UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

"Enseñar la explotación de la tierra, no la del hombre"

DESARROLLO DE UN DULCE CON POTENCIAL NUTRACÉUTICO A PARTIR DEL FRUTO DE XOCONOSTLE EDULCORADO CON NEOTAME

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO MEXICO
DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

MAESTRO EN CIENCIAS EN

CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

PRESENTA:

NICTE VERENICE ÁLVAREZ CASTRO

Chapingo, Texcoco, Edo. de México, enero de 2013

DESARROLLO DE UN DULCE CON POTENCIAL NUTRACÉUTICO A PARTIR DEL FRUTO DE XOCONOSTLE EDULCORADO CON NEOTAME

Tesis realizada por Nicte Verenice Ál...ez Castro bajo la dirección de Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

DIRECTOR: _____

DR. JOSÉ JOEL ENRIQUE CORRALES GARCÍA

ASESOR: _____

DR. ARTURO HERNÁNDEZ MONTES

ASESORA: _____

DRA. CECILIA BEATRIZ PEÑA VALDIVIA

ASESORA: _____

DRA. MA. DEL ROSARIO GARCÍA MATEOS

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por su apoyo financiero para llevar a cabo los estudios de maestría.

A la Universidad Autónoma Chapingo, por brindarme la oportunidad y por ser parte de mi formación profesional.

Al Dr. Joel Corrales G. por su experiencia compartida y por su valioso apoyo para alcanzar los objetivos planteados, por su interés y paciencia, por el tiempo dedicado a esta tesis.

Al Dr. Arturo Hernández M. por enseñarme lo valioso de la evaluación sensorial, por su paciencia y facilidades brindadas en la realización de la tesis.

A la Dra. Cecilia B. Peña V. por sus correcciones y recomendaciones para la investigación y redacción de la tesis.

A la Dra. Ma. del Rosario García M. por sus consejos acertados, palabras de aliento, por su apoyo y tiempo incondicional para esta tesis.

A la Dra. Nimbe Torres y Torres, Lic. Patricia, Edgar y Guillermo por abrir las puertas incondicionalmente del Departamento de Fisiología de la Nutrición del Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán, por su apoyo desinteresado y colaboración para llevar a cabo los estudios clínicos.

A la Dra. Carmen Ybarra M. por sus consejos y su apoyo para finalizar los estudios de maestría.

A todo el personal que labora en la UACh (León, Cecilio, Perita, Chuy,..) por facilitar tramites, material y espacio requerido para la investigación.

DEDICATORIA

A mis padres por estar siempre a mi lado, por su paciencia y apoyo incondicional. Por todo su esfuerzo para alcanzar mis ilusiones. Por sus reproches y consejos. Por guiarme en los momentos de tristeza y oscuridad. Por muchas más razones que han dejado hulla en todo mi ser.

A Charly por su apoyo incondicional, por estar siempre a mi lado, por aguantar las situaciones buenas y malas, por su gran paciencia, por entenderme más allá de lo que yo puedo explicar, por ser parte de mi vida.

A mis amados y hermosos sobrinos (I, I y I), por sus sonrisas y travesuras, por ser las estrellas que brillan con tanta intensidad y llenan de alegría nuestros corazones. A mi hermano (L) y Jess por compartir momentos y ser parte fundamental de nuestra familia.

Los Q.M. Nic

DATOS BIOGRÁFICOS

Nicte Verenice Álvarez Castro nació el 5 de mayo de 1984, en México D.F. Realizó sus estudios de licenciatura en la Universidad Autónoma Chapingo en el Departamento de Ingeniería Agroindustrial. Trabajó en el programa estratégico de apoyo a la cadena productiva de productores de maíz y fríjol (PROMAF), en el área de producción y calidad de la empresa dulces Tarry.

DESARROLLO DE UN DULCE CON POTENCIAL NUTRACÉUTICO A PARTIR DEL FRUTO DE XOCONOSTLE EDULCORADO CON NEOTAME

DEVELOPMENT OF A CANDY WITH NUTRACEUTIC POTENTIAL FROM XOCONOSTLE FRUIT SWEETENED WITH NEOTAME

Nicte Verenice Álvarez-Castro[1], Joel Corrales-García[2]

RESÚMEN

El xoconostle, fruto del nopal conocido como tuna acida (pH menor a 3.4), pertenece al género *Opuntia* de la familia cactácea clasificado como *Opuntia matudae* Sheinvar. Los objetivos de este estudio fueron: desarrollar un dulce a partir de la cáscara del fruto de xoconostle (*O. matudae*) sin modificar su potencial nutracéutico y mejorar su sabor con neotame; determinar el efecto del tiempo de edulcorado y concentración de neotame sobre la cinética de secado convectivo y por liofilización; determinar el efecto de la concentración de neotame en el contenido de fenoles totales (FT) y la actividad antioxidante (AA) del producto obtenido; evaluar el efecto de la liofilización sobre la actividad antioxidante; determinar la dosis mínima de neotame para edulcorar las muestras; evaluar el efecto del consumo de cáscara de xoconostle sobre la glucosa en sangre, insulina y triglicéridos séricos. El proceso de secado se caracterizó con el método de Geankoplis (1998). Los FT se cuantificaron con el método Folin-Ciocalteu y la AA se evaluó con el método de DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo). Se empleó el método del estímulo constante para la evaluación sensorial de las muestras. El tiempo de edulcorado no disminuyó el tiempo de secado convectivo. La concentración de neotame disminuyó el tiempo de liofilización, el contenido de fenoles y actividad antioxidante. La liofilización no afectó la actividad antioxidante de cáscara no edulcorada. La concentración mínima de neotame fue de 0.032 g de neotame L^{-1}. Se realizó un estudio clínico en sujetos sanos. El consumo en dosis única de la cáscara de xoconostle, no tuvo efecto antihiperglucemiante, no aumentó la concentración de insulina y no disminuyó los niveles de triglicéridos séricos.

Palabras clave: *Opuntia matudae*, secado, neotame, fitoquímicos, evaluación sensorial, glucosa.

ABSTRACT

Xoconostle, nopal fruit known as acid prickly fruit (pH lower than 3.4), belongs to the genera *Opuntia* from the cactaceae family and it is classified as *Opuntia matudae* Scheinvar. The aims of this study were: to develop a candy from the skin of xoconostle fruit (*O. matudae*) without modifying its nutritional potential and improve its flavor with neotame; to determine the effect of the concentration of neotame in the total content of phenols (FT) and the antioxidant activity (AA) of the obtained product; to evaluate the effect of freeze drying on the antioxidant activity; to determine the minimum dose of neotame to sweeten the samples; to evaluate the effect of xoconostle skin consumption on the level of glucose in blood, insulin and triglycerides in serum. The drying process was characterized with the method of Geankoplis (1998). FT were quantified with the method of Folin-Ciocalteu and the AA with the DPPH method (2,2-diphenyl-1-picrylhydracyle). The method of continuous stimulation was used for the sensory evaluation of the samples. The time for sweetening did not cause the decrease of the time of convective drying. The neotame concentration decreased freeze drying time, phenol content and antioxidant activity. The freeze drying process did not affect the antioxidant activity in unsweetened skin. The minimum neotame concentration was 0.032 g neotame L^{-1}. The clinical study was performed in healthy subjects. The consumption in single dose of xoconostle skin did not have anti-hyperglycemic effect, the insulin concentration did not increased and the serum triglyceride levels did not decrease.

Keywords: *Opuntia matudae,* drying, neotame, phytochemicals, sensory evaluation, glucose.

[1] Tesista
[2] Director de tesis

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS……..... i

DEDICATORIA…….. ii

DATOS BIOGRÁFICOS..... iii

RESÚMEN..... iv

CONTENIDO..... v

LISTA DE CUADROS..... x

LISTA DE FIGURAS……..……... xiv

1. INTRODUCCIÓN……..... 1

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA..…… 7

2.1 El Xoconostle…….…. 7

2.1.1 Producción de xoconostle…….. 10

2.2 Diabetes……..……. 11

2.3 Conservación de los alimentos……. 14

2.4 Secado…….. 14

2.4.1 Secado por aire caliente……. 15

2.4.2 Secado por liofilización…….... 16

2.5 Agua en los alimentos……. 18

2.5.1 Curva de secado……..... 19

2.5.2 Actividad de agua (a_w)……..... 20

2.6 Alimentos nutracéuticos..…… 21

2.7 Compuestos fenólicos.…… 23

2.8 Flavonoides…….. 24

2.9 Vitamina C…….…… 24

2.10 Quercetina……..…….. 26

2.11 Antioxidantes…….. 27

2.12 Radicales libres…….. 30

2.13 Evaluación sensorial de los alimentos……... 31

2.14 Psicofísica……... 31

2.15 Edulcorantes…….. 37

2.15.1 Neotame……..……... 38

3. LITERATURA CITADA…… 40

CAPÍTULO 1. DESARROLLO DE UN DULCE CON POTENCIAL NUTRACÉUTICO A PARTIR DE CÁSCARA DEL FRUTO DE XOCONOSTLE (*Opuntia matudae*)…… 50

RESUMEN…….. 50

1. INTRODUCCIÓN……..... 51

2. MATERIALES Y MÉTODOS…….. 56

2.1 Material Vegetal…….. 56

2.2 Efecto del tiempo de edulcorado sobre la cinética de secado convectivo……..... 57

2.3 Efecto de diferentes concentraciones de neotame sobre la cinética de secado por liofilización…….. 61

2.4 Cuantificación de fenoles totales…….. 63

2.5 Evaluación de actividad antioxidante……... 66

2.6 Evaluación sensorial…… 71

2.7 Análisis estadístico……..... 72

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN…….. 73

3.1 Efecto del tiempo de edulcorado sobre la cinética de secado convectivo para diferentes tiempos de edulcorado…….. 73

3.1.1 Edulcorado previo (condiciones y efectos)……. 73

3.1.2 Cinética de secado convectivo.……. 74

3.1.3 Características sensoriales de las muestras secadas convectivamente……..... 76

3.2 Efecto de diferentes concentraciones de neotame sobre la

cinética de secado por liofilización…….. 76

3.2.1 Edulcorado previo (condiciones y efectos)…….. 76

3.2.2 Cinética de secado por liofilización……..……..... 78

3.3 Fenoles totales en cáscara de xoconostle edulcorada con neotame y secada por liofilización…….. 84

3.4 Actividad antioxidante en cáscara de xoconostle edulcorada con neotame y secada por liofilización…….. 88

3.5 Actividad antioxidante de cáscara de xoconostle fresca y secada por liofilización……. 91

3.6 Evaluación sensorial de cáscara de xoconostle edulcorada con neotame y secada por liofilización…….. 92

4. CONCLUSIONES……. 97

5. LITERATURA CITADA……. 98

ANEXOS……. 105

CAPÍTULO 2. EFECTO DEL FRUTO DE XOCONOSTLE (*Opuntia matudae*) EN LA CONCENTRACIÓN DE GLUCOSA, INSULINA Y TRIGLICÉRIDOS SÉRICOS…… 107

RESUMEN…….. 107

1. INTRODUCCIÓN…….. 108

2. MATERIALES Y MÉTODOS……... 112

2.1 Material vegetal…… 112

2.2 Acondicionamiento, edulcorado y secado por liofilización de las cáscaras de xoconostle…… 112

2.3 Sujetos……... 113

2.4 Protocolo experimental……... 115

2.5 Análisis estadístico…….. 116

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN…….. 118

4. CONCLUSIONES…… 142

5. LITERATURA CITADA……. 143

ANEXOS……. 150

LISTA DE CUADROS

REVISIÓN DE LITERATURA

Cuadro 1. Características físicas y químicas parciales de 11 colectas de *Opuntia xoconostle*……... 8

Cuadro 2. Pérdida de peso del fruto y cambios en el pH, proteínas y azúcares en la cáscara fresca del fruto de *O. joconostle* después de la cosecha……. 8

Cuadro 3. Composición de xoconostle crudo……. 9

Cuadro 4. Producción de *O. xoconostle*…….. 10

Cuadro 5. Veinte principales causas de enfermedad nacional en la población general 2010…… 13

Cuadro 6. Secado por liofilización: ventajas y desventajas…….. 18

CAPÍTULO 1. DESARROLLO DE UN DULCE CON POTENCIAL NUTRACÉUTICO A PARTIR DE CÁSCARA DEL FRUTO DE XOCONOSTLE (*Opuntia matudae*)

Cuadro 1. Valores promedio de actividad de agua (a_w) de cáscara de xoconostle (*O. matudae*) después de edulcorarla con diferentes concentraciones de neotame en solución acuosa y antes del secado por liofilización (-40 °C y 12 Pa)…….. 78

Cuadro 2. Valores promedio de humedad (contenido de agua) de cáscara de xoconostle (*O. matudae*) después de edulcorarla con diferentes concentraciones de neotame en solución acuosa y diferentes tiempos del secado por liofilización (-40 °C y 12 Pa)……. 80

Cuadro 3. Contenido de fenoles en cáscara de xoconostle (*Opuntia matudae*) edulcorada con diferentes concentraciones de neotame en solución acuosa y secada por liofilización (-40 °C y 12 Pa)……... 85

Cuadro 4. Concentración inhibitoria media (CI_{50}) de DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo) en cáscara de xoconostle (*O. matudae*) edulcorada con diferentes concentraciones de neotame en solución acuosa y secada por liofilización (-40 °C y 12 Pa)….. 89

Cuadro 5. Concentración inhibitoria media (CI_{50}) de DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo) en cáscara de xoconostle (*O. matudae*) fresca y secada con liofilización (-40 °C y 12 Pa)…….. 92

Cuadro 6. Frecuencia de respuestas de los jueces después de aplicar la prueba de estímulos constantes para cáscaras de xoconostle previamente edulcoradas con diferentes concentraciones de neotame y enseguida secadas por liofilización……..….. 93

Cuadro 7. Valores de Z para la probabilidad de cada concentración de neotame en cáscaras de xoconostle edulcoradas y secadas por liofilización……... 94

CAPÍTULO 2. EFECTO DEL FRUTO DE XOCONOSTLE (*Opuntia matudae*) EN LA CONCENTRACIÓN DE GLUCOSA, INSULINA Y TRIGLICÉRIDOS SÉRICOS

Cuadro 1. Características e indicadores bioquímicos promedio (± ee) de sujetos sanos en los que se determinó glucosa, insulina y triglicéridos séricos…… 113

Cuadro 2. Criterio de información Bayesiano de Schwarz (SBC), según la estructura de covarianzas…… 118

Cuadro 3. Glucosa en sangre capilar (mg dL^{-1}) de sujetos sanos en diferentes tiempos de la prueba después de consumir un desayuno alto en hidratos de carbono (DHC, 300 kcal) sin complementar (tratamiento testigo) o complementado con cáscara de xoconostle edulcorada con neotame y secada por liofilización (prueba activa)…….. 120

Cuadro 4. Insulina sérica (µU mL^{-1}) de sujetos sanos en diferentes tiempos de la prueba después de consumir un desayuno alto en hidratos de carbono (DHC, 300 kcal) sin complementar (tratamiento testigo) o complementado con cáscara de xoconostle edulcorada con neotame y secada por liofilización (prueba activa)…….. 124

Cuadro 5. Triglicéridos séricos (mg dL^{-1}) de sujetos sanos en diferentes tiempos de la prueba después de consumir un desayuno alto en hidratos de carbono (DHC, 300 kcal) sin complementar

(tratamiento testigo) o complementado con cáscara de xoconostle edulcorada con neotame y secada por liofilización (prueba activa)…….. 128

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1. DESARROLLO DE UN DULCE CON POTENCIAL NUTRACÉUTICO A PARTIR DE CÁSCARA DEL FRUTO DE XOCONOSTLE (*Opuntia matudae*)

Figura 1. Huerto familiar de frutos de xoconostle cv. Cuaresmeño (*Opuntia matudae*) de la comunidad de Cuautlacingo, Municipio de Otumba, Estado de México…….. 56

Figura 2. Proceso de acondicionamiento de las cáscaras de xoconostle: a) Eliminación de la cutícula a frutos frescos de xoconostle (pericarpio, cáscara fina del fruto), b) Eliminación de semillas y pulpa (endocarpio), c) Cáscaras de xoconostle frescas (mesocarpio, estructura del fruto consumida como alimento)…….. 58

Figura 3. Proceso de deshidratación con aire caliente de cáscaras de xoconostle (*O. matudae*): a) Cáscaras frescas de de xoconostle, b) Charolas con cáscaras de xoconostle frescas dentro del deshidratador, c) Cáscaras secas de xoconostle…….. 59

Figura 4. Medidor de actividad de agua (AquaLab, Decagon Devices, Washington, USA)…….. 60

Figura 5. Proceso de secado por liofilización de cáscaras de xoconostle (*O. matudae*): a) Frutos frescos de xoconostle, b) Cáscaras de xoconostle, c) Cáscaras de xoconostle en solución de neotame, d) Escurrido de las cáscaras de xoconostle edulcoradas, e) Embolsado de las cáscaras de xoconostle edulcoradas, f) Congelado de las cáscaras de xoconostle edulcoradas, g) Liofilizado de las cáscaras de xoconostle edulcoradas h) Cáscara de xoconostle edulcorada y liofilizada (producto final)…….. 63

Figura 6. Preparación de extractos etanólicos con 1 g de cáscara de xoconostle (*Opuntia matudae*) liofilizada y sonificación…….. 64

Figura 7. Extracto de cáscara de xoconostle y Na_2CO_3 al 10 % en baño maría a 38 °C……..……..... 65

Figura 8. Medición de la absorbancia a 660 nm, de la muestra de xoconostle, en un espectrofotómetro Spectronic 20® (Florida, USA)……..... 65

Figura 9. Curva de calibración (concentración de ácido gálico en ppm contra absorbancia medida a 660 nm) para la cuantificación de fenoles totales por el método espectrofotométrico descrito por Waterman y Mole (1994) …….... 66

Figura 10. Proceso de elaboración de extractos de cáscara de

xoconostle edulcorada y secada por liofilización para la determinación de actividad antioxidante: a) Cascará de xoconostle liofilizada sumergida en metanol b) Extractos en metanol y c) Extractos secos de cáscara de xoconostle…… 67

Figura 11. Color de los extractos de cáscara de xoconostle, con concentraciones de 0.001, 0.01, 0.05, 0.1, 0.5, 0.6 y 0.8 mg mL^{-1} después de agregar DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo) 68

Figura 12. Concentración de extracto de la cáscara de xoconostle (mg mL^{-1}) y % de DPPH inhibido, para encontrar el IC_{50}…… 69

Figura 13. Curva de calibración de quercetina contra % de DPPH inhibido para la evaluación de la actividad antioxidante por el método del radical libre DPPH descrito por Liu *et al.* (2009)……... 70

Figura 14. Curva de calibración de concentración de DPPH (0.01, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08 y 0.1 mM) contra absorbancia medida a 526 nm para la evaluación de la actividad antioxidante por el método del radical libre DPPH descrito por Liu *et al.* (2009)……... 71

Figura 15. Contenido de humedad (g H_2O g^{-1} sólido seco) en función del tiempo de secado con calor por convección (55 °C) de cáscara de xoconostle (*O. matudae*) edulcorada previamente durante diferentes tiempos por inmersión en solución acuosa de neotame (0.011 g L^{-1})……. 75

Figura 16. Contenido de humedad (g H_2O g^{-1} sólido seco) en función del tiempo de secado por liofilización (-40 °C y -12 Pa) de cáscara de xoconostle (*O. matudae*) edulcorada previamente con diferentes concentraciones de neotame por inmersión en solución acuosa…….. 82

Figura 17. Isoterma de desorción a 25 °C de cáscara de xoconostle (*Opuntia matudae*) edulcorada previamente con diferentes concentraciones de neotame en solución acuosa…… 83

Figura 18. Línea de regresión a partir de valores Z (0 y -0.675) para determinar el punto de igualdad subjetiva (PIS) y la diferencia apenas detectable (dad) de cáscaras de xoconostle edulcoradas con neotame y secadas por liofilización…….. 95

CAPÍTULO 2. EFECTO DEL FRUTO DE XOCONOSTLE (*Opuntia matudae*) EN LA CONCENTRACIÓN DE GLUCOSA, INSULINA Y TRIGLICÉRIDOS SÉRICOS

Figura 1. Glucosa en sangre capilar (mg dL^{-1}) de sujetos sanos después de consumir un desayuno alto en hidratos de carbono (DHC, 300 kcal) sin complementar (tratamiento testigo, •) y complementado con cáscara de xoconostle edulcorada con neotame y liofilizada (prueba activa, o). Cada valor es el promedio de 10 observaciones…….. 121

Figura 2. Tendencia de la concentración de glucosa en sangre (mg

dL^{-1}), de sujetos sanos, después de consumir un desayuno alto en hidratos de carbono (DHC, 300 kcal), complementado o no con cáscara de xoconostle edulcorada y liofilizada. Cada valor es el promedio de 20 observaciones; 10 de DHC con xoconostle y 10 sin él. Análisis de varianza PROC MIXED, efectos principales del tiempo…….…… 122

Figura 3. Glucosa en sangre capilar (mg dL^{-1}), de sujetos sanos, en el tiempo (min 0 hasta el min 120) para cada tratamiento evaluado después de consumir un desayuno alto en hidratos de carbono (DHC, 300 kcal), complementado o no con cáscara de xoconostle edulcorada. Cada valor es el promedio de 70 observaciones. Análisis de varianza PROC MIXED, efectos principales de los tratamientos …….. 123

Figura 4. Insulina sérica (µU mL^{-1}) de sujetos sanos después de consumir un desayuno alto en hidratos de carbono (DHC, 300 kcal) sin complementar (tratamiento testigo, •) y complementado con cáscara de xoconostle edulcorada con neotame y liofilizada (prueba activa, o). Cada valor es el promedio de 10 observaciones…….…..... 125

Figura 5. Tendencia de la concentración de insulina sérica (µU mL^{-1}), de sujetos sanos, después de consumir un desayuno alto en hidratos de carbono (DHC, 300 kcal), complementado o

no con cáscara de xoconostle edulcorada y liofilizada. Cada valor es el promedio de 20 observaciones; 10 de DHC con xoconostle y 10 sin él. Análisis de varianza PROC MIXED, efectos principales del tiempo…….. 126

Figura 6. Insulina (µU mL^{-1}), de sujetos sanos, en el tiempo (min 0 hasta el min 120) para cada tratamiento evaluado después de consumir un desayuno alto en hidratos de carbono (DHC, 300 kcal), complementado con y sin cáscara de xoconostle edulcorada. Cada valor es el promedio de 70 observaciones. Análisis de varianza PROC MIXED, efectos principales de los tratamientos…… 127

Figura 7. Triglicéridos séricos (mg dL^{-1}) de sujetos sanos después de consumir un desayuno alto en hidratos de carbono (DHC, 300 kcal) sin complementar (tratamiento testigo, •) y complementado con cáscara de xoconostle edulcorada con neotame y liofilizada (prueba activa, o). Cada valor es el promedio de 9 observaciones…….. 129

Figura 8. Tendencia de la concentración de triglicéridos (mg dL^{-1}), de sujetos sanos, después de consumir un desayuno alto en hidratos de carbono (DHC, 300 kcal), complementado o no con cáscara de xoconostle edulcorada y liofilizada. Cada valor es el promedio de 18 observaciones ± ee, 9 de DHC con xoconostle y 9 sin él. Análisis de varianza PROC

MIXED, efectos principales del tiempo..... 130

Figura 9. Triglicéridos séricos (mg dL^{-1}), de sujetos sanos, en el tiempo (min 0 hasta el min 120) para cada tratamiento evaluado después de consumir un desayuno alto en hidratos de carbono (DHC, 300 kcal), complementado o no con cáscara de xoconostle edulcorada y liofilizada. Cada valor es el promedio de 63 observaciones. Análisis de varianza PROC MIXED, efectos principales de los tratamientos…… …… 131

1. INTRODUCCIÓN

El xoconostle fruto del nopal conocido como tuna acida (pH 2.71 a 3.42), pertenece al género *Opuntia* de la familia cactácea clasificado como *Opuntia matudae* Scheinvar (Scheinvar *et al.*, 2009).

La diabetes mellitus (DM) es un problema grave de salud pública mundial y ha aumentado en los últimos años (García de Alba *et al.*, 2006). En la medicina popular del Valle de México, el xoconostle es utilizado como complemento en el tratamiento de la DM y colesterol alto (Rojas, 2004), enfermedades que en México, y todo el mundo, son causa de muerte. La literatura referente al tema señala que la ingesta de este fruto ayuda a regular (por efecto hipoglucemiante) el nivel de glucosa en la sangre de los consumidores (Paiz, 2007). Recientemente Pimienta-Barrios *et al.* (2008) concluyeron que el consumo habitual de la cáscara del fruto de xoconostle puede ser útil en el control de la glucosa sérica en individuos con diabetes mellitus tipo 2 (DM2). En personas sanas puede coadyuvar a prevenir estados de hiperglucemia y alteración en la concentración de colesterol y triglicéridos.

El xoconostle se usa principalmente para condimentar algunos platillos de la comida mexicana; sin embargo, no es consumido como fruta debido a que su sabor no es dulce. Así, que aunque la población reconoce el beneficio de su consumo, éste es limitado. Si el aspecto de la fruta fuera más agradable y su sabor más dulce, su consumo probablemente sería mayor. Entonces, una forma

de aumentar el consumo y contribuir con el tratamiento de la diabetes sería modificando y mejorando su sabor con un edulcorante no calórico.

Por otro lado, como todo producto perecedero, el xoconostle cosechado es un fruto que presenta cambios y deterioro de los tejidos. Una forma de retardar estos cambios, y aumentar su vida de anaquel es deshidratar la fruta. Para lograr la deshidratación de los tejidos vegetales existen varios métodos; aunque, algunos de estos métodos podrían afectar y disminuir el efecto antihiperglucemiante de los principios activos.

El objetivo de este trabajo fue desarrollar un dulce a partir de la cáscara del fruto de xoconostle (O*puntia matudae*) sin modificar su potencial nutracéutico y mejorar su sabor con neotame.

Antecedentes

En México, las estructuras vegetativas y reproductivas de los nopales (*Opuntia spp.*) han sido usadas con fines terapéuticos desde la época precolombina (Sánchez-Mejorada, 1982; Pimienta-Barrios, 1990; Basurto *et al.*, 2006); extendiéndose a otros países como parte de la medicina alternativa para el tratamiento de la DM2 (Frati *et al.*, 1983; Yeh *et al.*, 2003).

La industria farmacéutica de derivados del nopal para el control de la diabetes, colesterol, afecciones gastrointestinales y sobrepeso, se ha desarrollado ampliamente en México con base en estudios clínicos derivados de la herbolaria tradicional de Mesoamérica (Corrales, 2003).

De acuerdo con Corrales (2003) al nopal se le atribuyen, por la ingesta, propiedades curativas en afecciones renales y erisipela; en estudios médico-

científicos se han observado efectos hipoglucemiantes y abatimiento del colesterol en la sangre en individuos sanos o diabéticos no insulino-dependientes. Evidencias preliminares obtenidas *in situ* y por Hernández (1990) en el Altiplano Potosino-Zacatecano y en Estados circunvecinos permitieron reconocer que la cáscara del fruto del xoconostle (*O. joconostle* Web.) es empleada frecuentemente para el tratamiento de la DM por los habitantes de las regiones semiáridas de la zona centro de México.

En años recientes algunos investigadores han estudiado sus efectos en el tratamiento de la diabetes mellitus y en problemas de colesterol (Ibáñez-Camacho y Román-Ramos 1979; Frati-Munari *et al.*, 1983; Ibáñez-Camacho y Meckes-Lozoya 1983; Fernández *et al.*, 1984; Meckes-Lozoya y Román-Ramos, 1986; Frati-Munari *et al.*, 1987; Frati-Munari *et al.*, 1988; Frati *et al.*, 1989; Pimienta-Barrios *et al.*, 2008).

Justificación

La ingesta del xoconostle parece que es benéfica para la salud, pero su consumo está limitado por varias razones: sabor ácido, aspecto poco agradable, poco conocimiento de este fruto por la población en general, entre otras. El consumidor busca en primera instancia que los alimentos le nutran, que sean beneficiosos para su salud y que sean inocuos, es decir que satisfagan sus necesidades implícitas, luego busca satisfacer necesidades explícitas, que son las que tienen que ver con su gusto y con su derecho a escoger (incluye aspectos del sabor, forma, tamaño, color y textura de los

alimentos) (Corrales, 2005). Lo anterior ayuda a explicar porque la preferencia por el xoconostle es mínima.

El xoconostle es un alimento con características funcionales (aporta nutrientes y beneficia la salud) (Guzmán *et al.*, 2009; Guzmán *et al.*, 2010). Frecuentemente, se consume en mermeladas, salsas, mezclado con jugo de otros frutos y en guisos; y podrían desarrollarse productos nuevos para ampliar, facilitar y asegurar que llegué a un mayor número de consumidores. Para esto, parece necesario generar productos del xoconostle con características sensoriales y vida de anaquel mejoradas. Así, en este estudio nos propusimos seleccionar un proceso de secado que asegure la conservación de la fruta y que mantenga el efecto antihiperglucemiante de sus principios activos. Las propiedades finales de un producto seco, dependen principalmente del proceso y las condiciones de secado. En esto radica el interés por estudiar el secado de la cáscara de xoconostle con la finalidad de obtener un método de conservación que tenga el menor deterioro posible a las propiedades funcionales iniciales.

Objetivos

General:

- Desarrollar un dulce a partir de la cáscara del fruto de xoconostle (Opuntia matudae) sin modificar su potencial nutracéutico y mejorar su sabor con neotame.

Particulares:

- Evaluar el efecto del tiempo de edulcorado con neotame sobre la cinética del secado convectivo de cáscaras de xoconostle.

- Evaluar el efecto de edulcorado y secado convectivo sobre el aspecto y sabor del producto terminado.
- Determinar el efecto de la concentración del edulcorante (neotame) sobre la cinética de secado por liofilización, sobre el contenido de fenoles totales y sobre la actividad antioxidante en cáscaras de xoconostle.
- Evaluar el efecto del secado por liofilización sobre la actividad antioxidante de este tejido vegetal sin edulcorar.
- Determinar la concentración mínima requerida de neotame para obtener cáscaras de xoconostle secadas por liofilización sensorialmente detectadas con sabor dulce.
- Evaluar en sujetos sanos el efecto del consumo de la cáscara del fruto de xoconostle, edulcorada con neotame y secada por liofilización sobre los niveles de glucosa, de insulina y triglicéridos séricos.

Hipótesis:

- El tiempo de inmersión de las cáscaras de xoconostle en la solución edulcorante no disminuye el tiempo de secado convectivo.
- Las cáscaras de xoconostle edulcoradas y secadas por convección tienen apariencia y sabor poco agradable.
- La concentración de neotame no afecta la cinética de secado por liofilización, el contenido de fenoles totales y la actividad antioxidante de las cáscaras de xoconostle.
- El secado por liofilización no afecta la actividad antioxidante.

- Se requiere una concentración mínima de neotame para edulcorar las cáscaras de xoconostle y sean detectadas con sabor dulce.
- El consumo, en dosis única, de la cáscara del fruto de xoconostle (*O. matudae*) edulcorada y secada por liofilización tiene efecto antihiperglucemiante, aumenta el nivel de insulina y reduce el nivele de triglicéridos séricos en personas sanas.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 El Xoconostle

El xoconostle pertenece al género *Opuntia*. Scheinvar *et al.* (2009) identificaron diez especies mexicanas productoras de xoconostles: *Cylindropuntia imbricata* (Haw.), *O. heliabravoana, O. elizondoana, O. joconostle, O. matudae, O. spinulifera, O. leucotricha, O. zamudioi, O. durangensis* y *O. oligacantha.*

El xoconostle *O. matudae* es conocido comúnmente como xoconostle, xoconostle colorado con espinas, joconoxtle barrilillo, joconoxtle chapeadito y xoconostle cuaresmeño o cuaresmero. La planta es de hábito arbustivo y porte bajo; cladodios de 31.1 cm de largo y de 23.2 cm de ancho, de forma obovada. La flor de este cultivo es de 5 a 8 cm de largo, amarillo brillante con manchas rojas, pasando con el tiempo a rosado y rojo. El fruto es corto y estrecho (5.9 y 4.0 cm de largo y ancho), de forma elíptica, con cicatriz umbilical profunda, con pocas glóquidas color amarillo, y de cáscara y pulpa color rosa rojiza. La cáscara representa el 79.22 % del peso total (60 g), y presentan un número bajo de semillas completamente desarrolladas. El pH de los frutos de esta especie varía entre 2.71 y 3.42 (Scheinvar *et al.*, 2009; Gallegos-Vázquez y Mondragón-Jacobo, 2011).

Mayorga *et al.* (1990) y Sáenz (2006) presentan las principales características de *Opuntia xoconostle* (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características físicas y químicas parciales de 11 colectas de *Opuntia xoconostle.*

Peso fruto	Pulpa	Materia seca en pulpa	Sólidos solubles	Ácido ascórbico	Pectinas
g	g 100 g^{-1}	g 100 g^{-1}	g 100 g^{-1}	mg 100 g^{-1}	g 100 g^{-1}
53.36	69.38	6.27	5.32	76.8	0.799

Fuente: Mayorga *et al*. (1990).

