

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



Determinación del efecto hipoglucemiante del extracto de nopal, tuna y mezcla de ambos en fresco y pasteurizado.

Por:

ADELAIDA RUEDA HERNÁNDEZ

Tesis

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título Profesional de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Buenavista, Saltillo, Coahuila México, Noviembre de 2017

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

Determinación del efecto hipoglucemiante del extracto de nopal, tuna y mezcla de ambos en fresco y pasteurizado.

TESIS

Por:

ADELAIDA RUEDA HERNÁNDEZ

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

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

APROBADA

MILDRED
FLORES

M.C Mildred Inna Marcela Flores Verástegui

Presidente de Jurado

Dr. Armando Robledo Olivo

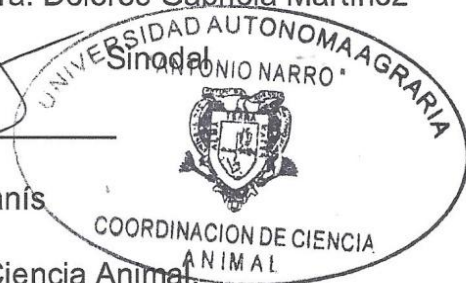
Sinodal

Dra. Dolores Gabriela Martínez

Sinodal

Dr. José Dueñez Alanís

Coordinador de la División de Ciencia Animal.



Buenavista, Saltillo, Coahuila México, Noviembre de 2017

AGRADECIMIENTO

Agradezco a **DIOS**, por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi trayecto de vida, por permitirme culminar la carrera profesional, por darme fortaleza en momentos de debilidad. Doy gracias a **DIOS** por haberme dado a los mejores padres, a las mejores hermanas, al mejor hermano, por haberme dado a la mejor familia.

Agradezco de todo corazón a mi bella “**Alma Mater**” por haberme cobijado y haberme brindado todos los conocimientos adquiridos a través de sus excelentes catedráticos.

Un enorme agradecimiento a la **M.C. Mildred Inna M. Flores Verástegui**, por haberme confiado este proyecto de investigación, por su disposición, paciencia y amabilidad ante mi incertidumbre, por compartir su amplio conocimiento. Agradezco las asesorías, su optimismo que contagia para seguir adelante.

Mi más sincero agradecimiento al **Dr. Armando Robledo Olivo** por siempre mostrar disponibilidad, paciencia y aporte relacionado con las pruebas estadísticas de este proyecto de investigación.

Agradezco de todo corazón a la **Dra. Dolores Gabriela Martínez** por brindarme sus conocimientos, por siempre tener la respuesta a mis dudas, y por participar como sinodal en este proyecto.

A mis padres

Sra. Juana Hernández Juárez

Quiero dirigir estas palabras hasta el cielo, que es donde usted se encuentra ahora amada señora, por haberme forjado con valores, por educarme con tanto amor y cariño, por haber sido siempre mi amiga, cómplice de mis locuras, pero sobre todo haber sido cómplice de mis sueños, se la dedico a usted por su valentía, fuerza y coraje, por su actitud optimista, entusiasta que siempre mostró y transmitió en mí, se la dedico por no haberme cortado las alas a pesar de las circunstancias, se la dedico a usted por enseñarme a no rendirme aun en los momentos más débiles, gracias madre por haberme ayudado a extender las alas y así poder llegar a uno de mis objetivos, quiero que sepa, que vea desde el cielo que lo he logrado madre mía, y todo fue gracias a la extraordinaria y maravillosa madre que DIOS me dió.

Sr. Arguimiro Rueda Altunar

Mi querido padre, este logro es suyo, se la dedico con todo mi amor y respeto, por sus sabios y acertados consejos, por siempre enderezarme en el camino correcto, por alentarme en el camino del bien, gracias papá por darme las herramientas necesarias para saber enfrentar cualquier situación, usted que en todo momento me enseñó que los sueños se cumplen con perseverancia, con trabajo arduo aunque fuese en medio de la adversidad, sobre todo por encomendarme a DIOS, para que este proyecto se cumpliera con la bendición de nuestro señor padre.

A mis hermanas y hermano

Este sueño no lo habría logrado sin el amor de mis hermanas y hermano.

A mis hermanas **María y Ofelia**, se las dedico por ser mis amigas y maravillosas hermanas. Se las dedico por creer siempre en mí, por el apoyo incondicional que me han dado, por el cariño y amor que me han mostrado, ustedes me han enseñado la valentía de luchar por salir adelante, por el valor del trabajo, gracias a la infinidad de virtudes que a ustedes las caracterizan me han confortado a lo largo

de mi camino, por siempre tener las palabras adecuadas que son dignas de hermanas extraordinarias.

A mi hermana **Katy** por ser el pilar para la edificación de mi vida profesional, por la inspiración que causó en mí y el deseo de superación. Has sido el gran espejo en el que me quiero ver reflejada, por tus inmensas virtudes y la gran bondad que exhalas de tu corazón, eres extraordinaria hermana, hija, esposa y actualmente madre.

A mi hermano **Romeo**, te la dedico por tus toscas pero concretas palabras, por tu gran apoyo incondicional, por haberme alentado a seguir cuando estuve a punto de rendirme, te la dedico por la confianza que depositaste en mí, por haber abierto el camino hacia el estudio, los mismos pasos que he seguido gracias a tu buen ejemplo.

Tía

Sra. Dominga Hernández Juárez

Tía, has sido una parte muy esencial en mi vida, quien siempre ha manifestado su amor, paciencia, cariño, hacia nosotros, le guardo un inmenso amor en mi corazón, por todo, gracias.

A mis sobrinos y sobrinas

No podrían faltar mis múltiples sobrinos, **Irving, Franklin, José María, Christopher, Alexia, Abril, Flor Eliza, Juanita** y la más reciente **Esperanza**, aquellas personitas que tanto amo, han sido el regalo más maravilloso que mis hermanas y mi hermano han podido regalarme. Ustedes me han impulsado para lograr este proyecto de vida, espero de todo corazón ser un buen ejemplo para ustedes.

RESUMEN

Uno de los problemas de salud que causa gran impacto a la sociedad actual es la diabetes mellitus, ya que cada vez existen índices más altos de pacientes, los fármacos causan gran impacto económico y presentan efectos secundarios en las personas diabéticas. Existen productos de la herbolaria con sustancias hipoglucémicas que ayudan a regular este padecimiento en los diabéticos del tipo II (DM2), dentro de los cuales se encuentra el *Opuntia ficus indica*, mejor conocido como nopal.

El presente trabajo de investigación tiene por objeto ofrecer una nueva forma de consumo del nopal por lo que se estudiaron tres tratamientos: extractos de nopal, tuna y una mezcla del 50% de extracto de nopal y 50% de extracto de tuna, en fresco y pasteurizados. Se caracterizaron las materias primas empleadas, se determinó el porcentaje de fructosa por el método DNS (ácido 3, 5 dinitrosalisílico) y posteriormente se determinó el porcentaje de inhibición de la α amilasa y α glucosidasa usando como sustrato almidón al 1% y D-glucopiranosido respectivamente.

Los resultados mostraron efecto negativo respecto a la inhibición de α amilasa, pero un efecto positivo respecto a la inhibición α glucosidasa presentado por el extracto de nopal y la mezcla, tanto en fresco como en pasteurizado, por lo que se podría considerar al nopal como un producto con función antidiabética.

Palabras clave:

Nopal, tuna, hipoglucemiente, diabetes mellitus tipo 2, α amilasa, α glucosidasa.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	iii
DEDICATORIAS	iv
RESUMEN	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xi
CAPÍTULO 1	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Justificación	2
1.2 Hipótesis	3
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo general	3
1.3.2 Objetivos específicos	3
CAPÍTULO 2	4
MARCO TEÓRICO	4
2.1 Diabetes mellitus	4
2.1.2 Medidas de control para la diabetes mellitus II (DM2).....	6
2.2 Estudios científicos de productos hipoglucémicos de la medicina tradicional	7
2.3 Nopal (Opuntia ficus indica)	9
2.3.1 Flores.....	10
2.3.2 Fruto (tuna)	10
2.3.3 Distribución geográfica	11
2.3.4 Composición química.....	11
2.3.5 Contenido de sustancias hipoglucemiantes.....	12
2.3.6 Formas de consumo como medicina tradicional para la diabetes mellitus del tipo II	13
2.4 Bebidas de jugo	14
CAPÍTULO 3	15
MATERIALES Y MÉTODOS	15
3.1 Ubicación del sitio experimental	15
3.2 Materiales, equipos, enzimas y reactivos utilizados	15

3.3 Tratamientos	16
3.3.1 Medidas físicas del nopal y tuna.....	16
3.3.2 Extracción de jugos	17
3.3.3 Obtención de mezcla nopal-tuna y determinación de pH, ácido cítrico, color	18
3.3.4 Pasteurización	20
3.4 Determinación de fructosa	20
3.4.1 Curva de calibración por el método DNS	21
3.5 Inhibición de enzimas	24
3.5.1 Inhibición de α -amilasa.....	24
3.5.2 Inhibición de α -glucosidasa.....	25
3.6 Pruebas estadísticas.....	26
CAPÍTULO 4.....	27
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
4.1 Caracterización de materias primas.	27
4.2 Evaluación de extractos de nopal, tuna y mezcla frescos y pasteurizados	28
4.2.1 pH en extractos de nopal, tuna y mezcla	28
4.2.2 pH en extractos frescos y pasteurizados.....	29
4.2.3 Ácido cítrico en extractos de nopal, tuna y mezcla.	30
4.2.4 Ácido cítrico extractos frescos y pasteurizados.....	31
4.2.5 Luminosidad en extractos de nopal, tuna y mezcla.....	31
4.2.6 Luminosidad extractos frescos y pasteurizados	32
4.2.7 Fructosa en extractos de nopal, tuna y mezcla.	34
4.2.8 Fructosa extractos frescos y pasteurizados.	35
4.2.9 Inhibición de la enzima α amilasa en extractos de nopal, tuna y mezcla.	35
4.2.10 Inhibición de la enzima α amilasa extractos frescos y pasteurizados.....	36
4.2.11 Inhibición de la enzima α glucosidasa en extractos de nopal, tuna y mezcla.	37
4.2.12 Inhibición de α glucosidasa respecto extractos frescos y pasteurizados.	37
CAPÍTULO 5.....	39
CONCLUSIONES	39
CAPÍTULO 6.....	40
LITERATURA CITADA	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Prevalencia de diabetes por diagnóstico médico previo según entidad federativa. México, ENSANUT 2012.	5
Figura 2. Inhibición de la α amilasa por extractos de fresa. Fuente: (Sosa N., et al., 2002).	8
Figura 3. Partes del nopal: (1) cladodio o penca, (2) espinas, (3) flor, (4) fruto. Fuente: http://www.botanical-online.com/higo_chumbera_opuntia_ficus_indica.htm	10
Figura 4. Diversos tipos de flores de nopales.	10
Figura 5. Tunas de diferentes colores.	11
Figura 6. Selección de tunas y nopales frescas.	17
Figura 7. Medición de color del nopal en físico.	17
Figura 8. Filtración de jugo de tunas.	18
Figura 9. Obtención de las muestras (observando de izquierda a derecha) tuna, nopal y mezcla. .	19
Figura 10. Medición de pH de los extractos.	19
Figura 11. Medición de color de los extractos.	19
Figura 12. Titulación de las muestras.	19
Figura 13. Muestras a leer absorbancia a 540 nm en espectrofotómetro.	21
Figura 14. Diluciones para la curva de calibración.	22
Figura 15. Curva de calibración de azúcares reductores.	23
Figura 16. Preparación de inhibición de α -amilasa.	25
Figura 17. Muestras de inhibición enzimática de α -glucosidasa	25
Figura 18. Prueba de medias de muestras respecto al pH. Las letras iguales significan similitud entre las muestras.	29
Figura 19. pH de tuna, nopal y mezcla en fresco y pasteurizado. Las letras iguales significan que no hubo diferencia.	30
Figura 20. Gráfica de porcentaje de ácido cítrico presente en las muestras. Letras iguales presentan similitud entre las muestras	30
Figura 21. Porcentaje de concentración de ácido cítrico de tuna, nopal y mezcla, en fresco y pasteurizado.	31
Figura 22. Luminosidad presente en las muestras. Letras iguales significan similitud entre las muestras.	32
Figura 23. Efecto térmico de la luminosidad en extractos de tuna, nopal y mezcla. Letras iguales significan similitud.	32

