizado, pero si entre éstos y el resto. Esto es debido a que el prensado solo se extrae jugo dejando en el recipiente un gran porcentaje de fibra.

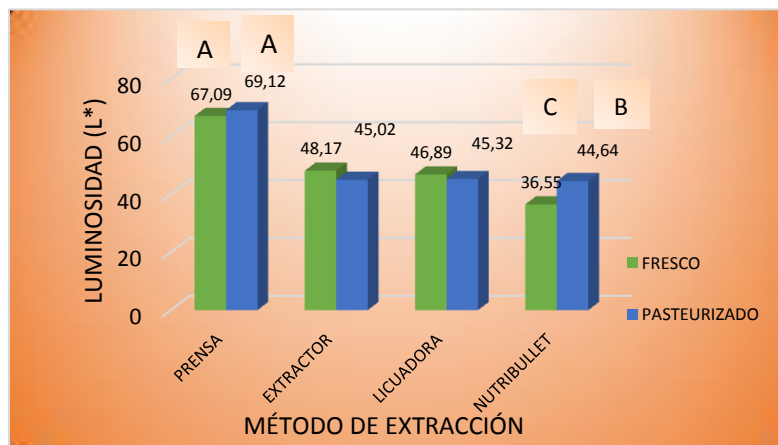


Figura 22. Gráfico para la comparación luminosidad en la interacción del tratamiento\* método de extracción

#### 4.2.2 Determinación de pH

De acuerdo al análisis de varianza (Anexo 2) la concentración de acidez en extracto de nopal, presenta diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos.

Con respecto al factor (a) como se observa en la Figura 23 de acuerdo a la prueba de medias no existe diferencia estadística entre extracto de nopal fresco y pasteurizado.

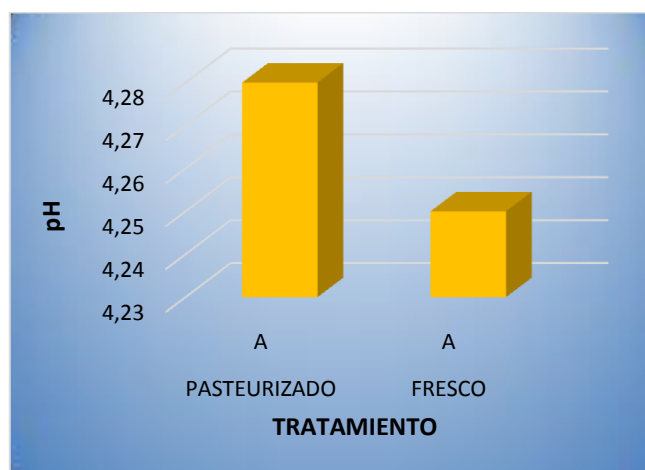


Figura 23. Gráfico de medias para la comparación de pH en el factor (a)

Estadísticamente el valor de pH presenta diferencia significativa respecto al método de extracción, como se observa en la Figura 24, en este caso se observa un efecto del método de extracción en esta característica química, lo cual difiere con lo encontrado al evaluar dos métodos de extracción con jugo de granada por Rajasekar D. *et. al.*, (2012), esto puede deberse al grupo al que corresponden los productos evaluados (cladodios y granada).

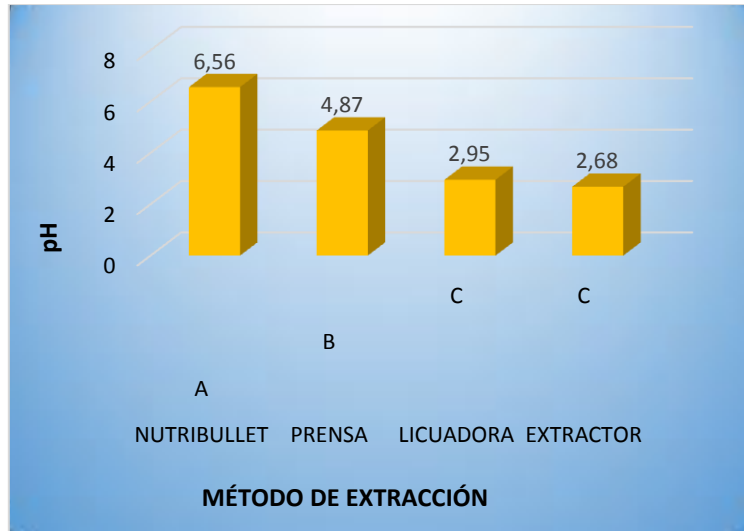


Figura 24. Gráfico de medias para la comparación del método de extracción para la variable PH

En cuanto el la interacción del factor (a) y (b) respecto a esta característica química, estadísticamente existe diferencia significativa (Figura 25). Se puede observar que en el nutribullet no existe diferencia significativa entre extracto fresco y pasteurizado, pero si entre éstos y el resto.

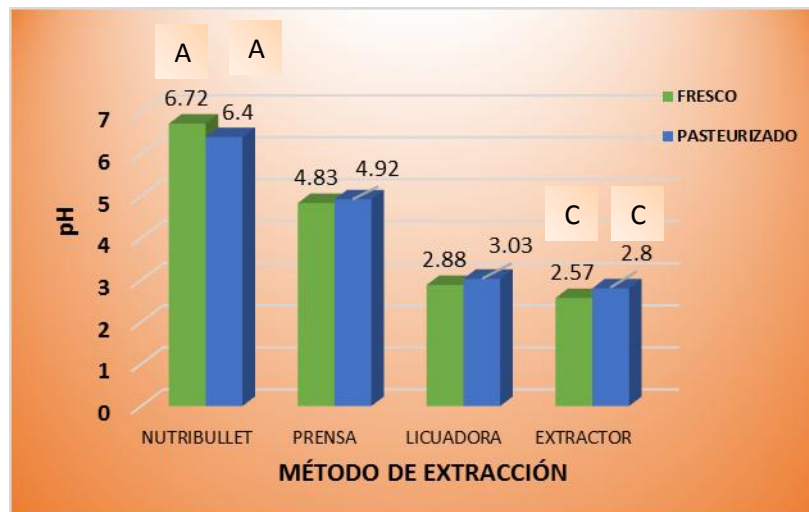


Figura 25. Gráfico para la comparación pH en la interacción del tratamiento\* método de extracción

### 4.2.3 Sólidos solubles totales

Uno de los factores físicoquímicos más relevantes en la calidad del fruto o vegetal es la concentración de los sólidos solubles totales. El análisis de varianza para esta característica química arrojó (Anexo 3) que estadísticamente existe diferencia significativa entre el factor (a) y (b).

