

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



Elaboración de una bebida con potencial hipoglucemiante a partir de nopal y tuna blanca (*Opuntia ficus-indica*).

Por:

MÓNICA RAMÍREZ MONTOYA

TESIS

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

Saltillo, Coahuila, México, Mayo de 2015.

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

Elaboración de una bebida con potencial hipoglucemiante a partir de nopal y
tuna blanca (*Opuntia ficus indica*).

Presentado por:

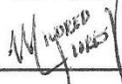
MÓNICA RAMÍREZ MONTOYA

TESIS

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

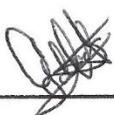
INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

APROBADA



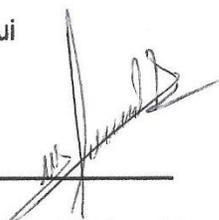
M.C. Mildred Inna Marcela Flores Verástegui

Presidente del Jurado



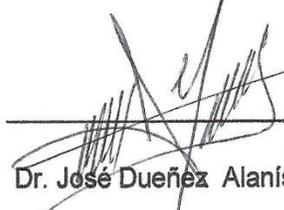
Dra. Dolores Gabriela Martínez Vázquez

Sinodal



M.C. María Hernández González

Sinodal



Dr. José Dueñez Alanís

Coordinador de la división de Ciencia Animal



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Mayo de 2015

***"Hay una fuerza motriz
más poderosa que
el vapor,
la electricidad y
la energía atómica:
la voluntad."***

Albert Einstein.

AGRADECIMIENTOS

Al finalizar un trabajo arduo y lleno de dificultades como el desarrollo de un proyecto de tesis, me es emotivo agradecer a todos los que han formado parte de esta meta alcanzada.

En primer lugar, a mi "**Alma Mater**" por abrirme las puertas de esta Institución y poder absorberme de sabiduría en mi formación personal y profesional, por lo que le estaré eternamente agradecida.

Sin la participación de estas excelentes personas quienes han facilitado las cosas para que este trabajo llegara a un feliz término. Por ello, es para mí un verdadero placer utilizar este espacio para ser justa y consecuente con ellas, expresándoles mis agradecimientos.

Quiero extender un sincero agradecimiento a **M. C. Mildred Inna Marcela Flores Verástegui (directora de tesis)**, por su paciencia, disponibilidad y generosidad para compartir su experiencia y amplio conocimiento para que este proyecto de investigación pudiese culminar satisfactoriamente. Sus asesorías fueron de gran ayuda, le agradezco la confianza que tuvo en mí y sus rápidas respuestas a las diferentes inquietudes surgidas durante el desarrollo de este trabajo, lo cual se ha visto también reflejado en los buenos resultados obtenidos. Muchas gracias.

Debo agradecer de manera especial a **M. C. María Hernández González**, por su colaboración y valiosos aportes para la realización de esta investigación, además de disposición, asesoría, apoyo, confianza, cariño, consejos que sin duda alguna, me ayudarán a lo largo de la vida, tanto personal como profesional y los conocimientos brindados durante mi formación académica.

Quiero expresar mi agradecimiento especial a la **Dra. Dolores Gabriela Martínez Vázquez** por su apoyo, asesoría y comprensión para la realización de este proyecto, lo cual se ha visto también reflejado en los buenos resultados obtenidos, además de su amistad y cariño durante mi formación académica.

L.C.Q. Magdalena Olvera Esquivel, por su apoyo y accesibilidad para el material de laboratorio para la realización de la parte experimental de este proyecto de tesis de investigación.

Al departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos y a todos mis maestros; **Dr. Mario, Sarahí, Xóchitl, Lourdes, Laura, Antonio, Charles, Gerardo, Socorro, Carmen**, quienes compartieron sus conocimientos durante mi formación académica. ¡Gracias!

A mis compañeros de generación **CXVII de Ingeniero en Ciencia y Tecnología de Alimentos**, gracias por los momentos que compartidos, en especial a...

Areli Lizet Rodríguez de la Cerda, por su amistad y cariño de hermana, que ha sabido estar en momentos buenos y malos, por abrirme las puertas de su casa y compartir bellos momentos con su familia durante mi estancia en Saltillo.

Joaquín Estrada Robles, por ser más que un amigo, por las tantas experiencias juntos, apoyarme en los momentos difíciles y festejar los buenos, por tu cariño, confianza y apoyo en todo momento. Gracias por tu amistad, eres de las pocas personas con quien he compartido horas tras horas y siempre reímos juntos, siempre tenemos cosas nuevas por realizar.

Rosa Elva Rodríguez Gaytán, por su amistad, cariño y confianza durante estos años convividos, por auxiliarme cuando más lo necesito. ¡Gracias!

Gabriela Jurado Arrollo, por su amistad, cariño, apoyo incondicional, por todo el tiempo que compartimos juntas, por no dejarme sola cuando más lo necesitaba, por tantas locuras juntas compartidas y las tantas aventuras realizadas. Gracias por abrirme las puertas de tu casa en Gro, por desearme siempre lo mejor.

Dorle Cristel Ramos Espinosa, por su amistad de toda la vida, por los ánimos que siempre me da y por hacerme saber que mis logros son parte de su felicidad.

DEDICATORIA

A Dios, por darme el privilegio de vivir y todas las bendiciones que ha llenado mi vida, por cuidarme, guiarme, por iluminarme a cada momento de mi existir. Por darme la dicha de tener una familia hermosa, por todas las pruebas que ha puesto en mi camino para ser de mí una persona fuerte y permitirme lograr los retos que se presentan en el andar de la vida. Por hacer de lo imposible algo posible, el amor con el que me protege todos los días, darme las respuestas a todas mis preguntas, los milagros con los que ha llenado mi vida y mi familia, con protección para poder realizar una meta más en vida, ¡Gloria a Dios!

Con todo amor, cariño, respeto y admiración a mi Madre:

Sra. Adi Montoya Meza, a quien le dedico todos mis triunfos, lo cual es una muestra de gratitud a todo el esfuerzo que ha hecho por mí. La demostración de una madre ejemplar me ha enseñado a no desfallecer ni rendirme ante nada y siempre perseverar a través de sus sabios consejos, el amor que me demuestra todos los días ha sido el sostén que me ha mantenido de pie, porque no ha existido distancia alguna entre nosotras, gracias por nunca dejarme sola y apoyarme para hacer de mí, un sueño realidad, ya que me ha dado la mejor herencia. Ella, mi madre, mi amiga, mi fortaleza, para seguir adelante. La amo mamita.

A mi Padre:

Sr. Gustavo Ramírez Ventura, por su cariño y confianza en mí, por los momentos gratos que hemos pasado juntos, por sus consejos que sin duda alguna me servirán. Y por el apoyo que me ha dado para lograr una meta más en mi vida.

A mi abuelo:

Saúl Ramírez Rodríguez, por confiar en mí desde el primer momento, por esas palabras que siempre las tengo presente, gracias papáito, sé que allá donde está, le hará feliz saber mis logros.

A mi tía:

Ludi Montoya Meza, por su cariño, confianza, que a pesar de la distancia siempre estuvo apoyándome, por cada consejo y cada palabra de aliento las cuales hicieron que siempre cambiaran la visión de ver la vida. Le estoy muy agradecida.

A mi hermano:

Edgar Exaú Ramírez Montoya, por ser la felicidad de nuestros corazones, el ángel que cuida de nosotros, por tener la dicha de ser tu hermana, aun cuando no tuve el privilegio de conocerte, te amo, vives en mí, sé que tú cuidas de mí y de toda tu familia. Gracias por ser mi Ángel Guardián.

A mi hermana:

Gabriela Ramírez Montoya, por sus consejos, cariño y apoyo cuando más lo he necesitado, gracias porque a pesar de nuestras pocas diferencias, me has demostrados tu amor con hechos. ¡Te amo!

A mi sobrino:

Edgar Enrique González Ramírez, mi mayor inspiración, el amor de mi vida, de quien aprendo todos los días.

A mi novio:

Sergio Cruz García, por formar parte en esta etapa de mi vida, de quien he aprendido mucho. Quien me llena de felicidad todos

los momentos que pasamos juntos, gracias por tu amor, por cada consejo, cada experiencia, cada aventura, que han hecho de mí una mejor persona, gracias por el apoyo que me das cuando más lo necesito tanto en las buenas y malas.

RESUMEN

La Diabetes Mellitus es uno de los desafíos más grandes que se presenta actualmente, ya que la cifra de pacientes va en aumento, las personas con este síndrome padecen serias complicaciones en el organismo, no se lleva un control definido y los tratamientos son caros. Desde tiempos prehispánicos en México se consume el nopal y su fruto (tuna) ya que se encuentra ampliamente distribuido en todo el territorio Nacional. Por esta razón el presente trabajo de investigación pretende cuantificar el potencial hipoglucemiante (fenoles, flavonoides y fructosa) en el extracto de nopal y tuna blanca (*Opuntia ficus indica*) utilizando dos métodos de extracción (extractor centrífugo y método de nutribullet) y realizando diferentes formulaciones (**75T-25N, 50T-50N, 25T-75N, 100T, 100N**) para determinar la más adecuada para la elaboración de una bebida con posible efecto hipoglucemiante.

Los resultados obtenidos en cuanto a las sustancias hipoglucemiantes, analizando los métodos aplicados para obtener el extracto de nopal y tuna blanca, muestran mayor contenido en nutribullet; en relación a las formulaciones establecidas se encontró mejor concentración de sustancias hipoglucemiantes en la formulación **50T-50N**, la cual se establece para la elaboración de una bebida con posible efecto hipoglucemiante, que pretende ser una alternativa más para el control de Diabetes Mellitus tipo 2. En base a los resultados el contenido de sustancias hipoglucemiantes es afectado por el método de extracción y por las formulaciones establecidas, ya que el contenido de sustancias hipoglucemiantes varía de acuerdo al contenido de nopal y fruto (tuna blanca), además que también podría afectar: el cultivo, corte, maduración, estrés y procedencia del material vegetativo.

Palabras clave: diabetes, sustancias hipoglucemiantes, métodos de extracción, formulación, nopal

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIA	IV
RESUMEN	VII
ÍNDICE DE CONTENIDO	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación	4
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo general	4
1.3.2 Objetivos específicos	4
1.4 Hipótesis	5
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1 DIABETES MELLITUS	6
2.1.1 Antecedentes Históricos	6
2.1.2 Comportamiento Actual	7
2.1.3. Principales tipos de Diabetes	9
2.1.3.1 Diabetes tipo I	9
2.1.3.2 Diabetes tipo 2 (DM2)	10
2.1.3.3 La diabetes gestacional (DMG)	11
2.1.3.4 Control de la Diabetes	12
2.1.4 Productos vegetales empleados como medicina popular con efecto hipoglucemiante .	14
2.2 Nopal	18
2.2.1 Generalidades	18
2.2.2 Usos tradicionales del nopal	21
2.2.3 <i>Opuntia ficus indica</i>	24
2.2.4 Composición química	25

2.2.5	Importancia de la cadena agroalimentaria del nopal y tuna	26
2.3	Sustancias Hipoglucemiantes.....	28
2.3.1	Compuestos Polifenólicos	28
2.3.2	Flavonoides	29
2.3.3	Fructosa.....	31
2.4	Jugos.....	31
2.4.1	Definición	31
2.4.2	Métodos de extracción	33
2.4.2.1	Prensado	33
2.4.2.2	Extractores	34
2.4.2.3	Extractores hidráulicos.....	34
2.4.2.4	Extractor de jugo túrmix	34
2.4.2.5	Nutribullet.....	35
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	36
3.1	Localización	36
3.2	Materiales, reactivos y equipos	36
3.4	Metodología Experimental	37
3.4.1	Etapa I. Caracterización de materia prima	37
3.4.1.1	Acidez	37
3.4.1.2	Ácido ascórbico (Vitamina "C").....	38
3.4.1.3	Luminosidad	38
3.4.1.4	Determinación de sólidos solubles totales (SST)	38
3.4.1.5	Determinación de pH	39
3.4.2	Etapa II. Formulaciones establecidas de tuna blanca y nopal.....	39
3.4.3	Etapa III. Caracterización Fisicoquímica y determinación de sustancias hipoglucemiantes en formulaciones establecidas.....	40
3.4.3.1	pH	40
3.4.3.2	Fenoles	40
3.4.3.3	Flavonoides	40
3.4.3.4	Fructosa.....	41
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
4.1	Etapa I. Caracterización de materia prima	42
4.2	Etapa II y Etapa III. Formulación, caracterización y determinación de sustancias hipoglucemiantes.....	43