Figura 24. Diagrama de saturación de color CIE LAB. Donde tf= tuna fresca, tp= tuna pasteurizado, nf= nopal fresco, np= nopal pasteurizado. Valores de a* y b* en jugos. Fuente: <http://sscolor.com/newsshow.asp?sid=29&id=159>..... 33

Figura 25. El espacio de color cúbico CIE Lab. (Sing, et al., 2009). Donde t=tuna, n=nopal, m=mezcla, f=fresco, p=pasteurizado. 34

Figura 26. Porcentaje de fructosa presente en las tres muestras. Letras iguales presentan similitud entre las muestras. 34

Figura 27. Efecto térmico en porcentaje de fructosa presente en tuna, nopal y mezcla. 35

Figura 28. Porcentaje de inhibición de la α amilasa. Letras iguales significan similitud entre las muestras..... 36

Figura 29. Porcentaje de inhibición de α amilasa después de los tres tratamientos térmicos. 36

Figura 30. Porcentaje de inhibición de α glucosidasa. Letras iguales presentan similitud entre las muestras..... 37

Figura 31. Porcentaje de inhibición de α glucosidasa después del tratamiento térmico de las muestras..... 38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Los diez primero países/territorios en número de personas con diabetes (20 – 79 años), 2015 y 2040.	4
Tabla 2. Efecto de inhibición de extractos de la fresa sobre la actividad de la α amilasa.	8
Tabla 3. Composición química del nopal (<i>Opuntia ficus indica</i>). Expresado en base húmeda.	12
Tabla 4. Materiales usados en el proceso.	15
Tabla 5. Equipos utilizados en el laboratorio.	16
Tabla 6. Reactivos utilizados.....	16
Tabla 7. Reactivos y material biológico utilizado para las pruebas.	16
Tabla 8. Total de muestras frescas y pasteurizadas.....	18
Tabla 9. Dilución 1:10 de muestras para determinación de fructosa (fresco), donde T= tuna, N= nopal y M= mezcla.	20
Tabla 10. Dilución para la curva de calibración por método DNS	21
Tabla 11. Lectura de absorbancia y cálculo del porcentaje de fructosa.	23
Tabla 12. Tamaño promedio de las muestras de nopal y tuna.	27
Tabla 13. Volumen promedio de los extractos de nopal y tuna.....	27
Tabla 14. Valores promedio de L^* , b^* y a^* en nopal y tuna.	28

INTRODUCCIÓN

La diabetes mellitus es una enfermedad de orden cronológico, que aparece cuando el páncreas no produce insulina (hormona que regula el azúcar en la sangre) suficiente o cuando el organismo no lo utiliza de manera eficaz; al efecto de la diabetes al no ser controlada, se le conoce como hiperglucemia, es decir, aumento de azúcar en la sangre.

Según los estudios de la Organización Mundial de la Salud (OMS), la diabetes mellitus (DM) es el desorden hormonal más común, para el 2014 se tenían cifras de aproximadamente 422 millones de adultos en el mundo con esta afección, en 2015 fallecieron 1.6 millones de personas a consecuencia de ésta (Organización Mundial de la Salud, 2016). La Federación Internacional de Diabetes (2015) atribuye una estimación de una prevalencia esta enfermedad de 642 millones para 2040.

De acuerdo a los resultados de (ENSANUT, 2016) en México, el 9.4% de la población están diagnosticados con este padecimiento, realizando un comparativo con las encuestas de años anteriores se puede observar un aumento en la prevalencia respecto al año 2012 del 9.2%, tiempo en el que se demostró un mayor aumento con respecto a los resultados de la ENSANUT 2006 que fue del 7%. Nuestro país ocupa el sexto lugar a nivel mundial con pacientes diabéticos de acuerdo a la Federación Internacional de Diabetes (2015) o IDF por sus siglas en inglés.

A nivel mundial el gasto para tratar la diabetes osciló entre 673,000 millones y 1,197,000 millones de USD en 2015 de acuerdo a los datos reportados por la IDF, mientras que en México de acuerdo a Salas Zapata, et al., (2016) entre el 2008 y el 2013, el Instituto Mexicano del Seguro Social, erogó un total de 1,563 millones de dólares debido a hospitalizaciones por diabetes mellitus.

Debido al enorme problema de salud pública, que esta enfermedad conlleva, la propuesta alternativa ha recaído en la medicina herbolaria puesto que los

productos farmacéuticos además de tener un alto costo, causan efectos secundarios a los pacientes tales como: hipoglucemia en sobredosis, lipoatrofia en el punto de inyección, reacciones alérgicas localizadas, anorexia, disminución de absorción de vitamina B12, acidosis láctica, trastornos gastrointestinales y cefalea, alteraciones hepáticas, eritema multiforme, dermatitis exfoliativa, ictericia, alteraciones hematológicas como leucopenia, trombocitopenia, agranulocitosis, pancitopenia, anemia hemolítica y anemia aplásica (OMS 2016).

Es por esta razón que nos vemos en la necesidad de encontrar soluciones que beneficien desde el punto de vista económico y por supuesto generen una mejor calidad de vida a los pacientes con diabetes mellitus.

1.1 Justificación

La diabetes mellitus II es una de las enfermedades crónicas que más afecta a la población a nivel mundial causando un impacto social y económico. En México es una de las enfermedades principales que afecta a la sociedad, abarcando a niños, jóvenes y adultos, cabe mencionar que los fármacos tienen un costo alto y causan efectos secundarios asociados a su uso, por lo tanto hay una necesidad de búsqueda de alternativas con menos efectos secundarios. Es bien sabido que la población mexicana de manera empírica ha optado por complementar su tratamiento farmacológico con productos de origen natural, de este modo asegurando observar mejorías de salud.

Uno de los productos de origen natural que es muy demandado por su efecto hipoglucémico es el *Opuntia ficus indica*, conocido como nopal, comúnmente se consume en fresco, utilizándose en guisos, ensaladas, y mezclado en bebidas. Entonces, por esta razón nos damos a la tarea de realizar una investigación para encontrar una respuesta y entender de qué manera, actúa el nopal frente a la diabetes mellitus II. Con esta investigación se pretende ofrecer al paciente una alternativa más con otra presentación del nopal mejorando el sabor al mezclarlo con su fruto, conocido como tuna y así brindar jugos de nopal y tuna blanca, que no hayan perdido sus propiedades hipoglucémicas, con una nueva formulación que sea de fácil consumo y acceso.

1.2 Hipótesis

La actividad enzimática de la α amilasa y α glucosidasa se inhibe por la presencia de los extractos del nopal, tuna y mezcla de ambos en fresco y pasteurizados.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Determinar in vitro el efecto hipoglucémico de los extractos del nopal, tuna y mezcla, frescos y pasteurizados.

1.3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar físicamente la materia prima: nopal y tuna (*Opuntia. ficus indica*).
- Determinar características físico – químicas de los extractos de nopal, tuna y mezcla en fresco y pasteurizados.
- Cuantificar el contenido de fructosa en los extractos obtenidos.
- Determinar la inhibición de la α amilasa llevada a cabo por los extractos de nopal, tuna y mezcla en fresco y pasteurizados.
- Cuantificar el porcentaje de inhibición de la α glucosidasa por los extractos obtenidos.

MARCO TEÓRICO

2.1 Diabetes mellitus

La diabetes mellitus (DM) es una enfermedad de orden cronológico, esto debido a que aparece cuando el páncreas no produce insulina (hormona que regula el azúcar en la sangre) suficiente o bien, cuando el organismo no utiliza de manera eficaz la insulina que produce, por consiguiente, hace que los niveles de glucosa aumenten en la sangre. La insulina es producida en el páncreas y es una hormona anabólica que permite a las células del cuerpo humano, el aporte necesario de glucosa, a partir de la cual mediante los procesos de glucólisis y respiración celular, se obtiene la energía (Luis & Romero, 2013).

Esta enfermedad es un problema a nivel mundial y el más emergente en el siglo XXI. Año con año los índices de personas con diabetes va en aumento, abarcando niños, jóvenes y adultos. En 2015 la séptima edición del informe de Atlas de la Diabetes, publicado por la Federación Internacional de la Diabetes examinó el estado de la diabetes en el mundo, de esta manera mostró una estimación de lo que sucedería hasta el 2040 si el índice de crecimiento seguía en aumento, en donde México ocuparía el 5º lugar. De los diez países que más número de pacientes con DM presentan, México ocupa el 6º lugar con una cifra de 11.5 millones.

Tabla 1. Los diez primero países/territorios en número de personas con diabetes (20 – 79 años), 2015 y 2040.

2015		2040	
Pais/Territorio	Número de personas con diabetes	Pais/Territorio	Número de personas con diabetes
1 China	109,6 millones (99,6-133,4)	1 China	150,7 millones (138,0-179,4)
2 India	69,2 millones (56,2-84,8)	2 India	123,5 millones (99,1-150,3)
3 Estados Unidos de América	29,3 millones (27,6-30,9)	3 Estados Unidos de América	35,1 millones (33,0-37,2)
4 Brasil	14,3 millones (12,9-15,8)	4 Brasil	23,3 millones (21,0-25,9)
5 Federación Rusa	12,1 millones (6,2-17,0)	5 México	20,6 millones (11,4-24,7)
6 México	11,5 millones (6,2-13,7)	6 Indonesia	16,2 millones (14,3-17,7)
7 Indonesia	10,0 millones (8,7-10,9)	7 Egipto	15,1 millones (7,3-17,3)
8 Egipto	7,8 millones (3,8-9,0)	8 Pakistán	14,4 millones (10,6-20,4)
9 Japón	7,2 millones (6,1-9,6)	9 Bangladesh	13,6 millones (10,7-24,6)
10 Bangladesh	7,1 millones (5,3-12,0)	10 Federación Rusa	12,4 millones (6,4-17,1)

Fuente: Atlas de la Diabetes, séptima edición 2015. Publicado por Federación Internacional de Diabetes (p. 52).

De acuerdo a los resultados de ENSANUT, (2012) se observó que las prevalencias más altas se encuentran en el Distrito Federal, Nuevo León, Veracruz, Estado de México, Tamaulipas, Durango y San Luis Potosí, tal como lo indica la figura 1.



Figura 1. Prevalencia de diabetes por diagnóstico médico previo según entidad federativa. México, ENSANUT 2012.

Conforme a los resultados de la Encuesta Nacional de Salud (2012) había una prevalencia de 8.6% de adultos hombres (20 años en adelante) que padecían de diabetes, un porcentaje ligeramente menor al del padecimiento en las mujeres que fue de 9.7%.

Existen tres tipos de diabetes que se describen a continuación:

Diabetes gestacional, se caracteriza por el aumento de la glucosa en la sangre conocido como hiperglucemia, durante el embarazo, si bien alcanza valores superiores a los normales, son inferiores a los establecidos para declararse como diabetes. En este caso tanto la madre como el hijo corren el riesgo de padecer Diabetes mellitus del tipo II, así lo considera la Organización Mundial de la Salud, (2016).

Diabetes del tipo I, también conocida como insulino dependiente, la cual se caracteriza por la producción baja de insulina, por lo que se requiere la administración diaria de esta hormona. Con frecuencia produce sed anormal y resequedad en la boca, micción frecuente, falta de energía, cansancio excesivo, hambre constante, pérdida de peso repentino y visión borrosa (International Diabetes Federation, 2015).

Diabetes del tipo II, conocida como no insulino dependiente, es la más común en la población, en este caso se debe a que la utilización de la insulina se considera vana, es decir, que el cuerpo es capaz de producir insulina pero se vuelve resistente a ella, debido a esto con el tiempo la insulina pueden llegar a ser insuficiente; alguna de las causas son el sobre peso y la inactividad física (International Diabetes Federation, 2015) (Organización Mundial de la Salud, 2016).

2.1.2 Medidas de control para la diabetes mellitus II (DM2)

Los pacientes con diabetes son propensos a desarrollar enfermedades potentes que afecten al corazón, vasos sanguíneos, ojos, riñones y nervios; también, tienen mayor riesgo de contraer infecciones. Las personas con esta condición padecen una mala circulación de la sangre en los pies, aumentando el riesgo de ulceración, infección, y amputación en las extremidades (International Diabetes Federation, 2015).