Pimienta-Barrios *et al*. (2008) determinaron en la cáscara del fruto de *O. joconostle* la composición química y sus cambios durante veintiún días (Cuadro 2).

Cuadro 2. Pérdida de peso del fruto y cambios de pH, proteínas y azúcares en la cáscara fresca del fruto de *O. joconostle* después de la cosecha.

	Días después de la cosecha			
Variables	2	7	14	21
Pérdida de peso total (g)	0	3.4±0.03	5.4±0.82	6.1±1.30
pH	3.2±0.03	3.2±0.03	3.3±0.02	3.3±0.03
Azúcares totales (mg g-1)	1.20±0.13	1.68±0.24	1.08±0.15	0.89±0.20
Azúcares reductores (mg g-1)	0.82±0.07	1.30±0.10	0.87±0.09	0.86±0.09
Proteínas (µg g-1)	17.72±0.60	17.70±0.57	17.63±0.80	17.39±0.78

Fuente: Pimienta *et al.,* (2008).

El xoconostle puede ser aprovechado durante todo el año, pues permanece maduro por varios meses en la planta sin deterioro, incluso después de cosechado se conserva, sin modificar su color, sabor y humedad, por varias semanas si se mantiene en lugares frescos y secos (Flores *et al.*, 2007).

En México los xoconostles se consumen frescos, en la elaboración de salsas y platillos mexicanos típicos como condimento o aperitivo, en postres preparados, mermeladas y dulces. Como medicina naturista el fruto se utiliza para el control de la diabetes, colesterol, presión arterial, obesidad, y enfermedades respiratorias (Olivares *et al.*, 2003; García, 2004). Chávez *et al.* (1992) reportaron la composición del xoconostle crudo (Cuadro 3).

Cuadro 3. Composición de xoconostle crudo.

Componente	Cantidad
Porción comestible (%)	0.70
Humedad (%)	86.3
Fibra (%)	2.3
Energía (kcal/100 g)	22
Hidratos de carbono (%)	5.2
Proteínas totales (%)	0.1
Grasas totales (%)	0.4
Calcio (mg/100 g)	126
Hierro (mg/100 g)	0.3
Retinol (mg/100 g)	4
Ac. ascórbico (mg/100 g)	22
Tiamina (mg/100 g)	0.04
Riboflavina (mg/100 g)	0.02
Niacina (mg/100 g)	0.2

Fuente: Chávez *et al.*, 1992.

2.1.1 Producción de xoconostle

Según el Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON, 2008) los estados productores de *O. xoconostle* son los Estados de México e Hidalgo. Sin embargo, los xoconostles también se cultivan y recolectan de nopaleras silvestres en los estados de Jalisco, San Luis Potosí, Hidalgo, Querétaro y Estado de México (Hernández, 2005).

Las tres principales variantes de xoconostle que se cultivan en la zona de San Martín de las Pirámides, Estado de México, son el Cuaresmeño, el Chivito y el Manzano; de ellas, el Cuaresmeño es cultivado por 85% de los productores de xoconostle, mientras que el 15% cultiva el Manzano o el Chivito (Cuadro 4) (Flores *et al.*, 2007).

Cuadro 4. Producción de *O. xoconostle*.

ESTADO	**HIDALGO**		**ESTADO DE MÉXICO**	
AÑO	**2006**	**2007**	**2006**	**2007**
Superficie Sembrada (ha)	231	232	832	832
Superficie Cosechada (ha)	59	61	832	832
Volumen Producción (ton)	391	358,5	9.645,00	9.544,14
Valor Producción ($)	896.600	823.100	17.361.000	26.723.592
Rendimiento (ton/ha)	6,627	5,877	11,593	11,471
Precio Medio Rural ($/ton)	2.293,09	2.295,96	1.800,00	2.800,00

Fuente: Elaboración propia con datos de SIACON, 2007.

2.2 Diabetes

La diabetes es una enfermedad crónica en la que el páncreas no produce insulina suficiente o que el organismo no la utiliza eficazmente. La insulina es una hormona que regula la glucosa en la sangre, favorece su ingreso a las células (WHO, 2009). La DM2 (antes conocida como diabetes no insulinodependiente) se debe a que el organismo no utiliza eficazmente la insulina y queda glucosa en la sangre sin metabolizarse.

En personas sanas cuando los niveles de glucosa permanecen por encima de 126 mg dL^{-1} de glucosa plasmática en ayuno se identifican como hiperglucemiantes (López, 2009). El tratamiento de la diabetes consiste en reducir la glucemia con la ingesta de hipoglucemiantes orales que son sustancias que reducen o mantienen constante el nivel de glucosa en la sangre. (OMS, 2012).

La Organización Mundial de la Salud (2012) calcula que en el mundo hay más de 180 millones de personas con diabetes y es probable que esta cifra aumente a más del doble en 2030. En el 2005 hubo 1.1 millones de muertes debidas a la diabetes.

Según la OMS (2012) las consecuencias frecuentes de la diabetes son:

- Retinopatía diabética. Debida al daño de los pequeños vasos de la retina que incrementan con el tiempo, y es una causa importante de ceguera. Al cabo de 15 años con diabetes, aproximadamente 2 % de los pacientes están ciegos, y cerca de 10% sufren deterioro grave de la visión.
- Neuropatía diabética. Se debe al daño de los nervios a consecuencia de la diabetes, y puede llegar a afectar a 50% de los diabéticos. Los síntomas más

frecuentes son hormigueo, dolor, entumecimiento o debilidad en los pies y manos. Esta enfermedad combinada con la disminución del flujo sanguíneo incrementa el riesgo de úlceras en los pies y de amputación.

- Insuficiencia renal. Entre 10 y 20 % de los pacientes con diabetes fallecen de insuficiencia renal.
- La diabetes aumenta el riesgo de cardiopatía y accidente vascular cerebral. El 50 % de los pacientes con diabetes fallecen de enfermedades cardiovasculares (principalmente cardiopatías y accidentes vasculares cerebrales).

En México la DM2, ocupa la decima posición entre las veinte causas principales de enfermedad a nivel nacional (Cuadro 5).

Cuadro 5. Veinte principales causas de enfermedad nacional en la población general 2010.

No.	Padecimiento	Total de personas
1	Infecciones respiratorias agudas	28366695
2	Infecciones internas por otros organismos y las mal definidas	4923459
3	Infección de vías urinarias	3671340
4	Úlceras, gastritis y duodenitis	1564669
5	Otitis media aguda	654034
6	Gingivitis y enfermedad periodontal	591881
7	Hipertensión arterial	539078
8	Conjuntivitis	499666
9	Amebiasis intestinal	462767
10	Diabetes mellitus no insulinodependiente (Tipo II)	420032
11	Asma y estado asmático	330996
12	Otras helmintiasis	315505
13	Candidiasis urogenital	293530
14	Intoxicación por picadura de alacrán	280160
15	Varicela	237735
16	Neumonías y bronconeumonías	156636
17	Tricomoniasis urogenital	124310
18	Quemaduras	123291
19	Paratifoidea y otras salmonelosis	120414
20	Desnutrición leve	119762

FUENTE: Sistema Único de Información para la Vigilancia Epidemiológica/Dirección General de Epidemiología/ SSA, 2012.

2.3 Conservación de los alimentos

La necesidad de conservar los alimentos es creciente y se espera aprovecharlos en las épocas de producción y disminuir las pérdidas por sobreabundancia, llegando así a los sectores de la población que no los producen (Michelis, 2006).

De acuerdo con Ibarz y Barbosa (2005) la demanda de alimentos ha ido creciendo con el aumento de la población, y cada vez ésta es mayor; en parte, debido a esto la industria de conservación por secado ha adquirido gran importancia en el sector alimentario. La deshidratación o secado de alimentos es una de las operaciones unitarias más utilizadas en su conservación (Ibarz y Barbosa, 2005).

2.4 Secado

El secado es uno de los métodos más antiguos utilizados por el hombre para la conservación de alimentos (Desrosier, 1964); consiste en reducir el contenido de agua del producto haciendo pasar una corriente de aire seco y caliente, sin que no produzca cambios indeseables en el alimento (Hernández, 2003).

El secado es un método de conservación basado en la disminución de la actividad acuosa de los alimentos para prolongar el período de su vida útil. Reduce el peso y el volumen, lo cual facilita el transporte y el almacenamiento. Este método es muy utilizado en la conservación de productos agrícolas. El contenido de humedad final del producto debe tener un valor que mantenga estable al producto durante tiempo prolongado; la estabilidad microbiológica se

obtiene con valores de actividad acuosa (a_w) menores a 0.6 (Guglielmone *et al.*, 2007).

Los cambios físicos y químicos durante la etapa o proceso de secado mejoran ciertas características del producto final; pero, en muchos casos se da una pérdida de nutrientes y de las propiedades sensoriales. Es necesario el manejo adecuado de estas reacciones y cambios físicos para asegurar que el producto tenga valor nutritivo alto (Barbosa, 2000).

El proceso de deshidratación generalmente se realiza por medio de un secado térmico con aire, al sol y al vacío, microondas, liofilización y fritura, pero con la modificación consecuente de las propiedades organolépticas del alimento y su degradación por descomposición térmica, oxidación o pardeamiento enzimático (Ochoa y Ayala, 2005).

2.4.1 Secado por aire caliente

El método más frecuentemente utilizado para suministrar calor al alimento es colocándolo en una corriente de aire caliente. El calor se transfiere por convección desde el aire a la superficie del alimento y por conducción dentro del alimento (Brennan, 2006).

La convección es la transferencia de calor como resultado del movimiento de un fluido, como el aire o el agua, de una región de temperatura elevada a otra de temperatura más baja. Así, cuando el alimento se coloca en un horno caliente, el aire caliente del horno asciende y cuando alcanza la superficie del alimento algo de la energía cinética de las moléculas de aire es transferida a la superficie del alimento como energía calórica. El aire caliente que se eleva

desplaza al aire más frío de la parte superior del horno obligándolo a bajar de manera que es recalentado por la fuente de calor, esto origina un flujo desde el fondo hacia arriba y desde arriba hacia el fondo. En un horno de este tipo existe por consiguiente una circulación de aire caliente, y la parte superior del horno se encuentra unos 50 °C más caliente que la parte inferior. El calentamiento por convección en un horno depende del flujo de aire caliente sobre el alimento, y esto se mejora aumentando la rapidez del flujo mediante un ventilador. Este es el principio que se utiliza en los hornos de convección forzada y que permite obtener una temperatura uniforme en todo el horno (Fox y Cameron, 2011).

Las desventajas del método de secado con aire caliente por convección son desnaturaliza las proteínas, las vitaminas, principalmente B_1, B_{12} y C, y destruye aminoácidos, especialmente la lisina, y modificaciones al sabor y aroma (Baltes, 2007).

2.4.2 Secado por liofilización

La liofilización es un método de secado de alimentos usado por primera vez en la industria en el año 1950 (Brennan, 2006), se basa en las características que tiene el agua congelada de sublimarse al aplicar un vacío (Baltes, 2007).

El proceso de liofilización consiste en dos etapas (Barbosa, 2000):

1) El producto se congela.
2) El producto se seca por sublimación directa del hielo con presión reducida.

Barbosa (2000) indica que, la congelación debe ser rápida para obtener el producto con cristales de hielo pequeños y en estado amorfo, la etapa de secado se realiza con presiones bajas para permitir la sublimación del hielo.

En la liofilización se deben considerar tres variables de diseño (Ibarz y Barbosa, 2005):

- El vacío en el interior de la cámara de secado.
- El flujo de energía radiante aplicado al alimento.
- La temperatura del condensador.

Algunos procesos de secado se escogen para conservar el tamaño y la forma del alimento original. La liofilización permite reducir el peso y no el volumen (Potter, 1978).

Algunos de los productos comerciales obtenidos por liofilización son extractos (de café y té), verduras, frutas, carnes y pescado (Barbosa, 2000).

Baltes (2007) indica que los productos liofilizados poseen superficies grandes y pueden ser sensibles al oxígeno del aire, para asegurar la conservación resulta indispensable empaquetar correctamente el producto y a menudo incluso hacer uso de gases inertes (sobre todo nitrógeno); los alimentos liofilizados pueden conservarse en algunos casos hasta 3 años. Las ventajas de la liofilización respecto a otros métodos es la calidad de los productos secos (Brennan, 2006).

De acuerdo con Potter (1978), Ranken (1993) y Barbosa (2000) las ventajas y desventajas de este método se presentan en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Secado por liofilización: ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
• No hay movimiento de líquido dentro del sólido durante la liofilización. • No ocurre encogimiento y los solutos no migran a la superficie. • El producto seco tiene estructura ligera y porosa, que facilita la rehidratación. • Retención de aromas volátiles. • La última fase de la desecación permite que el alimento se envase en recipientes de poco peso que constituyen por sí mismos una protección suficiente sin necesitar ningún control especial de la temperatura. • Los valores cualitativos del alimento los aprecia fácilmente el consumidor. • Ahorro en el costo del transporte debido al peso reducido.	• Durante la congelación puede suceder alguna desnaturalización de proteínas debido a los cambios de pH y a la concentración de solutos. • Los alimentos liofilizados normalmente son higroscópicos, propensos a la oxidación y frágiles. • Puede ser necesario un envasado relativamente caro. • El costo de inversión de un equipo liofilizador es relativamente alto, así como los costes energéticos. • Los períodos de secado son largos. • Es el método más caro de secar alimentos.

Fuente: Potter (1978), Ranken (1993) y Barbosa (2000).

2.5 Agua en los alimentos

El agua es una de las principales partes de los alimentos constituyendo cerca del 70 % de más del 90 % de frutas, verduras y carne. Parte de esta agua se separa fácilmente de otros constituyentes presentes, como sucede cuando las frutas y verduras frescas son rebanadas, cortadas o desmenuzadas. Sin embargo, parte del agua se separa con dificultad a la primera se le conoce como agua libre y a la ultima como agua enlazada (Charley, 2012).

El concepto de agua ligada y libre ha sido desarrollado a partir de los principios de secado. El agua presente en los alimentos que tienen propiedades distintas de las del agua pura puede ser definida como agua ligada (Rahman, 1995).

El agua enlazada o ligada no actúa como disolvente para constituyentes como sales, azúcares y ácidos, puede congelarse sólo a temperaturas muy bajas, prácticamente no muestra presión de vapor y su densidad es mucho mayor que la del agua libre (Charley, 2012).

2.5.1 Curva de secado

La cinética de secado muestra la variación de la humedad del material (intensidad de evaporación) con el tiempo. Las curvas de cinética de secado dan idea del tiempo necesario de secado, del consumo de energía, del mecanismo de transferencia de agua, de las condiciones predominantes en la transferencia de calor y masa, y de la influencia que tienen en la velocidad de secado las variables de proceso, como la temperatura, humedad de entrada y velocidad del aire. Esto permite diseñar o seleccionar eficientemente el secador y las variables del proceso (Guglielmone *et al.*, 2007).

En los procesos de deshidratación las isotermas de desorción adquieren relevancia en la determinación de la cantidad del agua a extraer de un alimento para garantizar actividades de agua que contribuyan a maximizar la estabilidad del producto (Millán *et al.*, 2001). La posible modificación de la estructura porosa y de las propiedades fisicoquímicas del alimento durante su

deshidratación (proceso de desorción) puede dar lugar a fenómenos de histéresis respecto a proceso de adsorción (Bell y Labuza, 2000).

Desorción se refiere a la disminución de la actividad de agua para inhibir los procesos de deterioro por hongos y diferentes microorganismos y disminuir la velocidad de otras reacciones promovidas por la presencia de agua libre (Chenlo *et al.*, 2005).

El comportamiento durante el secado de los productos alimentarios depende de la porosidad, homogeneidad y de sus propiedades higroscópicas. El inicio inmediato del período de velocidad decreciente es característico de los alimentos higroscópicos.

Hay tres etapas principales durante el secado:

1. Etapa transitoria inicial, durante la cual el producto se está calentando (período transitorio).
2. Primer período o de velocidad constante, en el que la humedad es relativamente fácil de eliminar (período de velocidad constante).
3. Segundo período o de velocidad decreciente, en el que la humedad está ligada, o atrapada dentro de la matriz sólida (período de velocidad decreciente).

2.5.2 Actividad de agua (a_w)

La actividad del agua, una propiedad termodinámica, se define como la relación del vapor de agua de un sistema y la presión de vapor del agua pura a la misma temperatura, o como la humedad relativa de equilibrio del aire en contacto con el sistema a la misma temperatura (Rahman, 2003).

El concepto de actividad de agua se encuentra estrechamente relacionado con el contenido de humedad de un alimento para una temperatura determinada, a través de una relación no lineal de características usualmente sigmoidal, conocida como la isoterma de sorción del alimento, la cual puede ser de adsorción o desorción, dependiendo de la naturaleza del producto. Esta relación es importante en la tecnología de alimentos, porque permite conocer la influencia de las variaciones de la actividad del agua, en función de la temperatura almacenamiento (Welti y Vergara, 1997).

2.6 Alimentos nutracéuticos

Los frutos contienen una gran diversidad de sustancias como agua, carbohidratos, ácidos orgánicos, además de vitaminas y minerales que les proporcionan su valor nutricio. Adicionalmente, están presentes diversos tipos de sustancias, como ácidos fenólicos, flavonoides y taninos, entre otras, que son de naturaleza fenólica y que contribuyen a sus propiedades nutracéuticas (García y Nieto, 2011).

La calidad nutricional de frutas y hortalizas enteras, en general, y mínimamente procesadas, en particular, está relacionada con aspectos no perceptibles por el consumidor, ya que son consumidas como fuentes de micronutrientes (vitaminas y minerales) (Lindley, 1998).

Los aspectos relacionados con la apariencia, como el color, la textura, el aroma y el sabor, son las características del vegetal fresco cortado, que el consumidor detecta inicialmente a través de los sentidos, determinan su grado de aceptación o rechazo hacia el producto precortado. Dentro de las

características no aparentes se encuentran la calidad microbiológica, la calidad nutricional y las propiedades benéficas para la salud.

La seguridad y la calidad sensorial (color, textura, aroma y sabor) de los vegetales frescos cortados son la características que han recibido mayor atención en los últimos años por parte de investigadores e industriales del sector (González-Aguilar *et al.*, 2005; Heard, 2005; Hurst, 2005; Jongen, 2005; Balla y Farkas, 2006).

La calidad nutricional y propiedades benéficas para la salud de los productos de origen vegetal han sido objeto de estudio de numerosos grupos de investigación debido al interés que ha surgido en los últimos años entre los consumidores de incluir en su dieta alimentos funcionales. Estos son alimentos que, además de tener nutrientes indispensables para la vida, proporcionan otras sustancias cuyo consumo diario dentro de la dieta equilibrada contribuyen a mantener o mejorar el estado de salud y el bienestar general de los consumidores. Por lo tanto, teniendo en cuenta esta definición, los alimentos de origen vegetal pueden considerarse alimentos funcionales sin necesidad de sustituir, adicionar o enriquecer su composición. Más aún, gran número de ingredientes utilizados en la industria de los alimentos funcionales son de origen vegetal (fitoesteroles, isoflavonas, licopeno, entre otros) (Haesman *et al*., 2004).

Hay que tener en cuenta que el efecto protector de una dieta rica en frutas y hortalizas depende de sustancias de distinta naturaleza química y distintos mecanismos que puedan dar lugar a efectos aditivos, sinérgicos e inclusive antagónicos.

2.7 Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios producidos por los vegetales, que presentan estructura química común con anillos aromáticos con grupo hidroxilos responsables de su actividad (Scalbert *et al.*, 2005); son sustratos que al oxidarse enzimáticamente contribuyen al pardeamiento de las superficies expuestas por corte en los vegetales, son importantes porque pueden actuar como neutralizantes de los radicales libres y ser fuente importante de antioxidantes naturales.

Los polifenoles asociados principalmente a la actividad antioxidante generan interés por sus efectos fisiológicos, capaces de fomentar buena salud y prevenir y aliviar algunas enfermedades (Mazza, 1998).

Los polifenoles en los alimentos de origen vegetal comprenden una gran diversidad de estructuras que va desde moléculas sencillas (monómeros y dímeros) hasta polímeros (taninos de peso molecular mayor a 500 daltons).

Entre los más abundantes están los ácidos hidroxicinámicos (C6-C3), ácidos benzoicos (C6-C1), flavonoides (C6-C3-C6), proantocianidinas (C6-C3-C6)n, estilbenos (C6-C2-C6), lignanos (C6-C3-C3-C6) y ligninas (C6-C3)n (Scalbert *et al*., 2005). En general, las frutas y hortalizas son fuente abundante de compuestos fenólicos.

La lesión física de los tejidos vegetales incrementa la síntesis de fenoles. El incremento de la concentración de fenoles totales, como respuesta fisiológica al daño mecánico (pelado y corte) producido en el tejido vegetal, depende del tipo de fruta (Reyes *et al.*, 2007).

2.8 Flavonoides

Los flavonoides constituyen el subgrupo más importante y estudiado de los compuestos fenólicos debido a su amplia distribución y abundancia en los vegetales (Hertog *et al.*, 1993) y por sus propiedades antioxidantes (Harborne y Williams, 2000).

Se conocen más de 5000 flavonoides distintos que se han dividido en 10 grupos, los más abundantes están en alimentos vegetales: flavonas, flavonoles, flavononas, antocianinas e isoflavonas. De las hortalizas destacan las cebollas como fuente importante de flavonol quercetina, responsable de la tonalidad amarilla de la pulpa y marrón de la piel, y que se considera uno de de los contribuyentes responsables de los efectos protectores frente al cáncer y enfermedades cardiovasculares que se han relacionado con la ingesta de cebolla (Griffiths *et al.*, 2002).

Los flavonoides poseen propiedades muy apreciadas en medicina, se recomiendan en el tratamiento de arterosclerosis, enfermedades neurodegenerativas, cataratas y en la afectación del sistema inmunológico; previenen la fragilidad capilar, disminuyen el colesterol, protegen al hígado y al estomago y presentan actividad antimicrobiana, antiinflamatoria y analgésica (Frei, 1994; Packer *et al*., 1999).

2.9 Vitamina C

La vitamina C es hidrosoluble y está presente, en mayor o menor proporción, en todos los productos vegetales (Cano *et al*., 2005). Es uno de los antioxidantes más efectivos y el menos tóxico, además de destacar su efecto

protector frente a los radicales libres. Una baja ingesta de productos ricos en vitamina C implica bajos niveles de vitamina C en sangre (0.3 mg dL^{-1}), mientras que niveles entre 0.8 y 1.3 mg dL^{-1} son considerados necesarios para un estado de salud bueno (Simón *et al*., 2001), que puedan ser alcanzados mediante la ingesta diaria en adultos de 90 mg de vitamina C por día (Taylor *et al*., 2000).

En general, el contenido de vitamina C (ácido ascórbico-AA + ácido deshidroascórbico-ADHA) en frutas y hortalizas depende de la especie, cultivo, condiciones climáticas, prácticas de cultivo, estado de madurez y, por supuesto, de la manipulación poscosecha (Lee y Kader, 2000).

Generalmente, la concentración de vitamina C se incrementa en los tejidos vegetales por acción de la luz durante la época de crecimiento de la plata y tiende a decrecer con el aumento de fertilizantes ricos en nitrógenos. Sin embargo, la principal causa de degradación de la vitamina C en los vegetales tiene lugar durante la fase de poscosecha debido al almacenamiento a temperaturas altas e inadecuadas. El contenido de vitamina C disminuye desde el momento en que el producto es cosechado y depende significativamente del tipo de vegetal y de las condiciones de procesado y conservación, aumentando la cantidad de vitamina C degradada con el incremento de la temperatura y el tiempo de almacenamiento (García y Nieto, 2011).

En general las frutas con pH ácido experimentan velocidades de degradación de la vitamina C menor que las hortalizas que presentan pH básico. Otro factor importante, que influye en la retención de vitamina C en los vegetales frescos cortados, es el mecanismo de corte utilizado. Así, en lechuga

“Iceberg”, se mantiene una concentración de ácido ascórbico mayor de 18% al utilizar un cuchillo de filo liso que con uno de filo ondulado. Asimismo, se aumenta 25% la retención de vitamina C cuando se utiliza cortadora mecánica que cuando se corta la lechuga en tiras de forma manual (Barry-Ryan y O`Beirne, 1999).

La disminución en el contenido de vitamina C también puede ser debida al aumento de la superficie en contrato con agentes oxidantes, como el oxígeno del aire, la inducción de la ascorbato peroxidasa (APOD), principal enzima encargada de la degradación de la vitamina C, o por efecto del etileno que se genera en el corte. La lixiviación de vitamina C a través de la zona de corte hacia el agua de lavado (etapa posterior al corte) también puede contribuir a las diferencias de contenido de vitamina C entre muestras cortadas y enteras. También es importante estudiar el efecto de los tratamientos de sanitización en los compuestos bioactivos presentes en el tejido vegetal (García y Nieto, 2011).

2.10 Quercetina

La quercetina, en particular es conocida como un poderoso antioxidante, que inhibe el desarrollo de células de carcinoma en pecho de humanos (Butkhup y Samappito, 2008). Morazzoni y Malandrind mencionan que la rutina seguida de la quercetina se comportan como los secuestradores más fuertes de radicales libres (Chaves, 2000). Dentro de los beneficios biológicos, contribuye significativamente en la protección de células neuronales por el estrés oxidativo (Jen-Kun y Meng-Shih, 2006).

La quercentina también se encuentra en la manzana y es uno de los contribuyentes responsables de los efectos benéficos para la salud que proporciona su consumo (Boyer y Liu, 2004).

2.11 Antioxidantes

La actividad antioxidante es aquella que permite neutralizar cualquier radical libre con uno o más electrones solitarios, estos radicales son muy reactivos, razón por la cual presentan una vida muy corta en los organismos. En los tejidos, como parte normal de la función de las células, se forman continuamente a partir del oxígeno molecular disuelto (Frei, 1994; Sies, 1985).

Los compuestos fitoquímicos son "sustancias químicas, constituyentes de alimentos de origen vegetal y que proporcionan al alimento propiedades fisiológicas que van más allá de las nutricionales". La mayoría de las sustancias fitoquímicas se caracterizan por su capacidad antioxidante. Un compuesto antioxidante se puede definir como aquel que, presente en baja concentración con respecto a un sustrato oxidable, retrasa o inhibe la oxidación de dicho sustrato. A nivel fisiológico, los sustratos oxidables son lípidos, proteínas y ADN, y los antioxidantes pueden ser de origen endógeno y exógeno (dieta). Entre los antioxidantes más importantes presentes en los alimentos se encuentran las vitaminas C y E, los caroteniodes y los compuestos fenólicos.

De acuerdo con Figueroa-Cares *et al.* (2010) los antioxidantes naturales son elementos esenciales que protegen de la oxidación a las macromoléculas biológicas en el cuerpo humano, lo que es clave para el control de

enfermedades crónico-degenerativas. Una forma de prevenir o disminuir el estrés oxidativo inducido por los radicales libres es consumir suficientes cantidades de antioxidantes provenientes de la dieta (Liu, 2003). Así mismo, hay que tener en cuenta que el efecto protector de una dieta rica en frutas y hortalizas depende de sustancias de distinta naturaleza química y distintos mecanismos que pueden dar lugar a efectos aditivos, sinérgicos e incluso antagónicos (De Ancos *et al.*, 2009). Por lo anterior, en diferentes países, instituciones reguladoras de salud recomiendan el consumo de cinco a diez raciones de frutas y vegetales al día, asegurando así un constante abastecimiento de fitoquímicos; ya que, la prevención es más efectiva y económica que el tratamiento de las enfermedades crónicas (Liu, 2002; Tsao, 2007).

Se ha observado un incremento de la actividad antioxidante (a través de los métodos de secuestro de radicales como el ABTS o el DPPH) en los tejidos de distintos vegetales como consecuencia del daño mecánico en el tejido vegetal (pelado, cortado), el cual ha correlacionado con el aumento o descenso en la concentración en compuesto fenólico, pero no en el contenido de vitaminas C (Reyes *et al*., 2007). Debido a que se ha demostrado que los compuestos fenólicos son los responsables de la capacidad antioxidante (Proteggente *et al*., 2002) y que esta característica ha sido una de las principales razones que han aconsejado el incremento del consumo de frutas y hortalizas por sus efectos benéficos para la salud (Prior y Cao, 2000), se podría concluir que el daño mecánico producido al pelar y cortar puede ser conveniente para incrementar las propiedades saludables de determinados productos vegetales.

Es importante destacar que los resultados también dependen de la metodología empleada para medir la actividad antioxidante. En general, el procesamiento mínimo influye en la actividad antioxidante del producto vegetal en la misma medida en que modifica el compuesto bioactivo responsable de la misma. Una vez que las biomoléculas (lípidos, proteínas, y ácidos nucléicos) han sido expuestas a oxidantes (ROS y NRS), éstas generan radicales intermedios que forman los productos químicos finales del estrés oxidativo. Las consecuencias fisiológicas de estos productos finales se han señalado como posibles causas de muchas enfermedades cronicodegenerativas (cáncer, enfermedades cardiovasculares, diabetes mellitus, entre otras) así como también del proceso natural de envejecimiento (Halliwell, 1997; Ames 1998).

En algunos casos, la mayor contribución en la actividad antioxidante total (AAT) de un alimento puede deberse al contenido de vitaminas C y E; sin embargo, es importante considerar que existen otros componentes que también contribuyen en la AAT. Tal es el caso de los polifenoles que pueden encontrarse en cantidades importantes en algunos frutos y contribuir de manera significativa en su capacidad antioxidante (Gardner *et al*., 2000). Como ejemplo clásico se tiene a la manzana que no aporta vitamina C y E en grandes cantidades sin embargo, presenta uno de los mayores valores de capacidad antioxidante en relación con otros frutos, que sí poseen cantidades significativas de estas vitaminas C y E, pero su capacidad antioxidante no es tan alta como cabría esperarse. Por tanto, la contribución individual de un compuesto en la AAT no sólo depende de su concentración sino también del tipo de compuesto presente en el alimento. Finalmente, la actividad antioxidante

en los frutos va a estar determinada por aquellos componentes que en su conjunto contrarrestan la acción de un oxidante.

2.12 Radicales libres

Los radicales libre son especies químicas inestables muy reactivas con un electrón desparejado en una órbita exterior. Sigue rápidamente una cascada de reacciones que, si no se controlan, se expande de forma agresiva y logarítmica, provocando una reacción en cadena de destrucción tisular que ataca a las proteínas, los ácidos nucléicos y las membranas celulares que contienen grandes cantidades de ácidos grasos poliinsaturados (Anderson, 2009).

Los radicales libres también se producen con el metabolismo normal de los alimentos, con la respiración y el ejercicio, pero cuando se excede su concentración tiende a actuar sobre algunos componentes celulares importantes (grasas, proteínas, ADN, etc.) dañando las células (Frei, 1994; Sies, 1985).

Los radicales libres están involucrados en el desarrollo de diferentes patologías y en el proceso de envejecimiento de los organismos, pero en pequeñas cantidades no producen efectos tóxicos ya que son neutralizados por los antioxidantes presentes en los organismos de manera natural. El cuerpo produce radicales libres en concentraciones moderadas para luchar contra bacterias, virus y para regular la estructura y función de las proteínas, el problema aparece cuando se producen en exceso en el organismo por el estrés oxidativo (Frei, 1994; Sies, 1985).

2.13 Evaluación sensorial de los alimentos

Las propiedades sensoriales son los atributos de los alimentos que se detectan por medio de los sentidos (Anzaldúa, 2005); la evaluación sensorial involucra el desarrollo y uso de principios y métodos para medir respuestas humanas a productos e ingredientes. Estos principios y métodos tienen amplia aplicación para una variedad de productos agropecuarios, alimenticios, artículos del hogar y del cuidado personal (Hernández, 2007).

Los métodos sensoriales se pueden usar para evaluar la calidad de un alimento. A los individuos que forman un jurado de prueba de alimentos se les pide que empleen sus sentidos de la vista, gusto, olfato, tacto y oído, para evaluar el carácter de un alimento (Charley, 1999).

2.14 Psicofísica

La psicofísica es una rama de la psicología experimental dedicada al estudio de la relación entre el estímulo físicos y la sensación resultante (reacciones humanas o efectos psicológicos), con el fin de mejorar la comprensión de cómo funciona el sistema sensorial humano (Meilgaard, 1999).

La sensación se refiere a la respuesta directa e inmediata, generada por una estimulación de los órganos sensoriales, respuesta que sería independiente de toda interpretación (Matlin y Foley 1996). La sensación también se define como el sentimiento que puede ser experimentado como respuesta a la información recibida (estímulo) a través de los órganos de los sentidos (Feldman, 2003). Un estímulo es cualquier forma de energía física que afecta a un receptor sensorial (como las ondas luminosas, las ondas sonoras o la presión sobre la piel).

En el proceso sensorial, independientemente del tipo de sensación que se trate, hay dos elementos básicos:

1.- La estimulación de los receptores sensoriales, células especializadas capaces de transformar estímulos físicos en impulsos nerviosos.

2.- La transmisión de los impulsos nerviosos desde los receptores sensoriales hasta el sistema nervioso central.