4.2.1 Determinación de pH	43
4.2.2 Cuantificación de sustancias hipoglucemiantes.....	45
4.2.2.1 Cuantificación de fenoles.....	45
4.2.2.2 Cuantificación de flavonoides	48
4.2.2.3 Cuantificación de fructosa	52
5. CONCLUSIÓN	55
6. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.....	56
7. ANEXOS	62
7.1 Formulación y Caracterización	62
7.1.1 Anexo 1. Análisis de varianza para pH en las formulaciones de tuna y nopal.	62
7.1.2 Anexo 2. Análisis de varianza para Fenoles en la formulación de tuna y nopal fresco utilizando el programa JMP 5.0.1.....	62
7.1.3 Anexo 3. Análisis de varianza para Flavonoides en la formulación de extracto fresco de nopal y tuna utilizando el programa JMP 5.0.1	63
7.1.4 Anexo 3. Análisis de varianza para Fructosa en la formulación de extracto fresco de nopal y tuna utilizando el programa JMP 5.0.1	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Criterios propuestos por la Organización Mundial de la Salud	9
Tabla 2. Valor nutritivo del nopal verdura (cantidad respecto a 100 gramos de nopalitas crudos).	25
Tabla 3. Superficie de tuna, rendimientos medios y producción por estado, en las Zonas productoras de tuna de la República Mexicana. 2002.	26
Tabla 4. Superficie de tuna por País.	27
Tabla 5. Superficie de nopal verdura por entidad Federativa.	27
Tabla 6. Concentración de compuestos fenólicos en tejidos vegetales.	28
Tabla 7. Formulación de tuna blanca y nopal con diferentes métodos de extracción.....	39
Tabla 8. Caracterización y parámetros fisicoquímicos de la materia prima empleada.	42
Tabla 9. Comparación pH en la interacción de formulación* método de extracción	45
Tabla 10. Prueba de medias para la concentración de fenoles para la interacción método de extracción *formulación	48
Tabla 11. Cuadro de comparación de medias para la concentración de flavonoides para la interacción método extractor*formulación	51
Tabla 12. Gráfico de t-student para el contenido de fructosa (mg/ml) en la interacción método de extracción*formulación	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Opuntia ficus-indica	24
Figura 2. Mecanismos preventivos de los polifenoles. Citado por (Muñoz y Ramos, 2007).	29
Figura 3. Estructura química de uno de los flavonoides más comúnmente hallados en la naturaleza, la quercetina. Nótese en Color rojo la estructura básica de los flavonoides. Martínez 2005	30
Figura 4. Consumo de bebidas como acompañante de comidas en Venezuela, año 2008. Fuente revista P&M, 2008. Citado por (Eduardo A. Malpica Verano2010).	32
Figura 5. Gráfico de medias para la comparación del método de extracción para la variable de pH	43
Figura 6. Gráfico para la comparación pH en las diferentes formulaciones.	44
Figura 7. Gráfico de medias para la cuantificación de fenoles (mg/ml) por método de extracción	46
Figura 8. Gráfico para la comparación de medias de la concentración de fenoles en las diferentes formulaciones evaluadas	47
Figura 9. Gráfico de cuantificación de Flavonoides (mg/ml) por método de extracción	49
Figura 10. Gráfico de cuantificación de Flavonoides (mg/ml) por Formulación.....	50
Figura 11. Gráfico de prueba de medias (t-student) para el contenido de fructosa (mg/ml) en base a los métodos de extracción	52
Figura 12. Gráfico de t-student para el contenido de Fructosa (mg/ml) por medio de los métodos de formulación.....	53

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Actualmente la Diabetes Mellitus (DM) es uno de los desafíos de salud y desarrollo en el siglo XXI, tomando en cuenta que a nivel mundial, 4.6 millones de personas mueren cada año a causa de ésta; en algunos países, niños y jóvenes mueren por falta de insulina sin haber sido diagnosticados y decenas de millones más, sufren complicaciones de discapacidad y potencialmente letales, como infarto de miocardio, derrame cerebral, insuficiencia renal, ceguera y amputación (Alfaro J. Simal A.*et. al.*, Botella F. 1990.)

La Federación Internacional de la Diabetes reporta que la diabetes se encuentra entre las 10 principales causas de discapacidad en el mundo. Hoy en día, hay 366 millones de personas con diabetes y otros 280 millones bajo riesgo identificable de desarrollarla. De no hacerse nada, para 2030 esta cifra se calcula que aumentará hasta alcanzar los 552 millones de personas con diabetes y otros 398 millones de personas de alto riesgo. Tres de cada cuatro personas con diabetes viven hoy en países de ingresos medios y bajos. A lo largo de los próximos 20 años, las regiones de África, Oriente Medio y Sudeste Asiático soportarán el mayor aumento de la prevalencia de diabetes (2011).

La Organización Mundial de la Salud en la década de los noventa estimaba que México tendría 2.18 millones de personas con diabetes en el año 2000, sin embargo, la Encuesta Nacional de Salud, efectuada por el Instituto Nacional de Salud Pública arrojó la cifra de 3.65 millones de enfermos de diabetes, esto es 67% más de lo calculado. Igualmente, de acuerdo con la información disponible en 1995 por la Secretaría de Salud, se esperaba que hasta el año 2025 México pasaría a ocupar

el 7° lugar con 12 millones, sin embargo, el titular de la S.S. declaró en noviembre del año pasado que para 2009 ya se tenían registrados más de 10 millones de personas con diabetes, esto es, México se adelantó en 15 años al pronóstico de enfermos. (Cortés J. *et. al.*, 2010).

Aunado a lo difícil que es para un paciente diabético los cambios que repercuten en su calidad de vida, y el daño que va sufriendo el organismo en determinado tiempo, así como el alto costo de tratamiento, las horas de trabajo perdidas por cada empleado de diabetes generan, para un país como el nuestro, situaciones en extremo.(ALAD 2011).

Generalmente para el manejo terapéutico del control de la Diabetes Mellitus tipo 2 (DM2) se utilizan medicamentos con diferentes estructuras químicas y mecanismos de acción, que tienen el propósito de normalizar los niveles de glucosa en sangre. Los tratamientos son administrados de por vida, lo que representa un alto costo económico. Por otra parte, la aparición de efectos adversos o reacciones de hipersensibilidad son situaciones que obligan a suspender el tratamiento o cambiarlo constantemente, por esta razón resulta de suma importancia el desarrollo de nuevos agentes con propiedades antidiabéticas, en donde las plantas medicinales son una opción (Valdivia F. *et. al.*, Hidalgo M. 1996).

Las plantas medicinales o sus extractos pueden optimizar el metabolismo de la glucosa y la condición integral de los diabéticos, no sólo por sus efectos hipoglucemiantes sino también al mejorar el perfil lipídico, el estado antioxidante y la función capilar. A nivel mundial se han reportado más de 400 productos que se comercializan para el tratamiento de la diabetes (Yeh *et al.*, 2003).

Desde la antigüedad se han empleado cientos de plantas, extractos, infusiones y alimentos en general por sus poderes “curativos”, es por ello que las cactáceas entran este régimen. Entre los países del continente Americano donde se ha dado mayor énfasis al estudio de estas plantas es en México, siendo el producto más estudiado el nopal (*Opuntia S.p.*) del cual se ha encontrado el efecto hipoglucemiante (Esquivel E. *et. al.*, 2012).

El nopal pertenece a la familia de las cactáceas, que son plantas carnosas engrosadas, espinosas, y al género *Opuntia*, que se caracteriza por presentar tépalos extendidos con tallo articulado, es un vegetal cuya existencia se encuentra en todo el territorio Mexicano, inclusive sin necesidad de cultivarlo, resulta ser un alimento altamente nutritivo, rico en proteínas, vitaminas, minerales y fibra soluble. Es ampliamente utilizado en México para el tratamiento tradicional de la Diabetes Mellitus (DM) (Moreno A. *et. al.*, 2009).

El efecto hipoglucemiante y antidiabético ha sido sin duda el más estudiado a nivel mundial, a tal grado que el nopal, la tuna al igual que sus semillas y flores son tradicionalmente utilizadas para combatir la diabetes tipo 2 (no insulino-dependiente).

En México existen millones de personas con esta enfermedad que se ha vuelto una epidemia, y urgen alternativas de solución que puedan ser benéficas para el control y prevención, así mismo que no impacten la economía de los pacientes, así tenemos la fortuna que en casi todo el territorio nacional se encuentra el nopal y su fruto, la tuna, los cuales no son aprovechadas al máximo ya que gran parte de población ocupa al nopal como muro de sus casas y no son consumidos como alimento (Guevara C. *et. al.*, 2009; Carrasco N. 2012).

1.2 Justificación

Ya que la Diabetes Mellitus (DM) es un problema mundial, y todos los días la cifra va en aumento de nuevos casos de personas con Diabetes, los gastos por tratamiento son costosas y no todas las personas llevan un seguimiento de control, debido a la pobreza, factor que evita que las personas no se atiendan en el momento preciso lo que con lleva a que miles de personas sufran ceguera, diálisis, amputaciones; por esta razón el presente trabajo de investigación se da a la tarea de elaborar una bebida con posible efecto hipoglucemiante aprovechando nopal y tuna blanca (*Opuntia ficus indica*) la cual no genera altos egresos.

México posee riquezas naturales como son la tuna y el nopal por lo que resultó de interés la elaboración de una bebida refrescante, la cual puede ser de consumo al público sin importar la edad, además de que puede ser una alternativa más para mantener el control de glucosa en personas diabéticas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- ✓ Elaborar una bebida que contenga sustancias hipoglucemiantes a base de nopal y tuna blanca (*Opuntia ficus indica*).

1.3.2 Objetivos específicos

- ✓ Determinar características fisicoquímicas en nopal y en tuna blanca (*Opuntia ficus indica*).

- ✓ Obtener extracto para la formulación de nopal y tuna blanca (*Opuntia ficus indica*) por extractor centrifugo y nutribullet.
- ✓ Determinar características fisicoquímicas y cuantificar el contenido de fenoles, flavonoides y fructosa en las formulaciones de nopal y tuna (*Opuntia ficus indica*).

1.4 Hipótesis

- Es posible encontrar la presencia de sustancias hipoglucemiantes en una bebida elaborada a partir de nopal y tuna blanca (*Opuntia ficus indica*).
- No se encuentran presentes sustancias hipoglucemiantes en la bebida elaborada a base de nopal y tuna blanca (*Opuntia ficus indica*).

2. MARCO TEÓRICO

2.1 DIABETES MELLITUS

2.1.1 Antecedentes Históricos

La Diabetes era ya conocida antes de la era cristiana por Ebers en Egipto, donde se describen síntomas que parecen corresponder a la Diabetes (Sánchez G. 2007).

Areteo de Capadocia, un médico griego quien fue residente en Roma describe las enfermedades clásicas como la tuberculosis, la difteria y la epilepsia; él señala a la Diabetes como una enfermedad fría y húmeda en la que la carne y los músculos se funden para convertirse en orina. Fue él quien le dio el nombre de diabetes que en griego significa *Sifón*, refiriéndose el síntoma más llamativo por la exagerada emisión de orina. Él quería decir que el agua entra y sale sin quedarse en el individuo (Sánchez G. 2007).

Mientras que en el siglo XI, Avicena habla con clara precisión de esta afección en su famoso canon de la Medicina. Tras un largo intervalo fue Tomás Willis quien, en 1679, hizo una descripción magistral de la Diabetes, quedando desde entonces reconocida por su sintomatología como entidad clínica. Fue él quien, refiriéndose al sabor dulce de la orina, le dio el nombre de Diabetes Mellitus (Sabor a miel).

2.1.2 Comportamiento Actual

En la actualidad la Diabetes Mellitus es un padecimiento que ha cobrado importancia debido a su tasa alta de mortalidad. En México en el 2010 se presentaron más de 72 mil 499 muertes atribuidas a la Diabetes Mellitus, lo que representó el 14.7 % del total de las muertes en el país (Secretaría de Salud, 2011).

De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana la Diabetes Mellitus, comprende a un grupo heterogéneo de enfermedades sistémicas, crónicas, de causa desconocida, con grados variables de predisposición hereditaria y la participación de diversos factores ambientales que afectan al metabolismo intermedio de los hidratos de carbono, proteínas y grasas que se asocian fisiopatológicamente con una deficiencia en la cantidad, cronología de secreción y/o en la acción de la insulina. Estos defectos traen como consecuencia una elevación anormal de la glucemia después de cargas estándar de glucosa e incluso en ayunas conforme existe mayor descompensación de la secreción de insulina (NOM-015-SSA2-1994).

La Diabetes Mellitus es la alteración endócrina que con más frecuencia causa disfunción eréctil debido a las frecuentes complicaciones vasculares y neurológicas que conlleva. Las enfermedades endócrinas afectan la función sexual (Martínez J.M. 2010).

Como sabemos la Diabetes ocasiona un desorden del metabolismo, el proceso que convierte a los alimentos ingeridos en energía por lo que el factor más importante en el desarrollo de este proceso es la insulina, una hormona segregada por el páncreas. Así, durante la digestión, se descomponen los alimentos para crear glucosa, la mayor fuente de combustible para el cuerpo. La glucosa pasa a la sangre, donde la insulina es el elemento que le permite la entrada en las células. En general, los principales tipos del desorden diabético, se producen cuando falla

uno de dos componentes del sistema que interviene en el proceso, cuando el páncreas no produce o produce poca insulina, y cuando las células del cuerpo no responden a la insulina (Coduras A, del Llano J, *et. al.* Caicoya M. 2012).

La Organización Mundial de la Salud identifica a la Diabetes como una de las cuatro enfermedades no transmisibles (ENT), junto con la enfermedad cardiovascular (ECV, que incluye el infarto de miocardio y el derrame cerebral), el cáncer y la enfermedad respiratoria crónica. La Diabetes es frecuente, crónica y costosa. Se caracteriza por una hiperglucemia (altos niveles de glucosa en la sangre), que es el resultado de la falta de insulina (Diabetes tipo 1) o de que haya insulina insuficiente y resistencia a la misma (Diabetes tipo 2), tiene un componente genético y algunas personas sencillamente son más susceptibles que otras para desarrollarla (Colagiuri R, Brown J. *et. al.*, Dain K. *et. al.*, 2011).

Más de la mitad de las personas que sufren Diabetes padecen hipertensión arterial (HTA) y ha sido reconocida como el marcador de riesgo cardiovascular más importante, ya que existen evidencias de que la elevación de la presión incrementa la posibilidad de enfermedad isquémica del corazón, apoplejía, aterosclerosis y mortalidad total. Los desórdenes lipídicos forman parte del trastorno metabólico general de estos enfermos, por lo que frecuentemente se verán aumentadas las lipoproteínas de baja densidad (LDL) y los triglicéridos, las primeras tienen un alto poder aterogénico, ya que son captadas por el endotelio vascular dañado, se produce oxidación y una serie de procesos que terminarán con la reducción u oclusión de la luz arterial por placas de ateroma, por el contrario, las lipoproteínas de alta densidad (HDL), que son antiaterogénicas se encuentran disminuidas, las complicaciones de padecer Diabetes Mellitus tipo 2 (DM) repercuten en la calidad de vida de los enfermos (Gonzales S. 2005).

La prevención y el tratamiento de las enfermedades crónicas no transmisibles se consideran ahora una de las prioridades en países donde antes la mayoría de los recursos se destinaban a los problemas maternos infantiles, por ello debemos tomar en cuenta que es muy importante los chequeos constantes para la prevención y un mejor tratamiento; obsérvese la Tabla 1 (ALAD 2009).