Una manera de combatir lo anteriormente descrito es consumir una dieta sana, aumentar la actividad física y mantener un peso corporal dentro de los estándares considerados como normales (International Diabetes Federation, 2015). Todo lo anterior aunado a la toma de fármacos prescritos por el médico.

2.1.2.1 Mecanismo de acción de fármacos

Dentro de los tratamientos que se utilizan para el control de la DM2 incluyen los análogos GLP-1 (péptido similar al glucagón -1), hormona con carácter de incretina que contribuye al control de la homeostasis de la glucosa (Valverde, et al., 2006) además de la metformina y glibenclamida (International Diabetes Federation, 2015).

La metformina, reduce la gluconeogénesis y aumenta la utilización periférica de glucosa y solo actúa en presencia de insulina endógena, por lo que sólo es eficaz en diabéticos no insulino dependientes. La glibenclamida pertenece al grupo de las sulfonilureas las cuales actúan en la secreción de insulina (Organización Mundial de la Salud, 2004). El GLP-1 (péptido similar al glucagón -1) hormona con carácter

de incretina que contribuye al control de la homeostasis de la glucosa (Valverde, et al., 2006).

2.1.2.2 Inhibidores enzimáticos

Existen sustancias ya sean naturales o sintéticas que poseen la capacidad de inhibir enzimas relacionadas con el metabolismo de la glucosa. Las enzimas son aquellas moléculas proteicas producidas por células vivas que actúan como regulador catalizando procesos bioquímicos (Manuel & et al., 2001).

La α amilasa es una enzima producida en las glándulas salivales y en el páncreas que pertenece al grupo de las hidrolasas, cuya función es desdoblar polisacáridos, tal es el caso del almidón, glucógeno, almidón, posteriormente forman azúcares simples como la glucosa y maltosa. (Peña Díaz, et al., 2004).

La α glucosidasa es una enzima conocida también como 1,4 glucosidasa, su función principal es hidrolizar poli, y oligosacáridos, a monosacáridos absorbibles (Alegre del Rey, et al., 1997).

La inhibición la actividad enzimática de la α amilasa y α glucosidasa, genera que en el cuerpo humano, no se puedan catalizar los polisacáridos en azúcares más simple, de esta manera la glucosa no puede estar presente en la sangre, por lo tanto, al bajar los niveles de ella, el efecto se considera hipoglucémico. (Krentz & Bailey, 2005).

2.2 Estudios científicos de productos hipoglucémicos de la medicina tradicional

Existen estudios científicos que avalan los beneficios de alimentos de origen natural, tales como la tronadora (*Tecoma Stans*), diversos cítricos (*Citrus hystrix* y *C. maxima*), cebolla (*Allium cepa*), fresa (*Fragaria vesca L.*) y nopal (*Opuntia spp.*) por mencionar algunos.

Yanet (2015) asegura que la tronadora (*Tecoma Stans*), contiene sustancias hipoglucémicas, ya que sus extractos acuosos inhiben en un 70% la actividad de

la α amilasa mientras que la acarbosa, medicamento para tratar DM2, lo hace en un 80%.

En relación a los jugos de *Citrus hystrix* y *maxima* la capacidad inhibitoria de la enzima estudiada por Yanet oscila entre 75.55% y 79.75%; al evaluar el efecto de los jugos sobre la α glucosidasa el porcentaje de inhibición fue de entre 70.68% y 72.83% (Arumugam, et al., 2014). Los autores sugieren que la inhibición contra α amilasa y α glucosidasa podrían ser parte de los posibles mecanismos de acción terapéutica de estas bebidas ya que así se retrasa la hidrólisis del almidón en el tracto gastrointestinal.

La fresa es una frutilla con alto contenido de polifenoles, cuyos extractos muestran diversos efectos sobre la actividad de la enzima α amilasa que se muestran en la tabla y figura 2, al comparar el extracto puro y diferentes fracciones contra una muestra control (Sosa N., et al., 2002).

Tabla 2. Efecto de inhibición de extractos de la fresa sobre la actividad de la α amilasa.

Muestra	Actividad (U/L)
Control	21
Extracto Puro	29
Fracción 1	19
Fracción 2	52
Fracción 3	94
Fracción 4	85
Fracción 5	83

Fuente: (Sosa N., et al., 2002)

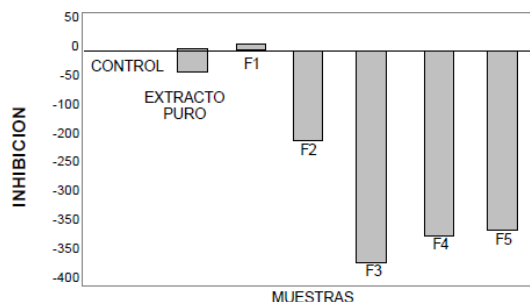


Figura 2. Inhibición de la α amilasa por extractos de fresa. Fuente: (Sosa N., et al., 2002).

Al evaluar extractos de hoja de *Morinda lucida* Benth, utilizando tres diferentes disolventes (acetona, etanol y agua), Kazeem y sus colaboradores (2013) encontraron que el extracto acuoso presentó mayor potencial inhibitorio sobre α amilasa y α glucosidasa, coincidiendo con lo reportado por Thiagam y colaboradores en el 2013 al determinar que los extractos acuosos de varias especies de *Corchorus* (*C. aestuans*, *C. bougoudo*, *C. capsularis*, *C. olitorius* y *C. urtifolicus*), presentaron propiedades antioxidantes e inhibieron la actividad enzimática significativamente.

La inhibición de α glucosidasa, junto con α amilasa se considera una estrategia efectiva para el control de la diabetes mediante la disminución de la absorción de glucosa (Thilagam, et al., 2013).

En relación a estudios in vivo, López Islas y colaboradores (2015), evaluaron el consumo de cebolla cruda por parte de pacientes con diabetes mellitus del tipo II, encontrando que la ingestión de 100 g en ayuno, produce una disminución altamente significativa de la glucemia en el primer y tercer mes de ingesta, en relación con los pacientes que no la consumieron.

2.3 Nopal (*Opuntia ficus indica*)

El nopal pertenece a la familia de las *cactáceas*, plantas arbustivas, rastreras, que pueden alcanzar de 3.5 a 5 m de altura. Es muy extenso, ramificado, rico en raíces finas absorbentes y superficiales en zonas áridas de escasa pluviometría. Los cladodios del nopal, mejor conocidos como pencas, presentan en forma de raqueta ovoide alcanzando hasta 60 – 70 cm de longitud, dependiendo del agua y los nutrientes disponibles (Sudzuki, 1993).

El aumento del área del cladodio dura alrededor de 90 días sobre ambas caras presentando aréolas, que tienen la capacidad de formar nuevos cladodios, flores y raíces según las condiciones ambientales. En la figura 3 se puede apreciar las partes estructurales del nopal.

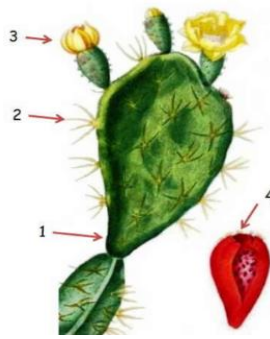


Figura 3. Partes del nopal: (1) cladodio o penca, (2) espinas, (3) flor, (4) fruto. Fuente: http://www.botanical-online.com/higo_chumbera_opuntia_ficus_indica.htm

2.3.1 Flores

Las flores son sésiles, hermafroditas y solitarias, se desarrollan normalmente en el borde superior de las pencas. Su color es variable: existen amarillas y blancas entre otros colores, como se presenta en la figura 4 (Sudzuki, 1993).



Figura 4. Diversos tipos de flores de nopales.

Fuente: <http://www.travelbymexico.com/blog/5364-el-nopal-planta-de-vida-de-los-aztecas-y-panacea/>

2.3.2 Fruto (tuna)

El fruto es una falsa baya con ovario ínfero y carnoso, existen en diferentes formas tales como: ovoides, redondos, elípticos y oblongos, con los extremos aplanados, cóncavos y convexos, dependiendo del tipo de cactácea, suelo, etc. (Sudzuki, 1999). De igual modo los colores son distintos: existen frutos rojos, verdes,

anaranjados, púrpuras, amarillos y el color de la pulpa va de acuerdo al color del epicarpio tal como se muestra en la figura 5.

La cáscara de los frutos difiere demasiado en grosor, por lo que la cantidad de pulpa presente también varía, ésta presenta numerosas semillas, que se consumen aunadas a la pulpa (Sudzuki, 1993).



Figura 5. Tunas de diferentes colores.

Fuente: <http://mxcity.mx/2016/07/los-colores-de-cdmx-en-fotos/>

2.3.3 Distribución geográfica

En nuestro país el cultivo de nopal y tuna se desarrolla en los estados de México, Puebla, San Luis Potosí, Jalisco, Hidalgo, Tlaxcala, Oaxaca, Distrito Federal, Zacatecas, Aguascalientes, Morelos, Guanajuato, Chihuahua, Sonora, Baja California y Nuevo León. (SAGARPA, 2011). En 2015 se produjeron alrededor de 651 mil toneladas en el país, en el centro del país, así los estados de Morelos, Distrito Federal y Estado de México generaron el 86 por ciento del volumen nacional (SAGARPA).

2.3.4 Composición química

De acuerdo a los resultados que se muestra en la tabla 3, se puede observar que en el cladodio de un mes es más rico en vitamina C, carbohidratos y proteínas, mientras que el cladodio de un año de edad presenta contenidos mayores de calcio, sodio, potasio, hierro y fibra. Así que se puede consumir de ambas edades (Guzmán & Chávez, 2007).

Tabla 3. Composición química del nopal (*Opuntia ficus indica*). Expresado en base húmeda.

Componente	Cladodio	
	De 1 mes de edad (aprox.)	De 1 año de edad (aprox.)
Humedad %	92,57	94,33
Proteína (x 6,25) %	0,94	0,48
Grasa %	0,17	0,11
Fibra %	0,30	1,06
Cenizas %	0,08	1,60
Carbohidratos %	5,96	2,43
Vitamina C (mg/100g*)	37,27	23,11
Ca %	0,042	0,339
Na %	0,0018	0,0183
K %	0,00098	0,145
Fe %	0,0792	0,322

Fuente: (Guzmán Loayza & Chávez, 2007)

2.3.5 Contenido de sustancias hipoglucemiantes

Se conoce como hipoglucemiantes a las sustancias que producen una disminución de los niveles de glucemia luego de su administración, cumpliendo con este propósito a través de mecanismos pancreáticos y/o extra pancreáticos (Chavez Ortiz, et al., 2001) . A los compuestos fenólicos, tales como flavonoides se les han atribuido por diversos autores como sustancias hipoglucemiantes o hipoglucémicas.

De acuerdo a estudios realizados en 2014 y 2015 se ha encontrado que extractos de nopal (*Opuntia ficus indica*) contienen entre 1.76 y 1.92 mg/ml de fenoles totales, ya sea sin tratamiento térmico o pasteurizado, mientras que el jugo de nopal y tuna (1:1) presentó 4.60 mg/ml de las mismas sustancias; con respecto a la concentración de flavonoides los rangos encontrados son de 0.40 a 8.41 mg/ml. (Vázquez Alfaro, 2014), (Ramírez Montoya, 2015).

Resultados experimentales prueban la actividad hipoglucémica de la *Opuntia streptacantha* con dosis desde 100 g debido a su contenido de fibra que inhibe la absorción intestinal de la glucosa y de los lípidos en diabéticos tipo 2 (Basurto Santos , et al., 2006), así como a la presencia de agentes hipoglucemiantes específicos (antioxidantes); aún y cuando sus propiedades beneficiosas se

comercializan como extracto crudo y en preparaciones deshidratadas, se alcanzan mejor efectos con los cladodios cocidos (López & Geffen, 2007).

El efecto de estas sustancias se ha evaluado in vitro en diferentes animales de laboratorio, tales como ratones, ratas y conejos, encontrando resultados positivos; Alarcón Aguilar et. al., en 2003 reportó que los polisacáridos de *Opuntia ficus indica*, administrados a ratones por vía oral, causaron un efecto hipoglucemiante significativo, mientras que *Opuntia streptacantha* produjo una disminución significativa en los niveles de glucosa sérica en ratones con hiperglucemia inducida por vía subcutánea. (Aguilar Alarcón & Valdez-Arzate, 2003), los extractos de agua de nopal y del polvo seco del mismo exhibieron actividades inhibitorias de la α glucosidasa reduciendo significativamente los niveles de glucosa en ratas diabéticas (Hwan Hwang, et al., 2017), mientras que diferentes preparados de nopal crudo licuado, administrados a conejos con hiperglucemia inducida por pancreatectomía producen efecto hipoglucemiante, debido tal vez a la presencia de la enzima isomerasa glucosa 6 fosfato, encontrada previamente en la *Opuntia ficus-indica* (Satta & Sisini, 1964).