En la Figura 26 se ilustra que los sólidos solubles totales no presentan diferencia significativa entre los extractos frescos y pasteurizados.

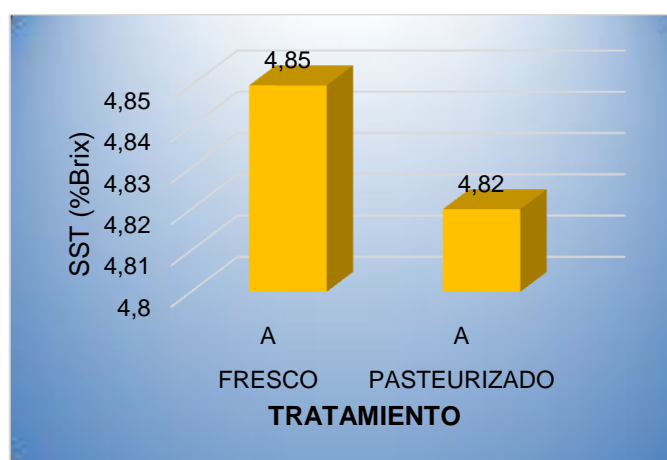


Figura 26. Gráfico para la comparación de SST (%Brix) en el factor (a)

Esto coincide con lo reportado Ochoa V. *et. al.*, (2012) donde realizaron un estudio con jugo de pitahaya fermentado y pasteurizado a 70°C por 3 minutos, similar a la que se manejó en esta investigación y encontraron que la característica química de SST no fue afectada por la pasteurización manteniendo el mismo para el fermentado.

En la Figura 27, se muestra el resultado de la prueba de medias t de student en donde se puede observar que el factor (a) presentó efecto sobre el contenido de los SST del extracto, presentándose mayor cantidad de SST en el producto obtenido mediante el extractor y la licuadora.

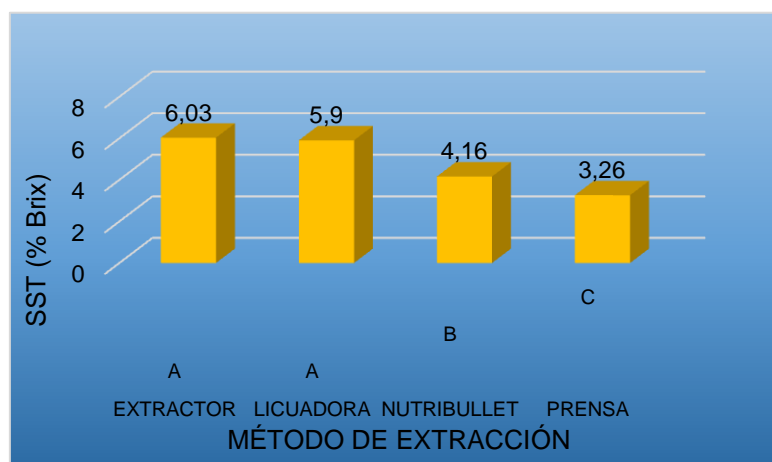


Figura 27. Gráfico para la comparación de medias del método de extracción para la variable SST (% Brix)

En la Figura 28 se muestra el resultado de la interacción entre el factor (a) y (b), en dicho gráfico, se observa que no hay diferencia significativa entre las muestras obtenidas mediante el extractor y la licuadora, pero si entre éstos y los otros dos métodos de extracción (nutribullet y prensa).

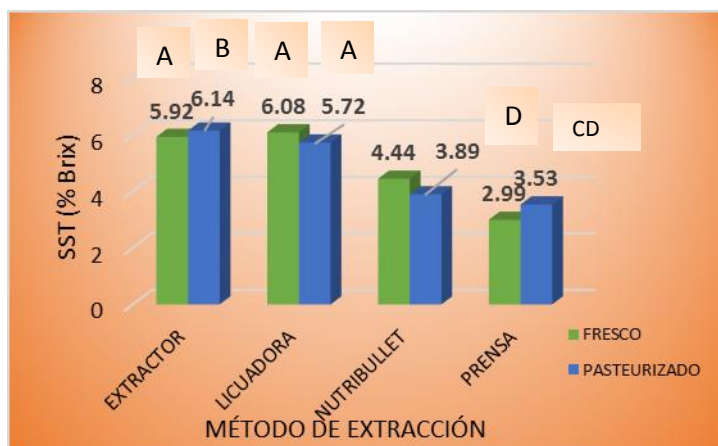


Figura 28. Gráfico para la comparación SST (% Brix) en la interacción del tratamiento\* método de extracción



### 4.3 Etapa III. Determinación de sustancias hipoglucemiantes en nopal (*Opuntia ficus-indica*)

#### 4.3.1 Cuantificación de fenoles

De acuerdo al análisis de varianza (Anexo 4) para el contenido fenoles existe diferencia estadísticamente significativa entre los factores evaluados, así como en la interacción entre ambos. En la Figura 29 de acuerdo a la prueba de medias se observa que entre los niveles del factor (a) existe diferencia significativa, presentándose menos concentración de fenoles en el extracto de nopal pasteurizado. Ochoa V. C. *et. al.*, (2012) En un estudio con jugo de pitahaya fermentado y pasteurizado, comprobaron que la pasteurización disminuye factores de calidad tales como la concentración de compuestos fenólicos, la capacidad antioxidante y el grado alcohólico.