Para que la sensación se presente la estimulación debe ser lo suficientemente intensa como para que pueda ser captada por el receptor sensorial. Este nivel necesario de intensidad es el umbral. El umbral ha sido definido como el valor del estímulo que es perceptible en el 50 % de las evaluaciones. Hay dos tipos de umbral: absoluto y diferencial.

Umbral absoluto. Se refiere a la cantidad mínima de estímulo que es requerido para que el sistema sensorial produzca una respuesta conductual. Este valor es diferente para cada individuo, y es diferente en una misma persona en diferentes ocasiones. Si la magnitud del estímulo es demasiado débil, no produce una respuesta de detección, se dice que la magnitud del estímulo es subumbral o sublimal (umbral absoluto mínimo); al contrario, los que superan el umbral, se denominan supraumbrales o supraliminales (umbral absoluto máximo).

Umbral diferencial. Se refiere al mínimo cambio en el valor de un estímulo para que dicho cambio pueda ser captado por el individuo. Este umbral es un valor que cambia también tanto intraindividuo como interindividuos, dependiendo de diversos factores como la adaptación, fatiga o la motivación.

Cada una de las sensaciones parte de un estímulo básico a la que hay que añadir nuevas cantidades de estímulo para apreciar una sensación diferente.

La percepción es el proceso por el que se organizan, interpretan, analizan e integran los estímulos a los que están expuestos los órganos sensoriales, es decir, el proceso que realiza el cerebro cuando se transforma la información registrada por los receptores sensoriales incluyendo sensaciones presentes o pasadas (Quijano, 2001; Feldman, 2003).

Para sentir, comprender y percibir se utilizan dos procesos:

- Percepción de “abajo-arriba” o guiada por los datos. Se parte de la información captada por los receptores sensoriales y esta se envía al cerebro para su análisis.
- Percepción de “arriba-abajo” o guiada por la experiencia. El conocimiento previo sobre las estimulaciones y lo que se recuerda sobre el contexto donde normalmente aparecen influye en la interpretación de la sensación (perjuicios, creencias).

El proceso perceptivo consta de una serie de fases:

- Un estímulo alcanza el receptor sensorial.
- El receptor genera una serie de señales eléctricas que se dirigen al cerebro por las vías nerviosas.
- Los impulsos eléctricos llegan al cerebro y son procesados.

En toda percepción ocurren una serie de eventos y datos dispares que necesitan ser estructurados para poder obtener una información del mundo de fuera. Entre estos datos y elementos se distinguen tres principales: recepción

sensorial, estructuración simbólica y elementos emocionales (Oviedo, 2004). La base de la percepción es la recepción proveniente de los sentidos. Sin sensación es imposible cualquier tipo de percepción.

Ernst Heinrich Weber (1795-1878), a mediados del siglo XIX, se propuso determinar cuál era la cantidad de estímulo que hace falta añadir a un estímulo básico para que se captara una diferencia. Descubrió que la relación entre el estímulo básico y la magnitud que hay que añadir para que se produzca una nueva sensación permanece constante (Fontes y Fontes, 1994). Así, por ejemplo, en las sensaciones de peso, expresó que dos pesas relativamente pesadas debían diferir por una mayor cantidad de peso, que dos pesas relativamente ligeras, para que una de ellas fuera percibida más pesada que la otra.

En general, la Ley de Weber dice que “la cantidad de estímulo a añadir para que se produzca un aumento de sensación (ΔΦ) es una fracción constante (c) del estímulo anterior (estímulo básico, Φ)”, es decir, depende de los demás estímulos presentes y de los estímulos presentados previamente (Pellegrini *et al.*, 2009).

Ley de Weber $\Delta\Phi/\Phi = C$

Por su parte, otro fisiólogo físico alemán, Gustav Theodor Fechner (1801-1887) creador de la psicofísica, se propuso estudiar, a partir de la ley de Weber, en qué relación estaban la sensación y el estímulo. Su objetivo era medir la intensidad experimentada de las sensaciones por lo que tomo como unidad de medida la diferencia apenas detectable en la sensación (dads) como unidad de sensación. Determinó, también con gran base experimental, que la intensidad

de la sensación varía de acuerdo con el logaritmo de la intensidad de los estímulos (Ley de Fechner); o, dicho de otro modo: que un estímulo tiene que aumentar en proporción geométrica, mientras que la sensación lo hace sólo en proporción aritmética (García y Garriga, 1998).

La ley de Fechner: $S = k \log \Phi$

donde:

S = intensidad experimentada o magnitud de la sensación.

Φ = intensidad del estimulo.

K = valor constante.

Las obras más importantes de Fechner fueron: Libreto de la vida después de la muerte, Zend-Avesta, Nanna y su memorable libro “Elementos de psicofísica” sobre la ciencia exacta de las relaciones funcionales o dependencias entre el cuerpo y el espíritu (Robles, 1995). En el libro se contenía la primera teoría sobre la medición de los fenómenos psíquicos con base en los estímulos físicos y los métodos experimentales de medida más importantes, utilizados aun hoy día.

Fechner partió de premisas básicas (Sprung y Sprung, 1983):

- La primera derivada de la ley de Weber, la fracción de Weber no es una constante en la parte baja del rango del estímulo.
- La dads es una fracción constante de la intensidad del estímulo.
- La consideración de la dads como unidad básica de medida de la magnitud percibida.

- La magnitud percibida de un estímulo puede determinarse tomando como 0 el umbral absoluto y añadiendo dads.

Fechner desarrolló tres métodos de medición de umbrales: el método de estímulo constante, el de límites y el de ajuste. Estas técnicas psicofísicas permiten obtener umbrales absolutos y de diferencia; cada uno consiste de un procedimiento experimental y un tratamiento matemático de los datos.

1. Método de los estímulos constantes

En este método se presenta el mismo estímulo dentro del rango de cinco a nueve valores diferentes, los cuales son usados repetidamente a través del experimento. El umbral al 50% es localizado en algún lugar del rango de los valores de los estímulos empleados. La probabilidad de detectar el estímulo se incrementa a medida que el nivel de intensidad se aumenta sistemáticamente dentro del rango de valores usados. Con el método se determina el porcentaje de detecciones como una función de la intensidad del Φ. Este método determina el umbral absoluto y el umbral de diferencia. El método aporta la medición de un umbral de diferencia por arriba (proporciones al 0.75) del punto de igualdad subjetiva (PIS, proporciones al 0.5) y otro por debajo del mismo (proporciones al 0.25); por lo tanto, los dos umbrales son frecuentemente promediados para proporcionar un umbral de diferencia correspondiente a un estímulo estándar en particular (Hernández, 2007).

2. Método de los límites

Los estímulos se presentan en orden ascendente o descendente repitiendo cada secuencia un número de veces. El umbral se calcula con la media de los

valores de los puntos de cruce de cada serie, que son aquellas intensidades en las que el sujeto pasa de percibir a no percibir.

3. Método del ajuste

El experimentador o el propio observador cambian lentamente la intensidad del estímulo hasta que el sujeto indica que empieza a detectarlo. Se considera que esta intensidad apenas detectable es el umbral.

2.15 Edulcorantes

Los edulcorantes constituyen uno de los grupos de aditivos alimentarios que están experimentando un mayor incremento en su consumo, debido a la creciente demanda de alimentos bajos en calorías que no quieren renunciar al sabor dulce. Estos sustitutivos de la sacarosa tienen un metabolismo en el cuerpo independiente de la insulina, lo que es una ventaja para las personas que padecen diabetes (Cubero *et al.*, 2002).

Los edulcorantes se clasifican atendiendo su aporte calórico (Cubero *et al.*, 2002):

- Edulcorantes nutritivos (o de volumen), como la sacarosa y otros disacáridos, monosacáridos y polioles.
- Edulcorantes no nutritivos (o intensos), éstos proporcionan un poder edulcorante muy superior al de la sacarosa, las necesidades en peso de este tipo de aditivo, es tan baja, que casi no aporta calorías por las dosis tan pequeñas a las que se emplea.

2.15.1 Neotame

El neotame es un nuevo endulzante no-nutritivo de alta potencia y acentuador de sabor. Como derivado cercano del aspartame tiene cualidades intrínsecas como un sabor dulce limpio, muy cercano al de la sacarosa. Produce un residuo insignificante de metanol y fenilalanina en el organismo después de su ingestión, y genera un costo relativamente competitivo como resultado de su alta potencia endulzante (Nofre y Tinti, 2000).

El neotame es el N-[N-(3,3-dimetilbutil)-L-α-aspartil]-L-fenilalanina 1-metiléster. Tiene un peso molecular de 378.47. Es un derivado del dipéptido compuesto por los aminoácidos ácido aspártico y fenilalanina. Es un polvo blanco cristalino que se puede obtener en forma anhidra, como hidrato, o en forma amorfa, lo cual aumenta su solubilidad (Schroeder y Wang, 2001).

El neotame es cerca de 10,000 veces más dulce que la sacarosa en base al peso (≈11,000 veces en base molar) con relación a una solución de sacarosa al 2%, cerca de 9,000 veces más dulce que la sacarosa en base al peso (≈10, 000 en base molar) con relación a una solución de sacarosa al 5%, y cerca de 600 veces más dulce que la sacarosa en base al peso (≈6,600 en base molar) con relación a una solución de sacarosa al 10%. Esto es, con un potencial de dulzura de 10,000, se puede sustituir 10 toneladas de sacarosa con 1 kg de neotame, este último intensifica algunos sabores y aromas en ciertos alimentos y bebidas, particularmente los frutales ácidos, como el limón, naranja y toronja, y el sabor a cereza (Hernández, 2004).

Los resultados de una extensa investigación científica confirman la seguridad del consumo de neotame por la población general, incluyendo niños, mujeres

embarazadas y en periodos de lactancia, así como personas con diabetes. En humanos, el neotame es rápidamente procesado, siendo la principal vía metabólica la hidrólisis del ester metílico por las estearasas presentes en el cuerpo, lo que produce neotame desesterificado y metanol. Las peptidasas, que habitualmente rompen el enlace peptídico entre el ácido aspártico y la fenilalanina, son particularmente bloqueadas por la presencia del radical 3,3-dimetilbutil, evitando así la liberación de la fenilalanina (NutraSweet, 2007).

La cantidad de metanol derivada del neotame es extremadamente pequeña comparada con la cantidad de metanol resultante del metabolismo de alimentos cotidianos como las frutas y verduras y sus respectivos jugos. Por ejemplo, la cantidad de metanol proveniente del jugo de tomate es aproximadamente 200 veces mayor que la proveniente de una bebida endulzada con neotame. Este edulcorante se elimina completamente en la orina y en las heces y no se acumula en el cuerpo (NutraSweet, 2007).

3. LITERATURA CITADA

Ames B. N. 1998. Micronutrients prevent cáncer and delay aging. *Toxicol Lett*. 102: 5-18.

Anderson, R.A. 2009. Capítulo 103 - Prescripción de antioxidantes. *Medicina integrativa* (Segunda edición) pp: 1063-1075.

Anzaldúa, M. A. 2005. La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y en la práctica. Acribia (Ed.). Zaragoza, España.

Ávalos-Andrade A. y Ramírez-Córdova, Ma. A. Goytia-Jiménez, A.F. Barrientos-Priego y C. Saucedo-Veloz. 2006. Etileno en la abscisión del fruto de tres especies del género *Opuntia. Revista Chapingo Serie Horticultura* 12 (1): 117-123

Balla C., J. Farkas. Minimally processed fruits and fruit products and their microbiological safety. In: Hui Y. H., J. Barta, M. P. Cano, T. Gusek, J. Sidhu, N. Sinha. (eds.) *Handbook of fruits and fruit processing*, cap. 7, pp. 115-128. 2006. Blackwell Publising, Oxford, Reino Unido.

Baltes W. 2007. Química de los alimentos. Acribia (Ed.). Zaragoza España.

Barbosa, C. G. 2000. Deshidratación de alimentos. Acribia (Ed.). Zaragoza, España.

Barry-Ryan C., D. O´Beirne. 1999. Ascorbic acid retention in shredded iceberg lettuce as affected by minimal processing. *Journal of Food Science,* 64: 498-500.

Basurto, S. D., M. Lorenzana-Jiménez y G.A. Magos G. 2006. Utilidad del nopal para el control de la glucosa en la diabetes mellitus tipo 2. *Revista de la Facultad Medicina UNAM* 49 (4): 157-162.

Bell L.N. y Labuza, T.P. 2000. Moisture Sorption. 2da edición. American *Association of Cereal Chemists, Inc*. MN (E.U.)

Boyer J., R. H. Liu. 2004. Apple phytochemicals and their health benefits. *Nutrition Journal,* 3:5.

Brennan J. G. 2006. Manual del procesado de los alimentos. Acribia (Ed.). Zaragoza España.

Butkhup Luchai and Samappito Supachai. 2008. Analysis of anthocyanin, flavonoids, and phenolic acids in tropical bignay berries. *International Journal of Fruit Science,* 8(1): 15-34.

Cano P., C. Sánchez Moreno, S. Pascual Teresa, B. Ancos. 2005. Procesado mínimo y valor nutricional. En: Nuevas Tecnologías de Conservación de Vegetales Frescos Cortados. González Aguilar G., A. Gardea, F. Cuamea Navarro (eds.), cap. 7, 119-149, Hermosillo México.

Carterette E. C. y P. Friedman M. 1974. Handbook of perception. Vol II Physchophysical judgment and measurement. Academic Press. N. Y. San Francisco and London.

Charley H. 1999. Tecnología de alimentos. Limusa (Ed.). México

Chaves G., O. M. Montiel, S. C. Sgroppo, J. R. Avanza. 2000. Capacidad antioxidante de pimientos morrones. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Universidad Nacional del Nordeste, Argentina.

Chávez M. M., M. Hernández y J.A. Roldan. 1992. Tablas de uso práctico del valor nutritivo de los alimentos de mayor consumo en México. Comisión Nacional de Alimentación. Instituto Nacional de la Nutrición Salvador Zubirán. México 35 p.

Chenlo F., R. Moreira, L. Chaguri y F. Santos. 2005. Isotermas de desorción de pimientos de padrón (Capsicum Annuuml Var. Longum). *Ciencia y Tecnología Alimentaria* 5 (001): 18-24.

Corrales G. J. y C. Flores V. 2003. Nopalitos y tunas. CIESTAAM, UACh. México.

Corrales G., J. 2005. Calidad. Concepto amplio, indicadores e importancia de su acreditación en la mundialización del comercio de productos horto-frutícolas. Artículo in extenso, En: Memorias del V Congreso Internacional de la Red de Investigación Socioeconómica sobre Frutas, Hortalizas y Flores, Tijuana B. C.

Correa P., Da Silva P. y L. Almeida. 2004. Estudio de propiedades físicas de transporte de cebola (Allium cepa L.) en camada delgada. *Ciencia y tecnología de los alimentos* 24 (3): 319-326.

Cubero N., Monferrer A. y Villa H. 2002. Aditivos Alimentarios. Mundi-Prensa (Ed.). Madrid, España.

De Ancos B., C. Sánchez-Moreno y M.P. Cano. 2009. Aspectos nutricionales y saludables de vegetales frescos cortados. *En:* Aspectos nutricionales y sensoriales de vegetales frescos cortados. González, A. G., E. Álvarez P., L. De la Rosa, I.G. Olivas y J.F. Ayala Z (eds.). México, 2009. Trillas (Ed.). pp: 120-154.

Desrosier, N. W, 1964. Conservación de alimentos. CECSA (Ed.). México.

Feldman, Robert S. 2003. Introducción a la Psicología. 4ª edición. Ed. McGraw-Hill. México D. F.

Fernández-Harp J.A., A. Fratti-Munari, A. Chávez-Negrete, A.B. De la Riva y G. Mares G. 1984. Estudios hormonales en la acción del nopal sobre la prueba de tolerancia a la glucosa. Informe preliminar. Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social. 22: 387-390.

Figueroa-Cares, I., M. T. Martínez-Damián, E. Rodríguez-Pérez, M. T. Colinas-León, S. Valle-Guadarrama, S. Ramírez-Ramírez, C. Gallegos-Vázquez. 2010. Contenido de pigmentos, otros compuestos y capacidad antioxidante en 12 cultivares de tuna (Opuntia spp.) de México. Agrociencia 44: 763-771.

Flores V. C., V. Hernández F., I. Roque L. y J. Corrales G. 2007. Producción, comercialización e industrialización del xoconostle en la región de las Pirámides, Estado de México. CIESTAAM, UACh. México.

Fontes, S. y A.I. Fontes. 1994. Consideraciones teóricas sobre las leyes psicofísicas. Rev de Psicol gral y Aplic 47 (4): 391-395.

Frati M. A., C. De León, S. Islas A. y A. Chávez N. 1989. Influencia de un extracto deshidratado de nopal (*Opuntia ficusindica* Mill.) en glucemia. *Archivos de Investigación Médica* 20: 211-216.

Frati, M. A., J. A. Fernández, M. Bañales H., y A. Ariza R. 1983. Disminución de la glucosa e insulina sanguíneas por nopal (*Opuntia* sp.). *Archivos de Investigación Médica* 14: 269-274.

Frati-Munari A.C., A. Yever-Garces, S. Islas-Andrade, C.R. Ariza-Andraca y A. Chavez-Negrete. 1987. Studies on the mechanism of “hypoglycemic” effect of nopal (*Opuntia* sp.). *Archivos de Investigación Médica* 18: 7-12.

Frati-Munari A.C., B.E. Gordillo, P. Altamirano y C.R. Ariza. 1988. Hypoglycemic effect of Opuntia streptacantha Lemaire in NIDDM. Diabetes Care 11: 63-66.

Frati-Munari, A.C., J.A. Fernández-Harp, H. De la Riva, R. Ariza-Andraca y M.C. Torres. 1983. Effects of nopal (Opuntia sp.) on serum lipids, glycemia and body weight. Archivos de Investigación Médica 14: 117-25.

Frei B. 1994. Natural antioxidants in human health and disease. Academic Press. UK. 588 p.

Gallegos-Vázquez, C. y C. Mondragón-Jacobo. 2011. Cultivares selectos de tuna, de México al mundo. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas-Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SNICS-SAGARPA) y Universidad Autónoma Chapingo (UACh). Chapingo, México. 159 p.

García de Alba J.E., A.L. Salcedo y B. López C. 2006. Una aproximación al conocimiento cultural de la diabetes mellitus tipo 2 en el occidente de México. *Desacatos* 21: 97-108.

García M. R. y R. Nieto A. 2011. Valor nutracéutico del tejocote (*Crataegus* spp.) en México. Universidad Autónoma Chapingo (Ed). México 63 p.

García, G. C. y A.J. Garriga T. 1998. Efecto Secuencial en escalas de magnitudes: modelo de regresión de series temporales. *Revista de Psicología General Aplicada* 51 (1): 17-28.

García, P.L. 2004. Fruto deshidratado y pulverizado de cuatro especies de xoconostle (*O. duranguensis, O. joconostle, O. leucotricha* y *O. matudae*) como condimento y aperitivo. Tesis Profesional. Universidad de San Luis Potosí, México.

Gardner P. T., T. A. C. White, D. B. Mc Phail, G. G. Duthie. The relative contributions of vitamin C, carotenoids asd phenolics to the antioxidant potential of fruit juices. *Food Chemistry*, 68(4): 471-474.

González Aguilar G., A. A. Gardea, F. Cuamea Navarro. 2005. Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados. Logoprint Digital, México, p. 556.

Griffiths G., L. Trueman, T. Crowther, B. Thomas, B. Smith. 2002. Onions: a global benefit to health, *Physiology Research,* 16: 603-615.

Guglielmone A.A., M.E. Castelli, A.J. Mangold, D.H. Aguirre, E. Alcaraz, M.M. Cafrune, B. Cetrá, C.A. Luciani y V.H. Suárez. 2007. Isoterma de adsorción y cinética de ciertas hortalizas y aromáticas cultivadas en Misiones RIA. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 38 (001): 115-129.

Haesman C., A. Bloch, C. Thompson. 2004. Position of the american dietetic association: functional foods. *Journal American Diet Association* 101: 733-736.

Halliwell B. 1987. Oxidants and human disease: some new concepts. *FASEB Journal* 1: 358.

Harborne J. B., Williams C. 2000. Advances in flavonoid research since 1992. *Phyto Chemistry*, 55: 481-504.

Heard G. M. 2005. Microbilogy of fresh-cut produce. In: Fresh-cut fruits and vegetables, cap. 7. Lamikanra O. (ed.). CRC-Press, Boca Raton, Florida, EUA, pp. 187-248.

Hernández E., V. R. 1990. Algunas *Opuntias* en los remedios medicinales en los pobladores de San Luis Potosí. México. *En*: 3ra Reunión Nacional y 1ra Reunión Internacional. El nopal: Su conocimiento y aprovechamiento. López J. J., y M. J. S. Ayala (eds). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. pp: 355-358.

Hernández, F. V. 2005. Caracterización económica y productiva del xoconostle en la zona de las pirámides, Edo de México. Universidad Autónoma Chapingo. México.

Hernández, M. A. 2003. Manual de prácticas de tecnología de frutas y hortalizas. Universidad Autónoma Chapingo. México.

Hernández, M. A. 2007. Evaluación sensorial de productos agroalimentarios. Universidad Autónoma Chapingo. México. 190 p.

Hernández, M. C. 2004. Percepción de dulzura en yogur natural edulcorado con neotame. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. México. 55 p.

Hernández, M. A., E. Palomo L. y A. Santos M. 2004. Dulzura percibida de aspartame y sacarosa en yogur. *Naturaleza y Desarrollo* 2(1): 47-54.

Hertog M. G. L., E. J. M. Feskens, D. Kromhout, P. C. H. Hollman, M. B. Katan 1993. Dietary antioxidant flavonoids and risk of coronary heart disease: the Zutphen Elderly Study. Lancet 342: 1007-1011.

Hurst C.H. 2005. Safety aspects of fresh-cut fruits and vegetables. In Fresh-cut fruits and vegetables, cap. 4. Lamikanra O. (ed.). CRC-Press, Boca Raton, Florida, EUA, pp. 45-90.

Ibañez-Camacho R. y M. Meckes-Lozoya. 1983. Effect of a semipurified product obtained from *Opuntia streptacantha* L. (a cactus) on glycemia and triglyceridemia of rabbit. *Archivos de Investigación Medica* 14 (4): 437-443.

Ibañez-Camacho R. y R. Roman-Ramos. 1979. Hypoglycemic effect of *Opuntia cactus*. *Archivos de Investigación Medica* 10 (4): 223-230.

Ibarz A. y Barbosa, C. 2005. Operaciones unitarias en la ingeniería de los alimentos. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España.

Jen-Kun Lin and Meng-Shih Weng. Flavonoids as nutraceuticals. 2006. Institute of Biochemistry and Molecular Biology, College of Medicine, National Taiwan University. No. 1, Section 1, Jen-ai Road, Taipei, Taiwan.

Jogen W. 2005. Improving the safety of fresh fruit and vegetables, CRC-Press, Boca Raton, Florida, EUA.

Lee S. K., A. A. Kader. 2000. Pre-harvest and post-harvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Tecnology*, 20: 207-220.

Lindley M. G. 1998. The impact of food processing on antioxidants in vegetable oils, fruits and vegetbles. *Review Trends in Food Science & Technology,* 9: 336-340.

Liu, R. H. 2002. Supplement quick fix fails to deliver. *Food Technology International* 1: 71-72.

Liu, R. H. 2003. Health benefits of fruit and vegetables are from additive and synergistic combinations of phytochemicals. *American Journal of Clinical Nutrition* 78: 517-520.

López P.A. 2009. Efecto hipoglucemiante con la estimulación de los puntos yihsu (extraordinario) dadu (B2) y campos magnéticos pulsantes en pacientes con DM2. IPN. México.

Matlin, Margaret W. y Foley, Hugh J. 1996. Sensación y Percepción. 4ª edición. Ed. Prentice Hall Hispanoamericana S. A. México D. F. 573 p.

Mayorga V. M. C., L. Urbiola M., Suárez R. y Escamilla S. 1990. Estudio agronómico de xoconostle (*Opuntia* spp) en la zona semiárida del Estado de Querétaro. En: López, G.; Ayala O. (eds.). El nopal, su conocimiento y aprovechamiento; 3ª. Reunión nacional y 1ª. Reunión internacional. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Mazza G. 1998. Alimentos funcionales. Aspectos bioquímicos y de procesado. Acribia (Ed.). España. 457 p.

Meckes-Lozyoa M. y R. Roman-Ramos. 1986. *Opuntia streptacantha*: a coadjutor in the treatment of Diabetes Mellitus. *The American Journal of Chinese Medicine* 14 (3-4): 116-118.

Meilgaard M. D. 1999. Sensory evaluation techniques. 3rd Edition. CRC Press (Ed.). United states of America. pp: 43-57.

Michelis, A. 2006. Elaboración de conservas de frutas y hortalizas. Editorial Hemisferio Sur. Argentina.

Millán R. F., V. Roa, y M. Tapia. 2001. Modelado matemático de isotermas de adsorción de humedad en alimentos usando redes neuronales artificiales. *Interciencia* 26 (005): 190-194.

Nofre C. y Tinti J.M. 2000. Neotame: discovery, properties, utility. *Food Chemistry* 69: 245-257.

NutraSweet. 2007. Neotame poder. Boletín no. AO-TB-03-002. *[En línea]. 2012 [fecha de consulta: 10 de enero de 2012]. Disponible en: http://www.netame.com*

Ochoa M. C. y A. Ayala A. 2005. Modelos matemáticos de transferencia de masa en deshidratación osmótica. *Ciencia y tecnología alimentaria* 4 (005): 330-342.

Olivares, O. J., P. Zavaleta B., A. Chimal H., D. Montiel S., A. Fierro A. y L. Scheinvar. 2003. Xoconostle, biología y manejo agronómico. Universidad Autónoma Metropolitana. México, D.F. 121 p.

Organización Mundial de la Salud (OMS). 2012. Información general: Día mundial de la diabetes. *[En línea]. 2012 [fecha de consulta:* 04 de Mayo de 2012*].* http://www.who.int/mediacentre/events/annual/world_diabetes_day/es/index.html

Oviedo, G. L. 2004. La definición del concepto de percepción en psicología con base en la teoría Gestalt. Revista de Estudios Sociales 18: 89-96.

Packer L., M. Hiramatsu, T. Yoshikawa. 1999. Antioxidant food supplements in human health. Academic Press. USA. 511 p.

Paiz, R.C. 2007. Efecto hipoglucemiante de *Opuntia joconostle* Web. En ratas diabéticas. Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. México. 80 p.

Pellegrini, S.; L. Cuenya; A. E. Mustaca y G. V. Kamenetzky. 2009. Psicofísica comparada: Efectos de la Pérdida de incentivos en ratas normales e

inyectadas con etanol. Centro Interamericano de Investigaciones Psicológicas y Ciencias Afines Argentina. Interdiciplinaria 26 (2): 229-246.

Pimienta-Barrios E. 1990. *El nopal tunero*. Departamento de Investigación Científica y Superación Académica. Universidad de Guadalajara, México 246 p.

Pimienta-Barrios, E., L. Méndez-Morán, B. C. Ramírez-Hernández, J. E. García de Alba-García y R. M. Domínguez-Arias. 2008. Efecto de la ingestión del fruto de xoconostle (*Opuntia joconostle* Web.) sobre la glucosa y lípidos séricos. *Agrociencia* 42: 645-653.

Potter N. N. 1978. Ciencia de los alimentos. Acribia (Ed.). Zaragoza España.

Prior R. L., G. Cao.2000. Antioxidant phytochemicals in fruits and vegetables: diet and health implications. *Hortscience,* 35: 588-592.

Proteggente A. R., A. S. Pannada, G. Paganga, L. VanBuren, E. Wagner. 2002. The antioxidant activity of regularly consumend fruit and vegetables reflect their phenolic and vitamin C composition. *Free Radical Research,* 36: 217-233.

Quijano, M. 2001. La percepción y los órganos de los sentidos. Rev Fac Med UNAM 44 (1).

Rahman, S. 2003. Manual de conservación de los alimentos. Acribia (Ed.). Zaragorza, España.

Rahman. 1995. Food Properties Handbook. CRC Press, Boca Raton, FL.

Ranken M.D. 1993. Manual de industrias de los alimentos. Acribia (Ed). Zaragoza, España.

Reyes L. F., J. E. Villareal, L. Cisneros-Zevallos. 2007. The increase in antioxidant capacity after wounding depens ofn the type of fruit or vegetable tissue. *Food Chemistry,* 101: 1254-1262.

Robles, F. J. 1995. En torno a la ejemplar estructura paradójica de la psicofísica fechneriana. Anuario de Psicología No. 66. Barcelona

Rojas, S. C. 2004. El xoconostle en la disminución de colesterol total en la sangre de ratas. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. México. 51 p.

Sáenz C. 2006. Características y composición química de los nopales. pp. 7-22. In: C. Rosell ed. Utilización agroindustrial del nopal. Boletín de servicios agrícolas de la FAO 162. Roma.

Sánchez V. G. y Ortega D.M. L. 1996. Componentes químicos durante la maduración del fruto de *Opuntia joconostle* W. forma Cuaresmero. *Agrociencia* 30: 541-548.

Sánchez-Mejorada. 1982. Algunos usos prehispánicos de las cactáceas entre los indígenas de México. Gobierno de Estado de México. Secretaría de Desarrollo Agropecuario. Toluca. México 48 p.

Scalbert A., C. Manach, C. Morand, C. Remesy, L. Jiménez. 2005. Dietary polyphenols and the prevention of diseases. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45: 287-306.

Scheinvar, L., S. Filardo K., G. Olalde P. y P. Zavaleta B. 2009. Diez especies mexicanas productoras de xoconostle *Opuntia spp.* y *Cylindropuntia imbricata* (Cactaceae). Universidad Nacional Autónoma de México, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco (Ed). México. 179 p.

Schroeder S. A. y Wang R. 2001. Amorphous N-[N-(3,3-dimetilbutil)-L-α-aspartil]-L-fenilalanina 1-metiléster. United States Patent 06331646

Sies H. 1985. Oxidative stress: introductory remarks. In: Oxidative Stress, Sies H. (ed.). Academic Press Inc. London. 1-7 pp.

Simon J. A., E. S. Hudes, C. S. Johnston. 2001. Relation of serum ascorbic acid to mortality among US adults. *Journal of the American College of Nutrition,* 120: 255-263.

Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON). 2008. *[En línea]. [fecha de consulta:* 01 de Mayo de 2011*]. http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=181&Itemid=426*

Sistema Único de Información para la Vigilancia Epidemiológica/Dirección General de Epidemiología/ SSA. 2012. *[En línea]. [fecha de consulta: 29 de Diciembre de 2012].* http://www.dgepi.salud.gob.mx/anuario/index.html#.

Sprung, L. y H. Sprung. 1983. Gustav Theodor Fechner y el surgimiento de la psicología experimental. Revista Latinoamericana de Psicología. 15 (3): 349-368.

Taylor C. A., J. S. Hampl, C. S. Johnston. 2000. Low intakes of vegetables and fruits, especially citrus fruits, lead to inadequate vitamin C intakes among adults. *European Journal of Clinical Nutrition*, 54: 573-578.

Tsao, R. 2007. Extraction, separation, detection, and antioxidant activity of Apple polyphenols. In: Antioxidant measurement and applications. Fereidoon Shahidi y Chi-Tang Ho (eds.). American Chemical Society, Washington, D. C. pp: 202-234.

Welti Ch. J. y Vergara F. 1997. Actividad de agua. Concepto y aplicación en alimentos con alto contenido de humedad. En: Aguilera J.M. 1997. Temas en tecnología de alimentos, vol. 1 Programa Iberoamericano de ciencia y tecnología para el desarrollo (CYTED). México

WHO (World Health Organization). 2009. *[En línea]. [fecha de consulta: 29 de Octubre de 2009].* http://www.who.int/es/

Yeh G. Y., D. M. Eisenberg, T. J. Kaptchuk y R. S. Phillips. 2003 Systematic review of herbs and dietary supplements for glycemic control in diabetes. *Diabetes care* 26: 1277-1294.

CAPÍTULO 1. DESARROLLO DE UN DULCE CON POTENCIAL NUTRACÉUTICO A PARTIR DE CÁSCARA DEL FRUTO DE XOCONOSTLE (*Opuntia matudae*)

CHAPTER 1. DEVELOPMENT OF A CANDY WITH NUTRACEUTIC POTENTIAL FROM XOCONOSTLE FRUIT SKIN (*Opuntia matudae*)

Nicte Verenice Álvarez-Castro[1], Joel Corrales-García[2]

RESÚMEN

El xoconostle (*Opuntia matudae*) cv. Cuaresmeño es un fruto ácido con pH entre 2.71 y 3.42. Los objetivos del presente estudio fueron caracterizar el proceso de secado convectivo de cáscaras de xoconostle edulcoradas con neotame con diferentes tiempos de inmersión, evaluar el efecto de este proceso en el aspecto y sabor del producto secado, determinar el efecto de la concentración de neotame sobre el proceso de secado por liofilización, en el contenido de fenoles totales y actividad antioxidante, evaluar el efecto de la liofilización sobre la actividad antioxidante y determinar la concentración mínima de neotame para obtener muestras detectadas con sabor dulce. El proceso de secado por convección y liofilización se caracterizó de acuerdo al método de Geankoplis (1998). El contenido de fenoles totales se cuantificó por el método de Folin-Ciocalteu. La actividad antioxidante se evaluó por el método de DPPH. Se empleó el método del estímulo constante para llevar a cabo la evaluación sensorial de las muestras. El tiempo de edulcorado no disminuyó el tiempo de secado convectivo, el producto seco tuvo presentación y sabor poco agradable. La concentración de neotame disminuyó el tiempo de liofilización, el contenido de fenoles y actividad antioxidante. La liofilización no afectó la actividad antioxidante de cáscara no edulcorada. La concentración mínima de neotame fue de 0.032 g de neotame L^{-1}.