2.3.6 Formas de consumo como medicina tradicional para la diabetes mellitus del tipo II

En la actualidad el consumo del nopal es muy amplio, debido a los beneficios nutricionales que presenta, la industria alimentaria ha ofertado a la población en general, este alimento en diferentes presentaciones tales como: encurtidos, mermeladas, néctares, productos deshidratados, concentrados de jarabe, bebidas alcohólicas y analcohólicas de tuna y nopalito.

La población diabética acostumbra a consumir nopal, ya que se considera como un cactus beneficioso, pues ayuda a contrarrestar la glucosa en la sangre, comúnmente los diabéticos lo consumen en asado, en ensaladas, cocido o en jugos que se combinan con diferentes frutos. En la industria farmacéutica ya existen presentaciones como protectores gástricos de extractos de mucílago, polvos para preparar jugos, en cápsulas y tabletas de polvo de nopal. (Financiera rural, Julio, 2011).

2.4 Bebidas de jugo

Los vegetales conocidos como frutas tienen aplicaciones importantes en la transformación agroindustrial, como por ejemplo en la obtención de pulpas y extracción de jugos naturales (Cerón, et al., 2012), las cuales son muy demandados por los consumidores que buscan productos de fácil consumo pero con aromas, sabores naturales, pero sobre todo que aporten nutrientes (Caicedo, 2009).

De acuerdo a la definición de la FAO (2005) un jugo 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 de conformidad con las disposiciones pertinentes de la Comisión del Codex Alimentarius.

Sánchez y sus colaboradores (2013), afirman que las bebidas elaboradas a base de frutas contienen una gran cantidad de componentes bioactivos, tales como ácido ascórbico, tocoferoles, carotenoides y polifenoles, que ejercen efectos antioxidantes y anticancerígenos, sin embargo para la obtención de jugos es necesario encontrar la mezcla óptima de ingredientes que permita generar un producto con características funcionales y alto valor nutricional, en los que se mantengan propiedades organolépticas de aroma y sabor deseables. (Salamanca , et al., 2010). Zuleta y colaboradores (2010) mencionan que el principal reto en la elaboración de una bebida es mantener sus nutrientes y hacerlo atractivo desde el punto de vista sensorial, razón por la cual se busca conocer y estudiar la composición química, enzimática y nutricional de las los extractos de frutas con el fin de encontrar el mejor proceso (Farnworth, 2001).

La pasteurización es considerada como un procedimiento relativamente suave, que contribuye con el aumento de la vida útil del alimento sobre el que se aplica. Sin embargo se debe encontrar la relación temperatura - tiempo adecuado que inactive la enzima para conservar la mayor cantidad de características. (Cruz, et al., 2008).

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del sitio experimental

Esta investigación se ejecutó en el laboratorio del departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, que está ubicado dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

3.2 Materiales, equipos, enzimas y reactivos utilizados

En el proceso experimental se evaluaron dos tipos de muestras biológicas, tales como: tuna blanca y nopal (*Opuntia ficus indica*), ambas provenientes del estado de Coahuila, México. Las muestras a estudiar fueron colectadas en una plaza comercial de Saltillo, Coahuila. Cierta cantidad de frutos se sometieron a congelación y de este modo poder contar con muestras suficiente, aun fuera de temporada.

En las tablas 4, 5, 6 y 7 se muestran los materiales, reactivos, equipos y enzimas que se emplearon durante el periodo de estudio:

Tabla 4. Materiales usados en el proceso.

Material	
Baño maría	Piceta
Bureta de 50 mL	Pipeta graduada de 10 mL
Colador metálico	Pipeta graduada de 1 mL
Cuchillo	Puntilla de 1000 μ L
Embudo	Probeta de 50 mL
Frascos de vidrio	Probeta de 250mL
Gradilla	Regla
Gasas	Soporte universal
Matraz de aforación de 10 mL	Tubos de ensaye
Matraz de Erlenmeyer 50ml	Tabla para picar
Micro espátula	Termómetro
Papel aluminio	Vasos de precipitado de 50 mL

Tabla 5. Equipos utilizados en el laboratorio.

Equipos	Marca
Balanza granataria	OHAUS triple
Balanza analítica	OHAUS pioneer
Colorímetro	Kónica minolta
Espectrofotómetro	GEASYS 10 uv
Extractor	Nutribullet
Potenciómetro	HANNA instrument
Penetrómetro	EXTECH instruments
Parrilla eléctrica	Thermo scientific cimarec
Micro pipeta	CAPP autoclave
Vórtex	Benchmark Research Products

Tabla 6. Reactivos utilizados.

Reactivos
Ácido dinitrosalicílico (DNS)
Almidón al 1%
Buffer de fosfato pH mm
Fenolftaleína
Fructosa
Glucopiranosido
NaOH al 0.1N

Tabla 7. Reactivos y material biológico utilizado para las pruebas.

Enzimas	Material biológico
α -amilasa	nopales
α -glucosidasa	tunas

3.3 Tratamientos

Se evaluaron los extractos de tuna y nopal, así como una mezcla de ambos a partir de materia prima fresca y pasteurizada (descongelada previamente), siguiendo el mismo procedimiento al ejecutar las determinaciones que se presentan más adelante.

3.3.1 Medidas físicas del nopal y tuna

En la figura 6 se puede observar que se tomaron 5 nopales y 5 tunas frescas, así como la misma cantidad de productos congelados a -18°C , para descongelar por 24 horas y medir las dimensiones (largo y ancho) con una regla, en una balanza granataria de la marca OHAUS de triple brazo, de determinó el peso, mientras que en la figura 7 se puede observar que se midió el color de los frutos con un

colorímetro de la marca Kónica Minolta modelo CR-300. Para el caso de las tunas, se descortezó para posteriormente pesar únicamente la pulpa y medir color.



Figura 6. Selección de tunas y nopales frescos.



Figura 7. Medición de color del nopal en físico.

3.3.2 Extracción de jugos

Una vez realizadas y determinadas las medidas físicas, se tomaron las 5 tunas frescas, 5 tunas descongeladas, 5 nopales frescos y 5 nopales descongelados, para obtener los extractos de la siguiente manera: primero se cortaron los nopales uno por uno en pequeños trozos y se realizó la extracción en un equipo de 6 aspas conocido como Nutribullet, después de obtener el extracto de los jugos, se midieron de forma individual en una probeta de 250 mL para determinar el volumen y posteriormente se colocaron en frasco de vidrio etiquetado con el número y tipo de muestra, así se prosiguió hasta extraer las 10 muestras de nopales. En el caso de las tunas se obtuvo la pulpa y se realizó la extracción de igual manera, sin embargo, debido a las semillas de presentes, se realizó una filtración con gasa (figura 8), mediante la ayuda de un colador para la obtención de las muestras a evaluar.



Figura 8. Filtración de jugo de tunas.

De esta manera se obtuvieron 5 extractos de tuna fresca, 5 extractos de tuna descongelada, 5 extractos de nopal fresco y 5 extractos de nopal descongelado.

3.3.3 Obtención de mezcla nopal-tuna y determinación de pH, ácido cítrico, color

La mezcla de extractos de tuna y nopal se obtuvo tomando 20 mL de extracto de tuna uno y 20 mL de extracto de nopal uno para la mezcla uno, 20 mL de tuna dos y 20 mL de nopal dos, para obtener la mezcla dos, y así sucesivamente hasta obtener 10 mezclas, como se logra observar en la tabla 8.

Tabla 8. Total de muestras frescas y pasteurizadas.

Frutos	Frescos	Pasteurizados
Nopal	5	5
Tuna	5	5
Mezcla (Nopal-Tuna)	5	5

Una vez obtenidos los extractos se resguardaron en 15 frascos (5 para tuna, 5 para nopal y 5 para mezcla), para llevar a cabo la pasteurización (figura 9) y en los otros 15 (frescos) se tomó el pH con potenciómetro Hanna así como se muestra

en la figura 10, y la medida de color con el colorímetro marca Kónica Minolta (figura 11).



Figura 9. Obtención de las muestras (observando de izquierda a derecha) tuna, nopal y mezcla.



Figura 10. Medición de pH de los extractos.



Figura 11. Medición de color de los extractos.

A continuación, se tomaron 10 mL de extractos frescos en una probeta para después agregarlo al matraz de Erlenmeyer, por último se realizó la titulación de acidez con NaOH al 0.1N usando como indicador fenolftaleína al 1%, así se prosiguió con el resto de las muestras (figura 12).



Figura 12. Titulación de las muestras.

3.3.4 Pasteurización

Se tomaron los 15 frascos de extractos destinados a la pasteurización, para someterlas a tratamiento térmico (baño maría) a 60°C por 30 minutos. Una vez terminado la pasteurización se enfriaron para enseguida medirles color, pH, y realizar la titulación, tal como se determinó con las frescas.

3.4 Determinación de fructosa

Debido a la gran cantidad de muestras se realizaron las determinaciones en dos partes, primero las frescas, después las pasteurizadas. Se tomaron 16 tubos de ensaye y se etiquetaron con número y tipo de muestra, para realizar una dilución de 1:10, así como se muestra en la tabla 9.

Tabla 9. Dilución 1:10 de muestras para determinación de fructosa (fresco), donde T= tuna, N= nopal y M= mezcla.

Núm. de tubos	Extracto (mL)	Agua destilada (mL)
Blanco	0	10
T 1	1	9
T 2	1	9
T 3	1	9
T 4	1	9
T 5	1	9
N 1	1	9
N 2	1	9
N 3	1	9
N 4	1	9
N 5	1	9
M 1	1	9
M 2	1	9
M 3	1	9
M 4	1	9
M 5	1	9

Se tomaron las diluciones y se homogenizaron en el vórtex, posteriormente se tomó 1 mL de la dilución 1:10 para depositarlos en un tubo de ensaye enseguida se le agregó 1 mL de DNS a cada tubo, se volvió a homogenizar, después se sometió en agua hirviendo por 5 minutos, pasado los 5 minutos se atemperó en agua fría y se le agregó 5 mL de agua destilada, así como se muestra en la figura 13, se homogenizó y se leyó la absorbancia a 540 nm en un espectrofotómetro de la marca GEASYS 10 uv.



Figura 13. Muestras a leer absorbancia a 540 nm en espectrofotómetro.

3.4.1 Curva de calibración por el método DNS

Para poder calcular el porcentaje de concentración de fructosa presente en los extractos, se realizó una curva de calibración por el método DNS, tomando como patrón una solución de fructosa al 1%, es decir, aforar 0.1 g en 10 mL de agua destilada, para tomarlo de referencia y de ahí poder obtener la ecuación lineal que después se utilizó para hacer los cálculos correspondientes.

Primero se preparó la solución fructosa, para esto se pesa 0.1 g de fructosa y se diluyó en un matraz de aforación de 10 mL con agua destilada, se homogenizó con la ayuda del vórtex. En la tabla 10, se muestran las cantidades (mL) de solución de fructosa y agua destilada necesarias para la obtención de diez soluciones y un blanco, el blanco es la que se toma como referencia 0 para la lectura de absorbancia en el espectrofotómetro de la marca GEASYS 10 uv.

Tabla 10. Dilución para la curva de calibración por método DNS

Núm. de tubos	Solución de fructosa (mL)	Agua destilada (mL)
Blanco	0	1
1	0.1	0.9
2	0.2	0.8
3	0.3	0.7
4	0.4	0.6
5	0.5	0.5
6	0.6	0.4
7	0.7	0.3
8	0.8	0.2
9	0.9	0.1
10	1	0

Una vez realizado esta dilución se homogenizó cada tubo en un vórtex, posteriormente se le añadió 1 mL de DNS a cada tubo, se volvió a homogenizar junto con el DNS. En seguida se colocó en baño maría (agua hirviendo) durante 5 minutos, pasada los 5 minutos se introdujo en baño de agua fría para atemperar, una vez atemperado se le agregó 5 mL de agua destilada a cada tubo y se homogenizaron nuevamente en un vórtex uno por uno; por último se leyó la absorbancia en el espectrofotómetro a 540 nm en la figura 14 se pueden observar las diluciones.