Tabla 1. Criterios propuestos por la Organización Mundial de la Salud

Tener al menos uno de los siguientes requisitos:	Y tener al menos dos de los siguientes problemas clínicos
<ul style="list-style-type: none"> Alteración de la glucemia (hiperglucemia de ayuno, intolerancia a la glucosa o diabetes mellitus) Resistencia a la insulina demostrada por una captación de glucosa en el cuartil más bajo de la población, bajo condiciones de hiperinsulinemia-euglucemia 	<ul style="list-style-type: none"> Hipertensión arterial ($\geq 140/90$ mmHg) Hipertrigliceridemia (triglicéridos ≥ 150 mg/dl) y/o colesterol HDL bajo ($< 35/39$ mg/dl en hombres y mujeres respectivamente) Obesidad abdominal (relación cintura/cadera > 0.9 en hombres y 0.85 en mujeres) y/o IMC > 30 kg/m² Microalbuminuria ≥ 30 mg/g de creatinina en muestra aislada de orina

Fuente: (ALAD, 2009).

2.1.3. Principales tipos de Diabetes

2.1.3.1 Diabetes tipo I

Sobel y Schnerides (2002) describen a la Diabetes tipo I como una enfermedad que aparece a edades tempranas y se agrava rápidamente. Procede de un defecto metabólico en el cual existe un déficit de células β pancreáticas y por consiguiente una incapacidad de producir suficiente insulina. La Diabetes tipo I requiere un tratamiento basado en la administración de por vida de insulina y un cuidadoso control del equilibrio entre la ingesta de glucosa y la dosis de insulina administrada (Lehninger y Cox, 2005).

Esta es una enfermedad autoinmune que destruye las células productoras de insulina del páncreas. Representa el 3-5% del total de casos de Diabetes en el mundo. Se desarrolla con más frecuencia en niños y jóvenes adultos, pero puede

aparecer a cualquier edad. Las personas con Diabetes tipo 1 siempre dependen de las inyecciones de insulina para sobrevivir. Decenas de miles de niños y jóvenes adultos mueren cada año por falta de insulina, que les salvaría la vida (Colagiuri R, Brown J *et. al.*, Dain K. *et al.*, 2011).

La Insuficiencia renal crónica (IRC) encabeza los fallecimientos en diabéticos tipo 1. En un estudio realizado en Cuba sobre 504 casos diagnosticados como diabéticos antes de los 15 años de edad y seguidos durante 17.5 años, se observó un exceso de mortalidad de 7 a 10 veces (para sexo masculino y femenino, respectivamente), comparado con la población de la misma edad. El 48 % de ellos murió por causas renales y el 25.6 % por complicaciones agudas (cetoacidosis, hipoglicemia, sepsis), (Gonzales S. 2005).

2.1.3.2 Diabetes tipo 2 (DM2)

La Diabetes tipo 2 o Diabetes Mellitus no dependiente de insulina (DMNDI) es una enfermedad de desarrollo lento, los síntomas son menos graves y a menudo pasan desapercibidos al inicio de la enfermedad. Existe una producción de insulina pero el sistema de respuesta a ella es defectuoso, lo cual ocasiona una mala regulación de los niveles de glucosa en sangre (Lehninger, Cox *et. al.*, 2005).

El proceso de atención y tratamiento es más complejo dado que el efecto derivado es la concentración de glucosa en la sangre, hecho que priva al cuerpo de su principal fuente de energía y que, además, puede dañar los vasos sanguíneos, los riñones y los nervios, así como producir complicaciones relacionadas con el corazón, el sistema circulatorio y la vista (Corduras A., del Llano J. *et al.*, Caicoya M., 2012).

Por otra parte Colagiuri R, Brown J *et. al.*, así como Dain K. *et. al.*, (2011), mencionan que la Diabetes tipo 2 Representa el 95% o más del total de casos de diabetes en el mundo. Suele producirse con más frecuencia en personas de mediana edad o ya ancianas, pero está presentándose cada vez más en niños, adolescentes y jóvenes adultos con sobrepeso. Está afectando especialmente a las personas en edad productiva. Las personas con Diabetes tipo 2 suelen tratarse con pastillas, pero muchas también necesitan inyecciones de insulina. La Diabetes tipo 2 es causa principal de enfermedad cardiaca y otras complicaciones. Se puede prevenir o retrasar notablemente mediante intervenciones sencillas y económicamente eficientes.

2.1.3.3 La diabetes gestacional (DMG)

La Asociación Latinoamericana de Diabetes define a la diabetes gestacional como una alteración del metabolismo de los hidratos de carbono, de severidad variable, que se inicia o se reconoce por primera vez durante el embarazo. Se aplica independientemente de si se requiere o no insulina, o si la alteración persiste después del embarazo y no excluye la posibilidad de que la alteración metabólica haya estado presente antes de la gestación.

Se presenta como una intolerancia a la glucosa que aparece o se detecta por primera vez durante la gestión. La DMG afecta al menos a 1 de cada 25 embarazos en el mundo. Una DMG no diagnosticada o inadecuadamente tratada puede provocar que el bebé sea mayor de lo normal y que aumente el índice de muertes de madres y niños y de anomalías fetales. Las mujeres con DMG y los bebés nacidos de ellas corren un mayor riesgo de desarrollar Diabetes tipo 2 con el paso del tiempo (Colagiuri R, Brown J *et. al.*, Dain K. *et. al.*, 2011).

2.1.3.4 Control de la Diabetes

El grupo de Estudio de la Diabetes en Atención Primaria de Salud (GEDAPS) menciona que el tratamiento dietético es un pilar fundamental en el manejo de la Diabetes Mellitus. La dieta y el ejercicio son la base inicial del plan terapéutico, la alimentación del diabético debe proporcionar un buen estado nutricional, debe contribuir a prevenir y tratar las complicaciones, tanto agudas como crónicas ya que una alimentación correcta ayudará a alcanzar la normalidad bioquímica (glicemia y lípidos plasmáticos), minimizar las fluctuaciones de glucemias prospanial y conseguir mantener el peso. El ejercicio físico juega un destacado papel puesto que constituye un parte del plan terapéutico del paciente, ya que no debe de ser descuidado, el cual mejora el metabolismo hidrocarbonado, contribuye a reducir peso o a mantener el peso normal, mejora los factores del riesgo cardiovascular, aumentando las HDL y reduciendo las LDL, los triglicéridos y la presión arterial, incluso cuando no se disminuye el peso, ayuda a mejorar el control metabólico.

Por otra parte, se recurre a los fármacos antidiabéticos orales (ADO) e insulina. Los hipoglucemiantes más comúnmente empleados son las sulfonilureas y las no sulfonilureas; así como los antihiperoglucemiantes que impiden el ascenso de las cifras de glucemia. (García C., Pérez B., *et. al.*, Martínez A., *et. al.*, Castro F. 2009).

Pero Alfaro J., Simal A., *et. al.*, y Botella F.(2000) mencionan que para el tratamiento farmacológico de la Diabetes se dispone de insulina en sus distintas presentaciones: agentes orales como sulfonilureas eficaces en controlar la hiperglucemia con mínimos efecto de antibióticos orales secundarios, biguanidas que incrementan la sensibilidad a la insulina, inhibidores de la α -glucosidasa que reducen la hiperglucemia postprandial y tiazolindionas que mejoran el síndrome de resistencia a la insulina y diferentes preparados de insulina humana.

Por otra parte existe una considerable utilización popular de plantas como coadyuvantes en el tratamiento de diabetes, atribuyéndoseles, la capacidad de disminuir los nivel de glucosa. Para algunos vegetales existen estudios científicos que avalan su actividad hipoglucemiante, pero los compuestos químicos responsables de la actividad farmacológica y los mecanismos de acción por los que disminuyen los niveles de glucosa no siempre se conocen con exactitud (E. Giner y E. Castillo 2003).

Conocemos los farmacéuticos para el tratamiento de la Diabetes, sin embargo históricamente las personas han recurrido a tratamientos herbolarios. La información etnobotánica mundial reporta más de 800 plantas para el control de la Diabetes Mellitus, de las cuales 150 existen en México (Marroquín-Segura, *et.al.*, 2005). La actividad anti-hiperglicemiante de las plantas se puede atribuir a la inhibición de la absorción de glucosa en el intestino, al incremento en el transporte y metabolismo de glucosa en el músculo al estímulo de la secreción de insulina (Büyükbalci *et. al.*, 2008).

De acuerdo con la OMS, más del 70 % de la población mundial utiliza la medicina tradicional para satisfacer sus necesidades principales de salud.

Las plantas medicinales que pueden ser usadas como alternativa presentan propiedades y bondades tales como: nopal, noni, ipomea batata, arandino, agrimonia, sábila, alpiste, ajo, ginkgo biloba, cebolla, higo y fresa (García C., Pérez B., *et. al.*, Martínez A., *et. al.*, Castro F. 2009).

2.1.4 Productos vegetales empleados como medicina popular con efecto hipoglucemiante

Recientemente se han realizado investigaciones sobre el efecto de diversos compuestos en el control de los niveles de glucosa en la sangre después de la ingestión de los alimentos, tales como los almidones modificados, las antocianinas, los polifenoles, la fibra dietética y particularmente algunas plantas utilizadas tradicionalmente para el control de la Diabetes, entre las que se encuentran: el nopal, el chilacayote y el guarumbo, que puede ayudar a reducir la absorción y controlar los niveles de glucosa en la sangre después de ingerir alimentos (Garibay y Martínez, 2006).

Las investigaciones etnobotánicas reportan que a nivel mundial se utilizan alrededor de 800 plantas en el control empírico de la Diabetes Mellitus. De estas plantas sólo 300 han sido estudiadas experimentalmente. En México reportan que la población utiliza más de 150 plantas como antidiabéticas de las cuales 63 han sido investigadas experimentalmente convalidándose 37 con actividad hipoglucemiante (Contreras, 1998), de las cuales se presentan a continuación;

Morinda citrifolia Linn (Noni)

El noni, nombre común de la *Morinda citrifolia* Linn, es originario de la Polinesia, Malasia, Australia, India y el Sudeste de Asia, aunque se ha extendido a casi todas las regiones del mundo. En la medicina tradicional las frutas, flores, hojas, corteza y raíz de esta planta han sido utilizadas para diversos propósitos medicinales. Entre las afecciones más tratadas se encuentran la alergia, la artritis, el asma, el cáncer, la diabetes, la depresión, la debilidad física, los desórdenes menstruales, la obesidad y el estrés. Se considera que la acción farmacológica y beneficiosa se

alcanza únicamente por el efecto sinérgico de todos los componentes (González y González, 2003).

Ipomoea batatas (Caiapo)

La *Ipomoea batatas* es una variedad de papa blanca dulce cultivada en la región montañosa de Kagawan, Japón, y ha sido consumida por muchos años con la creencia que es efectiva en terapia para la anemia, hipertensión y diabetes. El caiapo es comercializado en Japón sin prescripción médica como complemento para la prevención y cuidado de la Diabetes Mellitus tipo 2. En un estudio se evaluó la eficacia y tolerancia de dos onzas (2-4 g/día) de caiapo por 6 semanas a 18 pacientes hombres con Diabetes Mellitus tipo 2 tratados únicamente con dieta. Los resultados arrojaron que al término de las 6 semanas los niveles de colesterol así como de glucosa en sangre bajaron y se incrementó la sensibilidad a la insulina sin afectar la secreción de la misma. Este estudio confirmó los efectos beneficios del caiapo (Ludvik *et al.*, 2004).

Vaccinium myrtillus (Arándano)

En la composición química de la baya del arándano se han caracterizado varios ácidos fenólicos al igual que varios alcaloides quinolizidínicos. Los compuestos activos que presentaran son heterósidos de genina catiónica: antocianósidos que representan aproximadamente 0,5% del peso fresco; la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) en fase reversa ha permitido caracterizar 13 antocianósidos diferentes. Las propiedades terapéuticas del arándano fueron usadas, antes de que la insulina estuviera disponible, para el tratamiento de la Diabetes. El extracto activo fue eficaz en reducir la glucosuria (azúcar en la orina) en los pacientes con Diabetes

tipo 2 y también en algunos con diabetes juvenil. Este extracto demostró ser eficaz para reducir los requerimientos de insulina (González, 2005).

Aloe vera (Sábila)

Las propiedades terapéuticas de la sábila son usadas en la reducción de los niveles de azúcar en la sangre de diabéticos. Media cucharadita de extracto del aloe diariamente durante 14 semanas, reduce los niveles de azúcar hasta en 45% de promedio, sin alteraciones de peso (Saxena y Vickram 2004).

Phalaris canariensis (Alpiste)

La leche de alpiste ha sido un explosivo mundial de salud, actualmente la ONU ha financiado millonarias investigaciones sobre las enzimas y proteínas que esta sencilla semilla contiene, su base es totalmente de recarga enzimática. Es decir, tienen moléculas de proteína capaces de sacar grasa del cuerpo humano a velocidad, es además enzimáticamente compatible con el páncreas, el hígado y los riñones, por lo que el consumo de leche de alpiste repara el páncreas desinflamándolo y puede acabar con la diabetes, además, abre los filtros de los riñones, favoreciendo que no exista hipertensión por favorecer una a la diuresis (eliminación de líquido corporal excesivo), (Tirado, 2007).

Allium sativum (Ajo)

Una de las virtudes más resaltantes del ajo, es la de ser un excelente germicida. No se conoce desinfectante, germicida y purificador más poderoso que este bulbo; limpia los intestinos, depura la sangre y renueva todo el sistema interno, pudiendo

ser usado interna y externamente combatir en la Diabetes, para esto se tomará en ayunas un diente de ajo hasta que baje la cantidad de azúcar de la orina (Tirado, 2007).

Ginkgo biloba (Ginkgo biloba)

La ingestión del extracto de Ginkgo biloba puede incrementar la función de las células beta pancreáticas tanto en sujetos con tolerancia normal a la glucosa como en pacientes con Diabetes Mellitus tipo 2 (Kudolo *et al.*, 2006).