Palabras clave: *Opuntia matudae*, secado, neotame, fenoles totales, actividad antioxidante, evaluación sensorial.

[1] Tesista

[2] Director de tesis

ABSTRACT

Xoconostle (*Opuntia matudae*) cv cuaresmeño is an acid fruit with pH between 2.71 and 3.42. The aims of this study were to characterize the convective drying process of sweetened-xoconostle skin with neotame at different immersion times, to evaluate the effect of this process in the appearance and taste of the dried product, to determine the effect of the concentration of neotame on the drying process by freeze drying, on the total content of phenols and the antioxidant activity, to evaluate the freeze drying effect on the antioxidant activity and to determine the minimum concentration of neotame to obtain samples detected with sweet taste. The drying process by convection and freeze drying was characterized according to the method of Geankplis (1998). The total content of phenols was quantified by the Folin-Ciocaltteu method. The antioxidant activity was evaluated by the DPPH method. The method of constant stimulation was used to carry out the sensory evaluation of the samples. The time for sweetening did not cause decreased convective drying time; the dried product had unpleasant appearance and taste. The concentration of neotame caused a decrease in the freeze drying time, the phenol content, and the antioxidant activity. The freeze drying process did not affect the antioxidant activity in unsweetened skin. The minimum concentration of neotame was 0.032 g neotame L^{-1}.

Key words: *Opuntia matudae*, drying, neotame, total phenols, antioxidant activity, sensory evaluation

1. INTRODUCCIÓN

El consumo de frutas y verduras es parte de la alimentación saludable, además de nutrir favorecen los procesos fisiológicos y disminuyen el deterioro de la salud. En este sentido, su acción preventiva o curativa sobre algunas enfermedades se debe a sustancias químicas que pueden modificar la fisiología de los organismos. Estas sustancias son compuestos no nutritivos, clasificados como metabolitos secundarios, presentes en los alimentos de manera natural, también conocidos como fitoquímicos o sustancias bioactivas (Torres y Tovar-Palacios, 2009). En este grupo se encuentran compuestos antioxidantes.

La actividad antioxidante es aquella que permite neutralizar cualquier molécula (radical libre). En los tejidos se forman continuamente a partir del oxígeno molecular disuelto, como parte normal de la función de las células. Los radicales libres se producen con el metabolismo normal de los alimentos, con la respiración, y el ejercicio, pero cuando se excede la concentración al actuar sobre algunos compuestos celulares importantes (grasas, proteínas, ADN, etc.) éstos dañan las células (Sies, 1985; Frei, 1994).

Los radicales libres son especies químicas inestables, químicamente muy reactivas, con un electrón desparejado en una órbita exterior y que toma un electrón de un átomo o molécula adyacente para estabilizar su carga; esto crea otro electrón desparejado. El proceso continúa rápidamente como cascada de estas reacciones que, si no se controla, se expande de forma agresiva y

logarítmica, y provoca una reacción en cadena de destrucción tisular y de los sustratos oxidables (Anderson, 2009). Sin embargo, los radicales libres son tanto lesivos como favorables. El beneficio para la salud depende de un equilibrio apropiado y una función óptima de las sustancias en el organismo.

El estrés oxidativo es una situación bioquímica de desequilibrio entre los radicales libres y los mecanismos de protección antioxidante, los efectos tóxicos de este proceso sobre las células normales podrían contrarrestarse con antioxidantes (García-Tirado *et al.*, 2012). Los efectos beneficiosos, de estos compuestos, están en relación con su papel en la prevención del desarrollo de distintos tipos de cáncer, de enfermedades cerebrovasculares y cardiovasculares, e incluso de la enfermedad de Alzheimer (Martínez-Navarrete *et al.*, 2008).

Algunos de estos antioxidantes (vitamina C y E, carotenoides, fenoles y flavonoides) se encuentran en concentraciones variables en productos de origen vegetal (frutas y vegetales). Uno de estos productos es el xoconostle, tuna ácida que ha sido utilizada ampliamente en la medicina popular mexicana (Guzmán *et al.*, 2009) y en la cocina, desde hace algunas décadas, principalmente como condimento para dar sabor a los caldos, como materia prima en la elaboración de licores, mermeladas, jaleas, deshidratados, cristalizados, almíbar y salsas (Olivares *et al.*, 2003; Scheinvar *et al.*, 2009).

Los frutos ácidos de xoconostle (*Opuntia matudae*) provienen de una planta cactácea, erecta con tronco definido, de 1.5 a 4.5 m de altura; cladodios angostamente obovados, verde azulados algo grisáceos, con manchas purpúreas alrededor de las aréolas; flores amarillas con manchas rojas que con

el tiempo pasan a rosado y rojo. Los frutos son comestibles, el pH del exocarpo o pericarpio es entre 2.71 y 3.42. Este fruto es conocido localmente como xoconostle cuaresmeño (Scheinvar *et al.*, 2009).

Guzmán-Maldonado *et al.* (2010) caracterizaron ampliamente los frutos de xoconostle (*O. matudae*), pues incluyeron en su evaluación compuestos fenólicos simples solubles, betalaínas y la capacidad antioxidante de las estructuras del fruto. Estos autores señalaron que el aumento de su consumo podría contribuir positivamente a mejorar la salud de los consumidores, rurales y urbanos, y que la capacidad antioxidante de los tejidos del mesocarpio del xoconostle pueden contribuir a la prevención de enfermedades crónicas y otros problemas de salud en los humanos.

A pesar de los beneficios que puede tener el xoconostle y aunque la población los reconoce es poco consumido como fruta debido a que su sabor no es dulce. También, existe la posibilidad de que el aspecto de esta fruta sea poco atractivo para los consumidores. De ser así, se propone que una forma de aumentar el consumo y la posibilidad de coadyuvar o contribuir a la prevención de algunas enfermedades crónicas, como diabetes mellitus tipo 2, es modificar y mejorar su apariencia, con segmentos del mesocarpio y su sabor con un edulcorante no calórico. El neotame es un nuevo edulcorante alimentario que no contiene calorías, evita problemas como caries dental y otros riesgos de salud asociados con un exceso en el consumo de edulcorantes calóricos.

Como otros frutos, el xoconostle cosechado puede cambiar y deteriorarse en post cosecha. Uno de los métodos de conservación de alimentos más antiguos es el proceso de secado o reducción de su contenido acuoso. Los alimentos

que contienen poca agua pueden extender su vida útil al estabilizarlos frente a las actividades nocivas de enzimas y microorganismos (Bello, 2000). El secado convectivo es una técnica para conservar los alimentos; sin embargo, este proceso da lugar a que se produzcan cambios con mayor o menor intensidad en los componentes químicos y la posible alteración de los antioxidantes presentes en el tejido así como el riesgo de modificar la calidad sensorial del producto (Carranza-Concha *et al.*, 2012).

La liofilización es un proceso de secado a temperatura suficientemente baja que ofrece productos secos de alta calidad y permite mantener las propiedades físicas, químicas y funcionales de los productos en comparación con otras técnicas de secado (Irzyniec *et al.*, 1995; Genin y René 1996; Wolff y Gibert, 1998). Así, la ventaja principal de esta técnica es la calidad superior del producto final. Sin embargo, dado el costo alto de la operación y la eficiencia energética baja, en comparación con otras tecnologías comunes de secado (Huang *et al*., 2009), la liofilización se restringe generalmente a producir productos con valor agregado alto, como los farmacéuticos, microorganismos y algunas bebidas, como el café (Pardo, 2002; Chen y Wang, 2007; Meng *et al.*, 2008).

Debido al interés actual en el consumo de productos de mejor calidad y funcionalidad que promuevan un organismo saludable, los objetivos de este estudio fueron:

1. Evaluar el efecto del tiempo de edulcorado con neotame sobre la cinética del secado convectivo de cáscaras de xoconostle.

2. Evaluar el efecto de edulcorado y secado convectivo sobre el aspecto y sabor del producto terminado.

3. Determinar el efecto de la concentración del edulcorante (neotame) sobre la cinética de secado por liofilización, sobre el contenido de fenoles totales y sobre la actividad antioxidante en cáscaras de xoconostle.

4. Evaluar el efecto del secado por liofilización sobre la actividad antioxidante de este tejido vegetal sin edulcorar.

5. Determinar la concentración mínima requerida de neotame para obtener cáscaras de xoconostle secadas por liofilización sensorialmente detectadas con el sabor dulce.

Las hipótesis fueron:

- El tiempo de inmersión de las cáscaras de xoconostle en la solución edulcorante no disminuye el tiempo de secado convectivo.
- Las cáscaras de xoconostle edulcoradas y secadas por convección tienen apariencia y sabor poco agradables.
- La concentración de neotame no afecta la cinética de secado por liofilización, el contenido de fenoles totales y la actividad antioxidante de las cáscaras de xoconostle.
- El secado por liofilización no afecta la actividad antioxidante de cáscaras de xoconostle sin edulcorar.
- Se requiere una concentración mínima de neotame para edulcorar las cáscaras de xoconostle y sean detectadas con sabor dulce.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Material Vegetal

Se utilizaron 250 frutos de xoconostle (*O. matudae*) cv. Cuaresmeño, cosechados aleatoriamente en un huerto familiar de la comunidad de Cuautlacingo, Municipio de Otumba, Estado de México. Los frutos estaban en estado de madurez hortícola o comercial (según el productor: determinado por el color del fruto), tamaño uniforme, libres de plagas y enfermedades (Figura 1). El sitio se ubica en las coordenadas 19º 41' 36" N y -98º 47' 00" W, a una altura de 2350 m.

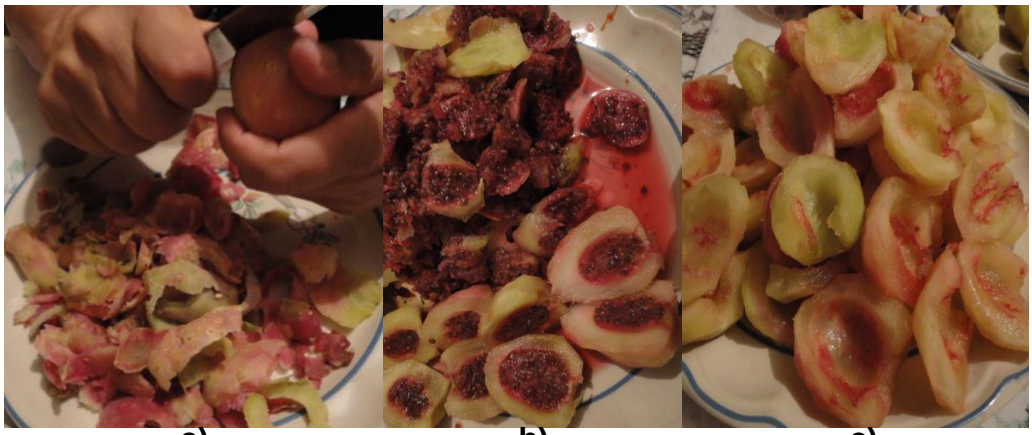
Figura 1. Huerto familiar de frutos de xoconostle cv. Cuaresmeño (*Opuntia matudae*) de la comunidad de Cuautlacingo, Municipio de Otumba, Estado de México.

2.2 Efecto del tiempo de edulcorado sobre la cinética de secado convectivo

Los frutos fueron desinfectados por inmersión en solución acuosa de hipoclorito de sodio al 0.01 %, se permitió que el exceso de la solución se eliminara primero por escurrimiento y luego con papel absorbente; luego fueron descascarados; se retiró la cutícula manualmente con un mondador de acero inoxidable, se eliminaron las semillas y la pulpa, las cáscaras se rebanaron con grosor uniforme de 0.3 ± 0.1 cm (Figura 2). Las rebanadas fueron edulcoradas por inmersión durante diferentes tiempos 1, 1.5, 2, 2.5, 3 y 3.5 h, en solución acuosa de neotame con concentración de 0.011 g L^{-1} (p/v). Cada tiempo se consideró como un tratamiento, así los tratamientos fueron identificados como: t0 (sin inmersión, testigo), t1, t2, t3, t4, t5 y t6, respectivamente. La proporción de cáscara: solución fue 1:1.5 (g: mL). Después del edulcorado, las cáscaras se escurrieron durante 10 min. El neotame fue donado por la empresa Innovación Alimentaria Döhler S.A. de C.V. Éste es un edulcorante no calórico, derivado de un dipéptido compuesto por dos aminoácidos naturales, ácido L-aspártico (Asp) y L-fenilalanina (FA), su estabilidad es mayor a pH entre 3 y 5.5, y es 8,000 a 10, 000 veces más dulce que la sacarosa (Restrepo, 2004; NutraSweet, 2007), esto permite emplear cantidades pequeñas de éste en los productos alimenticios para su edulcoración.

El secado convectivo se realizó en un secador de charolas con aire caliente. Se ajustó el secador a 55 ºC, la velocidad del aire de secado a la salida fue de 1.2 m s^{-1} ± 0.1, la que se midió con un anemómetro digital, Kestrel®, 4000

Pocket (apreciación 0.1 m s^{-1}). La temperatura deseada dentro de la cámara se monitoreó con un termómetro de varilla analógico (apreciación ± 1 ºC).



a) **b)** **c)**

Figura 2. Proceso de acondicionamiento de las cáscaras de xoconostle: a) Eliminación de la cutícula a frutos frescos de xoconostle (pericarpio, cáscara fina del fruto), b) Eliminación de semillas y pulpa (endocarpio), c) Cáscaras de xoconostle frescas (mesocarpio, estructura del fruto consumida como alimento).

Las rebanadas de cáscara de xoconostle uniformes (en peso y volumen) fueron colocadas en una charola, que fue cubierta en su totalidad por estas, de tal manera que sólo quedó expuesta a la corriente de aire de secado la superficie superior de las muestras.

Una vez estabilizados los parámetros de secado convectivo se introdujo la charola al secador, en ese instante se activó el cronómetro, luego, cada 10 min se tomó el peso de la muestra y la actividad acuosa (a_w) durante 7 h (tiempo requerido para llevar la muestra a peso constante); antes de iniciar el proceso de secado se tomó registro del peso y a_w inicial de las muestras. El peso (g) se

determinó tomando la lectura directamente de la balanza digital modelo TP4KD (Ohaus, USA), misma que se integró al secador de manera suspendida a la charola con la muestra (Figura 3). Para evaluar periódicamente a_w la muestra se retiró de la charola de secado, se acomodó en el porta-muestra (celda) y se obtuvo la lectura en un medidor de actividad acuosa (AquaLab, Decagon Devices, Washington, USA) (Figura 4); de cada muestra se obtuvo el promedio de dos lecturas. Este procedimiento se realizó para cada uno de los tratamientos aplicados a las cáscaras de xoconostle.

a) **b)** **c)** **c)**

Figura 3. Proceso de deshidratación con aire caliente de cáscaras de xoconostle (*O. matudae*): a) Cáscaras frescas de xoconostle, b) Charolas con cáscaras de xoconostle frescas dentro del deshidratador, c) Cáscaras secas de xoconostle.

Figura 4. Medidor de actividad de agua

(AquaLab, Decagon Devices, Washington, USA).

La humedad total en base seca (g H_2O g^{-1} sólido seco) se cuantificó por el método descrito por Geankoplis (1998). Se calculó la masa de agua de las muestras (Ec. 1), luego se calculó la humedad en el sólido (Xt) (Ec. 2).

$$Ma = Mt - mSs \quad (1)$$

donde:

Ma = masa de agua (g) para cada tiempo.

Mt = masa total (g) para cada tiempo.

mSs = masa de sólido seco (g) valor constante.

$$Xt = \frac{Ma}{mSs} \quad (2)$$

donde:

Xt = humedad total en base seca (g H_2O g^{-1} sólido seco) para cada tiempo.

Ma = masa de agua (g) para cada tiempo.

mSs = masa de sólido seco (g) valor constante.

Con los datos obtenidos periódicamente se obtuvieron las curvas de secado de la humedad total en base seca (g H_2O g^{-1} sólido seco) de las cáscaras en dependencia del tiempo (h) (Fito *et al.*, 2001). Con el contenido de humedad total en base seca (g H_2O g^{-1} sólido seco) frente a a_w se obtuvo la isoterma de desorción para la cáscara de xoconostle.

2.3 Efecto de diferentes concentraciones de neotame sobre la cinética de secado por liofilización

Para determinar este efecto con base en los resultados de la prueba de diferentes tiempos de edulcorado sobre la cinética de secado convectivo (arriba explicada) se escogió un tiempo de edulcorado de 1 h como factor fijo.

Los frutos se acondicionaron de la misma manera como se explicó para la prueba del proceso de secado convectivo. Las rebanadas fueron edulcoradas por inmersión, en solución acuosa de neotame con concentraciones de 0.011, 0.022, 0.033, 0.044 y 0.055 g L^{-1} (p/v) durante 1 h. Los tratamientos fueron identificados como: t1, t2, t3, t4 y t5, respectivamente. Y t0 como rebanadas sin inmersión y sin edulcorante. La proporción de cáscara: solución fue 1:1.5 (g:mL). Al término del periodo de edulcorado, las cáscaras se escurrieron durante 10 min, se acomodaron en bolsas de yute (20 X 10 cm) y se congelaron por 12 h a -20 °C, en un congelador horizontal modelo FFC0923DW (Frigidaire, USA). Las bolsas con las muestras congeladas se distribuyeron uniformemente dentro de los frascos del liofilizador; éstos se colocaron en un liofilizador modelo 7670520 (LABCONCO, Kansas, USA) a -40 °C y 12 Pa, durante 12 h (Figura 5).

Una vez estabilizados los parámetros del liofilizador (-40 °C y 12 Pa) se conectaron los frascos (que contenían las cáscaras de xoconostle congelado) a la cámara de secado del equipo, en este instante se activó el cronómetro, luego, cada hora se tomó el peso de la muestra y a_w durante 12 h; antes de iniciar el proceso de secado se tomó registro del peso y a_w inicial de las muestras. Para pesar la muestra se sacó la bolsa del frasco, se colocó en una balanza analítica modelo Scout Pro: SPE123 (Ohaus, USA) y se registró el peso (g). Para evaluar a_w se retiró la muestra de la bolsa, se acomodó en la celda y se obtuvo la lectura de la misma manera y en el mismo medidor de a_w descrito anteriormente. Este procedimiento se realizó para cada uno de los tratamientos aplicados a las cáscaras de xoconostle. La humedad total en base seca (g H_2O g^{-1} sólido seco) se cuantificó por el método de Geankoplis (1998), como se describió para el secado convectivo.

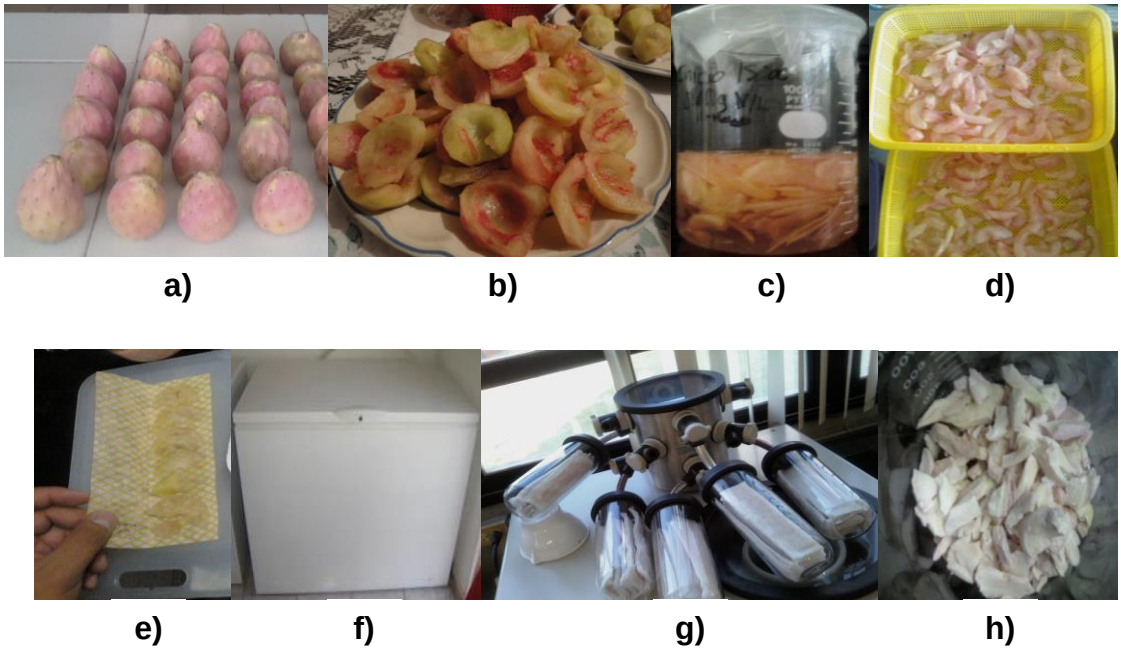


Figura 5. Proceso de secado por liofilización de cáscaras de xoconostle (*O. matudae*): a) Frutos frescos de xoconostle, b) Cáscaras de xoconostle frescas, c) Cáscaras de xoconostle en solución de neotame, d) Escurrido de las cáscaras de xoconostle edulcoradas, e) Embolsado de las cáscaras de xoconostle edulcoradas, f) Congelado de las cáscaras de xoconostle edulcoradas, g) Liofilizado de las cáscaras de xoconostle edulcoradas, h) Cáscara de xoconostle edulcorada y liofilizada (producto final).

2.4 Cuantificación de fenoles totales

El contenido de fenoles totales se cuantificó por el método espectrofotométrico descrito por Waterman y Mole (1994) empleando el reactivo de Folín-Ciocalteu, y ácido gálico como estándar. Se prepararon extractos etanólicos con 1 g de la cáscara liofilizada de cada tratamiento. Para esto, la muestra se colocó en 25 mL de etanol acuoso 95 % v/v (Beker Reagent), se

sonicó en el ultrasonico modelo 8892 (Cole-Parmer, Pasadena, USA) por 20 min y el sobrenadante se decantó (Figura 6). Luego para obtener los extractos etanólicos el sobrenadante se aforó a 25 mL con etanol acuoso 80 % (v/v).

Se mezclaron 0.5 mL del extracto etanólico con 10 mL de Na_2CO_3 al 10 % (en agua p/v) (Beker Reagent), se homogeneizó y calentó en baño maría a 38 °C por 15 min (Figura 7). A 1 mL de esta mezcla se le adicionaron 3 mL de agua destilada y 1 mL de solución Folín-Ciocalteu:agua 1:1 v/v (Sigma-Aldrich, Alemania). Después de reposar 15 min en oscuridad a temperatura ambiente, se midió la absorbancia a 660 nm en un espectrofotómetro Spectronic 20® (Florida, USA); el equipo se ajustó con etanol (95 %) para la absorbancia 0 (Figura 8). Se preparó una curva de calibración con 150, 200, 250, 300 y 350 ppm de ácido gálico. El contenido de fenoles totales de las muestras se calculó con la ecuación ajustada por regresión lineal de esta curva (y=0.0002x-0.0038; R^2=0.975) (Figura 9). El contenido de fenoles totales se expreso en mg equivalentes de ácido gálico por 100 g de materia seca (mg 100 g^{-1} MS).

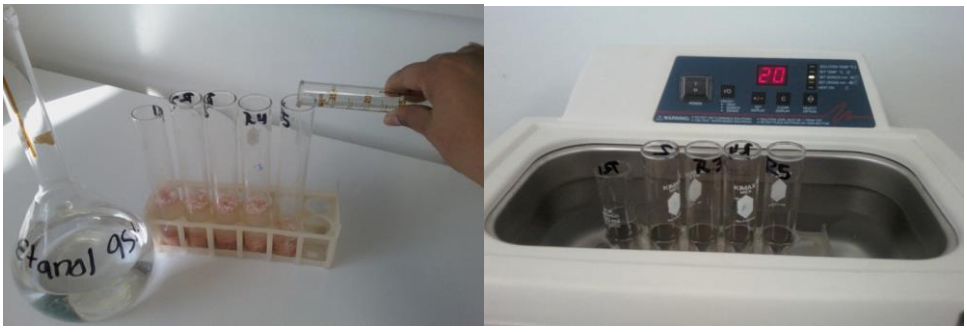


Figura 6. Preparación de extractos etanólicos con 1 g de cáscara de xoconostle (*Opuntia matudae*) liofilizada y sonificada.

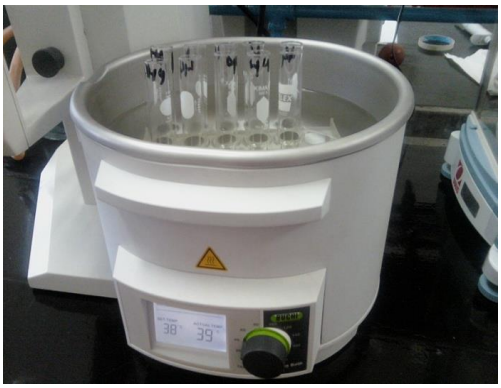


Figura 7. Extracto de cáscara de xoconostle y Na_2CO_3 al 10 % en baño maría a 38 °C.

Figura 8. Medición de la absorbancia a 660 nm, de la muestra de xoconostle, en un espectrofotómetro Spectronic 20® (Florida, USA).

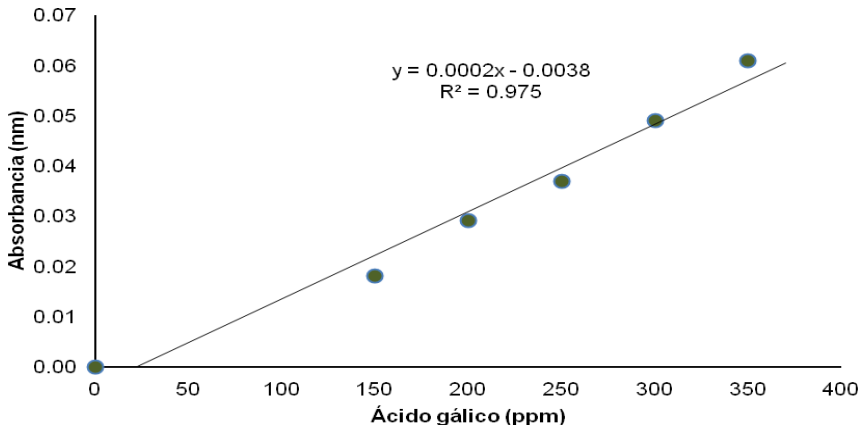


Figura 9. Curva de calibración (concentración de ácido gálico en ppm contra absorbancia medida a 660 nm) para la cuantificación de fenoles totales por el método espectrofotométrico descrito por Waterman y Mole (1994).

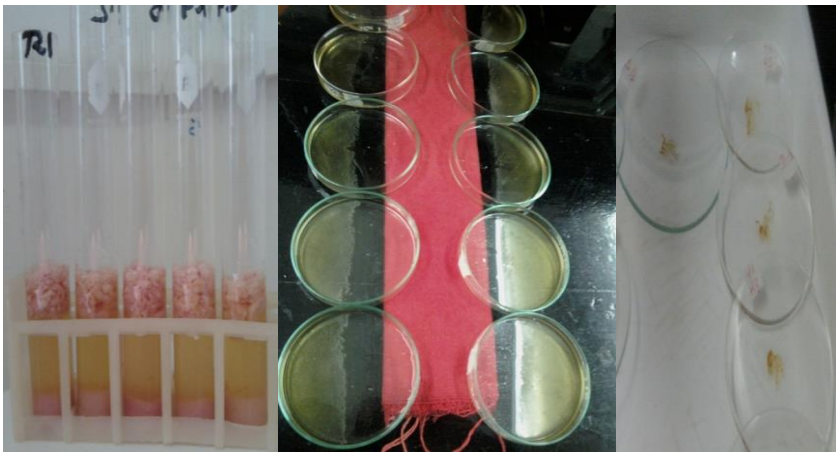
2.5 Evaluación de actividad antioxidante

Esta actividad se evaluó por el método del radical libre DPPH descrito por Liu *et al.* (2009). En este método la reducción química y estabilización del DPPH (radical con un electrón no apareado, libre) por los antioxidantes da lugar al cambio de color de azul-violeta a amarillo pálido.

De acuerdo con Amarowicz *et al.* (2004), el método del radical libre DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo) es una prueba estándar para el estudio de la actividad antioxidante, ofrece una detección rápida de la actividad de captación de radicales libres de compuestos específicos.

Se pesó 1 g de muestra liofilizada de cáscara de xoconostle, se suspendió en 15 mL de metanol (de alta pureza) (Baker Reagent), se sonicó en el ultrasonico modelo 8892 (Cole-Palmer, Pasadena, USA) por 20 min y se dejó

evaporar hasta sequedad mediante una corriente de nitrógeno gas (evaporación total del disolvente orgánico) (Figura 10).



a) **b)** **c)**

Figura 10. Proceso de elaboración de extractos de cáscara de xoconostle edulcorada y secada por liofilización para la determinación de actividad antioxidante: a) Cascará de xoconostle liofilizada sumergida en metanol; b) Extractos en metanol; c) Extractos secos de cáscara de xoconostle.

Con los extractos de cáscara de xoconostle edulcorada con diferentes concentraciones de neotame (tratamientos) se prepararon seis soluciones stock (1 mg mL^{-1}), una para cada tratamiento. A partir de éstas se tomaron alícuotas de volumen adecuado (0.01, 0.1, 0.5, 1, 5, 6 y 8 mL) para disolverlas en metanol aforando a 10 mL y obtener disoluciones seriadas con las siguientes concentraciones 0.001, 0.01, 0.05, 0.1, 0.5, 0.6 y 0.8 mg mL^{-1}.

Para la reacción de reducción del DPPH por parte de los extractos, se mezcló 1 mL de cada disolución de éstos con 3 mL de solución de DPPH (0.1

mM) (Sigma-Aldrich, Alemania). Las mezclas se mantuvieron en reacción a temperatura ambiente (alrededor de 25 °C) y oscuridad por 30 min, después se les midió absorbancia a 516 nm en un espectrofotómetro Spectronic 20® (Florida, USA) (Figura 11).

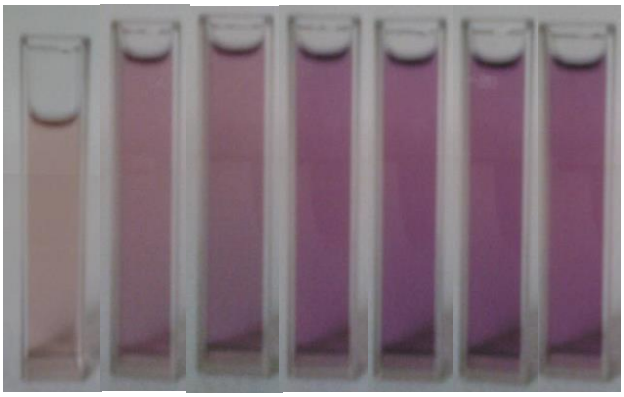


Figura 11. Color de los extractos de cáscara de xoconostle, con concentraciones de 0.001, 0.01, 0.05, 0.1, 0.5, 0.6 y 0.8 mg mL^{-1} después de agregar DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo).

El porcentaje de DPPH inhibido se cuantificó con la Ec. 3:

$$\% \text{ DPPH}_{\text{inhibido}} = [(A_{\text{blanco}} - A_{\text{muestra}}) \times 100]/A_{\text{blanco}} \quad (3)$$

donde:

A_{blanco} es la absorbancia del testigo (DPPH 0.1 mM)

A_{muestra} es la absorbancia obtenida de cada muestra después de 30 min con DPPH 0.1 mM.

Se graficaron los porcentajes de inhibición calculados con la Ec. 3 contra las concentraciones de los extractos de los tratamientos (mg mL^{-1}), para obtener los valores de la concentración inhibitoria media de las muestras (CI_{50} = mg mL^{-1}), que representa la actividad antioxidante de estas. Esta CI_{50} es la concentración requerida por la muestra para disminuir la $absorbancia_{516}$ del DPPH al 50 % (Figura 12, Anexo Cuadro A-1). Entonces, las bajas lecturas de absorbancia de las mezclas de reacción son deseables porque indican que las muestras tienen actividad antioxidante alta.