Figura 14. Diluciones para la curva de calibración.

Para poder obtener la ecuación lineal, se grafica el porcentaje de fructosa contra los datos de absorbancia. El porcentaje de fructosa, se calcula con la solución que se realizó al principio, es decir, cuando se aforó 0.1009 g en 10 mL de agua destilada.

Para calcular el porcentaje se tiene 1.009 g de fructosa en 100 mL de agua destilada. Se toma esto como referencia para obtener la ecuación (1).

$$\frac{[(1.009\% \text{ fructosa})(\text{mL sol. fructosa})]}{1} \text{ mL agua destilada} \quad (\text{Ec. 1})$$

Con la ecuación 1 se obtiene el porcentaje de fructosa a cada tubo como se muestra en la tabla 11, se realiza la gráfica de curva de calibración tomando los datos del porcentaje de fructosa contra los datos de la absorbancia obtenida en la lectura del espectrofotómetro.

Tabla 11. Lectura de absorbancia y cálculo del porcentaje de fructosa.

Núm. de tubos	Solución de fructosa (mL)	Agua destilada (mL)	% Fructosa	A 540 nm
Blanco	0	1	0	0
1	0.1	0.9	0.1009	0.288
2	0.2	0.8	0.2018	0.565
3	0.3	0.7	0.3027	0.854
4	0.4	0.6	0.4036	1.132
5	0.5	0.5	0.5045	1.571
6	0.6	0.4	0.6054	1.51
7	0.7	0.3	0.7063	1.541
8	0.8	0.2	0.8072	1.743
9	0.9	0.1	0.9081	1.882
10	1	0	1.009	2.256

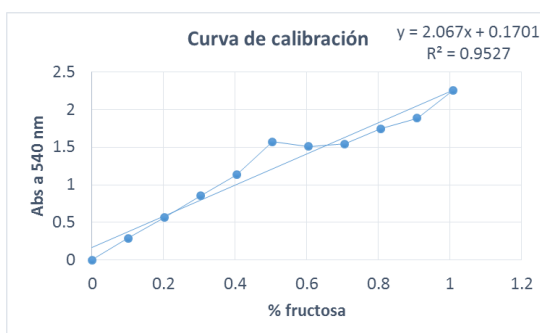


Figura 15. Curva de calibración de azúcares reductores.

De la figura 15 se obtuvo la ecuación lineal, la cual se utilizó para obtener el porcentaje de fructosa de cada extracto.

Los datos de la absorbancia obtenida (extractos) se sustituyen en la ecuación lineal que se obtiene en la curva de calibración y de este modo se obtiene el porcentaje de fructosa de cada muestra. La ecuación queda del siguiente modo, es decir, la ecuación lineal es igual a: $y = mx + b$; despejando queda de la siguiente manera: $\frac{y-b}{m} = x$ (Ec.2)

Donde:

y, se toma como los datos proporcionados por la absorbancia a 540 nm.

b, es la intersección y, este dato se proporciona en la ecuación calculada.

m, es la pendiente, este dato se proporciona en la ecuación calculada.

x, es el % de fructosa de cada muestra.

La ecuación lineal que se obtuvo en esta curva de calibración es de $y = 2.067x + 0.1701$, con el despeje queda de la siguiente manera:

$$x = y - \frac{0.1701}{2.067} \quad (\text{Ec. 3})$$

Con la ecuación 3 se calcula el porcentaje de fructosa de los extractos.

3.5 Inhibición de enzimas

3.5.1 Inhibición de α -amilasa

Para la inhibición de α amilasa, se tomaron 100 μL de jugo con una micropipeta de la marca CAPP autoclave, se agregaron 100 μL de buffer pH 7, 100 μL de α amilasa (pre-incubada a $25^\circ\text{C}/10$ min.), 100 μL de almidón al 1%, se homogenizó, se incubó a $25^\circ\text{C}/30$ minutos, se añadió 1000 μL DNS y nuevamente se homogenizó con vórtex, se colocó en baño maría (agua hirviendo) por 5 minutos, atemperó, se añadió 5.6 mL de agua destilada, una vez más se homogenizó y por último se leyó la absorbancia a 540 nm.

Para la inhibición α -amilasa se preparó un blanco para calibrar a cero el espectrofotómetro, para eso se utilizó solución buffer en lugar de extracto y se añade la α -amilasa en el minuto 4 (cuando se sometió en agua hirviendo por 5 minutos). También se preparó un control, donde se utilizó agua destilada en lugar de extracto.

Así como se muestra la preparación de la inhibición enzimática de α amilasa en la figura 16.



Figura 16. Preparación de inhibición de α -amilasa

3.5.2 Inhibición de α -glucosidasa

Para la inhibición α -glucosidasa se tomó 100 μ L de jugo con una micro pipeta de igual manera se le fue añadiendo 100 μ L de buffer pH 7, 100 μ L de α -glucosidasa, se homogenizó, se incubó a 25°C/5 min, se le añadió 100 μ L de D-glucopiranosido, nuevamente se homogenizó, posteriormente se volvió a incubar a 25°C/10min, por último se leyó la absorbancia a 405 nm a continuación se pueden observar las muestras en la figura 17.



Figura 17. Muestras de inhibición enzimática de α -glucosidasa

Se preparó un blanco para calibrar a cero el espectrofotómetro, para eso se utilizó solución buffer en lugar de extracto y se le añadió la α glucosidasa en el minuto 9 (cuando se incubó a 25°C/10min.). También se preparó un control, donde se utilizó agua destilada en lugar de extracto.

Una vez establecido los datos de absorbancia se calculó el porcentaje de inhibición enzimática de la α amilasa y α glucosidasa con la ecuación 4.

$$\left[\frac{(Abs\ control - Abs\ muestra)}{Abs\ control} \right] \text{ (Ec.4)}$$

3.6 Pruebas estadísticas

La prueba estadística consistió en un diseño experimental factorial que consta de dos factores, el primero (a) con tres niveles, en el cual se evalúan los tipos de muestras como extracto de nopal, tuna y mezcla de ambos; el segundo factor (b) con dos niveles, evalúa la variable tratamiento térmico (fresco y pasteurizado). Los estudios se realizaron con 5 repeticiones para el análisis de varianza (ANOVA), y el análisis de medias por el método de Tukey.

El paquete estadístico utilizado fue el programa Minitab versión 17.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización de materias primas.

A continuación se presentan los valores promedio de las dimensiones de cinco repeticiones de nopal y tuna, que fueron destinados para obtener los extractos en fresco y pasteurizados.

Tabla 12. Tamaño promedio de las muestras de nopal y tuna.

Dimensiones del nopal	Fresco	A pasteurizar
Largo (cm)	25.36	25.96
Ancho (cm)	12.72	12.68
Peso (g)	158.74	188.04
Dimensiones de la tuna	Fresco	A pasteurizar
Largo (cm)	10.08	8.68
Ancho (cm)	7.46	6.14
Peso (g)	231.56	210.32

En la tabla 13 se muestran los valores promedio del volumen obtenido al realizar el proceso de extracción de tuna y nopal con el equipo de 6 aspas (Nutribullet).

Tabla 13. Volumen promedio de los extractos de nopal y tuna.

Volumen del extracto (mL)	Fresco	A pasteurizar
Nopal	169.2	116.6
Tuna	103.8	56

Tomando los pesos de la tabla 12 y el volumen total de los extractos (tabla 13) se obtuvo un rendimiento promedio total de: tuna fresca= 44.82%, tuna a pasteurizar= 26.62%, nopal fresca=100%, nopal a pasteurizar= 62%. En las tunas hay un rendimiento bajo debido a las cáscaras gruesas, en el caso del nopal fresco existe un aprovechamiento total, sin embargo las muestras que estaban destinados a pasteurizar muestran un rendimiento bajo en tunas como en nopales por haberse sometido a congelación previamente, por tal motivo al descongelarse hubo pérdida de masa (Aparicio Fernández, et al., 2017); lo anterior concuerda con lo reportado en 2017 por Aparicio Fernández *et. al.*, ya al evaluar tunas encontraron rendimientos con un rango mayor (29.9 – 63,7%) a lo reportado en este proyecto.

A continuación se presentan los valores promedio que se obtuvieron para las características de L*, a* y b* en el colorímetro Konika Minolta en nopal y tuna entera, (tabla 14).

Tabla 14. Valores promedio de L*, b* y a* en nopal y tuna.

Tuna	Fresco	A pasteurizar
L*	64.784	42.368
a*	-6.702	-5.328
b*	22.03	14.38
Nopal		
L*	52.076	40.36
a*	-15.814	-9.154
b*	25.024	13.356

Los resultados de la Tabla 14 muestran que la aplicación de tratamiento térmico debido a que los destinados a pasteurizar fueron congelados previamente, tiene un efecto que disminuye los tres componentes de color, luminosidad y saturación de los colores verde y amarillo. Machado- Velasco y Vélez Ruiz (2008) encontraron cambios notables de color en nopal al someterlos a congelación, lo que refuerza que los cambios de temperatura en los productos vegetales altera esta característica. La pérdida del color en vegetales verdes, puede deberse a ruptura de cloroplastos y cromoplastos celulares, también asociado con la pérdida de vitaminas (Rhaman & Vélez Ruiz, 2007).

4.2 Evaluación de extractos de nopal, tuna y mezcla frescos y pasteurizados

4.2.1 pH en extractos de nopal, tuna y mezcla

A continuación se presentan los resultados estadísticos provenientes del análisis de varianza y prueba de Tukey para la variable pH:

De acuerdo a los resultados que se muestran en la figura 18, se puede apreciar que para las muestras en fresco, entre el extracto de nopal y mezcla no existe diferencia significativa, sin embargo el extracto de tuna si presentó una diferencia estadística al presentar un mayor pH; un comportamiento similar se observó en las muestras pasteurizadas ya que el extracto de tuna presentó un mayor pH con

respecto al de nopal y mezcla, no existiendo diferencia estadísticamente significativa en estos dos últimos.

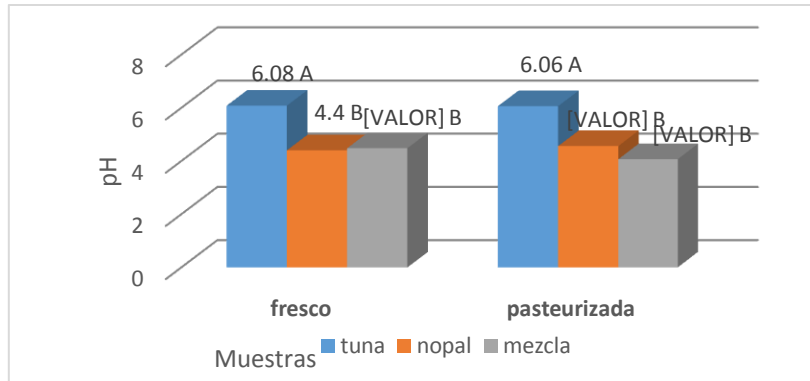


Figura 18. Prueba de medias de muestras respecto al pH. Las letras iguales significan similitud entre las muestras.

Los estudios realizados por (Aparicio Fernández, et al., 2017), en Lagos de Moreno Jalisco de *Opuntia ficus indica* (L. Mill) presentaron valores de 6.9 a 6.4 para el pH de los frutos. El nopal es un alimento considerado poco ácido, debido a que mantiene su $\text{pH} \geq 4.5$. (Sáenz, et al., 2006). Según los datos de (Ramírez Montoya, 2015), el nopal tiene un pH de 4.7.

4.2.2 pH en extractos frescos y pasteurizados.

En la figura 19, los extractos de la tuna y nopal no tuvieron diferencia respecto al pH en fresco así como en pasteurizado. Sin embargo la mezcla si presenta una diferencia, es decir, que en la mezcla pasteurizada disminuyó el pH. La FAO (2004) menciona que a menor pH las frutas y vegetales mantienen sus propiedades por ejemplo vitaminas, aroma y sabor. Villarreal y colaboradores (2003) aseguran que es necesario buscar parámetros adecuados a cada alimento, para que no se pierdan sus propiedades nutricionales. En el trabajo que realizaron Vázquez A. (2014) y Ramírez M. (2015) encontraron pH similares a los que se obtuvieron en el presente trabajo.