Allium cepa (Cebolla)

La acción de la cebolla en hipoglucemia e hipolipidemia es asociada con actividad antioxidante, ya que disminuye las concentraciones de la lípido hidroxidasa y lipoperoxidasa (Campos *et al.*, 2003).

Ficus carica (Higo)

El extracto de higo tiende a normalizar los valores de ácidos grasos en personas diabéticas así como también los valores de vitamina E, en plasma. La cocción de las hojas se toma como remedio tanto para la Diabetes así como para los cálculos en riñones (Pérez *et al.*, 2003).

Fragaria (Fresa)

Su carga de fibra soluble contribuye a reducir la absorción de carbohidratos en el flujo sanguíneo y a mantener constante el nivel de azúcar en la sangre, además de poseer antioxidantes y gran cantidad de ácido ascórbico, así como de lecitina y pectina contenida en sus frutos, la hacen ideal para disminuir el nivel de colesterol de la sangre (Zafra Stone *et al.*, 2007).

Nopal (*Opuntia* sp.)

En la actualidad se han desarrollado estudios muy especializados en México sobre la enzima nopalinas, que se encuentra en el nopal, y que tiene la facultad de controlar y cargar de manera eficiente las células beta del páncreas, de tal manera que éstas controlan muy bien la concentración del azúcar sanguíneo. Se ha descubierto que el asado es aún más eficiente, casi en 400 por ciento más que el nopal crudo, para controlar la Diabetes y regenerar con su uso el páncreas. (Tirado, 2007).

2.2 Nopal

2.2.1 Generalidades

Nopal es un término mexicano derivado del Náhuatl "Nopalli" (Bravo. 1991), con el que se designa a varias especies.

Los nopales tienen su origen en la América tropical y subtropical, pertenecen a la familia comúnmente conocida como cactus. Existe una gran cantidad de especies,

principalmente de los géneros *Opuntia* y *Nopalea*, México es considerado como uno de sus centros de origen, ya que se tienen evidencias de su uso desde hace 7000 años en semillas, cascarras de tuna y pencas de nopal fosilizadas encontradas en el estado de Puebla (Aserca,2001 citado por Valencia 2010).

Son plantas suculentas, arborescentes, arbustivas o rastreras, simples o cespitosas, generalmente espinosas. Su tronco es bien definido o con ramas desde la base, erectas, extendidas o postradas. Artículos globosos, claviformes, cilíndricos o aplanados (cladodios), muy carnosos o leñosos. El limbo de las hojas es pequeños cilíndrico y carnoso. Tiene aréolas axiliares con espinas, pelos, glóquidas y a veces glándulas; generalmente las de la parte superior de los artículos son las productoras de flores, espinas solitarias o en grupos, desnudas o en vainas papiráceas. Sus flores generalmente hermafroditas, presentan ovario ínfero con una cavidad y muchos óvulos, estambres numerosos, más cortos que los pétalos; lóbulos del estigma cortos. Fruto en baya, seco o jugoso, espinoso o desnudo, globoso, ovoide hasta elíptico (INE, 2009) citado por Valencia (2010).

El nopal no solo es símbolo de nuestra identidad nacional y de las características del paisaje mexicano sino que también es una tradición en la alimentación y más recientemente en el cuidado preventivo de la salud.

Tal es así que el nopal es parte fundamental de la cultura y de la alimentación del mexicano, éste ha salvado a diversas partes del país del hambre y de la falta de alimentos. México es afortunado por el espacio que ha podido destinar a los plantíos y por la alta producción de este vegetal. “Cerca del 40% de las especies del continente crecen en nuestro suelo”, aseguró Salvador Arias Montes, responsable de la colección de cactáceas del Jardín Botánico del Instituto de Biología de la UNAM (Morán 2013).

Morán L. (2013) menciona que a los nopales también se les atribuyen propiedades no solo nutrimentales, sino anticancerígenas, antidiabéticas, para el control de peso y como una excelente fuente de calcio. Por ello, se han comercializado diversos productos derivados del nopal como cápsulas, harinas, tortillas, jugos y otras mercancías industrializadas.

México es el país con mayor diversidad y producción de nopales en el mundo, de las más de 300 especies de nopal, en México hay más de 100 del género *Opuntia*; por tanto, podría ser el centro de origen por las grandes cantidades que habitan las zonas semiáridas (Morán 2013).

En gran parte de los estados de la República Mexicana, principalmente los que se ubican en zonas áridas, dependen del nopal tunero para subsistencia, ya que gran número de las familias se dedican a cultivarlo para producir tunas o recolectan las tunas silvestres. Así la producción de tunas en México alcanzó en según CONAFRUT (1927) 2697 850 hectáreas con valor de producción de 34 millones 369 000 pesos (México, 1975).

Se estima que en el censo realizado en 1980 por el Centro del Nopal y Tuna, del estado de México, la existencia de 3 100 hectáreas de nopal dedicadas únicamente a la producción de tuna: 2 375 hectáreas de nopal silvestre y 200 hectáreas de xoconostle, todas en el estado de México. (Granados 1991).

El fruto del nopal varía de forma y fisiología de acuerdo con la especie; cuando tiene sabor dulce se le conoce como tuna y cuando tiene sabor ácido se conoce como xoconostle.

Por otra parte Bravo y Piña (1979), mencionan que desde hace algunos años se exporta tuna a Estados Unidos, Canadá y Japón, de la región tunera Zacatecana; procede de cultivos tecnificados, los cuales se someten a un sencillo proceso de industrialización que consiste en la selección por tamaño, eliminación de espinas y aplicación de una cubierta cerosa, que mejora notablemente su presentación, realizándose de forma mecanizada.

2.2.2 Usos tradicionales del nopal

En Perú es común el aprovechamiento del nopal como planta medicinal, la fruta asada se emplea para curar la tos. La cáscara se utiliza para curar enfermedades de los riñones (Romo,1986). Los tallos (pencas) de nopal (*Opuntia* sp.) o sus extractos, se han utilizado en la medicina tradicional mexicana como un remedio para la Diabetes Mellitus (Ibañez,1978). Estudios etnobotánicos en las poblaciones rurales de México han revelado el uso extensivo del nopal como control de esta enfermedad (Morales, 1980), también es reconocido en Australia y Sudáfrica (Meyer y McLaughlin, 1981). El nopal es rico en agua y fibras solubles y su ingestión, aún en gran cantidad, causa muy poco o nulo aumento de la concentración de glucosa sanguínea (Frati 1991).

Según CODAGEM (Comisión Coordinadora para el Desarrollo Agrícola y Ganadero del Estado de México, 1982). Se pueden obtener productos tales como enlatados de nopales con frijoles, enlatado de nopales con carne de cerdo, enlatado de nopales con camarón entero o con camarón molido, nopales en vinagre, nopales deshidratados y molidos para sopa, nopales molidos para forrajes, nopales cristalizados (dulce), cáscara de tuna cristalizada (dulce), vinagre, mieles diversas así como aceite y harina de las semillas.

Por otro lado Sánchez (1982) asegura el uso tradicional del nopal desde tiempos prehispánicos: como una fuente de alimento y bebida en su dieta básica

- Uso del tallo: El tallo de algunas especies de cactáceas se comía crudo solo se utilizaba esporádicamente como una manera de sobrevivir o para mitigar la sed cuando no había ninguna fuente de alimento o bebida. (Harshberg, Mitich *et. al.*, Bruhn, 1975.)
- Usos de la flor: Las flores de algunas especies de los géneros *Opuntia*, *Stenocereus*, *Mytillocactus*, *Ferocactus* y quizá algunos otros, son comestibles y usadas como alimento por varias tribus indígenas de México.
- Usos del fruto: Una gran porcentaje de frutos de las cactáceas no es simplemente comestible, sino que son jugosos, frescos, dulces y de muy agradable sabor por su alto contenido de agua y azúcares, razones por las cuales constituyeron un elemento básico en la dieta de las diversas tribus indígenas que poblaron nuestro territorio. Se usaban crudos o bien cocidos mezclados en guisos o preparados como conserva, mermelada o miel. También se usó el fruto de diversas cactáceas para preparar bebidas refrescantes para “curar” el pulque, o bien, con el jugo fermentado, para preparar un “vino” con mayor o menor contenido de alcohol, según la especie empleada y la forma de fermentarlo.
- Uso de las semillas: Las semillas fueron fuente de alimento para la mayoría de tribus indígenas que atravesaron y poblaron nuestro territorio, tal como lo confirman estudios etnobotánicos e históricos.
- Uso del mucilago: el mucilago producido por la mayoría de las cactáceas era usado por distintos grupos étnicos como fuente de pegamento,

principalmente obtenida de *Opuntia*, *Stenocereus*, *Pachycereus* y *Ariocarpus* (Diguet, 1928; Bravo, 1937 y 1964; Felger y Mosser, 1974).

Recientemente, en México ha surgido una serie de alimentos procesados a base de nopal, como son los siguientes:

- Nopalitos en salsa: son nopalitos enlatados con diversas salsas, como de chile o ají picante.
- Paté de nopal con soya: es un puré de nopalitos con soya texturizada y saboreada a carne de res o pollo; este producto se envasa en frascos.
- Nopalitos con atún: es una ensalada denominada “Azteca” que contiene atún, frijoles, nopalitos y chiles o ajíes picantes tipo jalapeño; la presentación comercial de este producto es enlatado.
- Los nopalitos en salsa, con atún, champiñones, embutidos o verduras, forman un grupo de productos que se pueden denominar nopalitos adicionados con alimentos, presentaciones que ya están aceptadas por el mercado mexicano.
- Cereal con nopal: es un peletizado de harina y salvado de trigo y polvo de nopal deshidratado, con maltodextrinas, cuyo principal aporte es fibra hidrosoluble; se envasa en polietileno y cajas de cartón.
- Harina de cereal y nopal: es un polvo fino, resultado de la molienda del nopal deshidratado y de granos de cereales, especialmente del que se ha cernido para separar el salvado y otros; el nombre de harina es dado por extensión a muchas materias finamente pulverizadas.

2.2.3 *Opuntia ficus indica*

El nopal (*Opuntia ficus indica*) es una cactácea alta en fibra dietética soluble e insoluble que ha sido utilizada como alimento autóctono de la población mexicana desde tiempos prehispánicos (Cárdenas M. 1998).

Opuntia ficus-indica, pertenece a la familia *Cactaceae*, las cactáceas y está conformado por 250 especies.

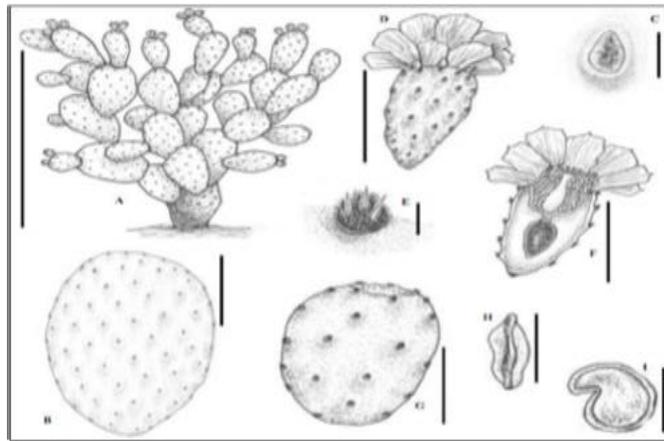


Figura 1. *Opuntia ficus-indica*. A, hábito; B, cladodio; C, areola del cladodio; D, flor; E aréola de la flor; F, sección longitudinal de la flor; G, fruta; H, vista dorsal de la semilla; I, vista ventral de la semilla. Barras= 1m (A), 10 cm (B), 5 mm (C, E), 4 cm (D, F), 5 cm (G), 4 mm (H, I). Citado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

Opuntia ficus-indica es, entre las cactáceas, la de mayor importancia agronómica, tanto por sus sabrosos frutos como por sus tallos que sirven de forraje o pueden ser consumidos como verdura. El mejoramiento genético que ha sufrido se remonta a la época prehispánica; los cronistas de indias ya relatan sobre estas plantas, y sus frutos, que fueron llevadas a España posiblemente en el primer o segundo viaje de Colón a América, aunque el primer registro cierto es para México, en 1515 (según la crónica de Fernández de Oviedo de 1535, citada por López Piñero, 1992).

2.2.4 Composición química

Los nopalitos no constituyen en sí un alimento completo, sin embargo, forman parte, al igual que otras verduras, del menú cotidiano de muchas familias de bajos recursos, sobre todo en zonas áridas del país, y proporcionan algunos elementos nutritivos necesarios de la dieta (Ruíz, 2011).

Tabla 2. Valor nutritivo del nopal verdura (cantidad respecto a 100 gramos de nopalitos crudos).

Proporción comestible	78.00 %
Energía	27.00 kcal
Proteínas	0.17 g
Grasas	0.30 g
Carbohidratos	5.60 g
Calcio	93.00 g
Fierro	1.60 mg
Tiamina	0.03 mg
Riboflavina	0.06 mg
Niacina	0.03 mg
Ácido ascórbico	8.00 mg

Fuente: Citado por Silvestre Ruiz, 2011.

Dentro de la composición química del nopal, principalmente encontramos un alto contenido de agua (90-92.5 %); los principales minerales que contiene son el calcio y el potasio, además de magnesio, sodio y pequeñas cantidades de hierro y aluminio, entre algunos otros (Ruiz, 2011).

El nopal contiene también, en varias proporciones, diferentes glúcidos o carbohidratos y componentes nitrogenados. Granados (1991) menciona que la composición química del nopal, y en general de las cactáceas, varía en las distintas especies.

2.2.5 Importancia de la cadena agroalimentaria del nopal y tuna

Observe la Tabla 4: La producción de tuna en México es en más de 20 entidades federativas, sin embargo en las principales ocho se tiene el 86 por ciento de la superficie, (74,500 ha) y el 96 por ciento de la producción (509,500 toneladas).

Tabla 3. Superficie de tuna, rendimientos medios y producción por estado, en las Zonas productoras de tuna de la República Mexicana. 2002.