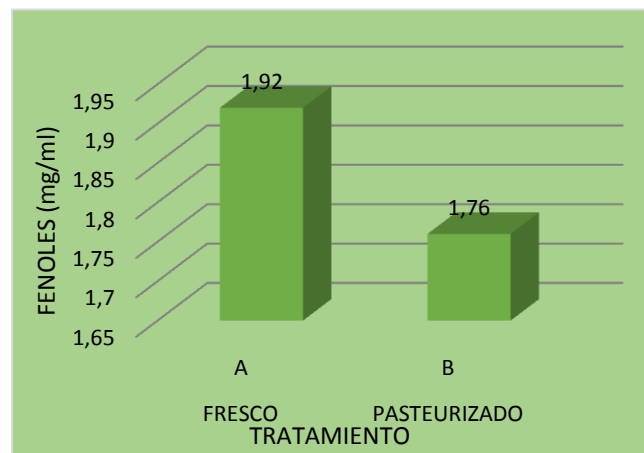


Figura 29. Gráfico del factor (a) para la cuantificación de Fenoles (mg/ml)

En base a la prueba de medias t de student (Figura 30) para el factor (b) se observa que no hay diferencia significativa entre los extractos obtenidos mediante la licuadora y el nutribullet, pero si hay diferencia estadísticamente significativa entre éstos y el resto. Lo anterior coincide con Casimiro C. *et. al.*, (2012) que en un estudio con jugo de granada utilizando licuadora y prensado mecánico

demostró que el extracto de la licuadora mantiene todos los componentes internos de la granada a excepción de la cáscara, mientras que en la prensa mecánica sólo se obtiene de los arilos, comparándolos con el nopal donde en el nutribullet y licuadora se extraen todos los componentes, mientras que en el prensado y extractor solo se obtiene la parte acuosa.

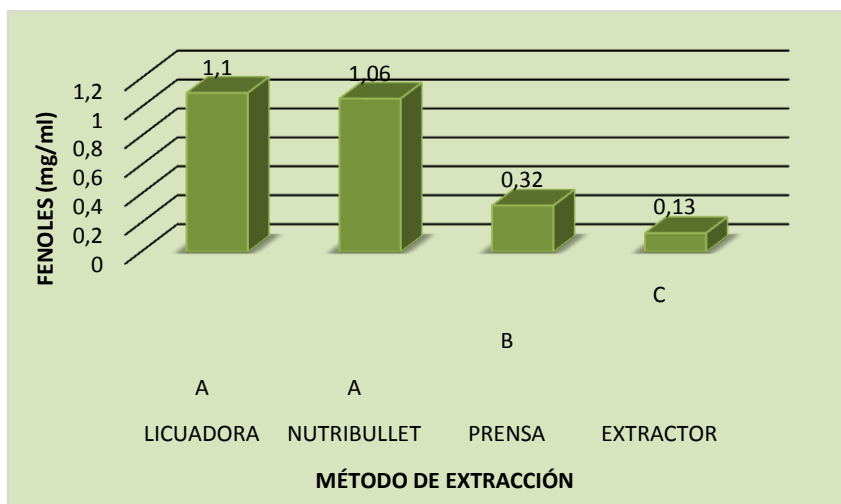


Figura 30. Grafico del factor (b) para la cuantificación de Fenoles (mg/ml)

Al analizar la interacción de ambos factores se aprecia en la Figura 31 que existen diferencias significativas, ya que la forma de obtención y la composición de los extractos es afectada por tipo de aspas que se maneja.

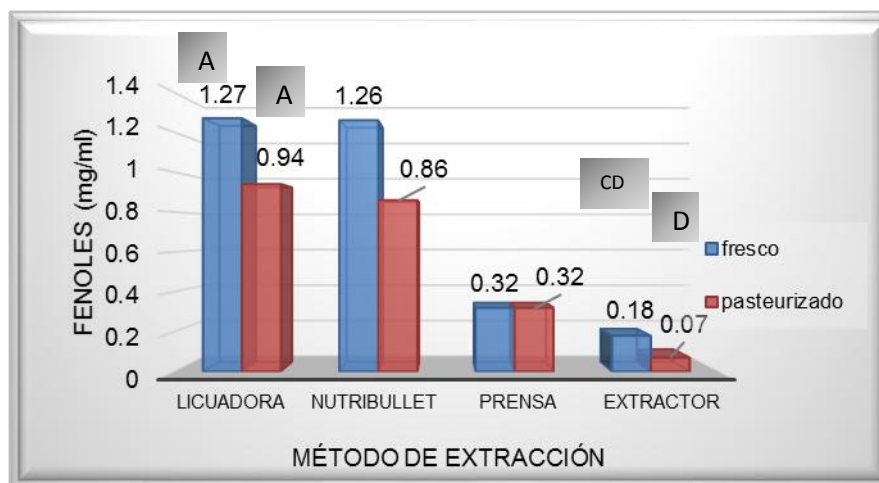


Figura 31. Representa la interacción del Tratamiento\* Método de extracción para la cuantificación de Fenoles (mg/ml)

La máxima concentración de fenoles se presenta al utilizar licuadora y nutribullet como métodos de extracción a diferencia de los otros. Lo anterior es debido a una gran pérdida de fibra que se queda en el recipiente del prensado y extractor, como se puede apreciar en la Figura 32.