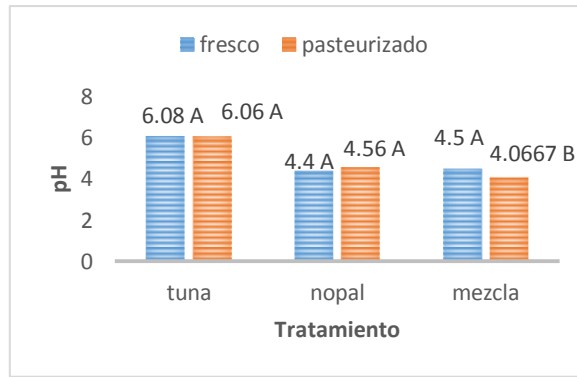


Figura 19. pH de tuna, nopal y mezcla en fresco y pasteurizado. Las letras iguales significan que no hubo diferencia.

4.2.3 Ácido cítrico en extractos de nopal, tuna y mezcla.

Los resultados muestran que el extracto de nopal presenta mayor porcentaje de ácido cítrico, después del nopal sigue la mezcla y por último la tuna que es la que menor porcentaje de ácido cítrico presenta en ambos tratamientos (figura 21). A su vez la figura 20 muestra diferencias significativas del porcentaje de ácido cítrico entre las tres muestras, tuna, nopal y mezcla, tanto en fresco como para pasteurizado. Aparicio F. y colaboradores (2017), obtuvieron un contenido de 0.003 a 0.11% de ácido cítrico en tuna.

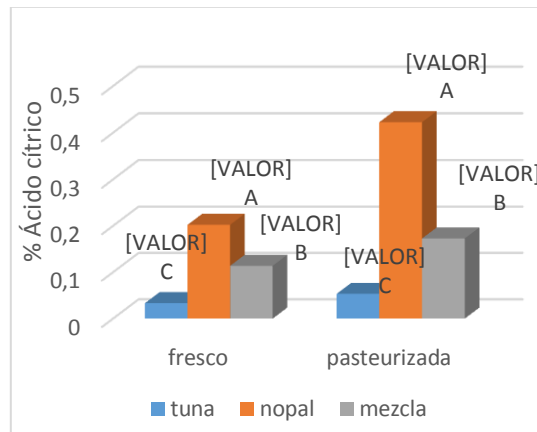


Figura 20. Gráfica de porcentaje de ácido cítrico presente en las muestras. Letras iguales presentan similitud entre las muestras

4.2.4 Ácido cítrico extractos frescos y pasteurizados.

En la figura 21 se puede apreciar que en el caso de la tuna, entre la fresca y pasteurizada no hay diferencia estadística, mientras que para el extracto de nopal y mezcla hubo diferencia entre el fresco y pasteurizado. Se pueden apreciar que en los extractos pasteurizados aumentaron el contenido de ácido cítrico Sáenz y colaboradores (2006) aseguran que la acidez de los nopales es afectada por la temperatura y el envasado ya que encontraron que a temperaturas bajas su contenido puede incrementarse. Debido a que la materia prima con la que se generaron los extractos pasteurizados fue congelada antes de pasteurizar, éste puede ser el factor al que se le atribuya el aumento en el contenido de ácido cítrico.

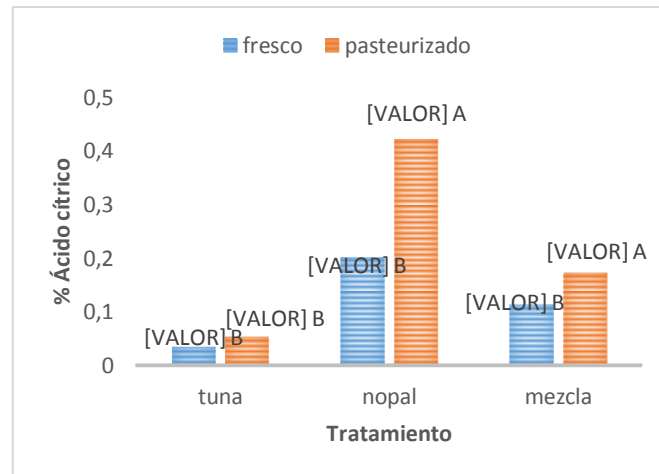


Figura 21. Porcentaje de concentración de ácido cítrico de tuna, nopal y mezcla, en fresco y pasteurizado.

4.2.5 Luminosidad en extractos de nopal, tuna y mezcla.

Enseguida, en la figura 22, se muestran los resultados de la prueba estadística de la luminosidad de los extractos evaluados.

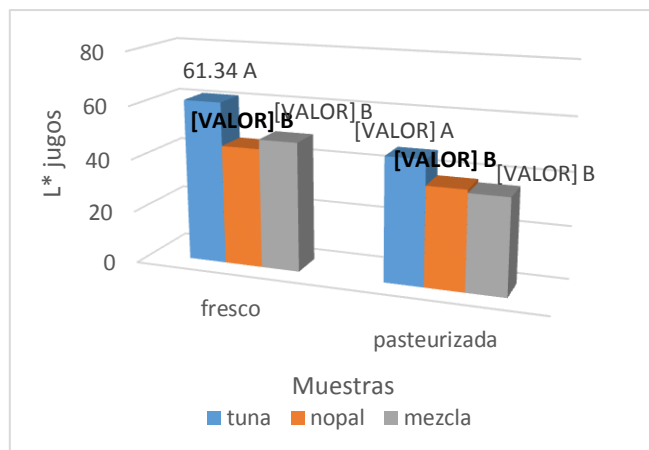


Figura 22. Luminosidad presente en las muestras. Letras iguales significan similitud entre las muestras.

En la figura 22 se observa que no hay diferencia significativa entre los extractos de nopal y la mezcla en ambos tratamientos, únicamente es diferente la luminosidad del extracto de tuna respecto al resto. De acuerdo a los resultados de Ramírez M. (2015), el jugo de tuna presentó una L^* de 59.29 y el de nopal de 49.81 en fresco. Cabe mencionar que la luminosidad puede verse afectado por el origen de la materia prima y tiempo de maduración.

4.2.6 Luminosidad extractos frescos y pasteurizados

A continuación, en la figura 23, se presenta el efecto térmico respecto a la luminosidad en los diferentes extractos en estudio.

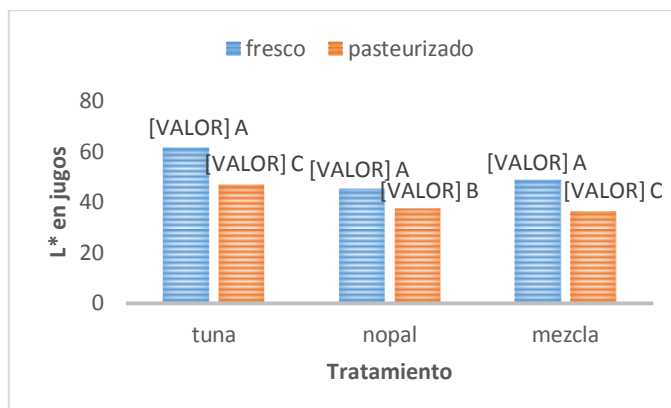


Figura 23. Efecto térmico de la luminosidad en extractos de tuna, nopal y mezcla. Letras iguales significan similitud.

En la figura 23 se puede observar que disminuyó el valor de luminosidad (L^*) al someterlo a pasteurización (60°C por 30 minutos), en las tres muestras. Vázquez A. en 2014 obtuvo datos similares en jugos pasteurizados de nopal. Los resultados muestran evidencia que al someter los extractos a una fuente de calor se producen alteraciones de su estructura y, por tanto, modificaciones en el color, debido a esto se puede considerar que la temperatura juega un papel muy importante, al momento de pasteurizar los extractos; en la figura 24 se pueden observar los cambios que pasaron los jugos de fresco a pasteurizado respecto al color. Respecto a la luminosidad que se observa en los datos de la figura 23, se puede decir que los jugos se fueron aclarando con la pasteurización.

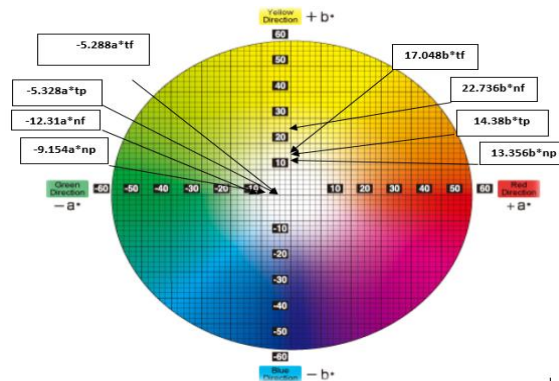


Figura 24. Diagrama de saturación de color CIE LAB. Donde tf= tuna fresca, tp= tuna pasteurizado, nf= nopal fresco, np= nopal pasteurizado. Valores de a^* y b^* en jugos. Fuente: <http://sscolor.com/newsshow.asp?sid=29&id=159>

El espacio de color conocido como CIE $L^*a^*b^*$, en donde se pueden ubicar los valores obtenidos por las muestras evaluadas y se aprecian que los extractos de tuna, nopal y mezcla en fresco y pasteurizado pierden luminosidad, se muestra en la figura 25.

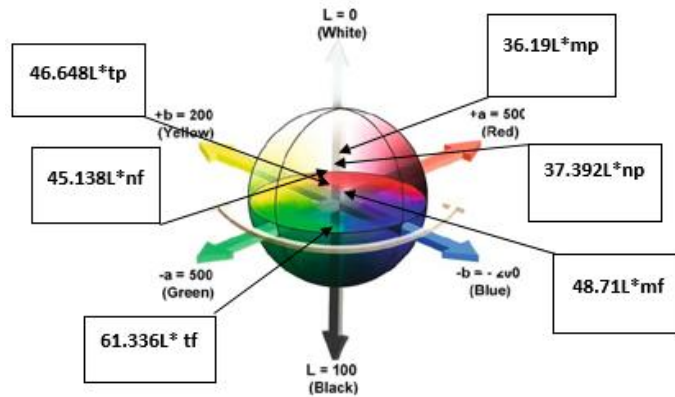


Figura 25. El espacio de color cúbico CIE Lab. (Sing, et al., 2009). Donde t=tuna, n=nopal, m=mezcla, f=fresco, p=pasteurizado.

4.2.7 Fructosa en extractos de nopal, tuna y mezcla.

En la figura 26 se muestran los resultados y la diferencia de medias obtenidas por el análisis de Tukey en donde todos los extractos frescos y pasteurizados muestran una diferencia significativa.

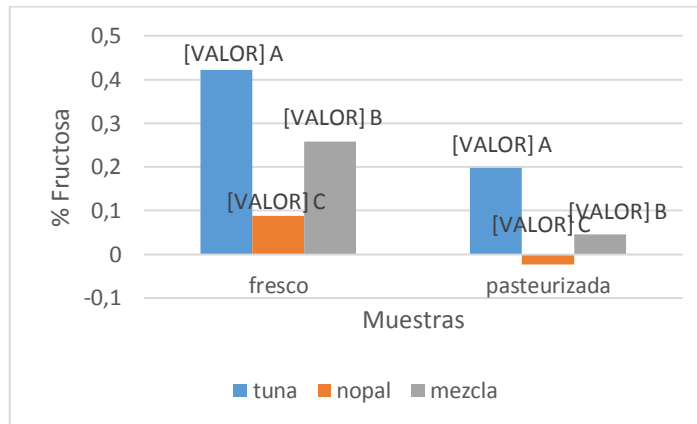


Figura 26. Porcentaje de fructosa presente en las tres muestras. Letras iguales presentan similitud entre las muestras.

El extracto que presenta mayor porcentaje de fructosa es el jugo de tuna, posteriormente la mezcla y por último el nopal.

4.2.8 Fructosa extractos frescos y pasteurizados.

En el gráfico de la figura 27 se muestran los resultados del porcentaje de fructosa presente en los jugos extraídos de tuna, nopal, mezcla después de someterlas a un tratamiento térmico.

En los tres extractos existe una diferencia estadísticamente significativa, entre el fresco y pasteurizado, en la pasteurización se pierde un porcentaje considerable de fructosa, siendo el nopal el que tiene una pérdida total de fructosa en el proceso de pasteurización.