Zona y Estado	Superficie (ha)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	Producción (t)
Sur Puebla	3,500	20.00	70,000
Centro			
México	17,000	10.00	170,000
Hidalgo	10,000	7.50	75,000
Subtotal	27,000	17.50	245,000
Centro-Norte			
Zacatecas	16,000	6.00	96,000
San Luis Potosí	12,000	5.00	60,000
Guanajuato	3,000	3.00	9,000
Jalisco	2,000	4.00	8,000
Aguascalientes	1,000	1.00	1,500
Subtotal	34,000	5.13	174,500
Estados Dispersos			
Nuevo León	2,000	3.00	6,000
Durango	2,000	2.00	4,000
Querétaro	2,000	2.00	4,000
Tamaulipas	1,000	2.00	2,000
Coahuila	1,000	1.00	1,000
Oaxaca	700	5.00	3,500
Guerrero	300	1.00	300
Sinaloa	270	1.00	270
Tlaxcala	200	5.00	1,000
Veracruz	80	1.00	80
Baja California	60	1.00	60
Otros	390	1.00	390
Subtotal	10,000	2.00	20,000
TOTALES	74,500	6.83	509,500

Fuente: Elaborado por el autor, en base a información del SIAP, los Distritos de Desarrollo Rural y Productores, Citado por Flores C. (2010).

Actualmente el consumo del fruto de la tuna viene creciendo continuamente en todo el mundo por sus valores nutricionales, como también por sus características sensoriales, proporcionados por el aroma y sabor características de la especie, siendo importante hacer extensivo el consumo de frutos y hojas de tuna por sus propiedades antioxidantes cuyo potencial ha sido reconocido por la FAO para el desarrollo de las regiones áridas y semiáridas, especialmente en los países en desarrollo (Trujillo, 2009).

La producción de tuna a nivel mundial se presenta en diversos países (Tabla 4).

Tabla 4. Superficie de tuna por País.

País	Superficie (ha)
México	74,500
Estados Unidos de América	250
Colombia	500
Perú	1,000
Chile	1,000
Argentina	1,000
Italia	2,500
Israel	300
Norte de África, Marruecos, Argelia, Libia, Túnez, Egipto	20,000
Sudáfrica	4,500
SUMA	102,550

Fuente: Flores, 2006. Citado por (Flores C. 2010)

El nopalito es una hortaliza étnica, ligada a la comida mexicana, por lo que en México existen 13,500 ha de nopal para producir nopalito (9,220 ha de temporal y 4,280 ha de riego), como se aprecia en el Tabla 5.

Tabla 5. Superficie de nopal verdura por entidad Federativa.

Entidad	Riego	Temporal	Total
1. Distrito Federal	---	4,500	4,500
2. Morelos	---	2,000	2,000
3. Guanajuato	800	200	1,000
4. Jalisco	550	400	950
5. México	600	150	750
6. Puebla	400	200	600
7. Tamaulipas	100	500	600
8. San Luis Potosí	100	400	500
9. Baja California	400	50	450
10. Zacatecas	300	100	400
11. Michoacán	300	50	350
12. Aguascalientes	250	---	250
13. Nuevo León	100	20	120
14. Oaxaca	100	---	100
15. Querétaro	80	20	100
16. Otros	200	630	830
Total	4,280	9,220	13,500

Fuente: SIAP. 2007. Citado por (Flores C, 2010).

2.3 Sustancias Hipoglucemiantes

2.3.1 Compuestos Polifenólicos

Los compuestos fenólicos o polifenoles, son las sustancias que poseen un anillo aromático, unidos a uno o más grupos hidroxilo, incluyendo derivados funcionales (ésteres, glucósidos, etc.) (Macheix *et al.* 1990).

Observe la Tabla 6 la concentración relativa en tejidos vegetales de estos compuestos fenólicos presentes en la naturaleza, de los que se conocen aproximadamente 4000, siendo los flavonoides el grupo más importante. Un número considerable de fenoles monocíclicos simples, quinonas fenólicas, lignanos, xantonas se incluyen en esta clasificación, al igual que materiales poliméricos tales como ligninas, lignanos, melaninas y taninos (Lee, 1992).

Tabla 6. Concentración de compuestos fenólicos en tejidos vegetales.

Tejido	Concentraciones relativas
Fruto	ácidos cinámicos > catequinas ≅ leucoantocianinas (flavan-3,4-dioles) > flavonoles
Hojas	flavonoles ≅ ácidos cinámicos > catequinas ≅ leucoantocianinas
Tronco	catequinas ≅ leucoantocianinas > flavanoles > ácidos cinámicos
Corteza	Al igual que en el tronco pero en altas concentraciones

Fuente: Robards *et. al.*, 1990. Citado por (González F. 2010).

Algunos beneficios han sido atribuidos a los compuestos fenólicos, y un gran número de estudios sugieren que el consumo de frutas y verduras pueden reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares y de cáncer, potencialmente a través

de la actividad biológica de los compuestos fenólicos así como de las vitaminas con función antioxidante (Proteggente *et al.* 2003).

Los componentes fenólicos son relevantes para la prevención de cánceres en etapas de iniciación, progresión y promoción, en la Figura 1, se muestra los efectos preventivos de los componentes naturales.

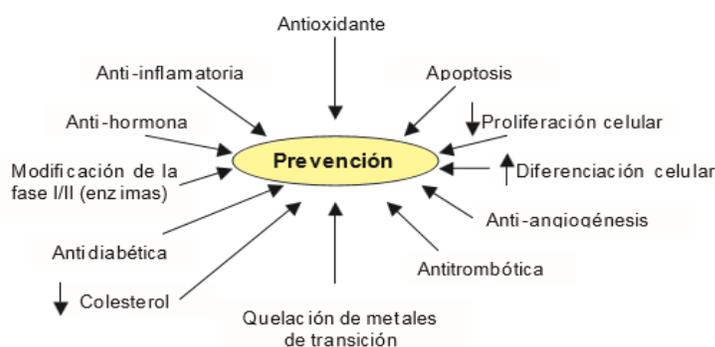


Figura 2. Mecanismos preventivos de los polifenoles. Citado por (Muñoz y Ramos, 2007).

2.3.2 Flavonoides

Los flavonoides tienen la estructura básica de los difenilpropanoides (C6 – C3 – C6) que consiste en dos anillos aromáticos unidos a 3 carbonos que forman un anillo heterocíclico oxigenado (observe en la Figura 3). El estado oxidativo de esta cadena de 3 carbonos, determinan las diferentes clases de flavonoides. Los flavonoides incluyen antocianinas (glucósidos ó acilglucósidos de las antocianidinas), flavanoles (catequinas), flavonoles, flavonas, isoflavonas, flavononoles y sus derivados (González F. 2010).

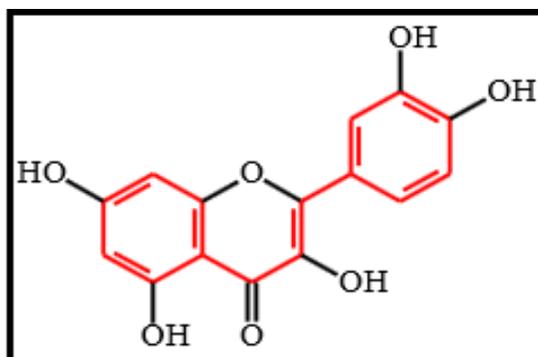


Figura 3. Estructura química de uno de los flavonoides más comúnmente hallados en la naturaleza, la quercetina. Nótese en Color rojo la estructura básica de los flavonoides. Martínez 2005

Son compuestos fenólicos constituyentes de la parte no energética de la dieta humana. Se encuentran en vegetales, semillas, frutas y se han identificado más de 5.000 flavonoides diferentes. Aunque los hábitos alimenticios son muy diversos en el mundo, el valor medio de ingesta de flavonoides se estima como 23 mg/día, siendo la quercetina el predominante con un valor medio de 16 mg/día. (Martínez S, González J. *et. al.*, Culebras M, *et al.*, Tuñón J. 2002)

González A, *et.al.*, (2011) mencionan que los flavonoides constituyen una de las subfamilias de polifenoles naturales, a las que la comunidad científica ha dedicado más atención en los últimos años, principalmente por sus efectos antioxidantes. Debido a su gran diversidad estructural, abundancia en la naturaleza, su demostrada ubicuidad y sus múltiples propiedades farmacológicas observadas experimentalmente, junto con su amplia presencia en numerosos remedios de la medicina tradicional, representan una importante alternativa terapéutica para el descubrimiento de nuevos agentes farmacológicos para el tratamiento de enfermedades crónicas de elevada prevalencia como es el caso de la Diabetes Mellitus.

2.3.3 Fructosa

La fructosa es probablemente el azúcar de mayor impacto en la sociedad del siglo XXI, como antes la sacarosa (azúcar de caña). La fructosa, está presente en varias frutas (de ahí su nombre), es 40% más dulce que la sacarosa (Cheftel *et. al.*, 1983). La fructosa es la fuente principal de combustible en dietas que contienen grandes cantidades de fruta o sacarosa (un disacárido de fructosa y glucosa) (Olvera C. *et.al.*, 2007).

La fructosa es un monosacárido de 6 átomos de carbono que presenta una estructura de anillo de 5 miembros (Gibson P. *et. al.*, (2006).De acuerdo a Pérez C. (2007) la fructosa 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.

2.4 Jugos

2.4.1 Definición

La Norma General del Codex para zumos (jugos) y néctares de frutas, de fine que el zumo (jugo) de fruta es el líquido sin fermentar, pero fermentable, que se obtiene de la parte comestible de frutas en buen estado, debidamente maduras y frescas o frutas que se han mantenido en buen estado por procedimientos adecuados, inclusive por tratamientos de superficie aplicados después de la cosecha (CODEX STAN 247-2005).

Una de las tecnologías más frecuentemente utilizadas para la conservación de frutas y hortalizas es la obtención de jugos. Los jugos son apreciados por su valor nutritivo y porque gracias a las modernas tecnologías disponibles y a las buenas prácticas de manufactura (BPM), son actualmente más similares a las materias primas de las cuales provienen. Por esa razón se les ha denominado “fruta líquida” (Sáenz y Gasque, 1999; Sáenz y Sepúlveda, 2001b).

Los jugos son en general buenas fuentes de azúcares, vitaminas y minerales. La tendencia actual hacia el consumo de dietas saludables hace que los jugos sean una alternativa natural e importante, que aumenta la disponibilidad de compuestos nutritivos en la dieta. Los jugos de frutas y hortalizas pueden jugar una importante función para mejorar la salud humana (Sáenz 2006). Los reportes de consumo de jugos se observan en la Figura 4.

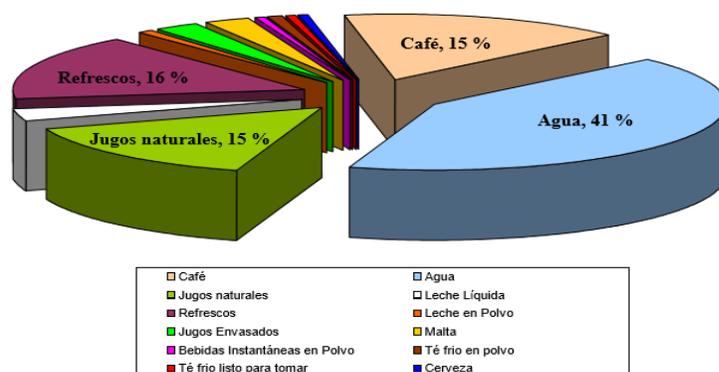


Figura 4. Consumo de bebidas como acompañante de comidas en Venezuela, año 2008. Fuente revista P&M, 2008. Citado por (Eduardo A. Malpica Verano2010).

El jugo del nopal es el extracto obtenido de la molienda y prensado de los nopalitos. El proceso de obtención del jugo de nopal consiste en moler en un equipo industrial o doméstico (licuadora) los nopalitos previamente des-espinados y cortados; para

facilitar el proceso de adición de agua y el licuado obtenido se filtra para separar los sólidos en suspensión del líquido (Sáenz 2006).

En México el jugo del nopal es comercializado en mezcla con jugo de guayaba y se encuentra en el mercado nacional y de exportación. Además, se encuentra en el mercado un producto denominado “agua de nopal”, bebida elaborada con jugo de nopal y azúcar (Sáenz 2006).

Sáenz C. (2006) hace mención de los jugos y néctares de tuna. La tecnología de elaboración de jugos de tuna es más compleja que el caso de frutos ácidos y de sabor y aroma menos delicados. Se requiere un control especial del pH y de los tiempos y temperaturas de los tratamientos térmicos ya que este es un punto clave no solo para la conservación sino también para su calidad.

2.4.2 Métodos de extracción

Algunos métodos utilizados para la obtención de jugos se presentan a continuación

2.4.2.1 Prensado

Se realiza por una compresión mecánica triturando las frutas o verduras provocando la separación de los líquidos contenidos en la materia prima y de esa manera se extrae 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).

2.4.2.2 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 originada 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).

2.4.2.3 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).

2.4.2.4 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 relativamente se quedan 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. (<http://turmix.com.mx/instructivos/pdf/extractores-a.pdf>).

2.4.2.5 Nutribullet

El nutribullet 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>).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización

El lugar donde se llevó a cabo este proyecto, fue en el Área de Bromatología del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

3.2 Materiales, reactivos y equipos

- Refractómetro
- Embudos
- Matraces Erlenmeyer
- Gasas
- Pipetas
- Mortero
- Buretas graduadas
- Vasos de precipitado de 100ml
- μ pipeta
- Matraz de aforación
- Tubos
- Gradillas
- Agua destilada
- Reactivo de folin
- Ácido gálico
- Metanol
- Espátula
- Parrilla
- Vasos de precipitado 50ml
- Vasos de precipitado de 250ml
- Matraz de 25ml
- Magneto
- Espectrofotómetro
- Vortex
- Celdas
- Reactivo Thielmann
- Fenolftaleína
- Potenciómetro
- Carbonato de calcio
- Catequina
- Fructosa anhidra
- Cloruro de aluminio
- Hidroxido de sodio
- Tartrato de sodio y potasio
- Nitrito de sodio

3.4 Metodología Experimental

Para el desarrollo de la presente investigación, se llevaron a cabo tres etapas. Una vez terminada la metodología experimental se realizó un análisis estadístico de los resultados con el programa JMP (Starter, versión 5.0.1).