Fibra presente en prensa



Fibra presente en el extractor

**Figura 32.** Representación de fibra presentes en los métodos de extracción en prensado y extractor de jugo

A diferencia del efecto del nutribullet y la licuadora que destruyen las partículas del vegetal sin dejar residuos de fibra (Figura 33).



No, hay presencia de fibra en licuadora.



No, hay presencia de fibra en nutribullet.

**Figura 33.** Representación de fibra presentes en los métodos de extracción en licuadora y nutribullet

Los datos obtenidos en la presente investigación coinciden con lo que el nutribullet promociona, extraer todos los nutrientes de los vegetales, gracias a su potente motor de 600 watts y su aspa extractora lo cual rompe las células del vegetal extrayendo todos los nutrimentos necesarios que el cuerpo necesita, lo mismo pasa con la licuadora por poseer una aspa con filo, con un motor de 200 watts y 200 rpm (<https://www.elnutribullet.com/nutribullet-manual.pdf>).

#### 4.3.2 Cuantificación de flavonoides

De acuerdo al análisis de varianza (Anexo 5) del contenido de flavonoides presentes en el extracto de nopal existe diferencia significativa entre ambos factores evaluados (a y b).

Con respecto al efecto del factor (a), se observa en la tabla de prueba de medias (Figura 34) que no hay diferencia estadística significativa entre el extracto fresco y pasteurizado, presentándose igual concentración en ambos tratamientos.

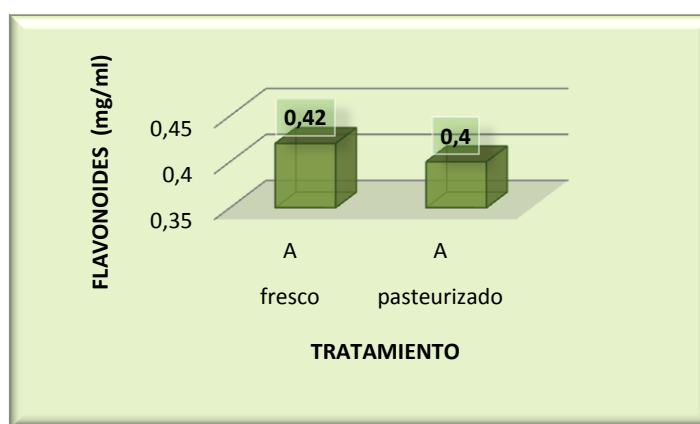


Figura 34. Gráfico del factor (a) para la cuantificación de Flavonoides (mg/ml)

De acuerdo a la prueba de media t de student para el factor (b) se observa que no hay diferencia significativa entre el extracto obtenido mediante prensado y nutribullet, indicando que la cuantificación de flavonoides es igual, pero diferente con respecto al encontrado en los extractos obtenidos por los otros dos métodos (Figura 35).

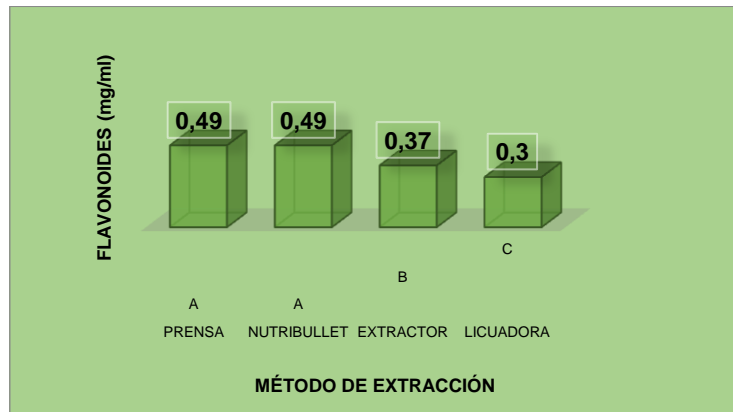


Figura 35. Grafico del factor (b) para la cuantificación de Flavonoides (mg/ml)

Al realizar la prueba de medias entre la relación factor (a) y factor (b) se observa que existe diferencia estadísticamente significativa (Figura 36), ya que, se encuentra que la mayor concentración de flavonoides está presente en el extracto obtenido por nutribullet en fresco.

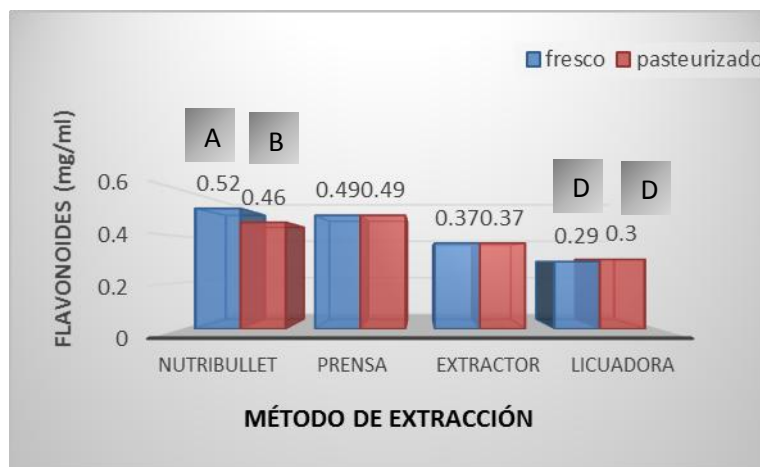


Figura 36. Gráfico de la interacción del Tratamiento\* Método de extracción para la cuantificación de Flavonoides (mg/ml)

### 4.3.3 Cuantificación de fructosa

De acuerdo al análisis de varianza (Anexo 6) en la que se estudiaron los factores establecidos se encuentran diferencias estadísticamente significativas. Debido a lo anterior se llevó a cabo la prueba de medias correspondiente.