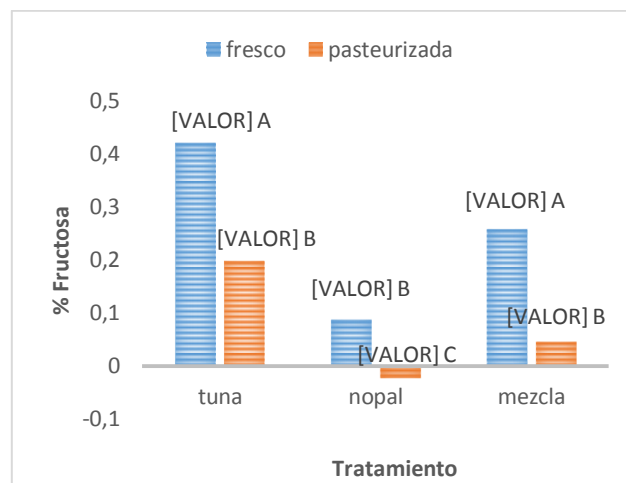


Figura 27. Efecto térmico en porcentaje de fructosa presente en tuna, nopal y mezcla.

Vázquez Alfaro (2014) asegura haber encontrado una pérdida de fructosa en jugos de nopal sometidos a un proceso de pasteurización, lo cual coincide con lo encontrado en esta investigación.

4.2.9 Inhibición de la enzima α amilasa en extractos de nopal, tuna y mezcla.

A continuación se presenta el porcentaje de inhibición enzimática de la α amilasa presentado por los diferentes extractos evaluados.

De acuerdo al análisis estadístico, se pudo encontrar una diferencia significativa en los tres extractos evaluados (de tuna, de nopal y mezcla) tanto en fresco como en pasteurizado (figura 28). Todas las muestras presentaron inhibición negativa, sin embargo la que presentó un menor porcentaje negativo es el nopal. Sosa N., et

al. (2002) estudió las propiedades de la fresa, en la cual obtuvo efectos negativos en la inhibición enzimática de la α amilasa.

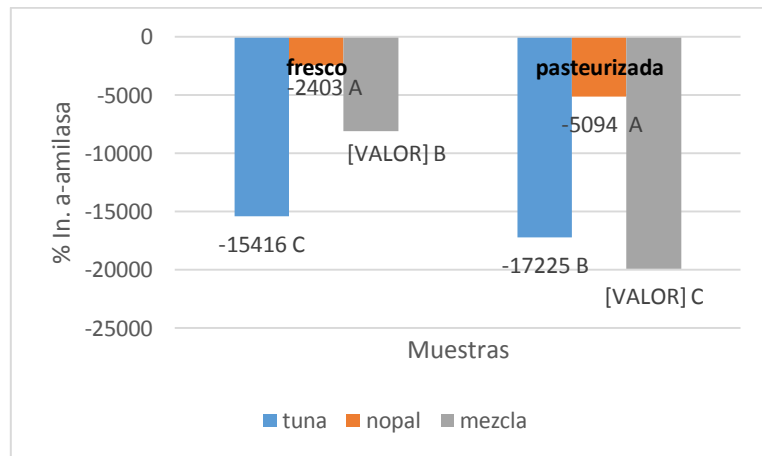


Figura 28. Porcentaje de inhibición de la α amilasa. Letras iguales significan similitud entre las muestras.

4.2.10 Inhibición de la enzima α amilasa extractos frescos y pasteurizados.

Para la inhibición de α amilasa hubo resultados negativos en los tres extractos donde, el de tuna presenta similitudes en fresco y pasteurizado, es decir que no se vió afectado por el tratamiento térmico, mientras que para los extractos de nopal y mezcla no hay similitudes en fresco y pasteurizado, sin embargo, cabe resaltar que el extracto de nopal es el que menor porcentaje negativo presenta, como se observa en la figura 29:

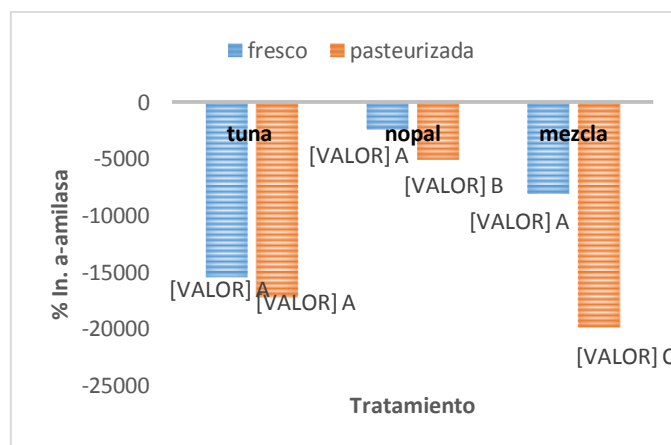


Figura 29. Porcentaje de inhibición de α amilasa después de los tres tratamientos térmicos.

4.3.11 Inhibición de la enzima α glucosidasa en extractos de nopal, tuna y mezcla.

Las muestras presentaron inhibición positiva respecto a la α glucosidasa, como se muestran a continuación en la figura 30.

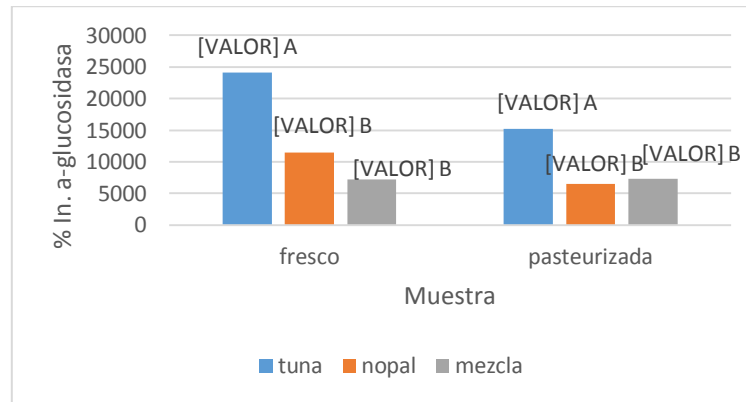


Figura 30. Porcentaje de inhibición de α glucosidasa. Letras iguales presentan similitud entre las muestras.

Para la inhibición de la α glucosidasa en los extractos de nopal y mezcla no hubo diferencia significativa entre las dos muestras fresco así como en pasteurizadas. Existen estudios que avalan que el nopal contiene concentraciones de fenoles. Oboh y colaboradores en 2016, realizaron un estudio en la cual se evaluaron inhibiciones enzimáticas con ácido gálico (fenol presente en vegetales), donde se encontró un 50% de efecto respecto a la α glucosidasa; Alam Khan y colaboradores mencionan que los contenidos fenólicos totales presentes en la *Phoenix dactylifera L.* funcionan como inhibidores de la α glucosidasa.

4.2.12 Inhibición de α glucosidasa respecto extractos frescos y pasteurizados.

A continuación, en la figura 31, se presentan los resultados estadísticos del efecto inhibitorio que tuvieron los extractos después de los tratamientos a los que se sometieron, destacando el hecho de que la pasteurización sí afecta reduciendo el porcentaje de inhibición, sin embargo, no son diferentes estadísticamente.

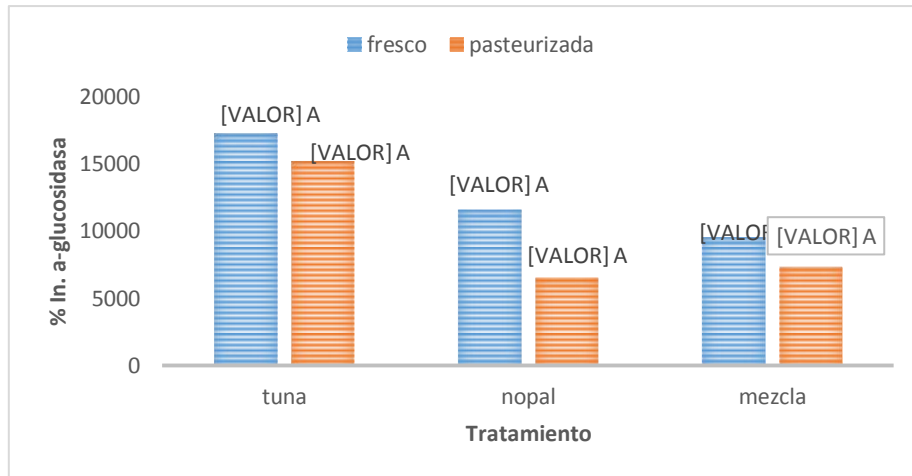


Figura 31. Porcentaje de inhibición de α glucosidasa después del tratamiento térmico de las muestras.

CONCLUSIONES

Por los resultados del presente estudio, se puede concluir lo siguiente:

- Debido a la cáscara de la tuna existe un rendimiento del 44.82% y un aprovechamiento del nopal del 100%, sin embargo al someterlas a congelación pierden peso y por lo tanto rendimiento.
- En relación al pH, existen diferencias significativas entre el extracto de la tuna que es ligeramente alcalina y el de nopal que es ácido
- El nopal predomina sobre las características físico-químicas de la mezcla, específicamente en color, pH, contenido de ácido cítrico, y en la inhibición enzimática.
- Respecto al efecto del tratamiento térmico, éste aumentó la concentración del ácido cítrico, sin embargo demerita el color y disminuye significativamente el contenido de fructosa en los tres productos evaluados.
- Los extractos de tuna, nopal y la mezcla de ambos, presentaron inhibición negativa sobre la α amilasa, mientras que sobre la α glucosidasa, la inhibición que presentan es positiva, lo que les brinda un potencial antidiabético.

LITERATURA CITADA

Machado-Velasco, K. & Vélez-Ruiz, J., 2008. Estudio de propiedades físicas de alimentos mexicanos durante la congelación y el almacenamiento congelado. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 7(1), pp. 41-54.

Adedayo, O. y otros, 2015. Antioxidant properties and in vitro α -amylase and α -glucosidase inhibitory properties of phenolics constituents from different varieties of *Corchorus* spp.. *Journal of Taibah University Medical Sciences*, 10(3), pp. 278-287.

Aguilar Alarcón, F. & Valdez-Arzate, A. e. a., 2003. Hypoglycemic activity of two polysaccharides isolated from *O. ficus indica* and *O. streptacantha*. *Proc West Pharmacol Soc.*, Volumen 46, pp. 139-42.

Alam Khan, S. y otros, 2016. In vitro inhibitory effects on α -glucosidase and α -amylase level and antioxidant potential of seeds of *Phoenix dactylifera* L.. *Asian Pac J Trop Biomed*, 6(4), p. 322–329.

Alegre del Rey, J. y otros, 1997. Nuevas perspectivas en el Tratamiento de la Diabetes Tipo II. En: *Nuevas perspectivas en el Tratamiento de la Diabetes Tipo II*. España: Universidad de la Casilla - La Mancha: Química Farmacéutica, pp. 95-96.

Andrade-Cetto. A., H. M., 2005. Plantas Mexicanas usados para el tratamiento de la diabetes por su efecto hipoglucémico. *Journal de Etnofarmacología*, pp. 99, 325–348.

Aparicio Fernández, y otros, 2017. Características físicoquímicas de frutos de variedades silvestres de *Opuntia* de dos regiones semiáridas de Jalisco, México. *Polibotánica*, Issue 43, pp. 1-26.

Argueta, V., *Atlas de plantas medicinales tradicionales en México*. (Instituto Nacional de Indígenas.).

Arumugam, A., Gunasekaran, N. & Perumal, S., 2014. Potencial inhibidor in vitro, antidiabético, de colinesterasa y tirosinasa del jugo fresco de frutas de *Citrus hystrix* y *C. maxima*.. *Food Science and Human Wellness*, Volumen 3, pp. 16-25.

Bakr Shori, A. & S. Baba, A., 2014. Comparative antioxidant activity, proteolysis and in vitro α -amylase and α -glucosidase inhibition of *Allium sativum*-yogurts made from cow and camel. *Journal of Saudi Chemical Society*, Volumen 18, pp. 456-463.

Basurto Santos, D., Lorenzana-Jiménez, M. & Magos Guerrero, G. A., 2006. Utilidad del nopal (spp.) para el control de la glucosa en la diabetes mellitus tipo 2. *Revista de la Facultad de Medicina UNAM*, 49(4).

Bravo-Hollis, H., 1978. *Las cactáceas de México*. 2 ed. México: Vol. 1 U.N.A.M.