3.4.1 Etapa I. Caracterización de materia prima

La tuna blanca se compró en la central de abastos y el nopal se obtuvo en el supermercado denominada H-E-B ambos, en la ciudad de Saltillo Coahuila.

Primero se tomaron al azar 5 tunas blancas y 5 raquetas de nopal de tal forma que se mantuviera uniformidad en tamaño y color, se procedió a una limpieza general al nopal, seguido del retiro de cascara a las tunas, éstas se cortaron a la mitad sobre una tabla rígida empleando un cuchillo, se pesaron las mitades de material vegetal para cada repetición en una balanza analítica, registrando los pesos de cada uno y se tomó cada mitad para determinar acidez y ácido ascórbico, por lo que el jugo de cada uno se obtuvo macerándolo en un mortero para cada repetición.

3.4.1.1 Acidez

Del jugo de nopal y tuna blanca, se midieron con una probeta 10ml, los cuales se colocaron en vasos de precipitado con su respectiva etiqueta para identificarlas, enseguida se añadió a cada muestra 4 gotas de fenolftaleína y se tituló con NaOH 0.1N se registró el gasto y se hizo la titulación para la siguiente muestra.

3.4.1.2 Ácido ascórbico (Vitamina “C”)

Primeramente se pesó la tuna blanca y el nopal por separado y se colocó cada una en un mortero, se maceró y se le agregaron 10ml de HCl 2% y 100ml agua destilada, los cuales fueron medidos en probetas. Enseguida se filtró a través de gasa y se recibió en una probeta para medir el volumen total de cada uno y registrándolo. Por último se tomaron 10 ml de muestra y se tituló con el R. de Thielmann registrando el gasto, para después calcular el contenido de vitamina C.

3.4.1.3 Luminosidad

Primeramente se encendió el colorímetro, en el cual se seleccionó el espacio de color Yxy, se colocó la cabeza de medición sobre el plato de calibración y se prosiguió a comparar la lectura obtenida con las especificaciones del plato de calibración; después para medir el color se colocó el brazo de medición sobre la superficie de la muestra fresca de nopal, se presionó el botón y se tomó la lectura, el mismo procedimiento se realizó para medir el color en la tuna blanca.

3.4.1.4 Determinación de sólidos solubles totales (SST)

Para determinar la concentración 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 y muestra de tuna (por separado) en la superficie del prisma y se presionó el botón START, después de medición de jugo que se aplicaba, se realizaba una limpieza con agua destilada y secado con papel suave, para evitar error en las lecturas posteriores. El resultado se expresó como porcentaje (% Brix).

3.4.1.5 Determinación de pH

Para la determinación de pH se utilizó un potenciómetro marca Hanna. Se sumergió en la muestra líquida fresca obtenido de la maceración de nopal y se tomó lectura, lo mismo para las muestras de tuna blanca.

3.4.2 Etapa II. Formulaciones establecidas de tuna blanca y nopal

Se realizaron 5 formulaciones con tuna blanca y nopal, los jugos fueron extraídos con diferentes métodos de extracción, obsérvese la Tabla 7.

Tabla 7. Formulación de tuna blanca y nopal con diferentes métodos de extracción.

Codificación	Extractor de Jugo	Nutribullet
25N75T	√	√
50N50T	√	√
75N25T	√	√
100N	√	√
100T	√	√

25N75T= 25gNopal + 75gTuna, **50N50T**= 50g Nopal + 50gTuna, **75N25T**=75gNopal + 25gTuna, **100N**= 100gNopal y **100T**=100gTuna.

Se determinaron los pesos para cada formulación, donde el nopal y tuna (sin cascara) fueron pesados en balanza granataría, enseguida se extrajo el jugo por diferente método de extractor (extractor túrmix y nutribullet), los cuales se colocaron en diferentes recipientes con su respectiva etiqueta, y se cubrió con aluminio para proteger la muestra de la luz y el aire. El mismo procedimiento se realizó para cada una de las formulaciones establecidas que se ilustran en la Tabla7, así mismo se realizaron cinco repeticiones por formulación para cada método de extracción.

3.4.3 Etapa III. Caracterización Físicoquímica y determinación de sustancias hipoglucemiantes en formulaciones establecidas

3.4.3.1 pH

Para la determinación de pH se utilizó un potenciómetro marca Hanna. Se calibró con agua destilada, se sumergió en cada una de las muestras con diferentes concentraciones y se tomó la lectura.

3.4.3.2 Fenoles

El análisis fue realizado de acuerdo a la metodología de Folin-Ciocalteu, por lo que a cada uno de los estándares y formulaciones previamente preparados se le adicionaron 250 μL de reactivo de Folin-Ciocalteu 1N y se homogenizaron por 5 minutos. Posteriormente se añadieron 1250 μL de Na_2CO_3 al 20% y se dejaron reposar por 30 minutos.

La lectura de absorbancia se realizó en un espectrofotómetro Genesys 10uv, ajustando el blanco a 760nm. La cuantificación del contenido de fenoles de las muestras se basa en la curva estándar generada con ácido gálico

3.4.3.3 Flavonoides

El contenido de flavonoides se determinó mediante el ensayo de Liu *et. al.*, (2002) citado por Vázquez (2014). Para cada 1000 μl de formulación de jugo extraído se adicionaron 1250 μl de agua destilada y después de añadir 75 μl de nitrito de sodio se dejaron reposar por 5 minutos. Posteriormente se adicionaron 150 μl de cloruro

de aluminio y se reposaron por 5 minutos. Después se agregaron 500 μ l de hidróxido de sodio y finalmente se completó el volumen de cada tubo de ensaye con 25 μ l con agua destilada. Para el blanco se hizo lo mismo con agua destilada. Ajustando el blanco a 510 nm, la lectura de absorbancia fue tomada en un espectrofotómetro Genesys 10uv.

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.

3.4.3.4 Fructosa

Para cada 1000 μ l de muestra de jugo extraído se adicionaron 1000 μ l de reactivo DNS, en una parrilla eléctrica se colocaron las muestras en un vaso de precipitado los cuales se pusieron en ebullición por 5 minutos en baño maría 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 minutos; y se determinó su absorbancia a 540 nm, el mismo tratamiento se realizó para el blanco con agua destilada.

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.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Etapa I. Caracterización de materia prima

En la Tabla 8, se observa el valor promedio de cinco repeticiones obtenidos de extractos de nopal y tuna a partir de 60 g de materia fresca.

Tabla 8. Caracterización y parámetros fisicoquímicos de la materia prima empleada.

Tabla 8: Materia prima	pH	Color			Solidos Solubles totales (Brix %)	Acidez (%)	Ácido Ascórbico (mg/100g)
		L	a*	b*			
Tuna	6.8	59.29	-4.67	-12.67	11.24	0.01	4.77
Nopal	4.7	49.81	-0.876	-16.98	4.22	0.03	0.92

De acuerdo a los resultados obtenidos, la tuna y el nopal, presentan diferentes características, mediante la investigación consultada se dice que los parámetros fisicoquímicos pueden variar dependiendo de donde provenga el material vegetativo; de acuerdo al proyecto realizado por Vázquez A. (2014) los parámetros fisicoquímicos se ven afectados sometidos a calentamiento o algún método para extraer el jugo.

4.2 Etapa II y Etapa III. Formulación, caracterización y determinación de sustancias hipoglucemiantes

4.2.1 Determinación de pH

Tocante al efecto de los diferentes métodos de extracción en relación al parámetro pH, fue posible apreciar de acuerdo al análisis de t-student, (Anexo 1) que no se presentaron diferencias estadísticamente significativas.

La Figura No. 5 muestra el gráfico para los valores de pH obtenidos al realizar la extracción del jugo de tuna y nopal.

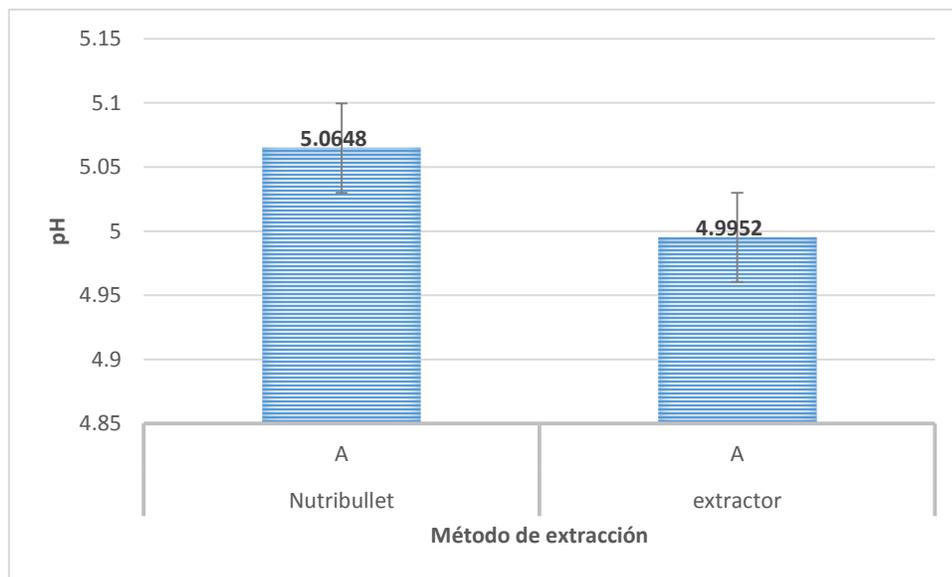


Figura 5. Gráfico de medias para la comparación del método de extracción para la variable de pH

En la gráfica anterior se observa que no existe diferencia significativa en el comportamiento de pH por método de extracción (Nutribullet y extractor centrífugo). Los resultados anteriores discrepan de los presentados por Vázquez M.L (2014)

quien reporta que el extracto obtenido por nutribullet presenta mayor pH generado por el extractor centrífugo. Esto puede deberse a la madurez de tuna y nopal empleados en ambos proyectos, pueden ser un factor variable.

El efecto de las diferentes formulaciones en relación al parámetro pH, fue posible apreciar de acuerdo al análisis de t-student, (anexo 2) en el que se encuentran diferencias estadísticamente significativas.

La Figura No. 6 muestra el gráfico para los valores promedio de cinco repeticiones de pH obtenidos al realizar las formulaciones del jugo de tuna y nopal.

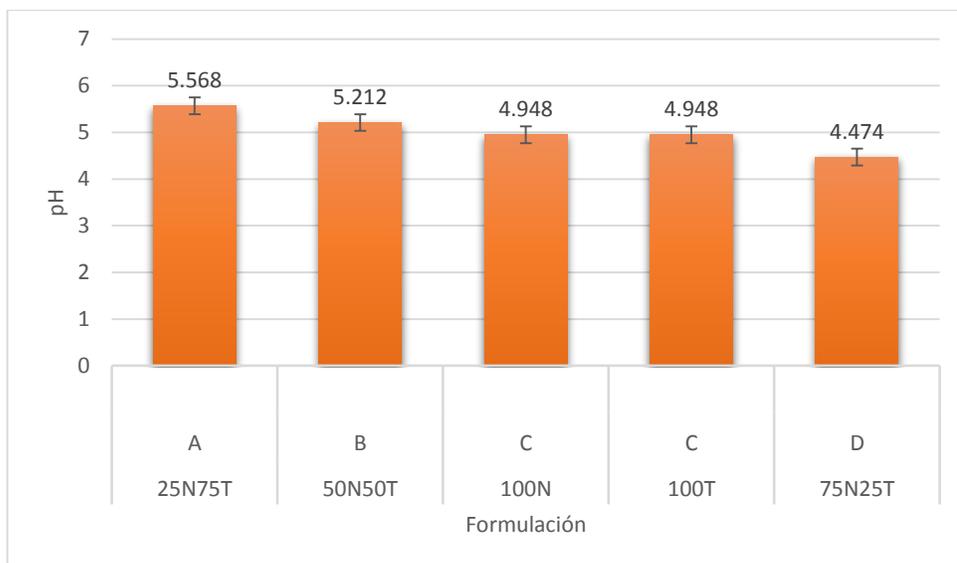


Figura 6. Gráfico para la comparación pH en las diferentes formulaciones.

En la gráfica anterior se observa el valor más alto de pH 5.568 obtenido en la formulación 25N-75T y el pH más de bajo 4.474 en la formulación 75N-25T. De acuerdo a la literatura consultada la mayoría de los microorganismos patógenos crecen a un pH entre 5 y 8, de tal manera que con un pH bajo la acción

conservadora es mayor y, en consecuencia, disminuye el riesgo de contaminación por bacterias patógenas.

La Tabla 9 muestra la interacción entre las diferentes formulaciones y métodos de extracción, para los valores de pH

Tabla 9. Comparación pH en la interacción de formulación* método de extracción

Level										Least Sq Mean
extractor,100T	A									6.768
Nutri,100T		B								6.388
extractor,25N75T			C							5.652
Nutri,25N75T			C	D						5.484
extractor,50N50T				D	E					5.26
Nutri,50N50T					E	F				5.164
Nutri,100N						F	G			4.968
extractor,100N						F	G			4.928
Nutri,75N25T							G			4.74
extractor,75N25T								H		4.208

De acuerdo a la interacción de la formulación y el método de extracción en la prueba de t-student, (Tabla 9) se observa que estadísticamente la diferencia es significativa para el parámetro de pH, obteniendo (valor casi neutro) el producto obtenido mediante concentración por extractor de centrifuga al tener solamente tuna en el extracto, seguido de nutribullet también conteniendo solo tuna debido a que el tipo de aspa interfiere en los componentes del material vegetativo.