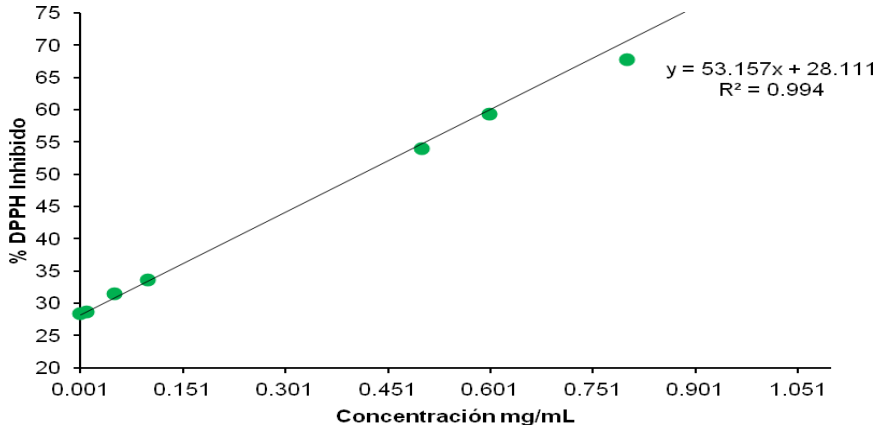


Figura 12. Concentración de extracto de la cáscara de xoconostle (mg mL^{-1}) y % de DPPH inhibido, para encontrar la CI_{50}.

Un procedimiento semejante se hizo con la quercetina (Sigma-Aldrich, Alemania), que es conocida como uno de los antioxidantes más potentes y que en este trabajo se usó como dato de referencia (Cotelle *et al.,* 1996; Robards *et al.,* 1999; Bors *et al.,* 1999). Para obtener la CI_{50} de ésta, se preparó una solución stock (0.1 mg mL^{-1}), se tomaron alícuotas de 0.1 y 1 mL para

disolverlas en metanol aforando a 10 mL y obtener disoluciones seriadas a 0.001 y 0.01 mg mL^{-1}, respectivamente. Para la reacción de reducción del DPPH por parte de la quercetina se realizó el procedimiento antes mencionado.

El porcentaje de DPPH inhibido se cuantificó con la Ec. 3, éstos se graficaron contra las concentraciones de quercetina (mg mL^{-1}) (Figura 13, Anexo Cuadro A-2).

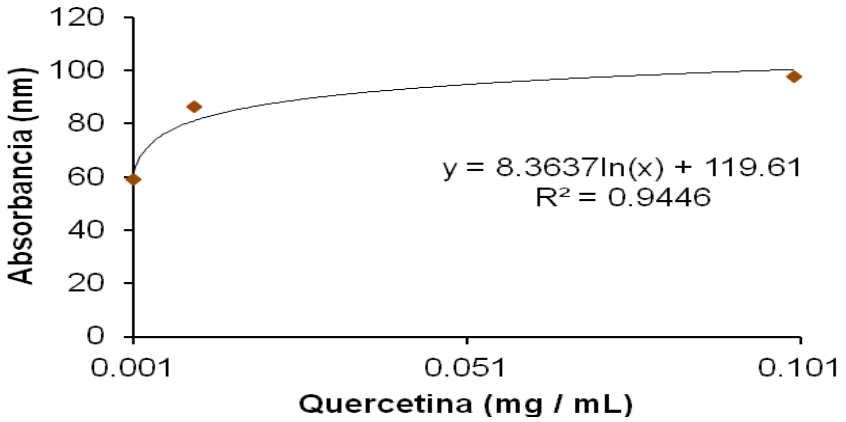


Figura 13. Curva de calibración de quercetina contra % de DPPH inhibido para la evaluación de la actividad antioxidante por el método del radical libre DPPH descrito por Liu *et al.* (2009).

Para construir la curva de calibración concentración de DPPH contra absorbancia, se pesaron 3.93 mg de DPPH y se disolvieron en 100 mL de metanol para obtener una concentración de 0.1 mM. De esta solución se prepararon las concentraciones 0.01, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08 y 0.1 mM de DPPH.

La curva estándar se construyó con la absorbancia del radical DPPH a diferentes concentraciones (Figura 14, Anexo Cuadro A-3)

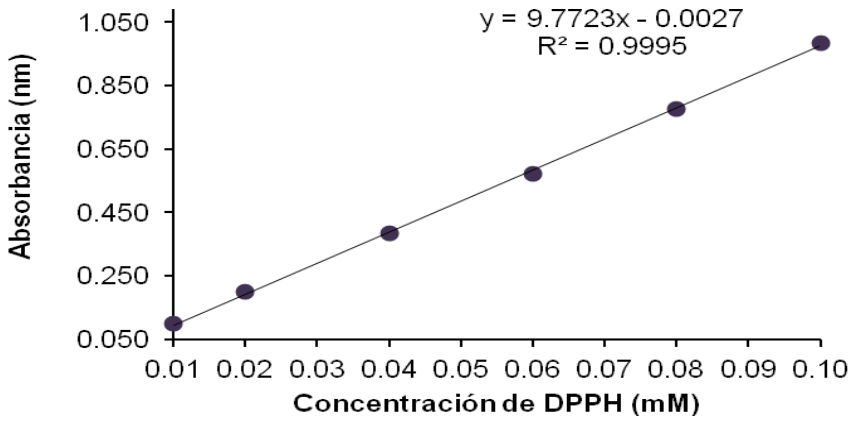


Figura 14. Curva de calibración de concentración de DPPH (0.01, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08 y 0.1 mM) contra absorbancia medida a 526 nm para la evaluación de la actividad antioxidante por el método del radical libre DPPH descrito por Liu *et al.,* (2009).

2.6 Evaluación sensorial

Se empleó el método del estímulo constante desarrollado por McBride y Booth (1986) con el cual se determinó la diferencia apenas detectable (dad) o umbrales de diferencia y el punto de igualdad subjetiva (PIS).

Esta prueba se aplicó a 100 personas, las cuales mediante una escala nominal evaluaron cáscaras de xoconostle edulcoradas con 5 concentraciones de neotame separadas por distancias iguales en la escala física 0.011, 0.022, 0.033, 0.044 y 0.055 g L^{-1}. La preparación de las cáscaras se realizó de la manera mencionada en el proceso de secado por liofilización. Las cáscaras de xoconostle edulcoradas y secadas (0.1 g) se sirvieron a temperatura ambiente, en vasos de plástico del número cero codificados con tres números aleatorios.

A cada persona se le sirvieron los cinco estímulos en forma aleatoria. Se pidió a los panelistas comer toda la muestra e indicar en el formato (Anexo 4) si la muestra era dulce.

2.7 Análisis estadístico

Cinética de secado y potencial fitoquímico

La asignación de tratamientos a las unidades experimentales se hizo de acuerdo con un diseño experimental completamente al azar. Cuando el análisis de varianza mostró significancia se empleó la diferencia mínima significativa (DMS), con una $p \leq 0.05$. La unidad experimental estuvo constituida por 40 g de tejido fresco de xoconostle y se evaluaron tres repeticiones. Las variables de respuesta evaluadas fueron el contenido de humedad, a_w, contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante. Los datos se analizaron con el programa SAS (2000).

Evaluación sensorial

Se calculó el porcentaje de respuestas “si es dulce” para cada concentración y luego se transformaron a valores Z, usando las tablas de distribución normal, se aplicó una regresión lineal a las concentraciones y a los valores zeta, para obtener una ecuación. A partir de la ecuación obtenida se calculó la concentración ideal que corresponde al 50 % (Z = 0) de respuestas “si es dulce” (PIS). De forma similar, con un valor de Z = -0.675 se calculó el 25 % de las respuestas afirmativas. La diferencia entre los valores de respuesta al 50 % y 25 % describe el umbral de diferencia o la diferencia apenas detectable (dad) (McBride y Booth, 1986; Hernández, 2007).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Efecto del tiempo de edulcorado sobre la cinética de secado convectivo

3.1.1 Edulcorado previo (condiciones y efectos)

Experiencias preliminares dieron como resultado que prolongar el proceso de edulcorado por 5 h o más provocó una pérdida gradual de sabor, esto debido muy probablemente a que el agua de la solución de neotame funciona como diluyente de los ácidos orgánicos de la cáscara del xoconostle y posiblemente de algunas otras sustancias responsables del sabor de esta fruta, mismas que finalmente salen del tejido vegetal por lixiviación. Con base en lo anterior se propusieron y probaron tiempos de edulcoración más cortos, esto es, 0, 1, 1.5, 2, 2.5, 3 y 3.5 h (t0, t1, t2, t3, t4, t5 y t6, respectivamente).

Se encontró que ninguno de estos tratamientos tuvo efecto en cuanto al contenido de humedad y la a_w de las muestras al término del edulcorado. El contenido final de humedad de las muestras osciló entre 8.41 y 10.33 g H_2O g^{-1} sólido seco. Y en cuanto a la a_w los valores oscilaron entre 0.991 y 1.000.

3.1.2 Cinética de secado convectivo

Contenido de humedad. El proceso del secado convectivo inició con diferente contenido de humedad, ya que éste correspondió al de las muestras al final de su edulcoración, para t0 fue de 10.33, para t1 de 8.41, para t2 de 8.65, para t3 de 8.74, para t4 de 8.5, para t5 de 8.74 y para t6 de 9.24 g H_2O g^{-1} sólido seco.

Las curvas de secado obtenidas no presentaron la primera de las tres fases típicas del secado de frutas indicadas por Fito *et al.* (2001); prácticamente para todos los tratamientos se observaron dos fases de secado: la primera fue a velocidad constante y la segunda a velocidad decreciente; esta última (con duración de 4.5 h) fue más prolongada que la primera (Figura 15). De acuerdo con Hernández y Quinto (2005) esta cinética de secado convectivo sugirió que el mecanismo de secado de las muestras fue principalmente por difusión de agua. Además, la pérdida de agua fue notoriamente mayor en la primera fase que en la segunda, lo cual se pudo deber a que el tipo de agua que se encontraba dentro del sólido en estudio no estaba ligada fuertemente (Roberti, 2011). Esto concuerda con la teoría que establece que durante el proceso de secado del tejido vegetal se remueve primero el agua libre que el agua ligada (Heldman y Singh, 1981). Por otro lado, las curvas de secado de las cáscaras de xoconostle previamente edulcoradas fueron similares a las reportadas por Lahsasni *et al.* (2004) quienes estudiaron la cinética de secado de tuna (*O. ficus indica*), esto probablemente debido a que se trata del secado de un tejido vegetal muy semejante.

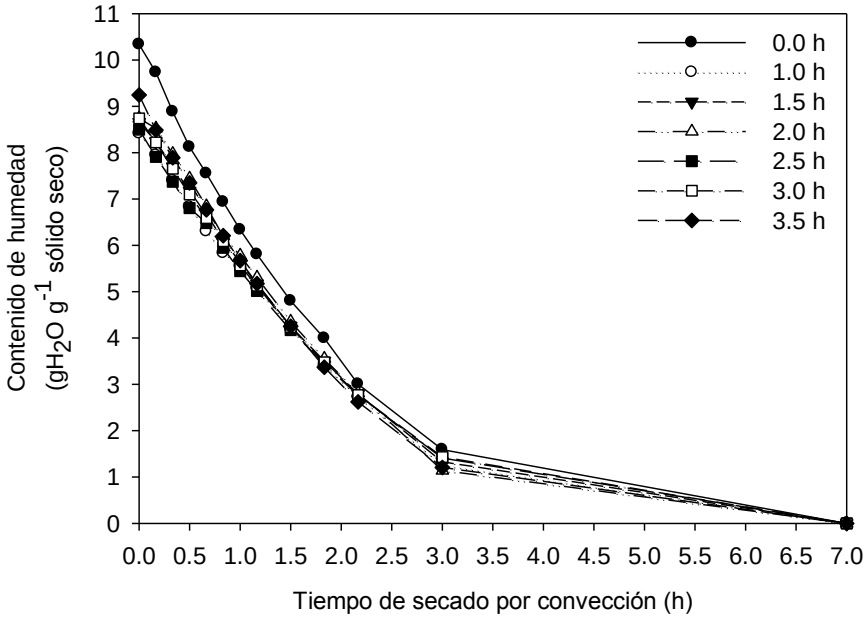


Figura 15. Contenido de humedad (g H_2O g^{-1} sólido seco) en función del tiempo de secado con calor por convección (55 °C) de cáscara de xoconostle (*O. matudae*) edulcorada previamente durante diferentes tiempos por inmersión en solución acuosa de neotame (0.011 g L^{-1}).

A las 7 h de secado convectivo todas las cáscaras de xoconostle ya no presentaron contenido de agua, independientemente del tiempo de su edulcorado (tratamientos), es decir que el tiempo de inmersión en la solución acuosa edulcorada con neotame, no modificó la cinética del secado convectivo, por lo que el tiempo para secar las muestras a peso constante fue el mismo para todos los tratamientos.

Actividad acuosa. La a_w es un parámetro que indica la disponibilidad de agua en un alimento (Comaposada *et al.*, 2000). Ninguna de las muestras de ningún tratamiento redujeron su a_w por debajo del nivel confiable (0.4) antes de 7 h de secado convectivo; además, en ese momento la a_w de las muestras fue semejante para todos los tratamientos; es decir la velocidad de disminución de a_w tampoco fue afectada por el tiempo de inmersión del edulcorado previo.

3.1.3 Características sensoriales de las muestras secadas convectivamente

Se observó que el tiempo mínimo requerido para una edulcoración efectiva (sensorialmente detectable) usando una solución acuosa de neotame de 0.011 g L^{-1} fue de 1 h ya que tiempos más prolongados afectaban negativamente el sabor; sin embargo, aún con este tiempo de edulcorado tanto el aspecto visual como el sabor de las muestras, en general no fueron tan agradables como las muestras edulcoradas y secadas por liofilización, como mas adelante se verá.

3.2 Efecto de diferentes concentraciones de neotame sobre la cinética de secado por liofilización

3.2.1 Edulcorado previo (condiciones y efectos)

De acuerdo con el resultado del edulcorado previo de la prueba del secado convectivo, anteriormente descrita, el tiempo de inmersión para el edulcorado se fijó en 1 h pero en soluciones acuosas de diferente concentración de neotame: 0.011, 0.022, 0.033, 0.044 y 0.055 g L^{-1} que correspondieron a los

tratamientos 1 al 5 (t1, t2, t3, t4 y t5, respectivamente), y t0 sin inmersión. Al término del edulcorado los contenidos de humedad, oscilaron entre 6.0 y 19.62 g H_2O g^{-1} sólido seco. Entonces, estos contenidos de humedad fueron considerados como iniciales para el proceso del secado por liofilización.

Por otro lado, los tratamientos afectaron la a_w de las muestras. La menor a_w fue la de las muestras edulcoradas con la mayor concentración de neotame (Cuadro 1), esto debido probablemente a que la solución acuosa del t5, al tener mayor cantidad de solutos disueltos, éstos redujeron el potencial hídrico del agua de la solución, al grado que seguramente se provocó migración de agua desde las cáscaras de xoconostle a la solución acuosa edulcorada, con la consecuente disminución de a_w de las muestras, es decir el agua libre dentro del tejido vegetal posiblemente migró espontáneamente desde el simplasto al apoplasto tisular de la muestra, y de éste a la solución edulcorada, en respuesta a un posible gradiente de potencial hídrico (Pallardy, 2008; Landsberg y Sands, 2011).

Cuadro 1. Valores promedio de actividad de agua (a_w) de cáscara de xoconostle (*O. matudae*) después de edulcorarla con diferentes concentraciones de neotame en solución acuosa y antes del secado por liofilización (-40 °C y 12 Pa).

Concentración de neotame (g L^{-1})	a_w	
0.000	0.997 ± 0.001	a
0.011	0.996 ± 0.002	ab
0.022	0.998 ± 0.001	a
0.033	0.995 ± 0.001	ab
0.044	0.998 ± 0.001	a
0.055	0.994 ± 0.001	b

Media aritmética de tres repeticiones ± desviación estándar. Medias con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

3.2.2 Cinética de secado por liofilización

Contenido de humedad. El contenido de humedad de las cáscaras de xoconostle al inicio de su secado por liofilización fue ligeramente diferente, ya que correspondió al de las muestras al final de su edulcoración y fue de 9.60 para t0, 16.39 para t1, 15.29 para t2, 19.62 para t3, 17.70 para t4 y 6.0 para t5 g H_2O g^{-1} sólido seco.

Al igual que en el secado convectivo, en este proceso también se observó que todas las muestras (de todos los tratamientos) mostraron dos fases de

secado, la primera a velocidad constante y la segunda a velocidad decreciente. La primera fase de secado de los tratamientos 1 al 4 fue aproximadamente 1 h más prolongada que la primera fase del t5 (Figura 16), esto debido probablemente a que las muestras con la mayor concentración de neotame iniciaron el proceso de secado con un menor contenido de humedad respecto a los otros tratamientos; esto debido a que con mayor concentración de neotame seguramente se registró el mayor gradiente de potencial hídrico entre las muestras y la solución edulcorada, lo que explicaría una mayor migración de agua desde el tejido vegetal a la solución en el t5. A partir de 3 h de secado y hasta las 5 h, las muestras de este tratamiento presentaron un contenido de humedad significativamente menor que el de las muestras de los demás tratamientos (Cuadro 2). A las 7 h del secado, que fue el momento en el que las muestras de t3 y t4 llegaron a un a_w confiable, las muestras de todos los tratamientos presentaron un contenido de humedad menor a 1.2 g H_2O g^{-1} sólido seco.

Cuadro 2. Valores promedio de humedad (contenido de agua) de cáscara de xoconostle (*O. matudae*) después de edulcorarla con diferentes concentraciones de neotame en solución acuosa y diferentes tiempos del secado por liofilización (-40 °C y 12 Pa).

Concentración (g neotame L^{-1})	H_{BS} (g H_2O g^{-1} sólido seco)		
	3 h	4 h	5 h
0.000	3.318 ± 1.157 bc	2.079 ± 0.466 bc	1.179 ± 0.517 c
0.011	7.079 ± 1.100 a	4.853 ± 0.712 a	2.943 ± 0.485 ab
0.022	6.845 ± 1.262 a	4.868 ± 1.229 a	3.412 ± 1.054 a
0.033	6.403 ± 2.612 ab	3.604 ± 1.090 bc	1.805 ± 0.275 bc
0.044	6.329 ± 0.040 ab	3.893 ± 0.555 ab	1.985 ± 0.828 abc
0.055	1.783 ± 0.745 c	1.100 ± 0.540 c	0.593 ± 0.331 c

Media aritmética de tres repeticiones ± desviación estándar. Medias con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Actividad acuosa. Al inicio de este proceso de secado por liofilización, debido al efecto del edulcorado previo, las muestras de xoconostle presentaron una a_w inicial de 0.997 para t0, 0.996 para t1, 0.998 para t2, 0.995 para t3, 0.998 para t4 y 0.994 para t5. En general, la a_w se fue reduciendo durante este proceso, sin embargo, esta disminución fue cineticamente diferente. A las 4 h de secado las muestras sin edulcorante y las edulcoradas con la menor concentración de neotame (t0 y t1) mostraron significativamente mayor a_w que las de los demás tratamientos, excepto que las del t5. A partir de las 7 h del proceso, las muestras edulcoradas de los tratamientos 3 y 4 redujeron su a_w a un nivel confiable (por debajo de 0.4) y ésta fue significativamente inferior que la de las muestras del t0 y t1.

A partir de las 8 h, la a_w de las muestras de todos los tratamientos con edulcorante fue menor a 0.4, es decir éstas alcanzaron una condición de estabilidad confiable ya que los alimentos con a_w inferiores a 0.4 son seguros en el almacenamiento, se prolonga su vida de anaquel, sus reacciones de oxidación e hidrolíticas son menores y su actividad enzimática se disminuye, entre otros efectos (Sing y Heldman, 1993; Rahman y Sablani, 2009). Sin embargo, para este momento de secado, las muestras no edulcoradas (las del t0) presentaban un a_w elevada (0.85). De acuerdo con la información anterior, el tiempo óptimo de secado por liofilización para cáscaras de xoconostle previamente edulcoradas con concentraciones de neotame entre 0.033 y 0.044 g L^{-1} fue de 7 h ya que con este tiempo se logró reducir su a_w a un nivel inferior de 0.4.

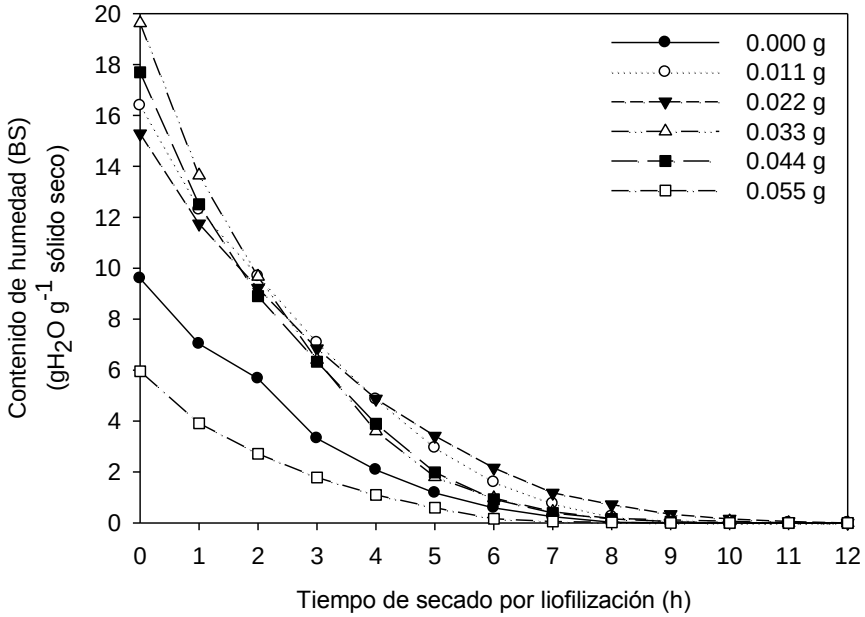


Figura 16. Contenido de humedad (g H_2O g^{-1} sólido seco) en función del tiempo de secado por liofilización (-40 °C y -12 Pa) de cáscara de xoconostle (*O. matudae*) edulcorada previamente con diferentes concentraciones de neotame por inmersión en solución acuosa.

Con los valores de a_w y los de humedad en los diferentes tiempos de liofilización se construyeron las isotermas de desorción de las cáscaras de xoconostle con edulcorante (Figura 17).

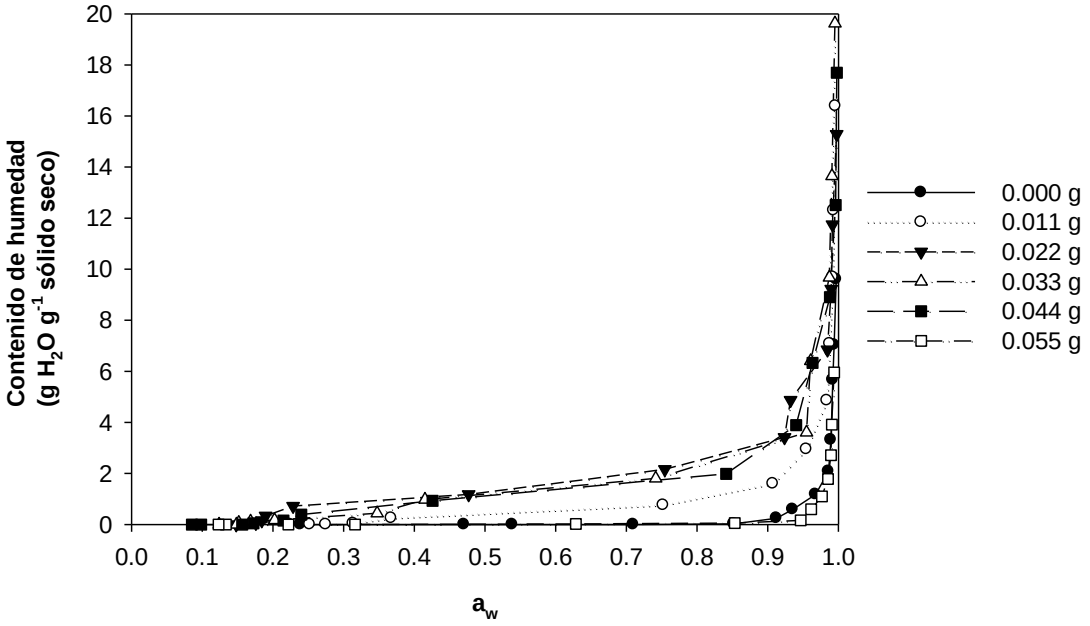


Figura 17. Isoterma de desorción a 25 °C de cáscara de xoconostle (*Opuntia matudae*) edulcorada previamente con diferentes concentraciones de neotame en solución acuosa.

El comportamiento observado en las isotermas de desorción de cáscara de xoconostle edulcorada es parecido a lo reportado en rodajas de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*), en las que el deshidratado por liofilización permitió reducir a_w por debajo de 0.4 (Ayala *et al.*, 2010). Como era de esperar, en las muestras de xoconostle (no tomando en cuenta el tratamiento) se observó la disminución del contenido de humedad junto a la disminución de a_w. En t5 la humedad bajó rápidamente con el tiempo de secado; en contraste, la a_w tardó más tiempo en disminuir.

Las curvas de secado e isotermas de desorción son útiles para el diseño de algunos procesos de transformación de alimentos, como secado, mezclado y

envasado, para el diseño de deshidratadores, predecir los cambios de la estabilidad de los alimentos y la elección del material de empaque adecuado (Zhang *et al.*, 1996). Es decir, establecer relaciones cuantitativas (gráficas) entre el tiempo que debe durar la operación y las condiciones de secado es importante en estos casos. Además, es necesario conocer la humedad, el tamaño, la forma y la estructura del tejido vegetal para determinar el tiempo de secado. Las isotermas de desorción son una herramienta útil en el proceso de deshidratación de las cáscaras de xoconostle, con ellas se pueden ir monitoreando los cambios de humedad y a_w de las muestras, determinar el punto final al que deben ser llevados los tejidos para obtener un producto estable y estandarizado.

En el proceso de liofilización solamente se extrae el agua libre que se encuentra en el tejido; durante el secado se pierde esta por sublimación del hielo dejando espacios vacíos y conservando los componentes sólidos, así como la integridad de las actividades y estructura biológica y química del producto, y ofrece ventajas al conservar las características sensoriales del alimento original (color, olor y sabor naturales) (Irzyniec *et al.*, 1995; Fito *et al.*, 2001). Sin embargo los costos de la operación son altos.

3.3 Fenoles totales en cáscara de xoconostle previamente edulcorada con neotame y enseguida secada por liofilización

Se observó que las cáscaras de xoconostle sin edulcorante presentaron 13.6 % mayor contenido de fenoles totales que el promedio de las edulcoradas. Este contenido tendió a disminuir al aumentar la concentración de neotame

durante el edulcorado (Cuadro 3). Entre cáscaras edulcoradas con cualquier concentración de neotame no hubo diferencias en su contenido de fenoles y éste varió de 1 460 a 1 572 mg 100 g^{-1} MS.

Cuadro 3. Contenido de fenoles totales en cáscara de xoconostle (*Opuntia matudae*) edulcorada con diferentes concentraciones de neotame en solución acuosa y secada por liofilización (-40 °C y 12 Pa).

Tratamiento	Concentración de neotame (g L^{-1})	Fenoles (mg ácido gálico 100 g^{-1} de muestra seca)			
t0	0.000	1747.500	±	43.30	a
t1	0.011	1572.500	±	86.60	bc
t2	0.022	1585.000	±	119.24	b
t3	0.033	1539.170	±	31.46	bc
t4	0.044	1535.000	±	12.50	bc
t5	0.055	1460.000	±	50.00	c
CV (%)		4.283			

CV = coeficiente de variación. Media aritmética de tres repeticiones ± desviación estándar. Medias con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Este resultado pudo deberse a un efecto de “dilución” de la concentración de los fenoles provocado por la adición de neotame que incremento la masa seca de la muestra. Esto explica que en las muestras edulcoradas se halla presentado 11.2 % menor contenido de fenoles totales, sin que esto quiera decir que los

fenoles se hallan transformado o desaparecido a causa de la presencia del edulcorante. Entonces estrictamente hablando los resultados no indican que hubo una disminución del contenido de fenoles, ya que lo que se redujo fue la concentración al aumentar el peso seco de la muestra. Otra posible explicación sería que los tejidos de xoconostle en las soluciones acuosas edulcoradas hayan intercambiado ciertas moléculas por las de neotame en las soluciones; entonces, probablemente algunas moléculas de agua hidrataron las moléculas de neotame, es decir el potencial hídrico de la solución seguramente se redujo al agregar el edulcorante, pero no el 100 % de las moléculas de agua se ocuparon en la hidratación de neotame y precisamente éstas serían las moléculas de agua que pudieron haber disuelto los fenoles presentes en el tejido vegetal. Existe la posibilidad de que ambos fenómenos hayan ocurrido simultáneamente. También este resultado podría deberse a que los compuestos fenólicos pueden estar ligados a los residuos de aminoácidos del péptido de neotame por varios mecanismos en medio acuoso, incluyendo enlaces de hidrógeno, enlaces covalentes, interacciones hidrofóbicas y enlaces iónicos. Los anillos polares de la estructura de los compuestos fenólicos tienen potencial de interaccionar con la proteína a través de asociaciones hidrofóbicas (Rubino *et al.*, 1996; Prigent *et al.*, 2003). Así también, estos metabolitos secundarios pueden estar libres o ligados de forma diferente a los compuestos presentes en los alimentos (Subba Rao y Muralikrishna, 2002; Jeong *et al.*, 2004; Kumar *et al.*, 2006), lo que también permitiría explicar la disminución de la actividad antioxidante conforme aumenta la concentración del edulcorante. Será

necesaria otra investigación para elucidar y obtener evidencia que ayude a explicar este resultado.

Aunque la concentración de fenoles totales en las muestras edulcoradas fue menor que el de las no edulcoradas, ésta en promedio fue aproximadamente un 66.8 % mayor que la encontrada por Guzmán-Maldonado *et al.* (2010) para esta misma especie (922 mg 100 g^{-1} MS, en el mesocarpio).

De acuerdo con Figueroa-Cares *et al.* (2010) estas diferencias entre especies y cultivares podrían deberse a las condiciones de cultivo, ya que el género *Opuntia* al crecer en condiciones limitadas de suelo y agua (condiciones de estrés), podría modificar su composición de metabolitos secundarios, principalmente los del fruto. De igual manera, las variaciones en el contenido de fenoles pueden ser una consecuencia del estado de madurez de los frutos al momento de ser evaluados. Lincoln y Zeiger (2002) reportaron que conforme ocurre el proceso de maduración se incrementan los niveles de pH como consecuencia del desdoblamiento de azúcares y desaparición de ácidos orgánicos incluyendo fenoles. Sin embargo, no existen estudios que hayan cuantificado el contenido de estos fitoquímicos en las fases de maduración del fruto de xoconostle (*O. matudae*).

El contenido de fenoles de este estudio se considero bajo en comparación al reportado para otras especies (Gil *et al.*, 2002; Proteggente *et al.*, 2002; Luximon-Ramma *et al.*, 2003; Cieslik *et al.*, 2006; Thaipong *et al.*, 2006; Beltrán-Orozco *et al.*, 2009; Guevara-Figueroa *et al.*, 2010). Este bajo contenido de fenoles encontrado en las rebanadas de cáscaras de xoconostle podría deberse al estrés causado por la lesión física del rebanado (Pirovani *et al.*, 2009), que

altera la fisiología del vegetal (incrementa la velocidad respiración y la síntesis de etileno) estimulando respuestas que incluirían el incremento o diminución de compuestos fenólicos u otros metabolitos secundarios como la vitamina C (De Ancos *et al.*, 2009). Estas respuestas dependen del tejido vegetal; en algunos productos hay incremento de fenoles totales (por ejemplo en: lechuga, zanahoria, apio y camote) y en otros disminuyen (por ejemplo en: calabacita, rábano y col morada) como consecuencia de restablecer el equilibrio entre la formación de fenoles y su utilización, ya sea para la síntesis de fenoles insolubles (lignina y suberina) (Reyes *et al.*, 2007), o para la formación de polímeros para su condensación necesaria para regenerar los polifenoles que se oxidan pardeamiento enzimático relacionado con un aumento de la enzima fenilalanina amonioliasa “PAL” (Canto *et al.*, 2011; Pirovani *et al.*, 2009) al momento del rebanado.

3.4 Actividad antioxidante en cáscara de xoconostle previamente edulcorada con neotame y enseguida secada por liofilización

Al término del secado por liofilización la actividad antioxidante de las muestras rebanadas sin edulcorar fue significativamente mayor con respecto a la de las edulcoradas; también se observó que en estas últimas la actividad antioxidante tendió a disminuir al aumentar la concentración del edulcorante. La menor actividad antioxidante se presentó en las muestras del t5; consistentemente éstas presentaron la mayor CI_{50} y las muestras que presentaron la menor CI_{50} fueron las no edulcoradas (t0) y las del t2. Hay que tomar en cuenta que un valor menor de CI_{50} indica que la muestra tiene

actividad antioxidante alta y al contrario, un valor mayor de CI_{50} indica actividad antioxidante baja (Cuadro 4).

Cuadro 4. Concentración inhibitoria media (CI_{50}) de DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo) en cáscara de xoconostle (*O. matudae*) edulcorada con diferentes concentraciones de neotame en solución acuosa y secada por liofilización (-40 °C y 12 Pa).