- Caicedo, H., 2009. Estudio de factibilidad para la implementación de un centro de acopio y adecuación para naranja, guayaba, mora y tomate de árbol en el municipio de Consacá. En: Colombia: Facultad de Ingeniería Agroindustrial, p. 210.
- Cerón, A. F., Osorio M., O. & Hurtado B., A., 2012. Identificación de ácidos grasos contenidos en los aceites extraídos a partir de semillas de tres diferentes especies de frutas. *Acta Agronómica*, 61(2), pp. 126-132.
- Chavez Ortiz, R., B. I de la Vega, R. & Ramos, M., 2001. Hipoglucemiantes orales: propiedades farmacológicas y usos terapéuticos. *Revista de Posgrado de la Cátedra Via Medicina*, Issue 106, pp. 8-12.
- Cruz, M., Vieira, . C. & Silva , L., 2008. Effect of heat and thermosonication treatments on watercress (*Nasturtium officinale*) vitamin C degradation kinetics. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 9(4), pp. 483-488.
- ENSANUT, 2012. *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición. Resultados Nacionales*, México: Instituto Nacional de Salud Pública.
- ENSANUT, 2016. *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición de Medio Camino*, México: Instituto Nacional de Salud Pública..
- Equipo de redacción de IQB (Centro colaborador de La Administración Nacional de Medicamentos, alimentos y Tecnología Médica -ANMAT - Argentina)., 2011. *VADEMECUM*. Available at: <http://www.iqb.es/cbasicas/farma/farma04/a095.htm> [Último acceso: 04 Noviembre 2017].
- Espachs, A., Hendricks, O., Belloso, M. & A., V. L., 2006. Inactivation of plant pectin methylesterase by thermal or high intensity pulsed electric field treatments. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 7(1-2), pp. 40-48.
- FAO, 2004. *Conservación de frutas y hortalizas mediante tecnologías combinadas*, Roma Italia: Oficial, AGST.
- FAO, 2005. *Norma general para zumos (jugos) y néctares de frutas (CODEX STAN 247-2005)*, s.l.: TFFJ.
- Farnworth, M. L. M. a. Y. V., 2001. Thermal processing, storage conditions, and the composition and physical properties of orange juice. *Food Research International*, Volumen 34, pp. 25-30.
- Financiera rural, Julio, 2011. *Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial. Dirección Ejecutiva de Análisis Sectorial*, México: Vivir Mejor.
- Gaballah, A. A., Embaby, H. E.-S., Hamed, Y. S. & El-Samahy, S. K., 2016. Changes in physical and chemical properties of *Opuntia dillenii* fruits during the growing stages. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, Volumen 18, pp. 1-14.

Gutiérrez, J. P., Hernández- Ávila, M. & Reynoso Noverón, N., 2013. Diabetes mellitus en México. El estado de la epidemia. *Salud pública de México*, pp. 130-135.

Guzmán Loayza, D. & Chávez, J., 2007. Estudio bromatológico del cladodio del nopal (o. ficus-indica) para el consumo humano. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 73(1), pp. 41-45.

Hwan Hwang, S., Jun kang, I. & Sung Lim, S., 2017. Antidiabetic Effect of Fresh Nopal (*Opuntia ficus-indica*) in Low-Dose Streptozotocin-Induced Diabetic Rats Fed a High-Fat Diet. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, <https://doi.org/10.1155/2017/4380721>(Article ID 4380721), p. 8.

International Diabetes Federation. Atlas de Diabetes., 2012. Available at: <http://www.idf.org/diabetesatlas/5e/Update2012>.

International Diabetes Federation, 2015. Atlas de la Diabetes de la FID, 7° edición. En: Bélgica: International Diabetes Federation, pp. 27-28.

Kazeem, M. I., Adamson, J. O. & Ogunwande, I. A., 2013. Modes of Inhibition of α -Amylase and α -Glucosidase by Aqueous Extract of *Morinda Lucida* Benth Leaf. *BioMed Research International*, Volumen 2013, p. 6.

Krentz, A. & Bailey, C., 2005. Agentes antidiabéticos orales: papel actual en la diabetes mellitus tipo 2.. *Drugs*, 65(3), pp. 385-411.

López Islas, I., Lozano Nuevo, J. J., Jiménez Saab, N. G. & Rubio Guerra, A. F., 2005. Ingestión de cebolla como coadyuvante en el control glucémico del diabético tipo II. *Medicina Interna de México*, Volumen 21, pp. 44-47.

López , J. L. J. & Geffen, D., 2007. Use of *Opuntia Cactus* as a Hypoglycemic Agent in Managing Type 2 Diabetes Mellitus among Mexican American Patients. *Nutrition Bytes*, 12(1).

López Martínez, C. R., García Mateos, R., Gallegos Vázquez, C. & Sahagún Castellanos, J., 2015. Antioxidant components and nutritional quality of 15 genotypes of Xocostle (*Opuntia* spp.). *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, Volumen 17, pp. 33-49.

Luis, D. & Romero, E., 2013. Análogos de insulina: modificaciones en la estructura, consecuencias moleculares y metabólicas. *Semergen*, 39(1), pp. 34-40.

Maca, M. P., Mejía, D. F. & Osorio, O., 2012. Efecto del tratamiento térmico sobre las propiedades fisicoquímicas y sensoriales del zumo de tamarillo (*Solanum betaceum*). *Vitae*, 19(1).

Maki Díaz, G. y otros, 2015. Características físicas y químicas de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) para exportación y consumo nacional. *Agrociencia*, Volumen 49, pp. 31-51.

Manuel, H. R. & et al., 2001. Alimentación Infantil. En: *Alimentación Infantil*. Madrid, España: Díaz de Santos, S.A., pp. 102-103.

Médicos y Doctores del Salvador, s.f. *Medicos y Doctores del Salvador*. Available at: <http://elsalvador.medicosdoctores.com/diccionario-medico/> [Último acceso: 05 Noviembre 2017].

Morillas - Ruíz, J. & Delgado - Alarcón, J., 2012. Análisis nutricional de alimentos vegetales con diferentes orígenes : Evaluación de capacidad antioxidante y compuestos fenólicos totales. *Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria* , 32(2), pp. 8-20.

Oboh, G., Babatunde, O., Damilola Ogunbadejo, M. & Adeniyi Adefegha, S., 2016. Influence of gallic acid on α -amylase and α -glucosidase inhibitory properties of acarbose. *Journal of food and drug analysis* s, Volumen 24, pp. 627 -634.

Organización Mundial de la Salud, 2004. En: D. k. Metha, R. S. Ryan & H. V. Hogerzeil, edits. *OMS Formulario Modelo*. London: Royal Pharmaceutical Society of Great Britain, London, pp. 331-332.

Organización Mundial de la Salud, 2004. *Formulario Modelo de la OMS 2004*. Available at: <http://apps.who.int/medicinedocs/es/d/Js5422s/22.7.html>

Organización Mundial de la Salud, 2016. *Organización Mundial de la Salud*. Available at: <http://www.who.int/diabetes/global-report/es/> [Último acceso: 28 octubre 2017].

Peña Díaz, A., Arroyo Begovich, Á., Gómez Puyou, A. & Tapia Ibargüengoytia, R., 2004. Bioquímica. En: G. Noriega, ed. *Bioquímica*. México: LIMUSA S.A. de C.V., pp. 256-257.

Pérez Porto, J. & Merino, M., 2017. *Definición. DE*. Available at: <https://definicion.de/amilasa/>[Último acceso: 05 Noviembre 2017].

Pichao , Y. A., Osorio, O. & Mejía , D., 2014. Inactivación Térmica de Pectinmetilesterasa en Jugo de Uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Información Tecnológica*, 25(5), pp. 55-64.

RA., D. F., 2004. Pathogenesis of type 2 diabetes mellitus.. *Medical Clinics of North America*, pp. 787-835.

Ramírez Montoya, M., 2015. Elaboración de una bebida con potencial hipoglucemiante a partir del nopal y tuna blanca (*O. ficus indica*). En: Saltillo, Coahuila, México: UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO, pp. 47-47.

Ran, K., 2010. Usos médicos del nopal. En: V. Rochester, ed. *Tratamiento para la diabetes, colesterol y el sistema inmunológico*. Toronto, Canadá: Inner Traditions.

- Rhaman, M. & Vélez Ruiz, J., 2007. Food Preservation by Freezing. In Handbook of Food Preservation. Second Edition. En: USA: CRC Press, Boca Raton FL, pp. 635-665.
- Sáenz, C. y otros, 2006. *Utilización agroindustrial del nopal*. Cadmo Rosell ed. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación .
- SAGARPA, 2011. *Ofrece cultivo de nopal y tuna oportunidades a pequeños productores; en Puebla, detiene migración*. Num.422/11, Acatzingo, Puebla: <http://www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa/boletines2/2011/julio/Documents/2011B422.pdf>.
- SAGARPA, 2015. *Genera INIFAP innovadora tecnología intensiva para producir nopal-verdura en temporada invernal*, México: <http://www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa/2012/Paginas/2015B071.aspx#>.
- Salamanca , G., Osorio , P. & Montoya , L., 2010. Elaboración de una bebida funcional de alto valor biológico a base de borjón (Borojoa patinoi Cuatrec).. *Chilena Nutrición*, 37(1), pp. 87-96.
- Salas Zapata, L. y otros, 2016. Costos directos de las hospitalizaciones por diabetes mellitus. *Elsevier*, pp. 1-7.
- Sanchez, N., Sepulveda, J. & Rojano, B., 2013. Desarrollo de una bebida láctea con extractos de curuba (Passiflora mollissima bailey) como antioxidante natural.. *Revista BioAgro*, 1(1), pp. 164-173.
- Sarah, W. y otros, 2004. Prevalencia Global de Diabetes: Estimaciones para el año 2000 y proyecciones para el 2030.. *Diabetes Care*, pp. 1047-1051.
- Satta, M. & Sisini, A., 1964. On glucose-6-phosphate isomerase in Opuntia ficus indica.. *Bol Soc Ital Biol Sper*, 40(11), pp. 09-10.
- Sing, B., Parwate, D. & Kumar Shukla, S., 2009. Radiosterilization of Fluoroquinolones and Cephalosporins: Assessment of Radiation Damage on Antibiotics by Changes in Optical Property and Colorimetric Parameters. *AAPS PharmSciTech*, 10(1).
- Sosa N., M. y otros, 2002. Determinación del Efecto Inhibitorio de los Polifenoles presentes en la Fresa (Fragaria vesca L.) sobre la enzima Alfa Amilasa. *Revista de la facultad de farmacia*, Volumen 43.
- Sudzuki, F., 1999. Anatomía y morfología. En: G. I. P. E. Barbera, ed. Roma: Estudio de la FAO producción y protección vegetal, pp. 29-36.
- Sudzuki, F. e. a., 1993. Agroecología, cultivo y usos del nopal. En: *Anatomía y morfología*. Roma: FAO, pp. 29-36.

Terán , Y. y otros, 2015. Análisis de las características físico-químicas del fruto de *Opuntia ficus indica* (L) Miller, cosechado en Lara Venezuela. *Rev. Iber. Tecnología Postcosecha* , 16(1), pp. 69-74.

Thilagam, E., Parimaladevi, B., Kumarappan, C. & Chandra Mandal, S., 2013. α -Glucosidase and α -Amylase Inhibitory Activity of *Senna surattensis*. *Journal of Acupuncture and Meridian Studies*, 6(1), pp. 24-30.

Valverde, I., Cancelas, J. & Villanueva-Peña Carrillo, M., 2006. El GLP-1: acción biológica y posibles efectos terapéuticos. *Endocrinología y Nutrición.*, 53(4), pp. 256-62.

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.. En: Saltillo, Coahuila, México: UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO.

Villareal, Y. D., Mejía E., D. F., Osorio M., O. & Cerón C., A. F., 2013. Efecto de pasteurización sobre características sensoriales y contenido de vitamina c en jugos de fruta.. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(2), pp. 66-75.

Yanet, R. C. O., 2015. Instituto Politécnico Nacional; Centro de Investigación en Tecnología Aplicada y Ciencia Avanzada . En: *Estudio de la actividad hipoglucemiante y antioxidante de tronadora, wereque y raíz de nopal* . México: Secretaría de investigación y posgrado, pp. 59-60.

Zuleta, M., Esteve, A. & Frígola, 2010. Ascorbic acid in orange juice-milk beverage treated by high intensity pulsed electric fields and its stability during storage.. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, Volumen 11, pp. 84-90.