4.2.2 Cuantificación de sustancias hipoglucemiantes

4.2.2.1 Cuantificación de fenoles

En base al efecto de los diferentes métodos de extracción fue posible apreciar de acuerdo al análisis de t-student, (Anexo 2) que existe diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos

La Figura 7 muestra el gráfico de la cuantificación de fenoles obtenidos al realizar la extracción del jugo de tuna y nopal por diferentes métodos

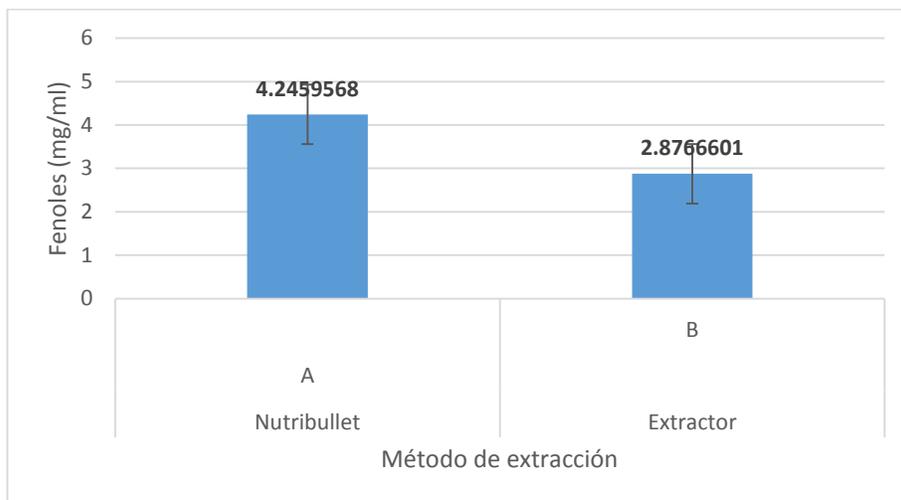


Figura 7. Gráfico de medias para la cuantificación de fenoles (mg/ml) por método de extracción

En la gráfica anterior se presenta menor concentración de fenoles en el extracto resultante del extractor centrifugo y mayor (4.28 mg/ml) en el extracto obtenido por el método nutribullet, el cual se encuentra por arriba de lo encontrado en la revisión de literatura realizada, ya que en estudios de las características de pencas y frutos de *Opuntia* realizados por Jaramillo-Flores *et. al.*, (2003) reportan el contenido de compuestos fenólicos en la penca fresca de 1.589 µl/g. Así mismo Lee *et. al.*, (2002) reportan un contenido de compuestos fenólicos de 3.7 mg/g en nopal fresco variedad Saboten. En el proyecto realizada por Vázquez M.L (2014) donde aplica cuatro métodos de extracción al nopal (*Opuntia ficus-indica*) la cantidad de fenoles que registra se encuentra por debajo de la concentración que se reporta en la Figura 7; tomando en cuenta que las formulaciones elaboradas en este proyecto se encuentran mezcladas con tuna blanca.

El efecto de las diferentes formulaciones en relación a la cuantificación de fenoles, fue apreciado en el análisis de t-student, (Anexo 2) determinando que se encuentran diferencias estadísticamente significativas.

La Figura 8 muestra el gráfico de los valores promedios de cinco repeticiones la cuantificación de fenoles en las formulaciones obtenidas

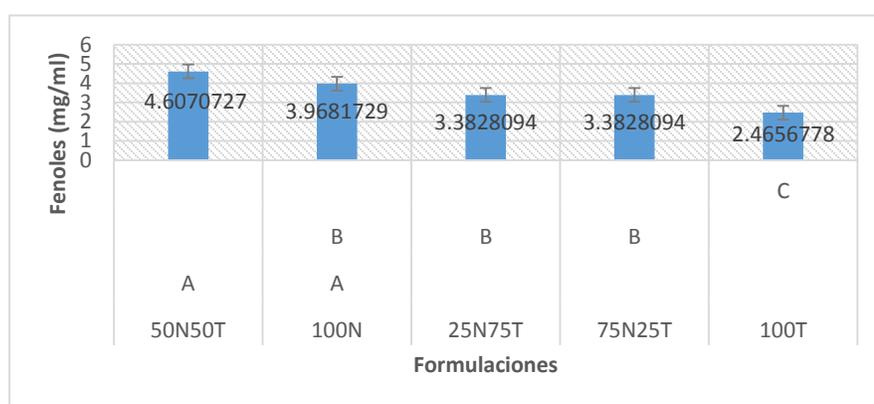


Figura 8. Gráfico para la comparación de medias de la concentración de fenoles en las diferentes formulaciones evaluadas

Es posible apreciar de acuerdo al análisis de t-student, (Figura 9) que las concentraciones 50N-50T y 100N presentan diferencia significativa con respecto al resto, que son estadísticamente iguales. Encontrándose mayor concentración de fenoles en 50N-50T y menor concentración en 100T.

La Tabla 10 muestra la interacción de las formulaciones y métodos de extracción empleados, para el parámetro de fenoles

Tabla 10. Prueba de medias para la concentración de fenoles para la interacción método de extracción *formulación

Level					Least Sq Mean
Nutri,50N50T	A				7.5343811
extractor,100N	A				6.7013752
Nutri,75N25T		B			4.6286837
Nutri,25N75T		B			4.6286837
Nutri,100T			C		3.2030648
extractor,25N75T			C	D	2.1369352
extractor,75N25T			C	D	2.1369352
extractor,100T				D	1.7282908
extractor,50N50T				D	1.6797642
Nutri,100N				D	1.2349705

Como se observa en la tabla anterior, la interacción de factores evaluados (Métodos de extracción y formulación), muestra mayor concentración de fenoles en el extracto obtenido por nutribullet y formulación 50N-50T con diferencia estadísticamente significativa al resto de las formulaciones y método de extracción. Así mismo le damos preferencia al extractor de nutribullet el cual extrae todos los antioxidantes ya que pulveriza las semillas, rompe las paredes celulares de las plantas por lo que el aprovechamiento es total, debemos tomar en cuenta que la concentración variable de fenoles se ve afectada por origen y estado de madurez del material vegetativo

4.2.2.2 Cuantificación de flavonoides

Tocante al efecto de los diferentes métodos de extracción en relación a la cuantificación de flavonoides, fue posible apreciar de acuerdo al análisis de t-student, (Anexo 3) que existe diferencia estadísticamente significativa.

La Figura No. 9 muestra el gráfico de medias para la cuantificación de flavonoides obtenidos al realizar la extracción del jugo de tuna y nopal.

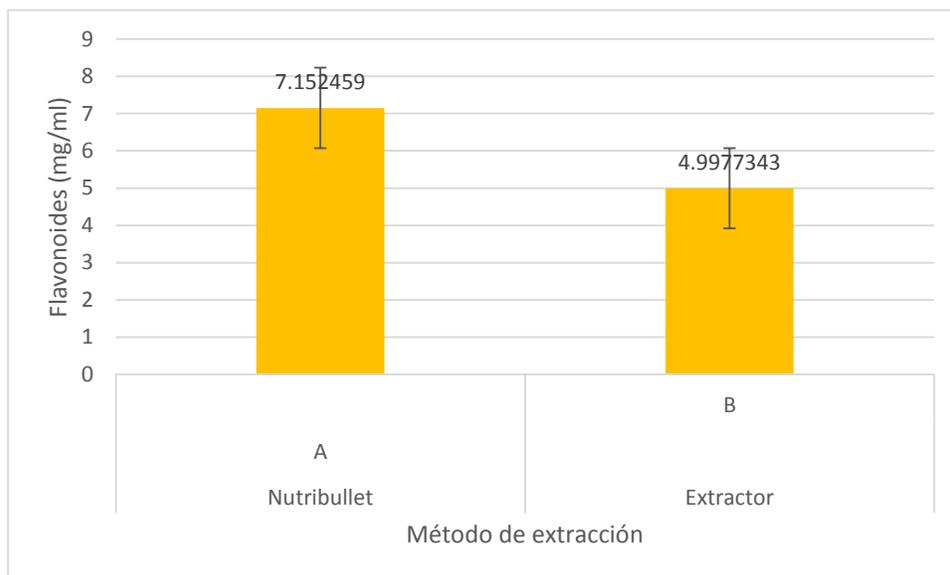


Figura 9. Gráfico de cuantificación de Flavonoides (mg/ml) por método de extracción

En la gráfica anterior se observa el efecto entre los diferentes métodos de extracción, obteniendo un valor mayor en el contenido de flavonoides de 7.152459mg/ml en el extracto obtenido mediante el uso de nutribullet, encontrándose por arriba de lo reportado por Vázquez M.L. (2004). Recientemente, Fernández-López *et al.* (2010) reportan la identificación de algunos flavonoides como miricetina y luteolina, quercetina, isoramnetina, kaempferol, en tuna (Kuti, 2004), flavonoides que también se asocian con la actividad antioxidante en varios alimentos

El efecto de las diferentes formulaciones en relación a la cuantificación de flavonoides, fue apreciado en el análisis de t-student, el cual determina que se no se encuentran diferencias estadísticamente significativas entre las formulaciones 50N-50T y 100N, pero si entre ellas y el resto.

La Figura No. 10 muestra el gráfico para la cuantificación de flavonoides obtenida en las diferentes formulaciones

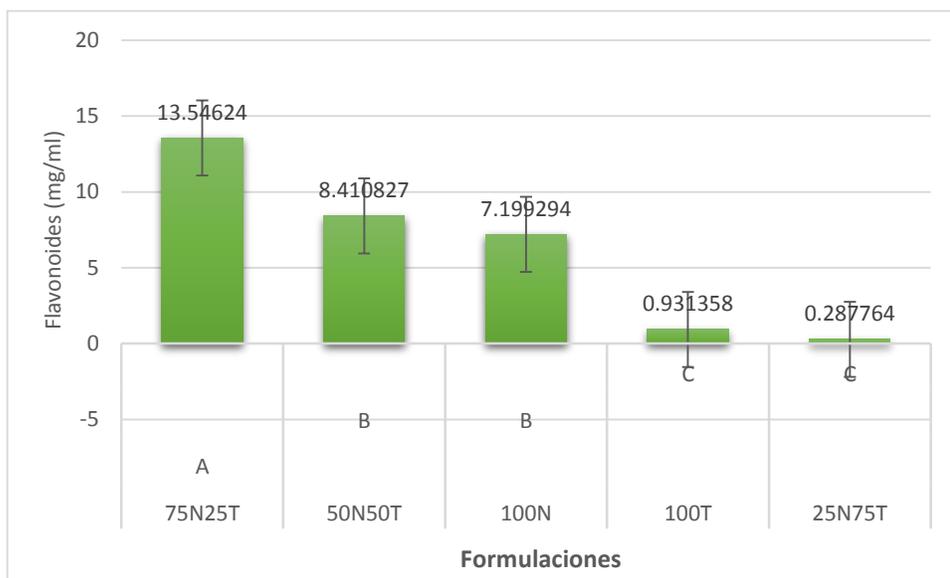


Figura 10. Gráfico de cuantificación de Flavonoides (mg/ml) por Formulación

En la gráfica anterior se observa un contenido de flavonoides de 13.54624 mg/ml en la formulación 75N-25T, y un valor de 0.287764mg/ml en la formulación 25N75T, determinando que la mayor concentración de flavonoides presentes se encuentra en el nopal y la menor presencia en tuna. En la investigación realizada por García O. *et. al.*, (2013) en la validación de cuatro variedades de tuna (*Opuntia ficus indica*) se encuentran concentraciones de flavonoides de 4.0856 del efecto causante de la concentración de glucosa en la sangre, cuando el consumo es mantenido un mínimo de 7 días; si el consumo se interrumpe la hiperglicemia se restablece.

La Tabla 11 muestra la interacción de las formulaciones y métodos de extracción empleados, para el parámetro de flavonoides

Tabla 11. Cuadro de comparación de medias para la concentración de flavonoides para la interacción método extractor*formulación

Level					Least Sq Mean
Nutri,75N25T	A				26.387691
extractor,100N		B			13.688365
extractor,50N50T			C		9.224108
Nutri,50N50T			C		7.597546
extractor,100T				D	1.164637
Nutri,100N				D	0.710223
extractor,75N25T				D	0.704790
Nutri,100T				D	0.698079
Nutri,25N75T				D	0.368757
extractor,25N75T				D	0.206771

Estudiando la interacción entre los factores evaluados (método de extracción y formulación) se observa que la máxima concentración de flavonoides se presenta en la formulación 75N-25T obtenido mediante nutribullet. Esto demuestra el efecto que tiene el método de extracción ya que la concentración menor sobre estos compuestos se encuentra en la formulación 75T-25N por el método de centrífugo, así mismo enmarcando que el nopal presenta mayor concentración de flavonoides y menor en tuna.

Podemos deducir que por el método de nutribullet la concentración de flavonoides se encuentra 6 veces más que en extractor centrifugo y que a mayor concentración de nopal en las formulaciones se obtiene mayor cantidad de flavonoides. Lo anterior concuerda con los resultados obtenidos por Vázquez M.L (2004) donde obtiene mejor concentración de flavonoides en la extracción por nutribullet.

4.2.2.3 Cuantificación de fructosa

Mediante los diferentes métodos de extracción en relación al parámetro de fructosa, fue posible apreciar de acuerdo al análisis de t-student, (Anexo 4) que no presentaron diferencias estadísticamente significativas.

La Figura No. 11 muestra en el gráfico la concentración de fructosa, mediante los diferentes métodos de extracción

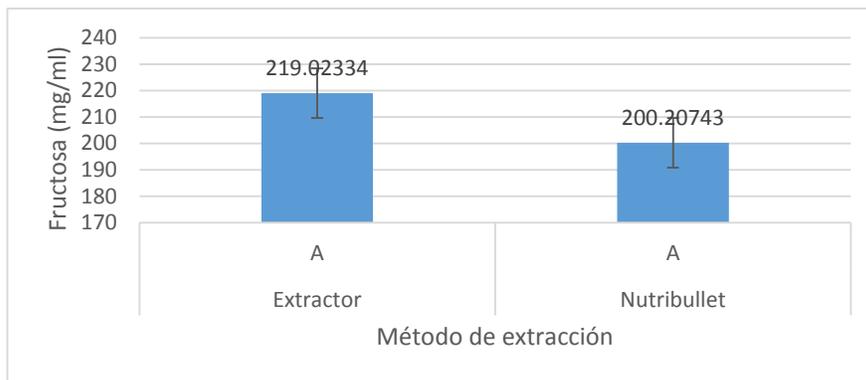


Figura 11. Gráfico de prueba de medias (t-student) para el contenido de fructosa (mg/ml) en base a los métodos de extracción

Los resultados anteriores concuerdan con la investigación realizada por Vásquez M.L (20014) donde se presenta mayor contenido numérico de fructosa en el producto obtenido mediante nutribullet.