Con respecto al efecto del factor (a) en la Figura 37, se indica la diferencia estadística significativa entre tratamientos, presentándose menor concentración de fructosa en el extracto de nopal pasteurizado. Lo anterior concuerda con lo reportado por Acevedo *et. al.*, (1977) quienes indican que el tratamiento térmico de jugos genera cambios en el contenido de azúcares, disminuyendo éstos, con respecto a los jugos frescos, afectando así la calidad de los mismos.

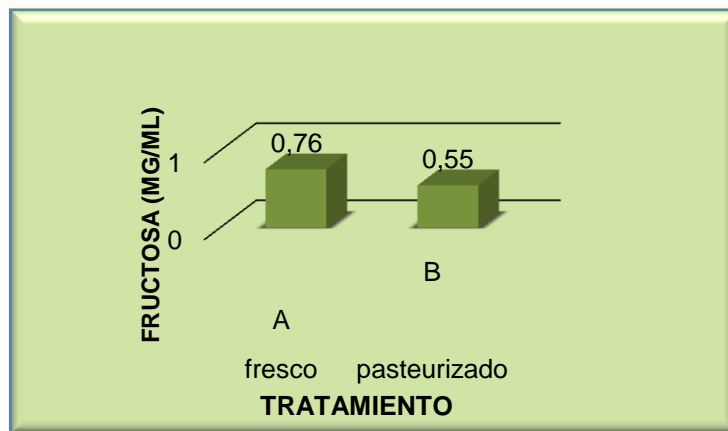
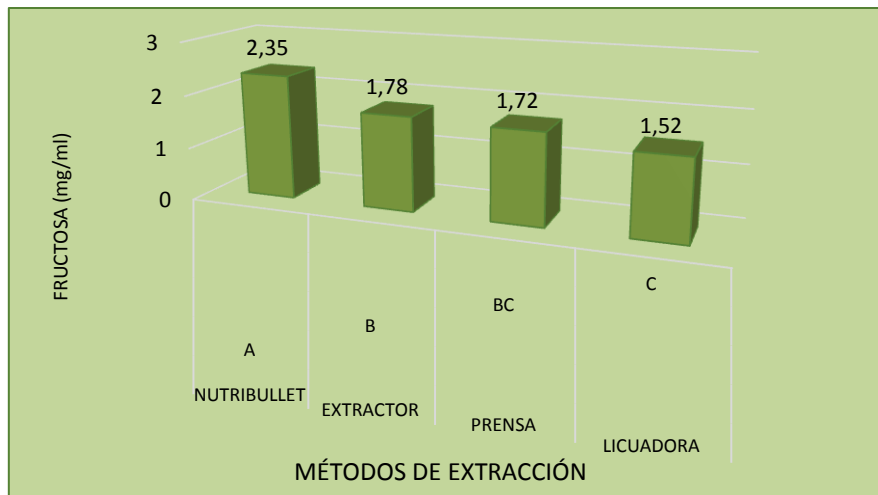


Figura 37. Gráfico de medias para el factor (a) el contenido de Fructosa (mg/ml)

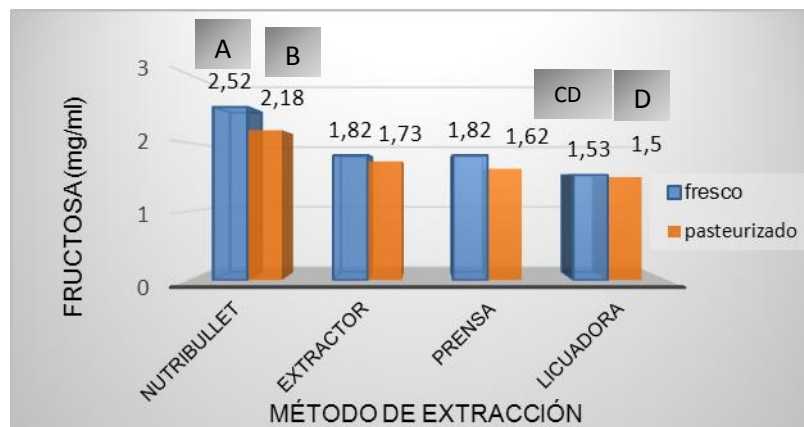
En relación al factor b, se ilustra en la Figura 38, que existe diferencia significativa entre los métodos de extracción empleados; encontrándose que el contenido de fructosa en el extracto obtenido mediante licuadora y nutribullet presenta diferencia estadística entre ellos y el resto, presentándose mayor contenido de fructosa en el producto obtenido mediante nutribullet.



**Figura 38.** Gráfico de t de student para el contenido de Fructosa (mg/ml) por medio de los métodos de extracción

Estudiando la interacción entre el factor (a) y el factor (b) en base a la prueba de medias como se ilustra en la Figura 39, existen diferencias estadísticamente significativas, encontrando que la máxima concentración de fructosa se presenta en el extracto fresco obtenido mediante nutribullet. Lo anterior demuestra el efecto que tiene sobre estos compuestos el método de extracción.

De acuerdo con lo anterior, Garibay Bagnis *et. al.*, (2004), realizaron estudios con diferentes fracciones insolubles de fibra de zanahoria y carambola, demostrando que el efecto hipoglucémico varía en función del método de extracción de las fibras.



**Figura 39.** Interacción del tratamiento\* método de extracción para el contenido de Fructosa (mg/ml)

### 5. CONCLUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos de la presente investigación se generan las siguientes conclusiones:

- ✓ El método de extracción afecta a los parámetros fisicoquímicos en extractos de nopal en fresco como pasteurizado.
- ✓ Los parámetros de color, pH y SST, son afectados por el tratamiento térmico disminuyendo el contenido de acidez y sólidos, afectando también la apariencia.
- ✓ El método de extracción afecta el contenido de fenoles y flavonoides en extractos de nopal en fresco como pasteurizado.
- ✓ Las sustancias hipoglucemiantes son afectados por el tratamiento térmico presentándose mayor contenido en extracto fresco.
- ✓ El tipo de aspas y la capacidad del motor que presentan los equipos de extracción son factores que determinan el contenido de sustancias hipoglucemiantes.