Tratamiento	Concentración de neotame (g L^{-1})	CI_{50} (mg $mL^{-1)}$			
t0	0.000	0.466	±	0.060	c
t1	0.011	0.575	±	0.088	b
t2	0.022	0.526	±	0.038	bc
t3	0.033	0.611	±	0.039	b
t4	0.044	0.615	±	0.115	b
t5	0.055	0.726	±	0.038	a
CV (%)		11.940			

CI_{50} fue determinada como la concentración requerida de muestra seca para inhibir en 50 % al DPPH en 30 min. CV = coeficiente de variación. Media aritmética de tres repeticiones ± desviación estándar. Medias con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Aunque las cáscaras de xoconostle sin edulcorante presentaron 23.7 % mayor actividad antioxidante que cualquiera de las edulcoradas, ésta se consideró baja dado que se requirió mayor cantidad de peso de la muestra de xoconostle (0.45 mg mL^{-1}) que la cantidad de peso requerida del reactivo de referencia que fue la quercetina (0.000243 mg mL^{-1}) para disminuir la $absorbancia_{516}$ al 50 % del DPPH.

La cáscara de xoconostle (*O. matudae*) sin y con neotame presentó capacidad antioxidante baja con respecto a otras especies de consumo frecuente como en mamey (*Pouteria sapota*; 0.0129 mg mL^{-1}) (Torres-Rodríguez *et al.,* 2011), en extracto metanólico de hojas de achiote (*Bixa Orellana* L.; 0.0224 mg mL^{-1}) (Shilpi *et al.,* 2006), en extracto metanólico de *Calia secundiflora* (0.1094 mg mL^{-1}) (Barrón-Yánez *et al.,* 2011), en Erisodina (alcaloide de *Erythrina americana* Miller; 0.0211 mg mL^{-1}) (Ibarra *et al.,* 2011) y en cáscara de camu-camu maduro (*Myrciaria dubia* (H.B.K) *McVaugh*; 0.1142 mg mL^{-1}) (Villanueva-Tiburcio *et al.,* 2010). Es importante destacar que los resultados también dependen de la metodología empleada para medir la actividad antioxidante (De Ancos *et al.*, 2009).

Brat *et al.* (2005) mencionan que la actividad antioxidante de frutos y verduras no solamente se asocia a compuestos fenólicos, sino también con el contenido de otros metabolitos tales como la vitamina C, carotenoides y algunos compuestos de azufre. En este sentido, Guzmán-Maldonado *et al.* (2010) mencionaron que el mesocarpio de xoconostle presenta un contenido alto de vitamina C (208.7 mg de ácido ascórbico 100 g^{-1} MS). Lo anterior podría explicar que las cáscaras de xoconostle que presentaron mayor actividad

antioxidante, del presente trabajo, fueron las que no se sumergieron en la solución acuosa edulcorada, ya que no hubo lixiviación de vitamina C a través de la zona de corte hacia el agua de edulcoración referida por De Ancos *et al.* (2009). Si se acepta que las cáscaras de xoconostle tienen alto contenido de vitamina C, los compuestos fenólicos de las cáscaras de xoconostle probablemente no son los principales responsables de la actividad antioxidante.

3.5 Actividad antioxidante de cáscara de xoconostle fresca y secada por liofilización

Entre la cáscara de xoconostle sin liofilizar y liofilizada no hubo diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en la concentración inhibitoria media (CI_{50}) para reducir a 50 % el DPPH (Cuadro 5).

Debido a que el secado por liofilización ocurre a baja temperatura, es decir que no se requiere un tratamiento térmico con temperatura alta, la actividad antioxidante de cáscara de xoconostle no es afectada por la liofilización, por lo que este proceso únicamente permite la extracción de agua del tejido vegetal y parece no modificar su estructura química o reduce al mínimo el arrastre de sustancias y mantiene las propiedades iniciales del alimento fresco como son: apariencia, forma, sabor y color (Welti-Chanes *et al.*, 2004).

Cuadro 5. Concentración inhibitoria media (CI_{50}) de DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo) en cáscara de xoconostle (*O. matudae*) fresca y secada por liofilización (-40 °C y 12 Pa).

Tratamiento	CI_{50} (mg mL^{-1})
Cáscara fresca	0.407 ± 0.045 a
Cáscara seca por liofilización	0.427 ± 0.061 a
CV (%)	13.03

CI_{50} fue determinada como la concentración requerida de muestra seca para inhibir en 50 % al DPPH en 30 min. CV = coeficiente de variación. Media aritmética de tres repeticiones ± desviación estándar. Medias con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

3.6 Evaluación sensorial de cáscara de xoconostle previamente edulcorada con neotame y enseguida secada por liofilización

Las respuestas de los panelistas (para la muestra) en términos de “si fue dulce” o “no fue dulce”, en la prueba de estímulo constante tuvieron un comportamiento proporcional y consistente de acuerdo a la concentración de neotame, que se ocupó para edulcorarla. Así, conforme se aumentó la concentración de neotame en la muestra, la frecuencia de la respuesta “si fue dulce” se incrementó (Cuadro 6).

Cuadro 6. Frecuencia de respuestas de los jueces después de aplicar la prueba de estímulos constantes para cáscaras de xoconostle previamente edulcoradas con diferentes concentraciones de neotame y enseguida secadas por liofilización.

Concentración (g neotame L^{-1})	No. de personas que respondieron	
	Sí fue dulce	No fue dulce
0.011	6	94
0.022	15	85
0.033	38	62
0.044	42	58
0.055	58	42

Con los porcentajes de respuestas “si fue dulce” se obtuvieron los valores de Z para cada tratamiento (Cuadro 7). Éstos últimos se graficaron contra los valores de la concentración de neotame del tratamiento correspondiente y la ecuación obtenida fue:

$$Z = 39.541\ C - 1.8844 \quad (4)$$

donde:

Z = valor de 0 y -0.6745

C= concentración de neotame (g L^{-1})

Cuadro 7. Valores de Z para la probabilidad de cada concentración de neotame en cáscaras de xoconostle edulcoradas y secadas por liofilización.

Tratamiento	Concentración de neotame (g L^{-1})	Probabilidad o área bajo la curva	Valor de Z
t1	0.011	0.060	-1.555
t2	0.022	0.150	-1.037
t3	0.033	0.380	-0.306
t4	0.044	0.420	-0.202
t5	0.055	0.580	0.202

A partir de la ecuación 4, el valor correspondiente a la concentración ideal de neotame en la cáscara de xoconostle fue de 0.048 g de neotame L^{-1} el cual representa el 50 % (Z = 0) de respuestas “si fue dulce” (PIS) (Gescheilder, 1976) (Figura 18). De igual manera, se obtuvo un valor de 0.031 g de neotame L^{-1} para el 25 % (Z = -0.675) de las respuestas positivas. Con la diferencia de estos valores se obtuvo una dad, cuyo valor fue de 0.017. La proporción de Weber fue 0.354, siendo ésta la relación dad/PIS que indica el incremento proporcional en el estímulo necesario para una diferencia apenas detectable.

Considerando el intervalo que se tiene de la concentración de neotame (de 0.031 a 0.048 g de neotame L^{-1}) en el cual el consumidor no podrá percibir diferencias, sería recomendable edulcorar las cáscaras de xoconostle con 0.032 g de neotame L^{-1} lo cual disminuiría los costos al requerir menos neotame; que

aunque es una concentración baja de neotame ésta es suficiente para asegurar que las cáscaras de xoconostle se perciban con sabor dulce.

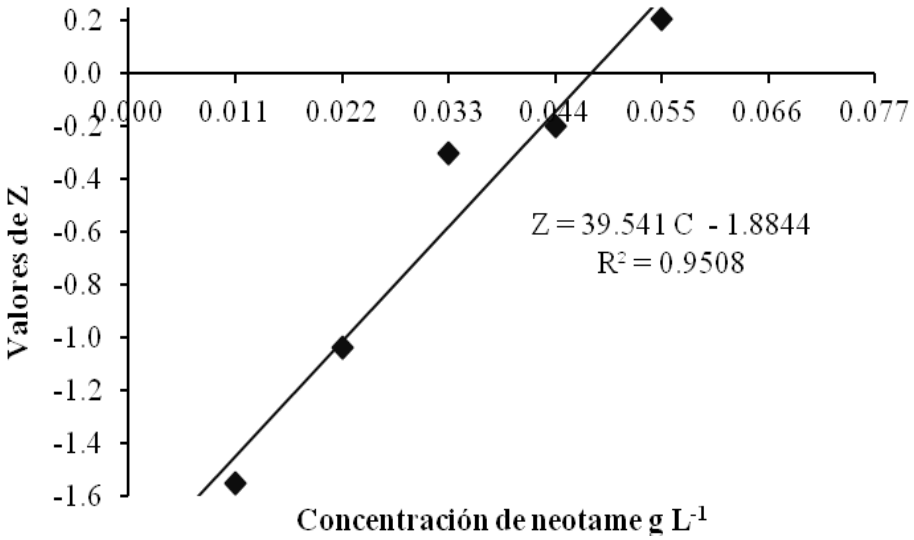


Figura 18. Línea de regresión a partir de valores Z (0 y -0.675) para determinar el punto de igualdad subjetiva (PIS) y la diferencia apenas detectable (dad) de cáscaras de xoconostle edulcoradas con neotame y secadas por liofilización.

La importancia de los resultados de este trabajo es que se ofrece la oportunidad, con una pequeña dosis de este edulcorante no calórico, de potencializar el consumo per cápita de esta fruta cactácea en México en beneficio tanto de productores como de consumidores. También se contribuyó a identificar, que al menos la especie *O. matudae* (una de las diez especies mexicanas productoras de xoconostle) puede ser útil como materia prima para obtener alimentos (dulces) nutracéuticos, cuyo consumo podría coadyuvar en el tratamiento de algunas enfermedades crónicas como la diabetes mellitus tipo II. Otra contribución de este estudio es el aporte de mayor conocimiento en la

investigación fitoquímica de una de las más de 300 especies vegetales que son usadas en medicina tradicional en México (Juárez, 2006; Alarcón-Aguilar *et al.*, 2008; Scheinvar *et al.*, 2009; García y Nieto, 2011).

4.**CONCLUSIONES**

Para la edulcoración adecuada de la cáscara de xoconostle debe mantenerse el tejido en solución acuosa de neotame con 0.032 g L^{-1}, durante 1 h; y el producto final con las características sensoriales mejores se obtiene con deshidratación por liofilización. Sin embargo, la edulcoración por inmersión en la solución edulcorante disminuye el potencial nutracéutico del producto.

5. LITERATURA CITADA

Alarcón-Aguilar F.J., E. Hernández-Galicia y R. Román-Ramos. 2008. Diabetes mellitus y plantas medicinales en México. En: Anuario de investigación en etnomedicina, medicinas complementarias y utilización de plantas medicinales. Rivas V. J.F. (ed). Universidad Autónoma Metropolitana – Iztapalapa (Ed). México. pp: 27-39.

Amarowicz, R., R.B. Pegg, P. Rahimi-Moghaddam, B. Barl y J.A. Weil. 2004. Free-radical scavenging capacity and antioxidant activity of selected plant species from the Canadian prairies. Food Chemestry 84 (4): 551–562.

Ayala, A. A., L. Serna C. y E.S. Mosquerav V. 2010. Liofilización de pitahaya amarilla (Selenicereus megalanthus). Revista de la Facultad de Química Farmacéutica 17 (2): 121-127.

Barrón-Yánez. R.M., M.R. García-Mateos, M. R. Soto-Hernández, T. Colinas-León y G. Kite. 2011. Flavonoides y actividad antioxidante de Calia secundifl ora (Ort.) Yakovlev. Revista Fitotecnia Mexicana 34(3): 151-157.

Bello G. J. 2000. Ciencia bromatológica. Principios generales de los alimentos. Díaz de Santos, S. A. (Ed.). España. 573 p.

Beltrán-Orozco, M., T. G. Oliva-Coba, T. Gallardo-Velázquez, G. Osorio-Revilla. 2009. Ácido ascórbico, contenido fenólico, y capacidad antioxidante de las variedades roja, cereza, amarilla y blanca del fruto del cactus de la pitaya (Stenocereus stellatus riccobono). Agrociencia 43: 153-162.

Bors W., W. Hellerw, C. Michelc y S. Manfreds.1999. Flavonoids as antioxidants: determination of radical-scavenging efficiencies. Methods in Enzymology 186:343-355.

Brat P., Georgé S., Bellany A.L., Du Chaufaut L., Mennen A., Scalbert A. y Amiot-Carlin M.J. 2005. Determinatio of the polyphenol content of fruit and vegetables. Establishment of a database and estimation of the polyphenol intake. En: Proceedings of the first international symposium on human health effects of fruits and vegetables. Desjardins Y. (ed). FAVHEALTH 2005. 17 a 20 de agosto, Québec, Canadá. Acta Horticulrae 744: 61-69.

Cantos E., J. C. Espín, y F.A. Tomás-Barberán. 2011. Effect of wounding on phenolic enzymes in six minimally processed lettuce cultivars upon storage. Journal of Agricultural and Food Chemistry 49 (1): 322–330.

Carranza-Concha, J., M. Benlloch, M.M. Camacho y N. Martínez-Navarrete. 2012. Effects of drying and pretreatment on the nutritional and functional quality of raisins. Food and Bioproducts Processing 90 (2): 243-248.

Chen G. H. y W. Wang. 2007. Role of freeze drying in nanotechnology. Drying Technology 25 (1): 29-35.

Cieslik, E., A. Greda y W. Adamus. 2006. Contents of polyphenols in fruit and vegetables. Food Chemistry 94 (1): 135–142.

Comaposada, J., P. Gou and J. Arnau. 2000. The effect of sodium chloride content and temperature on pork meat isotherms. Meat Science 55 (3): 291-295.

Cotelle N.; J.L. Bernier, J.P. Catteau, J. Pommery, J.C. Wallet y E. Gaydoue. M. 1996. Antioxidant properties of hidroxy-flavones. Free Radical Biology y Medicine 20 (1): 35-43.

De Ancos B., C. Sánchez-Moreno y M.P. Cano. 2009. Aspectos nutricionales y saludables de vegetales frescos cortados. En: Aspectos nutricionales y sensoriales de vegetales frescos cortados. González, A. G., E. Álvarez P., L. De la Rosa, I.G. Olivas y J.F. Ayala Z (eds.). México, 2009. Trillas (Ed.). pp: 120-154.

Figueroa-Cares, I., M. T. Martínez-Damián, E. Rodríguez-Pérez, M. T. Colinas-León, S. Valle-Guadarrama, S. Ramírez-Ramírez, C. Gallegos-Vázquez. 2010. Contenido de pigmentos, otros compuestos y capacidad antioxidante en 12 cultivares de tuna (Opuntia spp.) de México. Agrociencia 44: 763-771.

Fito M. P., A. M. Andrés G., J.M. Barat B. y A.M. Albors S. 2001. Introducción al secado de alimentos por aire caliente. UPV (Ed). España. 211 p.

Frei, B.1994. Natural Antioxidants in Human Health and Disease. Academic Press.UK. 588 p.

García M. R. y R. Nieto A. 2011. Valor nutracéutico del tejocote (Crataegus spp.) en México. Universidad Autónoma Chapingo (Ed). México 63 p.

Geankoplis, C. J. 1998. Proceso de transporte y operaciones unitarias. 3ra. Edición. Ed. Continental, S.A. de C.V. México.

Genin N. y F. Rene. 1996. Influence of freezing rate and the ripeness state of fresh courgette on the quality of freeze-dried products and freeze-drying time. Journal of Food Engineering 29 (2): 201-209.

Geschelder A. 1976. Psycophysics method and theory. The Hamilton College. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale. New Jersey. pp: 21-38.

Gil, M.I., F.A. Tomas-Barberán, B. Hess-Pierce, A.A. Kader. 2002. Antioxidant capacities, phenolic compounds, carotenoids, and vitamin C contents of nectarine, peach, and plum cultivars from California. Journal of Agricultural and Food Chemistry 50 (17): 4976–4982.

Guevara-Figueroa, T., H. Jiménez-Islas, M.L. Reyes-Escogido, A.G. Mortensen, B.B. Laursen, L.W. Lin, A. De Leon-Rodríguez, I.S. Fomsgaard y A.P. Barba de la Rosa. 2010. Proximate composition, phenolic acids, and flavonoids characterization of commercial and wild nopal (Opuntia spp.). Journal of Food Composition and Analysis 23 (6): 525–532.

Guzmán, M. S. H., J. Candelario M., Ma. G. Herrera H., F. Guevara L. y R. Reynoso C. 2009. El xoconostle: un fruto con alto valor nutrimental y nutracéutico. Folleto técnico Núm. 6. Ed. INIFAP, Centro de Investigación Regional Centro Campo Experimental Bajío. Celaya, Gto., México. 18 p.

Guzmán-Maldonado, S.H., A.L. Morales-Montelongo, C. Mondragón-Jacobo, G. Herrera-Hernández, F. Guevara-Lara y R. Reynoso-Camacho. 2010. Physicochemical, nutritional, and fucyional characterization of fruits xoconostle (Opuntia matudae) pears from central-México region. Food Chemistry 121 (2): 381-386.

Heldman D. R. y R. P. Singh. 1981. Food Process Engineering. AVI Publishing Co., Connecticut

Hernández R. J. y P. Quinto D. 2005. Secado de medios porosos: una revisión a las teorías actualmente en uso. Científica IPN 9 (002): 63-71.

Hernández, M. A. 2007. Evaluación sensorial de productos agroalimentarios. Universidad Autónoma Chapingo. México. 190 p.

Huang L. L., M. Zhang, A.S. Mujumdar, D.F. Sun, G. Tan, S. Tang. 2009. Studies on decreasing energy consumption for a freeze-drying process of apple slices. Drying Technology 27 (9): 938-946.

Ibarra, E. E., M. Pacheco S., M.; R. García M., R. San Miguel C., G. Ramírez V. y R.M. Soto H. 2011. Actividad antioxidante de alcaloides de Erythrina americana Miller. Revista Fitotecnia Mexicana 34 (4): 241-246.

Irzyniec, Z., J. Klimczak and S. Michałowski. 1995. Freeze-drying of the black currant juice. Drying Technology 13: 417–424.

Jeong, S.M., S.Y. Kim, D.R. Kim, S.C. Jo, K.C. Nam, D.U. Ahn and S.C. Lee. 2004. Effect of heat treatment on the antioxidant activity of extracts from citrus peels. J. of Agric. Food Chem. 52 (11): 3389-3393.

Juárez, F. B. 2006. Diabetes mellitus y medicina tradicional. En: El Siglo de la Biologia. Anguiano, E. (ed.). Gaceta del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica. México. [En línea]. 2012 [fecha de consulta: 01 de Mayo de 2012]. http://www.ipicyt.edu.mx/storage-sipicyt.

Kumar, G.S. H. Nayaka, S.M. Dharnesh and P.V. Salimath. 2006. Free and bound phenolic antioxidants in amla (Emblica officinalis) and turmeric (Curcuma longa). Journal of Food Composition and Análisis. 19 (5): 446-452.

Lahsasni, S., Kouhila, M., Mahrouz, M. y Jaouhari, J. T. 2004. Drying kinetics of prickly pear fruit (Opuntia ficus indica). Journal of Food Engineering 61(2): 173-179.

Landsberg, J. and P. Sands. 2011. Chapter 7 - Hydrology and Plant Water Relations Terrestrial Ecology, Volume 4, 2011, Pages 185-219.

Lincoln, T. y E. Zeiger. 2002. Ethylene: The gaseous hormone. In: Plant physiology. 3° (Ed.). Sinaver Associates. Massachusetts, USA. pp. 519-538.

Liu, L., S. Yi Sun, L. Tanguy, L. Xingfei, Y. Hong y Z. Xiaoxiong. 2009. Determination of polyphenolic content and antioxidant activity of kudingcha made from Ilex kudingcha C.J. Tseng. Food Chemistry 112(1): 35-41.

Luximon-Ramma, A., T. Bahorun y A. Crozier. 2003. Antioxidant actions and phenolic and vitamin C contents of common Mauritian exotic fruits. Journal of the Science of Food and Agriculture 83 (5): 496–502.

McBride L. y Booth A. 1986. Using classical psychophysics to determine ideal flavor intensity. Journal Food Technology 21: 775-780.

Meng X.C., C. Stanton, G.F. Fitzgerald, C. Daly y R.P. Ross. 2008. Anhydrobiotics: The challenges of drying probiotic cultures. Food Chemistry 106: 1406-1416.

NutraSweet. 2007. Neotame poder. Boletín no. AO-TB-03-002. [En línea]. 2012 [fecha de consulta: 10 de enero de 2012]. Disponible en: http://www.netame.com

Pallardy, S. G. 2008. Chapter 11 – Absorption of water and Ascent of Sap. Physiology of Woody Plants (Third Edition) Pages 287–323.

Pardo B. M. 2002. Modelling Studies on Freeze-drying of Coffee Extracts. Tesis de doctorado. The University of Reading.

Pirovani M.E., A.M. Piagentini, D.R. Güemes, S. del C. Rodríguez, A.G. Qüesta y R.M. Casóliba. 2009. Calidad sensorial y nutricional de vegetales de hoja frescos cortados. En: Aspectos nutricionales y sensoriales de vegetales frescos cortados. González, A. G., E. Álvarez P., L. De la Rosa, I.G. Olivas y J.F. Ayala Z (eds.). México, 2009. Trillas (Ed.). pp: 64-96.

Prigent, S.V. H. Gruppen, A.J.W.G. Visser, G. Koningsveld, G.A.H. Jong and A.G.J. Voragen. 2003. Effects of non-covalent interactions with 5-Ocaffeoylquinic acid (Chlorogenic acid) on the heat denaturation and solubility of globular proteins. J. of Agric. Food Chem. 51: 5088-5095.

Proteggente, A.R., A.S. Pannala, G. Paganga, L. Van Buren, E. Wagner, S. Wiseman, F. Van de Put, C. Dacombe, and C.A. Rice-Evans. 2002. The antioxidant activity of regularly consumed fruit and vegetables reflects their phenolic and vitamin C composition. Free Radical Research 36 (2): 217-233.

Rahman, M.S. and S.S. Sablani. 2009. Water Activity Measurement Methods of Foods. In: Rahman M.S. (Ed.), Food Properties Handbook. CRC Press, London, pp: 9-30.

Restrepo G. M. 2004. Sinergia entre edulcorantes no calóricos y el ácido fumárico. Revista Lasallista de Investigación 1 (2): 46-53.

Reyes L.F., J.E. Villarreal y L. Cisneros-Zevallos. 2007. The increase in antioxidant capacity after wounding depends on the type of fruit or vegetable tissue. Food Chemistry 101 (3): 1254-1262.

Robards K., P. D. Prenzlerd, G. Tuckerg, P. Swatsitangp W. Gloverw.1999. Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits. Food Chemistry 66 (4): 401-436.

Roberti P. D. 2011. Cinética del secado convectivo del camarón dulceacuícola (Macrobrachium jelskii) a dos temperaturas y dos velocidades de aire. Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos 2 (1): 158-172.

Rubino, M.I., S.D. Arntfield, C.A. Nadon and A. Bernatsky. 1996. Phenolic protein interactions in relation to the gelation properties of canola protein. Food Research International. 29 (7): 653-659.

SAS, Institute. 2000. SAS/STAT. User´s Guide. Release 9.1.3 ed. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina. USA.

Scheinvar, L., S. Filardo K., G. Olalde P. y P. Zavaleta B. 2009. Diez especies mexicanas productoras de xoconostle Opuntia spp. y Cylindropuntia imbricata (Cactaceae). Universidad Nacional Autónoma de México, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco (Ed). México. 179 p.

Shilpi J.A., Taufiq-Ur-Rahman, S.J. Uddin, S. Alam, S.K. Sadhu y V. Seidel. 2006. Preliminary pharmacological screening of Bixa orellana L. leaves. Journal of Ethnopharmacology, 108 (2): 264-271.

Sies, H. 1985. Oxidative stress: introductory remarks. In: Sies H. (ed.).Oxidative Stress. Academic Press Inc. London. pp: 1-7.

Singh, R.P. and D.R. Heldman. 1993. Introduction to Food Engineering. San Diego, California, USA: Academic Press, pp: 139–141.

Subba Rao, M.V.S.S.T. and G. Muralikrishna. 2002. Evaluation of the Antioxidant Properties of Free and Bound Phenolic Acids from Native and Malted Finger Millet (Ragi, Eleusine coracana Indaf-15). J. of Agric. Food Chem. 50 (4): 889–892.

Thaipong K., U. Boonprakob, K. Crosby, L. Cisneros-Zevallos y D. Hawkins B. 2006. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. Journal of Food Composition and Analysis 19 (6-7): 669–675.

Torres, T. N. y A.R. Tovar-Palacios. 2009. La historia del uso de la soya en México, su valor nutricional y su efecto en la salud. Salud Pública de México 51 (3): 246-254.

Torres-Rodríguez, A., Y. Salinas-Moreno, S. Valle-Guadarrama y I. Alia-Tejacal. 2011. Soluble phenols and antioxidant activity in mamey sapote (Pouteria sapota) fruits in postharvest. Food Research International 44 (7): 1956-1961.

Villanueva-Tiburcio, J.E., L.A. Condezo-Hoyos y E. Ramirez A. 2010. Antocianinas, ácido ascórbico, polifenoles totales y actividad antioxidante, en la cáscara de camu-camu (Myrciaria dubia (H.B.K) McVaugh). Ciência e Tecnologia de Alimentos 30 (Supl.1): 151-160.

Waterman, P. G. y S. Mole. 1994. Methods in Ecology: Analysis of Phenolic Plant Metabolites. Blackwell Scientific Publications (Ed.). USA. 327 p.

Welti-Chanes J., F. Vergara-Balderas y D. Bermúdez-Aguirre. 2004. Transport phenomena in food engineering: basic concepts and advances. Journal of Food Engineering 67 (1–2): 113-128.

Wolff E. y H. Gibert. 1998. Développements technologiques nouveaux en lyophilisation. Journal of Food Engineering 8: 91-108.

Zhang, X., Liu Xie, Gu De-Xiang, Z. Wei, W. Ren-Li and L. Pen. 1996. Desorption Isotherms of Some Vegetables. Journal Science Food Agriculture 70 (3): 303-306.

ANEXOS

Cuadro A-1. % de DPPH inhibido por las muestras de cáscara de xoconostle sin edulcorar y liofilizada.

Concentración de la muestra (mg mL^{-1})	Tratamiento: Sin neotame				
	% DPPH Inhibido				
	R1	R2	R3	R4	R5
1	67.89	81.00	84.25	72.87	67.38
0.8	59.86	71.95	67.78	65.65	63.21
0.6	56.91	60.47	59.35	55.89	52.44
0.5	49.80	59.86	53.96	52.95	47.05
0.1	32.72	34.15	33.64	33.54	32.83
0.05	30.39	31.00	31.50	31.00	32.52
0.01	28.76	27.85	28.66	29.78	29.07
0.001	27.64	27.44	28.46	28.35	28.35

DPPH: 2,2-difenil-1-picrilhidracilo

Cuadro A-2. Concentraciones de quercetina, absorbancia a 516 nm y porcentaje de DPPH remanente.

Concentración de quercetina (mg mL^{-1})	**Absorbancia (nm)**	**% DPPH**
0.1	0.023	97.663
0.01	0.133	86.484
0.001	0.402	59.146

DPPH: 2,2-difenil-1-picrilhidracilo

Cuadro A-3. Concentraciones de DPPH y absorbancia a 516 nm.

Concentración de DPPH (mM)	Absorbancia (nm)
0.1	0.984
0.08	0.776
0.06	0.572
0.04	0.384
0.02	0.199
0.01	0.098

DPPH: 2,2-difenil-1-picrilhidracilo

Anexo 4. Formato de la evaluación sensorial

Nombre: _____ Edad:____ Fecha: _____

Favor de anotar el código de cada muestra en el espacio correspondiente.

Pruebe la muestra de izquierda a derecha.

Después de ingerir la muestra, ponga atención en el sabor que esta le deja e indique "**si es dulce"** ó **"no es dulce"**. Marque su respuesta con una X dentro del cuadro.

Muestra:___	Muestra:___	Muestra:___	Muestra:___	Muestra:___
SI **NO**	**SI** **NO**	**SI** **NO**	**SI** **NO**	**SI** **NO**

¡Gracias por su colaboración!

CAPÍTULO 2. EFECTO DEL FRUTO DE XOCONOSTLE (*Opuntia matudae*) EN LA CONCENTRACIÓN DE GLUCOSA, INSULINA Y TRIGLICÉRIDOS SÉRICOS

CHAPTER 2. EFFECT OF XOCONOSTLE (*Opuntia matudae*) ON THE CONCENTRATION OF GLUCOSE, INSULIN AND TRIGLYCERIDES IN SERUM

Nicte Verenice Álvarez-Castro[1], Joel Corrales-García[2]

RESUMEN

El xoconostle cuaresmeño (*O. matudae*) en la medicina tradicional ha sido utilizado para el tratamiento de ciertas enfermedades como la diabetes mellitus tipo 2. El objetivo del presente estudio clínico fue evaluar en sujetos sanos el efecto en los niveles de glucosa, insulina y triglicéridos séricos el consumo de la cáscara del fruto de xoconostle, edulcorada con neotame y secada por liofilización. Los sujetos recibieron un desayuno con alto contenido de hidratos de carbono o cáscara de xoconostle. La concentración de glucosa se cuantificó por el método glucosa-oxidasa. La insulina sérica se determinó con radioinmunoensayo. Los complejos inmunes fueron cuantificados con el contador Cobra II. Los triglicéridos fueron cuantificados con el método colorimétrico enzimático mediante glicerol-3-fosfato-oxidasa. La administración de una dosis única de la cáscara de xoconostle, no tuvo efecto antihiperglucemiante, no aumentó la concentración de insulina sérica y no disminuyó los niveles de triglicéridos.

Palabras clave: *Opuntia matudae*, neotame, diabetes mellitus tipo 2, antihiperglucemiante, insulina, triglicéridos.

ABSTRACT

In traditional medicine xoconostle cuaresmeño (*O. matudae*) has been used for the treatment of certain diseases such as diabetes mellitus type 2. The aim of this clinical study was the evaluation of the effect, in glucose, insulin blood levels and triglycerides in serum in healthy individuals after the consumption of the fruit skin of xoconostle sweetened with neotame and dried by freeze drying. The individuals had breakfast with rich carbohydrate content or xoconostle skin. The concentration of glucose was quantified by the glucose-oxidase method. The insulin in serum was determined by a radioimmunoassay. The immune complexes were quantified with the counter Cobra II. The triglycerides were quantified with an enzymatic colorimetric method by glycerol-3-phosphate-oxidase. The administration of a single dose of the xoconostle skin did not have anti-hyperglycemic effect, the concentration of insulin in serum did not increase and the triglyceride levels did not decrease.

Key words: *Opuntia matudae*, neotame, diabetes mellitus type 2, anti-hyperglycemic, insulin, triglycerides.

[1] Tesista
[2] Director de tesis

1. INTRODUCCIÓN

La diabetes mellitus (DM) es un trastorno metabólico que resulta de un defecto en la secreción de insulina, acción de la insulina, o ambas causas, y se expresa como hiperglucemia, con trastornos del metabolismo de carbohidratos, grasas y proteínas (Takeshi *et al.*, 2002). La diabetes mellitus tipo 2 (DM2) es la más común en adultos; aunque, ahora se manifiesta también en los niños con problemas de obesidad. En los enfermos con DM2 las células ß pancreáticas no producen suficiente insulina o las células no la reconocen (Boden y Laakso, 2004). De acuerdo con la Asociación Americana de Diabetes (2012), algunas de las complicaciones de la DM2 incluyen: enfermedad cardíaca (enfermedad cardiovascular), ceguera (retinopatía), lesiones nerviosas (neuropatía, incluyendo lesiones del pie) y daño renal (nefropatía).

La Organización Mundial de la Salud (2012) estima que alrededor de 346 millones de personas en el mundo viven con diabetes. Para el año 2030 se ha estimado que el número de personas que presenten diabetes será cercano a 33 millones (Wild *et al*., 2004). Para 1995 entre las 20 principales causas de mortalidad en América Latina, la DM2 ocupaba el décimo lugar (2.96 %) y el segundo lugar (8.71 %) en el 2010. En México, la DM2 ha ocupado el primer lugar dentro de las 20 principales causas de mortalidad desde 1999 (9.49 %) hasta el 2009 (13.86 %) (OPS, 2012).

La manifestación de esta enfermedad, en la actualidad, es cada vez más a edades tempranas debido a la adopción de estilos de vida poco saludables, lo que favorece complicaciones de la enfermedad en personas jóvenes y laboralmente activas. Lo anterior afecta a las poblaciones de todos los niveles económicos. El tratamiento farmacológico, con hipoglucemiantes sintéticos e insulina, es el más común para el control de la DM2; sin embargo, su costo es elevado y reduce la posibilidad de que la mayoría de la población los adquiera e incrementa enormemente el gasto de los servicios médicos públicos. Además, el impacto en la calidad de vida de los individuos afectados y la disminución de la fuerza de trabajo de sectores amplios de la sociedad por efecto de la DM2 son considerables. Por estas razones está justificada la búsqueda de tratamientos económicos para esta enfermedad; en ellos está el uso de plantas medicinales, que puedan usarse en forma complementaria a los tratamientos farmacológicos o que representen una alternativa.