La Figura No. 12 muestra el gráfico para la concentración de fructosa en las diferentes formulaciones, obtenidos al realizar la extracción del jugo de tuna y nopal.

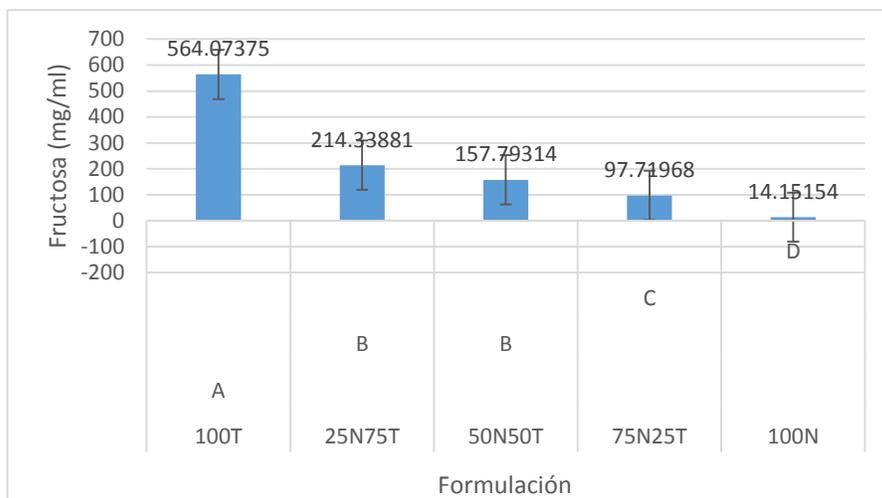


Figura 12. Gráfico de t-student para el contenido de Fructosa (mg/ml) por medio de los métodos de formulación

En el gráfico se observa que la máxima concentración de fructosa se presenta en la formulación 100T y la menor en 100N. La concentración máxima de fructosa se obtiene a partir de tuna blanca (*Opuntia ficus indica*). En la literatura consultada se tiene reportes de la investigación realizada por Benítez C. (2015) donde muestra las potencialidades de producir inulina a partir de la tuna debido a su alto contenido de fructosa.

La Tabla 12 muestra la interacción de las formulaciones y métodos de extracción empleados, para el parámetro de fructosa, obtenidos al realizar las formulaciones del jugo de tuna y nopal.

Tabla 12. Gráfico de t-student para el contenido de fructosa (mg/ml) en la interacción método de extracción*formulación

Level							Least Sq Mean
Nutri,100T	A						601.64218
extractor,100T	A						526.50533
Nutri,25N75T		B					240.07491
extractor,50N50T		B	C				211.72573
extractor,25N75T		B	C				188.60271
extractor,75N25T			C	D			154.56641
Nutri,50N50T				D	E		103.86056
Nutri,75N25T					E	F	40.87295
Nutri,100N						F	14.58657
extractor,100N						F	13.71651

En la Tabla anterior, se observa que el contenido de fructosa mayor se encuentra en la formulación 100T independientemente del tipo de extractor empleado, lo anterior debido a que el fruto de *Opuntia* es rico en azúcares de tipo reductor, siendo predominante la fructosa.

Por esta razón la estabilidad de dulzor en la formulación 50T-50N brindará un toque de sabor agradable, además de una buena fuente de energía.

5. CONCLUSIÓN

Mediante los resultados obtenidos en la presente investigación se llega a la conclusión de que:

El método de extracción tiene incidencia en el contenido de fenoles y flavonoides en las diferentes formulaciones de nopal y tuna blanca (*Opuntia ficus indica*), ya que los equipos empleados, difieren en cuanto al tipo de aspas y la capacidad del motor (rpm) que estos presentan. Sin embargo el factor del pH no se ve afectado en los extractos de nopal y tuna blanca (*Opuntia ficus indica*), demostrando a su vez que el nopal tiene un pH ácido de 4.7 y la tuna presenta pH ligeramente alcalino de 6.8.

En las formulaciones realizadas de nopal y tuna se obtuvieron mejores concentraciones de las sustancias de interés en 50N50T, presentando los valores más altos de fenoles, flavonoides y la concentración de fructosa adecuada, para la elaboración de una bebida, ya que la concentración de tuna blanca y nopal (*Opuntia ficus indica*) además de brindar estas sustancias hipoglucemiantes y tener un efecto benéfico al ser consumido, brindará una mejor apariencia, color, aroma y viscosidad; cabe mencionar que la presencia de fructosa en la concentración de 50N50T no fue la más alta, pero es un valor considerable el cual brindará dulzor a la bebida para que ésta sea de buen agrado.

6. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

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

Alfaro J., Simal A. Botella F. 199. Tratamiento de la diabetes mellitus. Sistema Nacional de Salud. Vol24-No 2-2000. Sitio web:

<http://www.msc.es/farmacia/infmedic>

Angulo Pedro. Actividad hipoglucemiante e hipocolesterolemica del nopal y tuna (*Opuntia ficus indica*). Plantas Medicinales en Atención Primaria de Salud.

ALAD. Asociación Latinoamericana de Diabetes. 2011

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.

Carrasco Parra Natali Elizabet. 2012. "Comprobación del efecto hipoglucemiante del extracto del fruto de la tuna (*Opuntia ficus-indica*) en ratones (*Mos musculus*) con hiperglicemia inducida. Escuela Superior Politécnica de Chimbarazo, Riobamba-Ecuador.

Coduras Martínez Alicia, Del Ilano Señarís Juan, Gómez Morán. 2012. La Diabetes tipo 2 en España: Estudio Crítico de Situación. Fundación Gaspar Casal. Pág.8-15

Cortés Peñaloza José Luis.2010. Diabetes Educación-Pobreza: El trinomio en que se debate la sociedad mexicana. Horizonte Sanitario.Vol.9.No1

Cárdenas Medellín María Luisa, Serna Saldívar Sergio O., Velazco de la Garza Jesús.1998. Efecto de la ingestión de nopal crudo y cocido (*Opuntia ficus indica*) en el crecimiento y perfil del colesterol total, lipoproteína y glucosa en sangre de ratas. Revista Archivos Latinoamericanos de nutrición. (ALAN).

CODEX STAN 247-2005. Norma General del Codex para Zumos (jugos) y Néctares de frutos.

Colagiuri Rut, Brown y Dain Katie et. al., Dodd Sheree y Keelig Ann. 2011. Plan Mundial contra la Diabetes. Federación Internacional de la Diabetes.

Cruz Gallegos José Adrián.2012. Relación Flavonoides totales-Actividad antidiabética (*In vitro* por difusión de glucosa) en extractos de colubrina Elíptica. Tesis de Licenciatura. Universidad Tecnológica de la Mixteca. Huajuapán de león, Oaxaca. Pág. 23-27

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

Esquivel-Gutiérrez Edgar R., Noriega-Cisneros Ruth, Bello-González Miguel A., Saavedra Molina Alfredo, Salgado-Garciglia Rafael.2012. Plantas utilizadas en la Medicina Tradicional Mexicana con propiedades antidiabéticas y antihipertensivas. Revista de la DES Ciencias Biológico Agropecuarias.

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.

García Luján Concepción, Pérez Hernández Estela, Martínez Romero Aurora, Castro Barraza Fernando. 2009. Use of Medicinal plantas and dietary supplements for glucemic control of Diabetes. Revista Chapingo. Series Zonas Áridas. Universidad Juárez del edo. De Durango. 8:229-239. Email: conygarcialujan@hotmail.com

García-Verdi Griselda, Olgulín-Rubio Ardelia, Ramos-Gómez Minerva, Rodríguez-García Mario Enrique, Reynoso-Camacho Rosalía. 2012. Efecto Antidiabético del gladiolo del nopal comercial en ratas sanas y diabéticas. Congreso Nacional de Química Médica. Universidad Autónoma de Querétaro. Email: rrcamachomx@yahoo.com.mx

Garibay, C., Martínez E. 2006 “Estudio del efecto hipoglucémico de algunas plantas utilizadas en México para el control de la diabetes. Revista de Salud Pública. 11:6

Granados Sánchez Diodoro.1991. El nopal: Historia, fisiología, genética e importancia frutícola. Ed. Trillas. México.Pág.81-93

González Gómez Sonia Rebeca.2005. Diabetes Mellitus. Revista Cubana de Medicina Scielo.

González Jiménez Erik Francisco.2010. Caracterización de compuestos fenólicos presentes en la semilla y aceite de Chía (*Salvia hispánica L.*) mediante electroforesis capilar. Tesis. Instituto Politécnico Nacional.

González S.2005. Diabetes mellitus. Revista Cubana de Medicina Scielo 44:9

Guzmán Loayza, Chávez Jorge. 2007. Estudio bromatológico del gladiolo del Nopal. (*Opuntia ficus indica*) para el consumo humano. Rev. Soc. Quim. Vol.73, No 1(41-45), Perú.

Guevara Arauza Carlos Julian.2009. Efectos biofuncionales del Nopal y Tuna. Revista Horticultura. Sitio web: www.horticom-con?73932

Hernández Urestí Adriana. Nopal sabroso, benéfico y barato. Consumidor.

Hampton.2009. Tipos de extractores para jugos, México.

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

http://www.elnutribullet.com/themes/89/docs/NutriBullet_Manual.pdf

http://www.fcctp.usmp.edu.pe/cultura/imagenes/pdf/18_02.pdf

INEGI.2013. Características principales del cultivo de nopal en el distrito federal: Caso Milpa Alta: Censo Agropecuario 2007. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. Sitio web: www.inegi.org.mx

Maldonado J. Lorenzo, Zapién Barragán Marcelina. El nopal en México. Campo experimental Forestal de Zonas Áridas. La Saucedá Ramos Arizpe, Coahuila

Malpica verano Eduardo Antonio.2010. Mejoramiento de la formulación de una bebida de papelón con limón. Magíster en Ciencia de los alimentos. Universidad Simón Bolívar. Caracas Venezuela.

Martínez M. Alejandro.2005. Flavonoides. Facultad de química Farmacéutica, Universidad de Antioquia. Medellín. Septiembre.

Moreno-Álvarez M.J., Hernández R., Camacho Belén., Martínez Medina C.A., Ojeda Escalona C.E., García Pañolón D.M.2009. Journal of the Profesional Association for Cactus developmet. Vol.11 ISSN 1938-666x.

Morán Liliana.2013.El nopal Orgullosamente Mexicano. Fundación UNAM.

Muñoz Jáuregui Ana María, Ramos Escudero Fernando.2007. Compuestos fenólicos de la dieta y sus propiedades biomedicinales.

NOM-015-SSA2-1994. “Para la prevención, tratamiento y control de la Diabetes Mellitus en atención primaria.”

Olvera C. Castillo Edmundo, López Munguía A. 2007. Fructosiltransferasas, fructonas y fructosa. Biotecnología. Vol. 4 css

Reynoso- Camacho Rosalía, González- Jasso Eva, M. Salgado.2007. La alimentación del Mexicano y la incidencia de diabetes tipos 2. Tip Revista Especializada en Ciencias Químicas- Biológicas. Vol.10 núm. Pp.36-38. Sitio web: [http:// www.redalyc.org/articulo.09?id=432111941005](http://www.redalyc.org/articulo.09?id=432111941005)

Ruíz López Silvestre.2011. El nopal: Propiedades y paquete tecnológico para su producción. Fundación produce Sinaloa. A.C. Pág.11

Sánchez Mejorada Hernando R.1982. Algunos usos prehispánicos de las cactáceas entre los indígenas de México. Ed. Gobierno Del Estado de México. Pág.4-23.

Sáenz C. 2006. Utilización agroalimentaria de Nopal. Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO 162. Pág. 51-57

Tirado, E. 2007. La Nopalinaza. El siglo de Torreón. Diario. Torreón, Coahuila: 105.

Tirado, E.2007. Jugo noni. El siglo de Torreón. Diario. Torreón, Coahuila; 19.

Uresti A. Nopal sabroso, benéfico y barato. Consumidor.

Vázquez Alfaro M.L. 2014. Evaluación de sustancias hipoglucemiantes en extracto de nopal (*Opuntia ficus indica*) en fresco y pasteurizado, obtenido mediante cuatro métodos de extracción. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo Coahuila.

Valdivia F., Hidalgo M. 1996. Uso de la Medicina tradicional en diabetes mellitus no insulino-dependiente. Análisis de la Facultad de Medicina. Vol.57. No 3. Pág. 180-183.

7. ANEXOS

7.1 Formulación y Caracterización

7.1.1 Anexo 1. Análisis de varianza para pH en las formulaciones de tuna y nopal.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	9	26.199680	2.91108	69.9811
Error	40	1.663920	0.04160	Prob > F
C. Total	49	27.863600		<.0001

7.1.2 Anexo 2. Análisis de varianza para Fenoles en la formulación de tuna y nopal fresco utilizando el programa JMP 5.0.1

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	9	222.10967	24.6789	33.7470
Error	40	29.25160	0.7313	Prob > F
C. Total	49	251.36126		<.0001

7.1.3 Anexo 3. Análisis de varianza para Flavonoides en la formulación de extracto fresco de nopal y tuna utilizando el programa JMP 5.0.1

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	9	3302.2199	366.913	32.5472
Error	40	450.9307	11.273	Prob > F
C. Total	49	3753.1506		<.0001

7.1.4 Anexo 3. Análisis de varianza para Fructosa en la formulación de extracto fresco de nopal y tuna utilizando el programa JMP 5.0.1

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	9	1872895.5	208100	48.6030
Error	40	171264.8	4282	Prob > F
C. Total	49	2044160.3		<.0001