### 6. LITERATURA CITADA

**Aguilar-Salinas, Olaiz G, Valles V, Valles V, Ríos JM.** 2011. High prevalence of low HDL cholesterol concentrations and mixed hiperlipidemia in a Mexican nationwide survey. *J Lipid Res* 2001; 42:1298-307.

**Alemzadeh R, Ali O.** 2011. Diabetes Mellitus. In: Kliegman RM, ed. *Kliegman: Nelson Textbook of Pediatrics*. 19th ed. Philadelphia, Pa: Saunders; chap 583.

**Alfonzo Martínez.** 2013. como elegir un buen extractor de jugos Posted by admin - October 11, consejos naturista.

**Alicia Julibert.** 2013. Los polifenoles en boca de todos, septiembre 20.

**American Diabetes Association Diabetes Care.** 2012. 35 (Supp 1). January.  
Andrés Sierra. 2013, La Tuna, el Nopal y sus generosos beneficios para la salud, México, ecoosfera.com.

**Apontere, M., Calderón, M., Delgado, A., Herrera, I., Jiménez, Y., Ramírez, Z., Barbera, G., F. Carimi, P. Inglese, and M. Panno.** 1992. Past and present role of prickly pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill., Cactaceae) in the agriculture of Sicily. *Econ. Bot.* 46: 10-22.

**Carvajal Martínez.** 2000. *Diabetes mellitus y ejercicio físico*. Editorial Pueblo y Educación, La Habana, p.13.

**Celestino Santos-Buelga.** 2012 *Investigación en Alimentos*. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Coahuila. Blvd. Venustiano Carranza, s/n, esquina con Lic. Salvador González Lobo, colonia República oriente, C.P. 25,000.

**Chavarrias S. Lourdes Ma.** 2010. *Jugos de frutas*, Unión Europea, 1° Edición, Abril.

**Cheftel, J.C., Cheftel, H. y Besançon, P.** 1983. *Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos*. 1a.ed. Vol II. Ed. Acribia, Zaragoza, España. *Bibliografía Composición y sustancias fitoquímicas*.

**Claudio A. Flores Valdez, Juan M. de Luna Esquive, Pedro P. Ramírez Moreno.** 1995. *Revista Chapingo*, México, Diciembre.

**Concepción García Luján, Blanca Estela Pérez Hernández, Aurora Martínez Romero, Fernando Castro Barraza.** 2009. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*. 8:229-239.

**Cox E.S.** 2001. *Lycopene analysis and horticultural attributes of tomatoes*. Thesis.

**Diabetes Care.** 2012 (Supp 1). January, American Diabetes Association.

**Diabetes.** 2001. *Nature*, 414, diciembre. Marx, J. 2002. "Unraveling the causes of diabetes", *Science*, 296:686-689.

**Durward Smith.** 2007. *Jaleas de frutas*, published by University of Nebraska Lincoln Extension, Institute of Agriculture and Natural Resources.

**Eduardo Lozano Guzmán, Oscar Reza García, Norma Urtiz Estrada, Olga Dania López Guzmán, Ángel Antonio Vertiz Hernández.** 2010. Facultad de

Ciencias Químicas, Universidad Juárez del Estado de Durango Octubre - Diciembre.

**Elizabeth Pérez Cruz, Aurora Elizabeth Serralde Zúñiga,Guillermo Meléndez Mier.** 2007. efectos benéficos y deletéreos del consumo de fructosa, enero.

**Emilio Ochoa Reyes.** 2009. Tesis: evaluación de recubrimiento comestibles activos de cera de candelilla en la calidad de vida de anaquel de manzanas, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, marzo.

**Francisco A. Tomás-Barberán.** 2014. Laboratorio de Fitoquímica, Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, CEBAS (CSIC), Apd. 4195, Murcia 30080. e-Mail: fatomas@cebas.csic.es, 17 mayo – 1 jun.

**Frati- murani, A., J.A. Fernandez-Hard, M. Bañales y R. Ariza-Andraca,** 1983. Decreased blood glucose and insulin by nopal (Opuntia sp.) Arch. Invest. Med. 14: 269-273 pp.

**Gagliardino J.** 1997. Cómo tratar mi Diabetes dedicado a personas con diabetes noinsulinodependientes. La Plata Argentina: Ed. Boehringer Mannheim GMBH. 39.

**Giuseppe Barbera y Paolo Inglese,** 1999, Agroecología, cultivos y usos del nopal, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad de Guadalajara, Jalisco, México, 149-150 pp.

**Granados, D. y Castañeda, A. D.** 1996. El Nopal. 2a Reimpresión, Ed. Trillas, México.

**Guevara Araiza, J, C., Yahía.** 2002 E. México, Horticultura Internacional, mayo. Guevara Arauza Carlos, efectos biofuncionales del Nopal y la Tuna, Horticultura Internacional, Septiembre 2009.

**Guillermo Murray Prisant.** 1998. El poder curativo de los jugos, Ed. Selector, México, Pag. 13.

**Gulias, A. y G. Robles,** 1989. El nopal en su justa medida. Cuadernos de nutrición. 12: 42-43 pp.

**Gutierrez Ruiz e Itzel Mireya.** 2014. Evaluación del efecto antidiabético del subproducto obtenido en la elaboración de jugo de mango, 5 de julio.