Según información etnobotánica en el Herbario medicinal del IMSS hay registradas más de 300 especies vegetales, de unas 70 familias, que son usadas en medicina tradicional para el tratamiento de diabetes (Juárez, 2006). Entre estas especies están algunas de Opuntia, como *O. streptacantha, O. ficus-indica, O. megacantha y O. joconostle*. Estas especies son algunas de las más estudiadas y usadas ampliamente en el control de la DM2, tanto experimental como clínicamente.

Scheinvar *et al*. (2009) identificaron diez especies mexicanas productoras de xoconostles: *Cylindropuntia imbricata* (Haw.), *O. heliabravoana, O. elizondoana,*

O. joconostle, O. matudae, O. spinulifera, O. leucotricha, O. zamudioi, O. durangensis y O. oligacantha.

Pimienta-Barrios *et al.* (2008) concluyeron que el consumo habitual de la cáscara del fruto de xoconostle (*O. joconostle*) puede coadyuvar al control de la glucosa sérica en individuos con DM2 y en personas sanas prevenir estados de hiperglucemia y alteración en la concentración de colesterol y triglicéridos.

De acuerdo con Guzmán *et al.* (2009) en la medicina tradicional históricamente el xoconostle cuaresmeño (*O. matudae*) ha sido utilizado para el tratamiento de ciertas enfermedades; sin embargo, se requieren estudios para evaluar y avalar sus propiedades medicinales, beneficios o riesgos que pudieran existir debido a su consumo, ya que en general, la literatura científica sobre este tema es escasa y heterogénea. En este sentido, es relevante comprobar si el fruto de xoconostle cuaresmeño tiene aportes médicos para la prevención y tratamiento de la DM2. De ser así, su consumo conjuntamente con otras estrategias (alimentación equilibrada, ejercicio, fármacos y educación) podría contribuir a reducir la incidencia de este padecimiento. A pesar de los beneficios que puede tener el xoconostle y aunque la población los reconoce es poco consumido como fruta debido a que su sabor no es dulce. Este fruto es conocido como tuna ácida (pH 2.71 a 3.42), su sabor se puede enmascarar con un edulcorante no calórico. El neotame es un edulcorante alimentario que no contiene calorías, evita problemas como caries dental y otros riesgos de salud, como la obesidad y la DM2.

El objetivo del presente estudio clínico fue evaluar en sujetos sanos el efecto del consumo de la cáscara del fruto de xoconostle (edulcorada con neotame y secada por liofilización) en los niveles de glucosa, insulina y triglicéridos séricos.

La hipótesis fue que el consumo, en dosis única, de la cáscara del fruto de xoconostle (*O. matudae*) edulcorada y secada por liofilización tiene efecto antihiperglucemiante, aumenta el nivel de insulina y reduce el nivel de triglicéridos séricos en sujetos sanos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Material vegetal

Se utilizaron 60 frutos de xoconostle cv. Cuaresmeño (*O. matudae*) los cuales se cosecharon en un huerto familiar de la comunidad de Cuautlacingo, Municipio de Otumba, Estado de México, en estado de madurez comercial (según el productor: determinado por el color del fruto), tamaño uniforme, libres de plagas y enfermedades.

2.2 Acondicionamiento, edulcorado y secado por liofilización de las cáscaras de xoconostle

Los frutos fueron desinfectados por inmersión en solución acuosa de hipoclorito de sodio 0.01%, escurridos (el exceso de la solución se eliminó rápidamente con papel absorbente) y descascarados manualmente (retirando la cutícula mediante un pelador de acero inoxidable). Luego, los frutos fueron despulpados (eliminado pulpa y semillas) y las cáscaras se rebanaron con un grosor uniforme de 0.3 ± 0.1 cm. Las rebanadas fueron edulcoradas por inmersión durante 1 h, en solución acuosa de neotame con concentración de 0.011 g L^{-1}. La proporción de cáscara: solución fue 1:1.5 (g: mL). Las cáscaras se escurrieron durante 10 min, se acomodaron en bolsas de yute (20 X 10 cm) y se congelaron por 12 horas a -20 °C, en un congelador horizontal modelo

FFC0923DW (Frigidaire, USA). Las bolsas con las muestras se colocaron y distribuyeron uniformemente dentro de un frasco. Los frascos se colocaron en un liofilizador modelo 7670520 (LABCONCO, Kansas, USA) a -40 °C y 12 Pa, durante 12 h. El tejido vegetal así preparado se usó en las evaluaciones.

2.3 Sujetos

Sujetos sanos de entre 20 a 32 años de edad, con índice de masa corporal (IMC) entre 19 y 28 kg m^{-2} fueron convocados para participar en esta investigación a través de anuncios locales en el campo universitario de la Universidad Autónoma Chapingo y el Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán (INCMNSZ) (Cuadro 1). Los sujetos fueron excluidos si padecían diabetes mellitus o alguna enfermedad crónica, si se encontraban ingiriendo medicamentos o si estaban en dieta o algún régimen especial de alimentación.

Cuadro 1. Características e indicadores bioquímicos promedio (± ee) de sujetos sanos en los que se determinó glucosa, insulina y triglicéridos séricos.

Característica	Valor
Edad (años)	24.60 ± 0.98
Peso (kg)	65.35 ± 4.43
Talla (m)	1.66 ± 0.03
IMC (kg m^{-2})	23.41 ± 0.86

Media aritmética de 10 repeticiones ± error estándar (ee).

Así, se mantuvo a un grupo de 10 sujetos sanos (cuatro mujeres y seis hombres). Al grupo se le dio una plática, para que conocieran en qué consistiría el procedimiento. Los voluntarios leyeron y firmaron una carta de consentimiento con la información del protocolo (Anexo 1).

Los voluntarios mantuvieron la misma actividad física, así como sus hábitos de alimentación durante los tres días precedentes al estudio. Se realizaron dos pruebas, el tratamiento testigo (prueba 1) y prueba activa (prueba 2), con intervalo entre ellas de ocho días. En ellas cada sujeto recibió uno de dos alimentos prueba, seleccionados aleatoriamente: desayuno alto en hidratos de carbono (DHC, tratamiento testigo) o cáscara de xoconostle edulcorada y secada por liofilización más el DHC (prueba activa).

El desayuno alto en hidratos de carbono proporcionó aproximadamente 300 Kcal, consistió de 240 mL de juego de manzana, 2 rebanadas de pan de caja y 21 g de mermelada y el aporte nutrimental fue de: 88.96 % de hidratos de carbono, 5.88 % de proteína y 5.11 % de lípidos. El desayuno se preparó previo al inicio de la prueba. La porción del alimento para la prueba activa consistió de 23 g de cáscara de xoconostle edulcorada y secada por liofilización. La proporción de fibra alimentaria total proporcionada a los participantes con los 23 g de cáscara de xoconostle representó poco más de 8 g (Álvarez y Peña-Valdivia, 2009).

Las pruebas comenzaron a las 8 a.m., antes de cada sesión los sujetos fueron pesados y entrevistados. Los voluntarios se mantuvieron en ayuno de 12 h, antes de la prueba y se les permitió consumir agua durante el ayuno y no se les permitió el consumo de alimentos y bebidas con cafeína o alcohol.

2.4 Protocolo experimental

El estudio clínico se realizó en el Departamento de Fisiología de la Nutrición del Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán.

A cada sujeto se le colocó un catéter intravenoso y se obtuvieron 8 mL y 0.5 mL de sangre de forma venosa y capilar, respectivamente; en la primera se cuantificó insulina y triglicéridos y glucosa en la segunda. Las muestras de sangre capilar se obtuvieron por punción, en un capilar heparinizado, y en ellas se cuantificó la concentración de glucosa aplicándose el método automatizado glucosa-oxidasa empleando el analizador de bioquímica modelo 2700 (YSI, Yellow Springs, Ohio, USA). En estas muestras la glucosa es menos variable que en la sangre venosa o en el plasma; además, las diferencias debidas a los alimentos son mayores y, por ser más sensible, son fácilmente estadísticamente detectables (Wolever *et al.,* 1991; FAO, 1997; Hätönen *et al*., 2006).

Para cuantificar la insulina y triglicéridos las muestras se recolectaron en tubos con gel separador, fueron centrifugadas a 3000 rpm y a 4 °C por 10 min; el suero fue almacenado a - 70 °C hasta su análisis. La insulina sérica se determinó con radioinmunoensayo empleando el Human RIA kit (Linco Research Inc., ST Charles, MO). Los complejos inmunes fueron cuantificados con el contador Cobra II (Packard Instruments, Meriden, CT).

Los triglicéridos fueron cuantificados con el método colorimétrico enzimático mediante glicerol-3-fosfato-oxidasa (DiaSys Diagnostic System GmbH, Holzheim, Alemania).

En el tratamiento testigo, después de obtener las muestras de sangre en ayuno (0 min), se le proporcionó el DHC a los sujetos y se tomaron muestras de sangre a los 15, 30, 45, 60, 90 y 120 min después de la ingestión de los alimentos prueba.

En la prueba activa, después de extraer la muestra de sangre basal, cada sujeto consumió 23 g de cáscara de xoconostle. Después de 15 min se les tomó la muestra de sangre, correspondiente al tiempo 0 (min) e inmediatamente se dio el DHC. La DHC tenía que ser consumida en un período máximo de 15 min (Jenkis *et al.*, 1981). Al término del consumo de ambas raciones, los participantes bebieron 20 mL de agua potable. Las muestras de sangre de los sujetos se tomaron consecutivamente, como en el tratamiento testigo.

2.5 Análisis estadístico

Se aplicó un análisis de medidas repetidas con modelo mixto y diseño completamente al azar. El análisis de varianza PROC MIXED (modelo mixto de análisis para medidas repetidas) se utilizó para probar el efecto de los tratamientos y el tiempo sobre la concentración media de glucosa en sangre, insulina y triglicéridos séricos (Correa, 2004; Gómez *et al.*, 2012). Cuando se detectaron diferencias significativas entre los factores, se utilizó la prueba de Diferencia Mínima Significativa, con una $p \leq 0.05$ (también conocida como prueba de t) para efectuar las comparaciones de medias. Los valores reportados son el promedio ± error estándar (ee). Los análisis estadísticos se realizaron con el programa SAS (2000).

El modelo consideró como efecto fijo la variable independiente: tratamientos. La variable dependiente (glucosa, insulina y triglicéridos) se evaluó durante 120 min.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Luego de realizar los análisis, en los que se modelaron varias estructuras de covarianza para el modelo mixto, a través de la información del criterio Bayesiano de Schwarz (SBC) se seleccionó la estructura que presentó el valor, de este criterio, más próximo a cero (Littell, 1996).

La estructura de covarianza más apropiada fue autorregresiva de primer orden (Cuadro 2); lo que sugirió que la estructura podría ser modelada asumiendo que la correlación dentro de las unidades experimentales es inversamente proporcional al espaciamiento en el tiempo (Correa, 2004).

Cuadro 2. Criterio de información Bayesiano de Schwarz (SBC), según la estructura de covarianzas.

Estructura	Criterio Bayesiano de Schwarz		
	Glucosa	Insulina	Triglicéridos
Compuesta simétrica	1017.2	1197.2	862.6
No estructurada	nrv	nrv	nrv
Autorregresiva de primer orden	988.5	1177.4	800

nrv: no reportó valor

Glucosa. La concentración de glucosa, en sangre, de los sujetos sanos fue afectada por el tiempo (p = 0.0001); en contraste, no fue afecta por los tratamientos (p = 0.8214) y la interacción tiempo*tratamiento no resultó significativa (p = 0.4492) (Cuadro A - 1). Los valores promedio de la concentración de glucosa después del consumo de los alimentos con y sin complemento de cáscara de xoconostle, a lo largo de 120 min (Cuadro 3) no fueron significativamente diferentes.

El promedio de la concentración de glucosa del grupo de sujetos sanos después del consumo del DHC presentó un pico máximo (117.10 ± 1.79 mg dL^{-1}) al min 30. El descenso posterior llegó a 84.25 ± 3.45 mg dL^{-1} a los 120 min (Figura 1). La concentración de glucosa no se redujo en los primeros 15 min por el consumo de la cáscara de xoconostle, en comparación con el tratamiento testigo. Sin embargo, a los 30 min se presentó la concentración máxima (113.15 ± 4.41 mg dL^{-1}), a partir de este tiempo y hasta los 60 min se observó disminución ligera de la glucosa en este tratamiento; a partir de los 90 min las concentraciones de glucosa se traslaparon con las del tratamiento testigo.

Cuadro 3. Glucosa en sangre capilar (mg dL^{-1}) de sujetos sanos en diferentes tiempos de la prueba después de consumir un desayuno alto en hidratos de carbono (DHC, 300 kcal) sin complementar (tratamiento testigo) o complementado con cáscara de xoconostle edulcorada con neotame y secada por liofilización (prueba activa).

Tiempo de la prueba clínica	Concentración de glucosa en sangre capilar (mg dL^{-1})					
	DHC (Desayuno alto en hidratos de carbono)			Cáscara de xoconostle edulcorada (0.011 g neotame L^{-1}) y secada por liofilización más DHC		
0 min	71.29	±	1.18	73.15	±	0.94
15 min	92.49	±	2.94	99.82	±	2.77
30 min	117.1	±	1.79	113.15	±	4.41
45 min	107.6	±	6.05	102.63	±	5.08
60 min	100.41	±	4.93	99.38	±	5.46
90 min	90.64	±	3.87	93.21	±	2.63
120 min	84.25	±	3.45	87.47	±	3.92

n = 10 ± error estándar

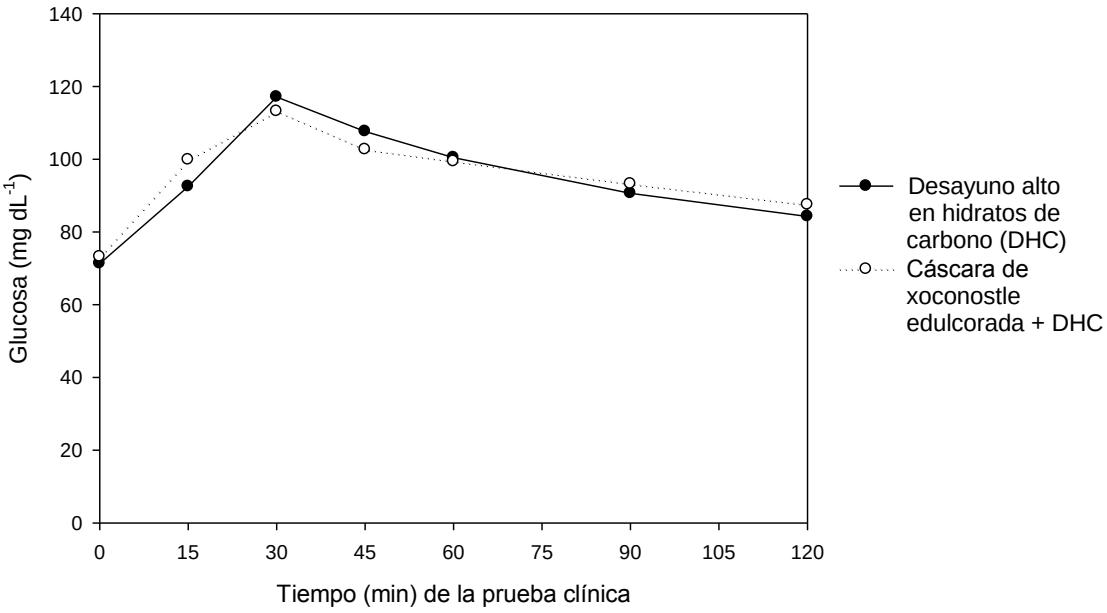


Figura 1. Glucosa en sangre capilar (mg dL^{-1}) de sujetos sanos después de consumir un desayuno alto en hidratos de carbono (DHC, 300 kcal) sin complementar (tratamiento testigo, •) y complementado con cáscara de xoconostle edulcorada con neotame y liofilizada (prueba activa, ○). Cada valor es el promedio de 10 observaciones.

Como era de esperarse, la concentración de glucosa se modificó en el tiempo posterior al consumo de alimento. La interacción entre el tratamiento y el tiempo no fue significativa (p = 0.4492), por lo que se realizó el análisis de los efectos principales de estos factores.

Esto permitió comparar el efecto del tiempo en los tratamientos sobre la concentración de glucosa. Así, se promediaron los valores de los tratamientos de cada tiempo (0´, 15´, 30´, 45´, 60´, 90´ y 120´). En la comparación de los efectos principales del tiempo solo los puntos que no mostraron diferencia

significativa fueron 15´ con 60´ y 90´, 30´ con 45´, 45´ con 60´ y 120´, 60´ con 90´ (Figura 2). La tendencia de las comparaciones de las medias indicó que el ensayo clínico fue conducido de manera correcta de acuerdo a los protocolos establecidos.

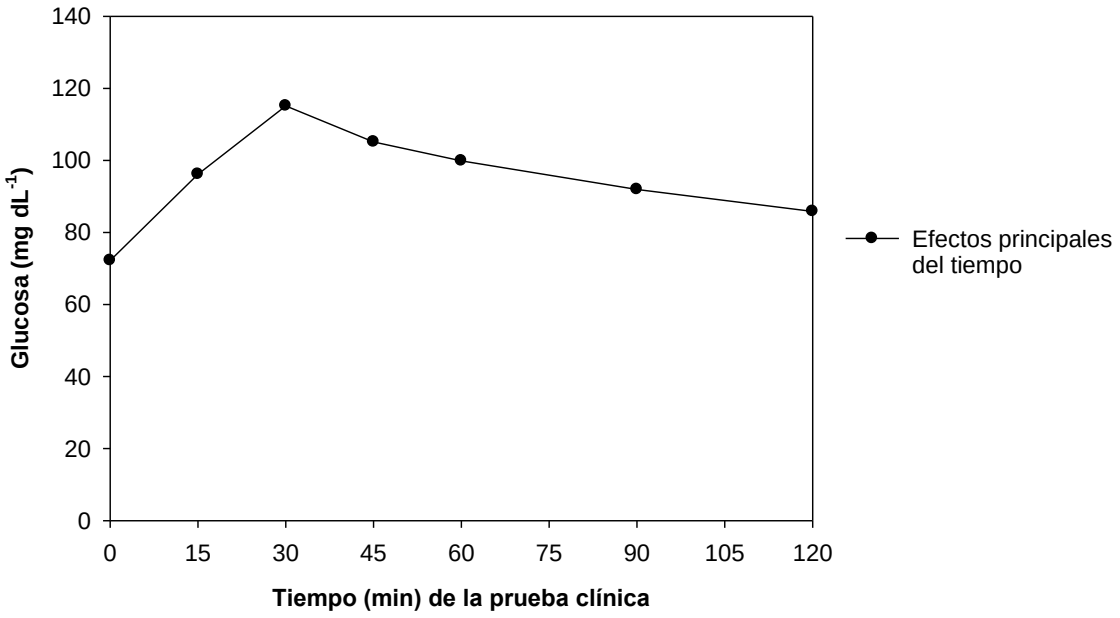


Figura 2. Tendencia de la concentración de glucosa en sangre (mg dL^{-1}), de sujetos sanos, después de consumir un desayuno alto en hidratos de carbono (DHC, 300 kcal), complementado o no con cáscara de xoconostle edulcorada y liofilizada. Cada valor es el promedio de 20 observaciones; 10 de DHC con xoconostle y 10 sin él. Análisis de varianza PROC MIXED, efectos principales del tiempo.

Además, se comparó el efecto de los tratamientos en la concentración de glucosa promedio desde el inicio (0 min) hasta los 120 min de cada tratamiento. La comparación de los efectos principales de los tratamientos no mostró diferencia significativa (Figura 3).

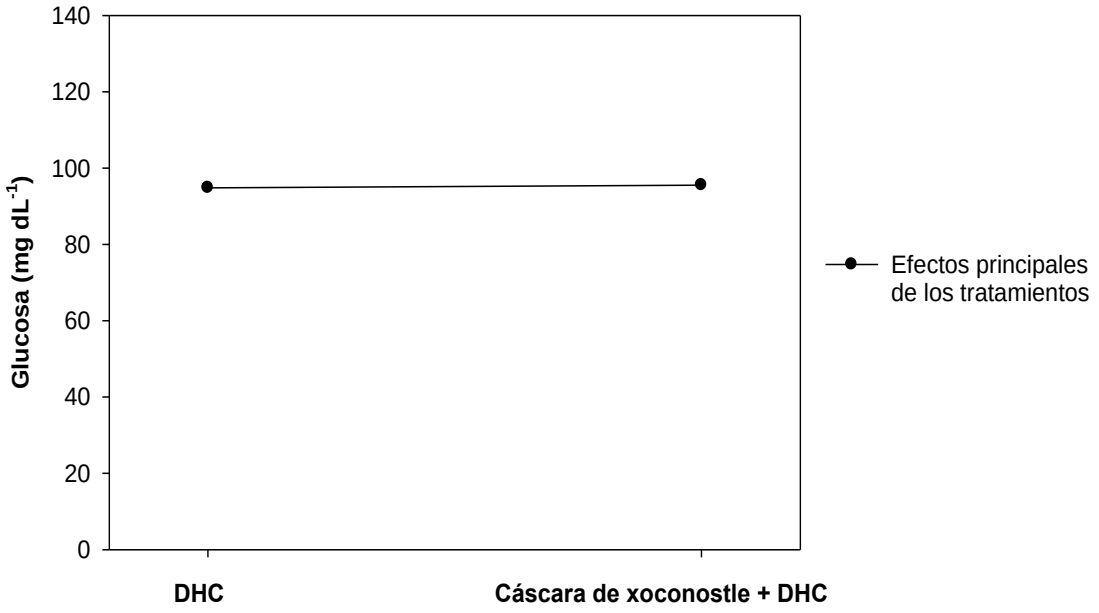


Figura 3. Glucosa en sangre capilar (mg dL^{-1}), de sujetos sanos, en el tiempo (min 0 hasta el min 120) para cada tratamiento evaluado después de consumir un desayuno alto en hidratos de carbono (DHC, 300 kcal), complementado o no con cáscara de xoconostle edulcorada. Cada valor es el promedio de 70 observaciones. Análisis de varianza PROC MIXED, efectos principales de los tratamientos.

Insulina. La insulina sérica en sujetos sanos fue afectada en el tiempo (p = 0.0001); en contraste, los tratamientos (p = 0.7932) no la afectaron significativamente y la interacción tiempo*tratamiento (p = 0.6378) tampoco fue significativa (Cuadro A - 2). El consumo de los alimentos, con o sin cáscara de xoconostle, no modificó significativamente la concentración de insulina (Cuadro 4).

Cuadro 4. Insulina sérica (µU mL^{-1}) de sujetos sanos en diferentes tiempos de la prueba después de consumir un desayuno alto en hidratos de carbono (DHC, 300 kcal) sin complementar (tratamiento testigo) o complementado con cáscara de xoconostle edulcorada con neotame y secada por liofilización (prueba activa).

Tiempo de la prueba clínica	Concentración de insulina (µU mL^{-1})					
	DHC (Desayuno alto en hidratos de carbono)			DHC más cáscara de xoconostle edulcorada (0.011 g neotame L^{-1}) y deshidratada por liofilización		
0 min	11.53	±	1.5	12.27	±	1.47
15 min	34.76	±	6.41	49.11	±	4.17
30 min	70.31	±	4.77	66.88	±	8.04
45 min	68.64	±	12.38	59.08	±	8.82
60 min	67.13	±	13	65.92	±	10.54
90 min	53.79	±	10.24	58.47	±	5.73
120 min	40.06	±	6.95	46.4	±	7.44

n = 10 ± error estándar

Treinta minutos después de consumir el DHC se observó un máximo (70.31 ± 28.63 µU mL^{-1}) en la concentración de insulina. La disminución posterior de su concentración fue gradual y alcanzó el valor mínimo a los 120 min (40.06 ± 6.95 µU mL^{-1}).

El consumo de la cáscara de xoconostle como complemento al DHC generó dos máximos de la concentración de insulina, uno (66.88 ± 8.04 µU mL^{-1}) a los 30 min y otro (65.92 ± 10.54 µU mL^{-1}) a los 60 min. Después, los valores disminuyeron gradualmente (Figura 4). Sin embargo, los sujetos sanos que recibieron el DHC presentaron valores de insulina menores que los observados con la prueba activa a partir del min 60 hasta el final del ensayo (120 min).

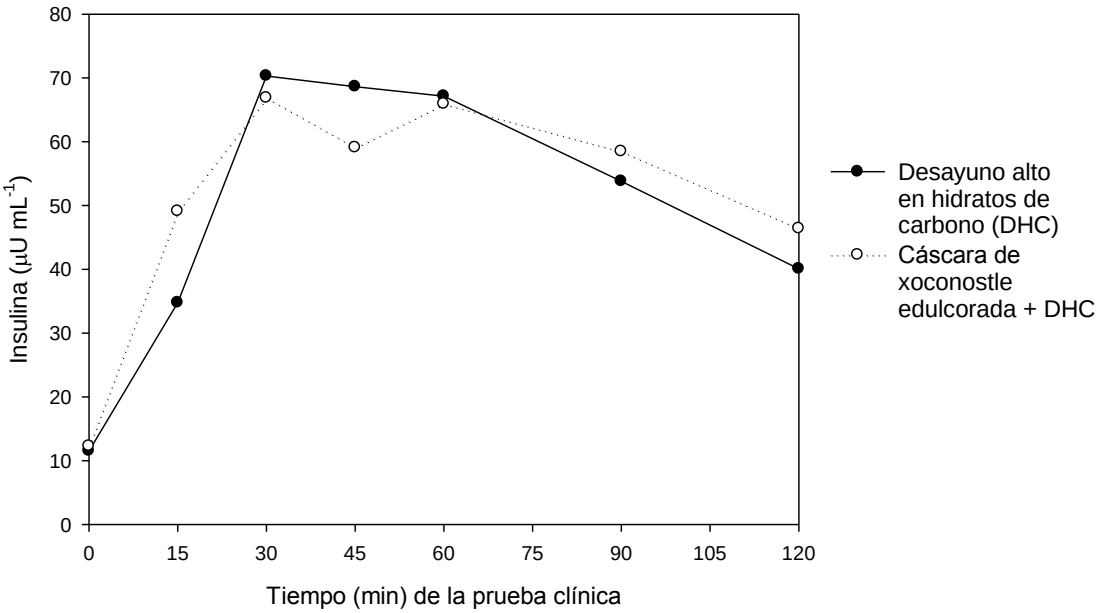


Figura 4. Insulina sérica (µU mL^{-1}) de sujetos sanos después de consumir un desayuno alto en hidratos de carbono (DHC, 300 kcal) sin complementar (tratamiento testigo, •) y complementado con cáscara de xoconostle edulcorada con neotame y liofilizada (prueba activa, ○). Cada valor es el promedio de 10 observaciones.

La interacción entre el tratamiento y el tiempo no fue significativa (p = 0.6378), por lo que se realizó el análisis de los efectos principales de estos

factores. El efecto del tiempo en los tratamientos sobre la concentración de insulina se comparó con el promedio de los valores de los tratamientos en cada tiempo (0´, 15´, 30´, 45´, 60´, 90´ y 120´). En la comparación de los efectos principales del tiempo solo los puntos que no mostraron diferencia significativa fueron 15´ con 90´ y 120´, 30´ con 45´, 60´ y 90´, 45´ con 60´ y 90´, 60´ con 90´ (Figura 5).

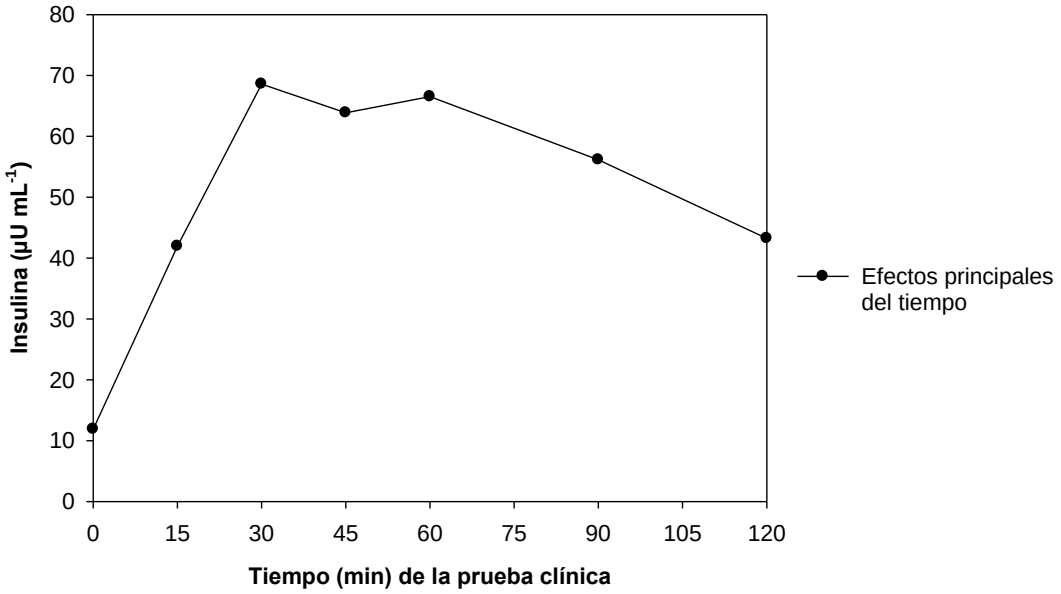


Figura 5. Tendencia de la concentración de insulina sérica (µU mL^{-1}), de sujetos sanos, después de consumir un desayuno alto en hidratos de carbono (DHC, 300 kcal), complementado o no con cáscara de xoconostle edulcorada y liofilizada. Cada valor es el promedio de 20 observaciones; 10 de DHC con xoconostle y 10 sin él. Análisis de varianza PROC MIXED, efectos principales del tiempo.

Se comparó el efecto de los tratamientos sobre la concentración de insulina en el tiempo total de evaluación, es decir el promedio desde el inicio (0 min) hasta los 120 min de cada tratamiento. La comparación de los efectos principales de los tratamientos no mostró diferencia significativa entre ellos (Figura 6).

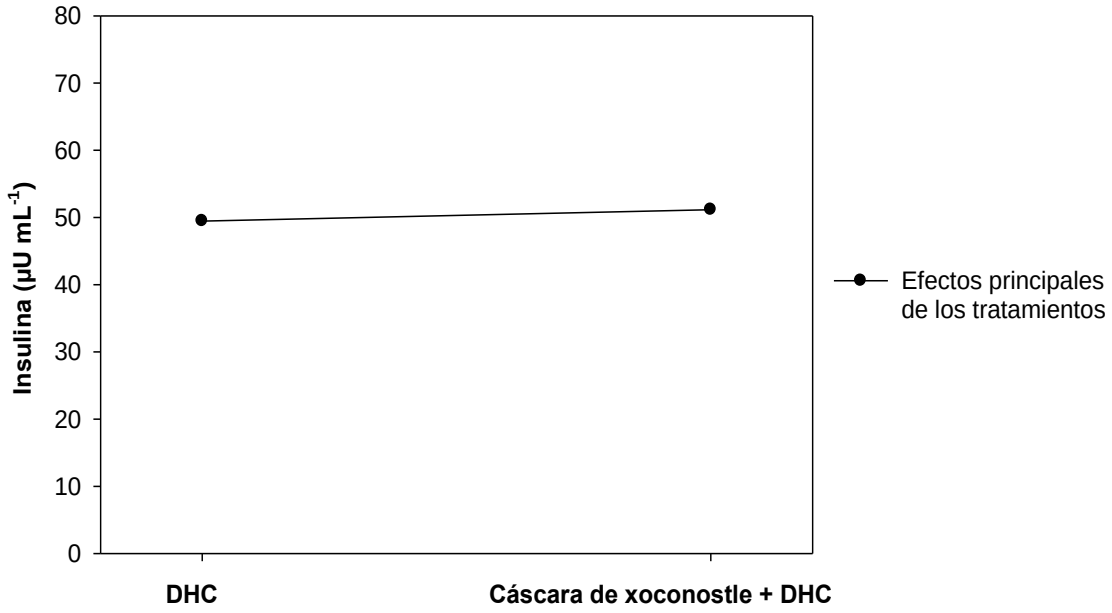


Figura 6. Insulina (µU mL^{-1}), de sujetos sanos, en el tiempo (min 0 hasta el min 120) para cada tratamiento evaluado después de consumir un desayuno alto en hidratos de carbono (DHC, 300 kcal), complementado con y sin cáscara de xoconostle edulcorada. Cada valor es el promedio de 70 observaciones. Análisis de varianza PROC MIXED, efectos principales de los tratamientos.

Triglicéridos. La concentración de triglicéridos séricos en los sujetos sanos no fue afectada por los tratamientos (p = 0.6809), el tiempo (p = 0.0817) y la interacción tiempo*tratamiento (p = 0.3455) (Cuadro A - 3). Los valores

promedio de triglicéridos después del consumo de los alimentos, a lo largo de 120 min, no fueron significativamente diferentes (Cuadro 5).

Cuadro 5. Triglicéridos séricos (mg dL^{-1}) de sujetos sanos en diferentes tiempos de la prueba después de consumir un desayuno alto en hidratos de carbono (DHC, 300 kcal) sin complementar (tratamiento testigo) o complementado con cáscara de xoconostle edulcorada con neotame y secada por liofilización (prueba activa).