**Hampton,** 2009, tipos de extractores para jugos, México.

**Hansel y Trunzler.** 1985. informacion básica.

**Heredia, J.P y Pinto, B. A JAYU,** 2008, Vol VI, N° 1.

**Hernández-Ávila M, Gutiérrez JP, Reynoso-Noverón N.** 2013. Diabetes mellitus en México. El estado de la epidemia. Salud Pública Mex 2013; 55 supl 2:S129-S136.

**Herradon Bernardo.** 2011. la química de los alimentos. Edulcorantes nutritivo, 24 de junio.

<http://turmix.com.mx/instructivos/pdf/extractores-a.pdf>

[http://www.elnutribullet.com/themes/89/docs/NutriBullet\\_Manual.pdf](http://www.elnutribullet.com/themes/89/docs/NutriBullet_Manual.pdf)

[http://www.fcctp.usmp.edu.pe/cultura/imagenes/pdf/18\\_02.pdf](http://www.fcctp.usmp.edu.pe/cultura/imagenes/pdf/18_02.pdf)

**J. Antonio Reyes-Agüero, J. Rogelio Aguirre-Rivera and Héctor M. Hernández.** 2005. AGROCIENCIA, JULIO-AGOSTO 2005.

**J. López Martínez, A. Mesejo Arizmendi y J. C. Montejo González.** 2005. Nutr. Hosp. v.20 supl.2 Madrid jun.

**Jayaprakasam, B.,** 2005. Insulin secretion by bioactive anthocyanins and anthocyanidins present in fruits. J. Agric. Food Chem., 53, 28-31.

**Jensey.** 1988. W. Botánica. 2ª ed. México D.F-México. Ed. McGraw-Hill. 1988.

**González Aguilar, Saúl Ruiz Cruz y Emilio Álvarez Parrilla.** 2011. Cuantificación de polifenoles y capacidad antioxidante en duraznos comercializados en ciudad Juárez, México, mayo-agosto.

**John P.** 2009. Bantle, Dietary Fructose and Metabolic Syndrome and DiabetesJ. Nutr. June 2009 139: 1263S-1268S; first published online April 29, doi:10.3945/jn.108.098020.

**José Luis Vázquez Castellanos, Arturo Panduro Cerda.** 2001. Diabetes mellitus tipo 2: un problema epidemiológico y de emergencia en México Investigación en Salud, vol. III, núm. 99, marzo, pp. 18-26, Centro Universitario de Ciencias de la Salud.

**Jose Rodrigo Roque Díaz.** 2006. México D.F., a 19 de diciembre. NMX-FF-068-SCFI-2006 22/22.

**Juan Carlos Guevara Arauza.** 2009. efectos funcionales del Nopal y la Tuna, septiembre 2009: 18 -19 y disponible en internet en www. Horticom.com 73932.

**Jung, M.,** 2006. "Antidiabetics agents from medicinal Plants." Current Medicinal Chemistry 13: 1203-1218.

**Kumar, S. S., Prashant Kumar, R.; Jaiswal, D. y Watal, G.** 2007. "Evidence-based critical evaluation of glycemic potential of *Cynodon dactylon*." eCAM5(4): 415-420.

**Landrault, N.,** 2003. Effect of a polyphenols-enriched chardonnay white wine in diabetic rats. J. Agric. Food Chem., 51- 311-318.

**Lorena Madrigal y Elba Sangronis.** 2007. la inulina y derivados como ingredientes claves en alimentos funcionas, Universidad Simón Bolívar, Departamento de Procesos Biológicos y Bioquímicos. Caracas, Venezuela.

**Manach, C. SCALBERT, A. MORAND, C. RÉMÉSY, C. JIMÉNEZ, L.** 2004.

**Mauricio Hernandez Avila.\*** Juan pablo Gutierrez. 2012. ENSANUT:B <http://ensanut.insp.mx>.

**Mayra Eugenia Paredes González.** 2013. tesis: Determinación de la actividad antioxidante de cuatro plantas nativas del Ecuador, Universidad Central del Ecuador facultad de ciencias químicas carrera de química farmacéutica, Quito mayo.

**Mazza G.** 1998. Alimentos Funcionales. Aspectos Bioquímicos y de Procesado. Acribia, S. A. España. 402 p.

**Melchor Alpizar Salazar.**2001. Guía para el Manejo Integral del Paciente Diabético. Editorial El Manual Moderno, México, D.F. Pág. 7. Fascículo I.

**Mellado-Valero A, Ferrer-García JC, Herrera-Ballester A, Labaig-Rueda C.**2007. Efectos de la diabetes sobre la oseointegracion de los implantes dentales. Med Oral Patol Oral Cir Bucal; 12:26-31. © Medicina Oral S. L. C.I.F. B 96689336 - Revista impresa ISSN 1698-4447. México.

**Moreno, A. L.** 2001. "Epidemiología y diabetes." Rev. Fac. de Med. UNAM 44(1).  
Nutrición (ENSANUT).

**Ochoa-Velasco Carlos Enrique, García-Vidal Verónica, Luna-Guevara Juan José, Luna-Guevara María Lorena, Hernández-Carranza Paola, Guerrero-Beltrán José Ángel.** 2012, Antioxidant, physicochemical and microbiological characteristics of fermented and unfermented drink of three varieties of dragon fruits (*Hylocereus* spp), Facultad de Ingeniería Química, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.

**P. gibson, E. Newnham, J. Baster, Pastor S. y J. Mujir.** 2006. Artículo publicado por primera vez en línea: 3 Nov.

**Paltrinieri, G; Figuerola, F.** 2006. Procesamiento de Frutas y Hortalizas Mediante Métodos Artesanales y de Pequeña Escala. Manual Técnico. Oficina Regional de la FAO para América Latina y El Caribe. Santiago, FAO. Polyphenols: food sources and bioavailability. Am. J. Clin. Nutr. 79:727-747.

**Ramírez J. C., Sosa R. y Santos B.** 2012. H. Zitácuaro, Michoacán, México, agosto.

**Ramírez O., R. A.** 2006. Informe de salud 2001-2006. Gómez Palacio, Dgo, Secretaria de Salubridad y Asistencia.

**Ramona Ávila Núñez, Bernarda Rivas Pérez, Rómulo Hernández Motzezak.** 2012. Marluy Chirinos, Contenido de azúcares totales, reductores y no reductores en Agave cocui Trelease Multiciencias, vol. 12, núm. 2, abril-junio, pp. 129-135, Universidad del Zulia, Venezuela

**Ricardo David Valdez Cepeda, Fidel Blanco Macias, Rigoberto E. Vázquez Alvarado y Rafael Magallanes Quintanar.** 2008. Produccion y usos del Nopal para verdura, Diciembre.

**Rojas, J., Toro, Y División de Investigaciones de Alimentos (D.I.A.).** 2010. División de Nutrición en Salud Pública. Caracas, 2008. Venezuela. Chemah T, C, Aminah A, Noriham A, y Wan Aida W, M. Determination of pitaya seeds as a natural antioxidant and source of essential fatty acids. International Food Research Journal. 17: 1003-1010.

**S. Martínez-Flórez, J. González-Gallego, J. M. Culebras\* y M.<sup>a</sup> J. Tuñón.** 2002. Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes, Universidad de Leon, España.

**Sáenz C., Berger Horst, Corrales G., García G., Garcia de Cortazar, Higuera I.,** 2006utilización agroindustrial del nopal., organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación, Roma.

**Saézn H. C.** 2006. Compuestos funcionales y alimentos derivados de Opuntia spp. *In:* Esparza F. G., R. D. Váldez C., y G. Méndez S. (eds). El Nopal. Tópicos de Actualidad. Colegio de Postgraduados, Universidad Autónoma de Chapingo. México. pp: 211-221.

**Sáenz, C., E. Sepúlveda, E. Araya y C. Calvo,** 1992<sup>a</sup>. Influencia de la temperatura de almacenamiento sobre el color de jugo concentrado de tuna (opuntia ficus-indica) Proc. 2nd Intl. Congress of prickly pear and cochineal. 22-25 sept. Univ. De chile Santiago, Chile

**Safina Ricardo,** 1971. Extractores de jugo. Saltillo, Coahuila, México.



**Sánchez, L. A.** 2000. "Propuesta de ruta crítica para la evaluación genotóxica de plantas medicinales en Cuba." *Rev Cubana Farm.* 34(1): 34-43.

**Santos-Buelga, Celestino, Tomás Barberán, francisco.**2001. sustancias fitoquímicas de frutas y hortalizas, su posible papel beneficioso para la salud.

**Sanz-Sánchez I,** Bascones Martínez A. 2009. Diabetes mellitus: Su implicación en la patología oral y periodontal. *Av. Odontoestomatol;* 25 (5): 249-263.

**Scheinvar, L.** 1999. Taxonomía de las *Opuntias* utilizadas, pp. 21-28. In: Agroecología, cultivo y usos del nopal. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal N° 132. Roma.

**SEGOB – ENSANUT.** 2009. Secretaria de gobernación, Encuesta Nacional de Salud y SIAP, SAGARPA. 2009. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario agrícola 1997-2007.

**Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela Raventos, R. M.** 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology* , 152-178.

**Sudzuki, F., Muñoz, C y Berger, H.** 1993. El cultivo de la tuna (Cactus Pear). Departamento de Reproduccion Agricola. Universidad de Chile. the degree of master of science. Colorado state university. fort collins, colorado.

**Uzun, I.** 1996. Fruit and clad

## CAPÍTULO VI

### 7. Anexos

#### 7.1 Anexos. Evaluación físicoquímica

##### 7.1.1 Anexo 1. Análisis de varianza para luminosidad en extracto de nopal fresco y pasteurizado

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	7	4447.4492	635.350	19.8355
Error	32	1024.9909	32.031	Prob > F
C. Total	39	5472.4401		<.0001

**7.1.2 Anexo 2. Análisis de varianza para PH en extracto de nopal fresco y pasteurizado**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	7	99.01217	14.1446	40.4773
Error	32	11.18224	0.3494	Prob > F
C. Total	39	110.19441		<.0001

**7.1.3 Anexo 3. Análisis de varianza para SST (solidos solubles totales) en extracto de nopal**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	7	56.847437	8.12106	26.5584
Error	32	9.785000	0.30578	Prob > F
C. Total	39	66.632438		<.0001

**7.2 Anexos. Sustancias hipoglucemiantes**

**7.2.1 Anexo 4. Análisis de varianza para la variable fenoles en extracto de nopal fresco y pasteurizado con el programa JMP 5.0.1**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	7	4.2170554	0.602436	10.9212
Error	32	1.7651882	0.055162	Prob > F
C. Total	39	5.9822436		<.0001

**7.2.2 Anexo 5. Análisis de varianza para la variable flavonoides en extracto de nopal fresco y pasteurizado con el programa JMP 5.0.**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	7	0.27108226	0.038726	19.9011
Error	32	0.06226953	0.001946	Prob > F
C. Total	39	0.33335179		<.0001

**7.2.3 Anexo 6. Análisis de varianza para la variable fructosa en extracto de nopal fresco y pasteurizado con el programa JMP 5.0.1**

Source	DF	Sum of Squares	Mean	F Ratio
--------	----	----------------	------	---------

			<b>Square</b>	
<b>Model</b>	7	8.2892845	1.18418	61.0500
<b>Error</b>	32	0.6207021	0.01940	Prob > F
<b>C. Total</b>	39	8.9099865		<.0001