Tiempo de la prueba clínica	Concentración de triglicéridos (mg dL^{-1})					
	DHC (Desayuno alto en hidratos de carbono)			DHC más cáscara de xoconostle edulcorada (0.011 g neotame L^{-1}) y deshidratada por liofilización		
0 min	92.24	±	16.16	80.83	±	8.72
15 min	87.15	±	17.59	80.96	±	9.22
30 min	85.58	±	17.96	78.32	±	8.81
45 min	89.64	±	19.56	79.54	±	9.07
60 min	90.43	±	19.39	80.23	±	8.75
90 min	90.00	±	21.74	80.65	±	9.93
120 min	89.64	±	20.94	83.02	±	10.36

n = 9 ± error estándar

En los tratamientos no se observó un pico marcado en la concentración de triglicéridos; ya que, los valores permanecieron constantes, con ligeros

cambios, desde el min 0 al min 120. Aún cuando la diferencia entre los tratamientos no fue significativa, la concentración de triglicéridos 90.43 ± 19.39 mg dL^{-1} (60 min), aparentemente mayor, correspondió al tratamiento testigo y la menor a la prueba activa 83.02 ± 10.36 mg dL^{-1} (120 min). Las concentraciones de triglicéridos fueron más altas con el tratamiento testigo que con la prueba activa (Figura 7).

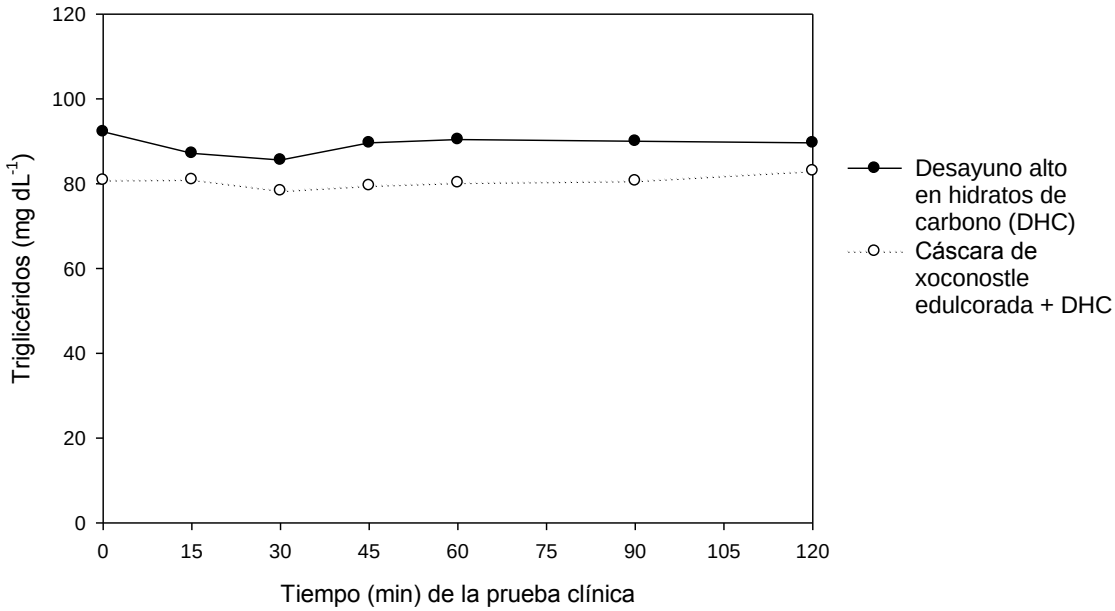


Figura 7. Triglicéridos séricos (mg dL^{-1}) de sujetos sanos después de consumir un desayuno alto en hidratos de carbono (DHC, 300 kcal) sin complementar (tratamiento testigo, •) y complementado con cáscara de xoconostle edulcorada con neotame y liofilizada (prueba activa, ○). Cada valor es el promedio de 9 observaciones.

A medida que transcurrió el tiempo después del consumo de los alimentos la concentración de triglicéridos no se modificó. La interacción entre el tratamiento

y el tiempo no fue significativa (p = 0.3455), por lo que se realizó el análisis de los efectos principales de estos factores.

El efecto del tiempo en los tratamientos sobre la concentración de triglicéridos se comparó con el promedio de los valores de los tratamientos en cada tiempo (0´, 15´, 30´, 45´, 60´, 90´ y 120´). En la comparación de los efectos principales del tiempo solo los puntos que mostraron diferencia significativa fueron 0´ con 30´ y 30´ con 45´ (Figura 8).

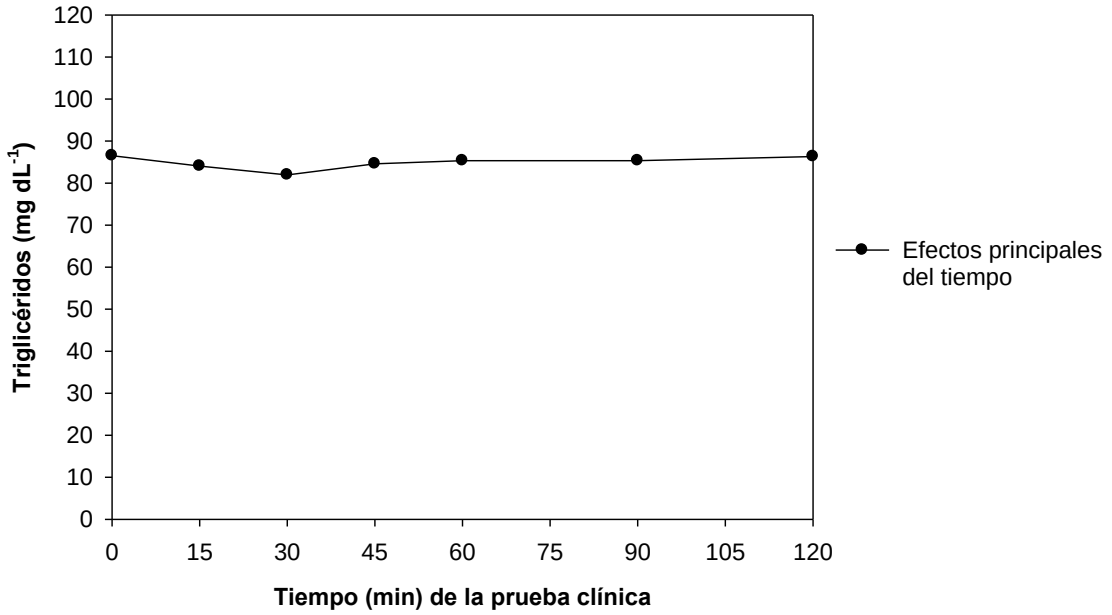


Figura 8. Tendencia de la concentración de triglicéridos (mg dL^{-1}), de sujetos sanos, después de consumir un desayuno alto en hidratos de carbono (DHC, 300 kcal), complementado o no con cáscara de xoconostle edulcorada y liofilizada. Cada valor es el promedio de 18 observaciones ± ee, 9 de DHC con xoconostle y 9 sin él. Análisis de varianza PROC MIXED, efectos principales del tiempo.

Se comparó el efecto de los tratamientos sobre la concentración de triglicéridos, se promedió desde el min 0 hasta los 120 min de cada tratamiento. La comparación de los efectos principales de los tratamientos no mostró diferencia significativa entre ellos (Figura 9).

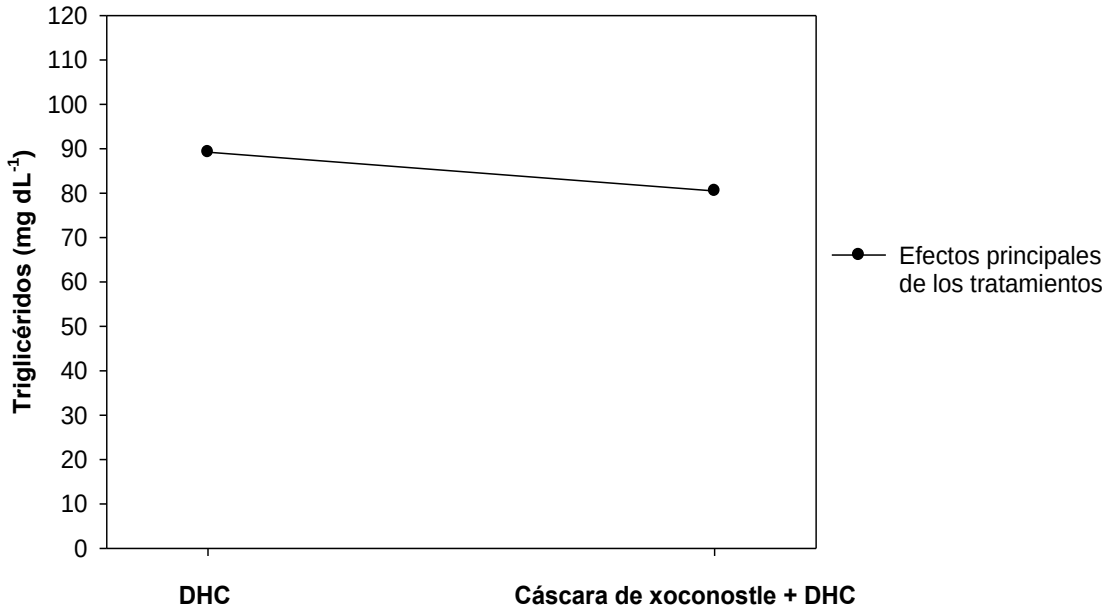


Figura 9. Triglicéridos séricos (mg dL^{-1}), de sujetos sanos, en el tiempo (min 0 hasta el min 120) para cada tratamiento evaluado después de consumir un desayuno alto en hidratos de carbono (DHC, 300 kcal), complementado o no con cáscara de xoconostle edulcorada y liofilizada. Cada valor es el promedio de 63 observaciones. Análisis de varianza PROC MIXED, efectos principales de los tratamientos.

La glucosa sérica de los sujetos participantes en este estudio estuvo entre las concentraciones clasificadas como normales (en ayunas: < 110 mg dL^{-1}) según la Asociación Americana de Diabetes (2003), pues la concentración promedio de glucosa en ayunas fue 72.22 ± 0.76 mg dL^{-1} (4.01 ± 0.04 mmol L^{-1}).

Como es normal la hiperglucemia se presentó después del consumo de los alimentos en ambos tratamientos. El consumo de una dosis única de 23 g de cáscara de xoconostle edulcorada y deshidratada no afectó negativamente la concentración de glucosa en sangre después de haber consumido un DHC, ya que los valores de glucosa postprandiales se mantuvieron dentro del límite reportado por Parkin y Brooks (2002). Frati-Munari *et al.* (1989a) observaron que la glucosa en la sangre de individuos con DM2 disminuyó en proporción directa con la dosis administrada de nopal asado. La ausencia de efecto significativo de la cáscara de xoconostle en la glucosa postprandial en el presente estudio pudo deberse a diversos factores. Es posible que la cantidad de xoconostle consumida haya sido insuficiente. Se ha documentado que entre los componentes de los alimentos que pueden tener efecto hipoglucemiente está la fibra alimentaria (Frati-Munari *et al.,* 1983; Frati-Munari *et al.,* 1987; Frati-Munari *et al.,* 1988; Frati-Munari *et al.,* 1989b; Frati-Munari *et al.,* 1990; Frati-Munari *et al,* 1992; Wolfram *et al.*, 2003).

La fibra dietética está formada casi exclusivamente por las paredes celulares de los tejidos vegetales y está compuesta por polisacáridos (no disponibles) resistentes a la acción de enzimas digestivas humanas. La fibra se clasifica en soluble o fermentable (gomas, pectinas, mucílagos, almidones resistentes, inulina, fructooligosacáridos y galactooligosacáridos) e insoluble o poco

fermentable (celulosa, hemicelulosa, lignina) (García y Velasco, 2007). De acuerdo con Álvarez y Peña-Valdivia (2009), la fibra de la cáscara de xoconostle maduro (*Opuntia matudae*) puede ser de ambos tipos y la soluble puede representar 18.53 ± 1.63 % del tejido seco y la insoluble 16.5 ± 0.95 %.

Los efectos de las clases diferentes de fibra en la fisiología humana varía en dependencia de diversos factores, como su composición, proporción y composición química de los polisacáridos que las forman, tejido del que provienen, y cambios en el tracto digestivo, de su grado de fermentación, entre otros (García y Peña, 1995; García y Velasco, 2007). Las fibras parcialmente fermentables son escasamente degradadas por la acción de las bacterias del colon y son excretadas prácticamente íntegras en las heces. Por este motivo y por su capacidad para retener agua, aumentan la masa fecal, que es más blanda, la motilidad gastrointestinal y el peso de las heces. Las fibras fermentables se caracterizan por ser degradadas rápidamente por la microflora anaerobia del colon, su efecto en la absorción de macronutrientes es mayor en comparación con el de las fibras poco fermentables.

La Asociación Americana de Dietética (2008) recomienda el consumo de fibra dietética a partir de una variedad de alimentos vegetales, de 25 g $día^{-1}$ para las mujeres adultas y 38 g $día^{-1}$ para los hombres adultos, en México este consumo es inferior a la cantidad recomendada para una salud buena. Barquera *et al.* (2002) reportaron que las mujeres de comunidades rurales consumían en promedio 23.6 g de fibra al día, mientras que el consumo promedio nacional era de 17.3 g y en el medio urbano de 15.5 g.

La ingesta de fibras dietéticas que son viscosas se recomienda en las dietas para tratar enfermedades cardiovasculares y DM2, porque disminuye los niveles de colesterol en la sangre y ayuda a normalizar los de glucosa e insulina (Marlett *et al.,* 2002). Aunque el mecanismo exacto por el que la fibra puede prevenir la diabetes no es totalmente conocido, se postula que su acción puede ser resultado de la combinación de los efectos de la fibra (INSK, 2009).

De acuerdo con Torres *et al.* (2006), la fibra soluble aumenta el volumen (la viscosidad) del contenido gástrico, lo que disminuye la velocidad de absorción de los nutrimentos, el tiempo de actividad enzimática y retarda el vaciamiento gástrico. Evidencias experimentales indican que por estas y otras características es recomendable el consumo de alimentos con contenido alto de fibra y con esto pueden mantenerse las concentraciones de glucosa dentro de los valores normales, sin la necesidad de que el páncreas sea estimulado para la secreción de insulina. Por lo cual, uno de los efectos de la fibra es mejorar el control de la respuesta glucémica de los alimentos, que junto con incrementos de la sensibilidad de la insulina, mejora el estado de sujetos con DM2 y puede prevenir el desarrollo de diabetes en personas que no la padecen (Bourges *et al.,* 2009). Estudios en sujetos sanos muestran que el consumo de fibra soluble mejora los niveles de glucosa y colesterol LDL (Lipoproteína de baja densidad) (Aller *et al.,* 2004).

Los resultados del presente estudio concuerdan con los obtenidos por Pimienta-Barrios *et al.* (2008), en sujetos sanos que consumieron una dosis única de 250 g de cáscara del fruto de xoconostle (*Opuntia joconostle* Web.) fresco; estos investigadores observaron que los niveles de glucosa no se

redujeron en los primeros 30 min después de la ingestión. Los mismo autores evaluaron el efecto de la ingestión de la cáscara del fruto de xoconostle (50 g tres veces por semana, durante 35 días) en personas con DM2 y observaron que el consumo de ese tejido por poco más de un mes disminuyó gradualmente los niveles séricos de glucosa y aumentó los de insulina. Estos resultados pueden ser evidencia de que el efecto del xoconostle en la glucosa postprandial de personas sanas podría ser evidenciado después de consumirlo durante varias semanas.

En sujetos con DM2 el consumo diario, durante una semana, de 30 cápsulas de nopal (*O*. *ficus-indica*) seco, equivalentes a 500 o 700 g de nopal fresco, disminuyó la glucosa y colesterol en sangre (Frati-Munari *et al.*, 1992); sin embargo, como lo señalaron los autores citados son dosis imprácticas. Esto último fue un factor limitante en el presente estudio, ya que para cubrir la cantidad de fibra diaria recomendada por la Asociación Americana de Dietética (2008) se necesitaba que cada individuo consumiera, en una dosis única, 793 g de cáscara fresca edulcorada de xoconostle o 71.36 g de ese tejido vegetal seco; empero, se desconoce si esta cantidad podría causar molestias gastrointestinales, como meteorismo, sensación de distensión abdominal o diarrea (Torres *et al.*, 2001). La cantidad de cáscara de xoconostle que tendría que ser consumida es similar a consumir 700 g de nopal fresco, ya que 100 g de nopalitos crudos proporcionan 3.5 g de fibra dietética (Cárdenas *et al.*, 1998; Wolfram *et al*., 2002; Díaz-Romero *et al*., 2004).

Los sujetos sanos presentaron concentraciones basales normales de insulina (11.9 ± 1.03 μU mL^{-1}), según lo señalado por Luengas-Escudero *et al.* (2000) y Chávez *et al.* (2003) para la población mexicana.

Los niveles de insulina sérica aumentaron después de consumir la cáscara de xoconostle edulcorada y liofilizada, el valor más alto (30 min; 66.88 ± 4.77 μU mL^{-1}) se registró al mismo tiempo que en el tratamiento testigo (30 min; 70.31 ± 8.04 μU mL^{-1}). El descenso de insulina, en sujetos sanos, después de alcanzarse el máximo fue más acelerado al consumir el DHC sin xoconostle. Esta tendencia coincide parcialmente con lo observado por Pimienta-Barrios *et al.* (2008), ya que el descenso fue más pronunciado por cáscara del fruto de xoconostle *Opuntia joconostle* Web.; además, el aumento de insulina después de ingerir la cáscara de xoconostle el nivel mayor (94.3 ± 53.5 μU mL^{-1}) se registró a los 40 min.

Según Pimienta-Barrios *et al.* (2008), es probable que los incrementos de insulina y glucosa causados por la ingestión de la cáscara de xoconostle podrían deberse a cierta resistencia inicial a la insulina durante la fase de post-unión a los receptores.

La resistencia a la insulina en el tejido muscular produce disminución de la distribución, el metabolismo y la eliminación de glucosa desde la circulación sanguínea e incrementa la producción de glucosa en el hígado. La secreción de insulina se puede alterar en las células beta-pancreáticas lo cual es decisivo para que la hiperglucemia se desencadene, es decir que la respuesta de la insulina a la glucosa sea defectuosa (Linkner, 2009). En la evolución natural de la DM2, la capacidad secretora de insulina por el páncreas se agota en forma

progresiva, lo que va empeorando el control glucémico. Por ello, en la historia natural del paciente con DM2 el tratamiento suele pasar del control de la alimentación (dieta) y ejercicio físico a antidiabéticos orales y, finalmente, suele ser necesario el tratamiento con insulina para lograr un control metabólico adecuado (Solá *et al.*, 2008).

En ambos tratamientos del presente estudio, después de presentarse el pico de máxima concentración de glucosa, la secreción rápida de insulina en los sujetos sanos fue la clave para el control de la glucemia. La tendencia de las curvas de glucosa e insulina, obtenidas en este estudio, confirmó el estado sano de salud de los participantes. Lu *et al.* (2000) reportó que la fibra soluble de los alimentos contribuye a disminuir la concentración de glucosa e insulina posprandial del suero, tanto en los individuos sanos como en los que padecen DM. Además del consumo de alimentos ricos en fibra, entre las acciones de prevención, están ciertos niveles de la actividad física, eliminación de consumo excesivo de alimentos y bebidas ricos en azúcares y alcohol, la práctica regular de exámenes médicos completos, aun en los individuos que se consideran sanos; ya que este estado puede cambiar dependiendo de los factores genéticos y ambientales (principalmente la alimentación y ejercicio físico).

De acuerdo con el Instituto Nacional de Salud (2012) los niveles normales y recomendables de triglicéridos, para una buena salud, deben estar por debajo de 150 mg dL^{-1}. La concentración promedio de triglicéridos en ayunas de los sujetos sanos fue de 86.5 ± 9.01 mg dL^{-1} valor considerado normal. Los resultados obtenidos en el presente estudio contrastan con lo observado por Pimienta-Barrios *et al.* (2008) en sujetos sanos; estos autores indicaron que los

niveles de triglicéridos aumentaron con la ingesta de la cáscara del fruto de xoconostle (*Opuntia joconostle* Web.)

Arocha *et al.* (2009) mencionan que la mayoría de los pacientes con enfermedad arterial coronaria, diabetes, obesidad o síndrome metabólico tienen dislipemia (condiciones patológicas diversas cuyo único elemento común es la alteración del metabolismo de los lípidos, con la alteración consecuente de las concentraciones de lípidos y lipoproteínas en la sangre) caracterizada por la combinación de triglicéridos elevados, partículas pequeñas y densas de lipoproteínas de baja densidad y valores bajos de lipoproteínas de alta densidad. Páez (2009) indica que hay evidencia de que las diferentes fracciones presentes en la fibra dietética influyen de manera positiva en la prevención y el tratamiento de las enfermedades antes mencionadas; ya que, la ingestión de los polisacáridos de la fibra disminuye la absorción gastrointestinal de algunos nutrientes y, en consecuencia, los niveles sanguíneos de colesterol, triglicéridos y glucosa también disminuyen por falta de absorción (Basurto *et al.*, 2006).

En un estudio desarrollado por Frati-Munari *et al.* (1983) sujetos obesos no diabéticos y con DM2 consumieron 100 g de nopal (*Opuntia* sp.) asado antes de los alimentos, tres veces al día, durante 10 días; esto disminuyó significativamente su colesterol total, triglicéridos y peso corporal, la glucemia solo se redujo en los individuos con DM2. Desde aquel año estos autores propusieron que los efectos del nopal se deben a su contenido de fibra. Por otro lado, Torres *et al.* (2001) observaron disminución discreta de los lípidos como posible resultado de dosis insuficientes de extracto aislado de nopal (*O.*

fuliginosa) y señalaron que el efecto hipocolesterolemiante podría incrementarse con dosis mayores.

Numerosos estudios en humanos y animales han demostrado que el aumento del consumo de fibra soluble es seguido por la reducción de glucosa, colesterol y triglicéridos (Ibáñez-Camacho y Meckes, 1983; Ibáñez-Camacho *et al.*, 1983; Meckes-Lozoya *et al.*, 1989; Frati *et al.*, 1991; Trejo-González *et al.*, 1996; Castañeda-Andrade *et al.*, 1997; Cárdenas *et al.*, 1998; Bwititi *et al.*, 2000; Bwititi *et al.*, 2001; Laurenz *et al.*, 2003; Yang *et al.*, 2008; Luo *et al.*, 2010; Paiz *et al.*, 2010). Sin embargo, los resultados han dependido de la especie estudiada, y tipo y cantidad de fibra utilizada. El contenido de fibra de las especies estudiadas de Opuntia (*O*. *streptacantha*, *O*. *ficus-indica*, *O*. *megacantha, O*. *joconostle Web. y O*. *matudae)* contribuye a la disminución de la absorción gastrointestinal de colesterol, lípidos y glucosa. Hasta el momento no se conoce otro mecanismo de acción del nopal opuesto al de la fibra de otras fuentes, así mismo, si este fuera el único mecanismo, entonces todas las especies de nopal compartirían dicho efecto, aún más, todos los tejido vegetales comestibles ricos en fibra (Basurto *et al.*, 2006).

Otro mecanismo de acción de las especies de Opuntia podría ser la presencia de metabolitos secundarios con acciones antidiabéticas diferentes al de la fibra. Pari y Venkateswaran (2003) reportaron que en ratas diabéticas un extracto acuoso de vaina de *Phaseolus vulgaris* produjo un incremento de los niveles de insulina en el plasma, dicho extracto presentaba altas cantidades de flavonoides, compuestos relacionados con la regeneración de células beta-pancreáticas que han sido dañadas, además disminuyen las actividades de

enzimas gluconeogénicas, las cuales están incrementadas en la diabetes. No obstante, hacen falta estudios científicos pertinentes que eluciden este tipo de mecanismo en las especies de Opuntia.

De acuerdo con Reynoso-Camacho *et al.* (2007), es trascendente establecer el estado de madurez, la zona donde se obtuvieron y la época del año de las especies utilizadas en los estudios. Esta información es importante en caso de que los principios activos sean metabolitos secundarios de las plantas, que cambian con los factores ambientales.

A pesar de que durante las dos horas, del ensayo clínico, la concentración de glucosa en sangre, insulina y triglicéridos en los sujetos tratados con o sin cáscara de xoconostle edulcorada y liofilizada no mostraron diferencias significativas, el tratamiento con cáscara de xoconostle edulcorada mostró cierta tendencia de disminución de la glucosa en sangre entre los 30 y 60 min, que podría considerarse como un efecto antihiperglucémico. Además, los valores de insulina aumentaron ligeramente 15, 90 y 120 min después del consumo de xoconostle y los niveles de triglicéridos fueron menores durante los 120 min posteriores al DHC. Lo que permite suponer que el incremento en la cantidad consumida, el incremento del tiempo de consumo o ambos, pueden conducir al control postprandial de glucosa y otros componentes séricos relacionados con la DM2 y el síndrome metabólico.

Así, con los resultados obtenidos en este estudio no puede descartarse categóricamente el efecto antihiperglucémico de la cáscara de xoconostle edulcorada con neotame y liofilizada, ya que aquí se evaluó únicamente el efecto antihiperglucémico agudo. Por ello, no se descarta la posibilidad de que

el efecto antihiperglucémico de este fruto pueda apreciarse principalmente en estudios crónicos. De ser así, el consumo frecuente de la cáscara de xoconostle sería recomendable, para mejorar el control de la concentración de glucosa, insulina y triglicéridos tanto en sujetos sanos como con DM2.

4. CONCLUSIONES

El consumo en dosis única de la cáscara del fruto de xoconostle (*Opuntia matudae*) edulcorada con neotame (0.011 g L^{-1}) y secada por liofilización, bajo las condiciones del presente estudio y con la población estudiada, no tuvo efecto antihiperglucemiante, no aumentó la concentración de insulina sérica y no disminuyó los niveles de triglicéridos séricos en personas sanas.

5. LITERATURA CITADA

Aller, R., D. A. D. Luis, O. Izaola, F. La Calle, L. Del Olmo, L. Fernandez, T. Arranz y J.M. Gonzalez H. 2004. Effect of soluble fiber intake in lipid and glucose leves in healthy subjects: a randomized clinical trial. *Diabetes Research and Clinical Practice* 65 (1): 7-11.

Álvarez, R. y C.B. Peña-Valdivia. 2009. Structural polysaccharides in xoconostle (*Opuntia matudae*) fruits with different ripening stages. *Journal of the Professional Association for Cactus Development* 11: 26-44.

American Diabetes Association (ADA). 2003. Follow-up Report on the Diagnosis of Diabetes Mellitus. Expert Committee on the Diagnosis and Classification of Diabetes Mellitus. *Diabetes Care* 26: 3160–3167.

Arocha, R. J., C. Ponte N. y F. Ablan C. 2009. Triglicéridos en ayunas y posprandiales, y su contribución al estudio del riesgo cardiometabólico. *Clínica e Investigación en Arteriosclerosis* 21 (6): 290-297.

Asociación Americana de Diabetes (ADA). 2012. Diabetes Basics type 2: Complications. *[En línea]. 2012 [fecha de consulta:* 04 de Mayo de 2012*].* Disponible en: http://www.diabetes.org/

Asociación Americana de Dietética (AAD). 2008. Position of the American Dietetic Association: Health implications of dietary fiber. *Journal of the American Dietetic Association* 108 (10): 1716-1731.

Barquera, C. S., J. A. Rivera-Dommarco, I. Campos, J. Espinoza y E. Monterrubio. 2002. Consumo de Fibra y sobrepeso en mujeres mexicanas en edad adulta. *Nutrición Clínica* 5 (4): 206-212.

Basurto, S. D., M. Lorenzana-Jiménez y G.A. Magos G. 2006. Utilidad del nopal para el control de la glucosa en la diabetes mellitus tipo 2. *Revista de la Facultad Medicina UNAM* 49 (4): 157-162.

Boden, G., y M. Laakso. 2004. Lipids and Glucose in Type 2 Diabetes: What is the cause and effect? *Diabetes Care* 27 (9): 2253-2259.

Bourges, H., E. Casanueva y J.L. Rosado. 2009. Recomendaciones de Ingestión de Nutrimentos para la Población Mexicana, Bases Fisiológicas Tomo 2. Ed. Médica Panamericana, México D.F.

Bwititi, P., C.T. Musabayane y C.F. Nhachi. 2000. Effects of *Opuntia megacantha* on blood glucose and kidney function in streptozotocin diabetic rats. *Journal of Ethnopharmacology* 69 (3): 247-252.

Bwititi, P.T., T. Machakaire, C.B. Nhachi y C.T. Musabayane. 2001. Effects of *Opuntia megacantha* leaves extract on renal electrolyte and fluid handling in streptozotocin (STZ)-diabetic rats. *Renal failure* 23 (2): 149-158.

Cárdenas M. M.L., S.O. Serna S. y J. Velazco de la Garza. 1998. Effect of raw and cooked nopal (*Opuntia ficus indica*) ingestion on growth and profile of total cholesterol, lipoproteins, and blood glucose in rats. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 48 (4): 316-323.

Castañeda-Andrade, I., J. González-Sánchez y A.C. Frati-Munari. 1997. Hypoglycemic effect of an *Opuntia streptacanta* Lemaire Dialysate. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*: 73-75.

Chávez, V. C., S. Salinas O., R. A. Gómez D., Ma. M. Rosso J., M. Jiménez V. y R. Argüero, S. 2003. ¿Cuál es el nivel de insulina en una población mexicana en peso ideal?. *Revista de Endocrinología y Nutrición* 11 (1): 22-27.

Correa, L. G. 2004. Análisis de medidas repetidas. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Sede Medellín. Universidad Nacional de Colombia. pp: 1-17.

Díaz-Romero C., E. M. Díaz-Medina y E. M. Rodríguez-Rodríguez. 2004. El higo pico: una alternativa agroalimentaria en Canarias. *Alimentación, Equipos y Tecnología*, 186, enero, 73-77.

Frati, A.C., X. Díaz., P. Altamirano, R. Ariza y R. López-Ledesma. 1991. The effect of two sequential doses of *Opuntia streptacantha* upon glycemia. *Archivos de Investigación Médica* (México) 22 (3-4): 333-336.

Frati-Munari A.C., A. Yever-Garces, S. Islas-Andrade, C.R. Ariza-Andraca y A. Chavez-Negrete. 1987. Studies on the mechanism of “hypoglycemic” effect of nopal (*Opuntia* sp.). *Archivos de Investigación Médica* 18: 7-12.

Frati-Munari A.C., B.E. Gordillo, P. Altamirano y C.R. Ariza. 1988. Hypoglycemic effect of *Opuntia streptacantha* Lemaire in NIDDM. *Diabetes Care* 11: 63-66.

Frati-Munari A.C., E. Altamirano-Bustamante, N. Rodriguez-Barcenas, R. Ariza-Andraca y R. Lopez-Ledesma. 1989b. Hypoglycemic action of *Opuntia streptacantha* Lemaire: study using raw extracts. *Archivos de Investigación Médica* 20: 321-325.

Frati-Munari A.C., Q.R. Licona, A.C.R. Araiza, L.R. López y N.A. Chávez. 1990. Acción de *Opuntia streptacantha* en individuos sanos con hiperglucemia inducida. *Archivos de Investigación Médica* 21: 99-102.

Frati-Munari, A. C., L. M. Del Valle-Martínez, C. R. Ariza-Andraca, S. Islas-Andrade y A. Chávez-Negrete. 1989a. Hypoglycemic action of different doses of nopal (*Opuntia streptacantha* Lemaire) in patients with type II diabetes mellitus. *Archivos de Investigación Médica* (México) 20 (2): 197-201.

Frati-Munari, A.C., J.A. Fernández-Harp, H. De la Riva, R. Ariza-Andraca y M.C. Torres. 1983. Effects of nopal (*Opuntia* sp.) on serum lipids, glycemia and body weight. *Archivos de Investigación Médica* 14: 117-25.

Frati-Munari, A.C., O. Vera-Lastra y C.R. Ariza-Andraca. 1992. Evaluation of nopal capsules in diabetes mellitus. *Gaceta Médica Mexicana* 128 (4): 431-436.

García H., E. del R., Peña V., C.B. 1995. La pared celular. Componente fundamental de las células vegetales. Universidad Autónoma Chapingo. México. 95 p.

García, P. P. y C. Velasco G. 2007. Evolución en el contenido de la fibra. *Nutrición Hospitalaria* 22 (Supl. 2): 20-25.

Gómez, S., V. Torres., Y. García y J.A. Navarro. 2012. Procedimientos estadísticos más utilizados en el análisis de medidas repetidas en el tiempo en el sector agropecuario. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 46 (1): 1-7.

Guzmán, M. S. H., J. Candelario M., Ma. G. Herrera H., F. Guevara L. y R. Reynoso C. 2009. El xoconostle: un fruto con alto valor nutrimental y nutracéutico. Folleto técnico Núm. 6. Ed. INIFAP, Centro de Investigación Regional Centro Campo Experimental Bajío. Celaya, Gto., México. 18 p.

Ibáñez-Camacho, R. y M. Meckes-Lozoya. 1983. Effect of a semipurified product obtained from *Opuntia streptocontha* L. (a cactus) on glicémica and triglyceridemia of rabbit. *Archivos de Investigación Médica* 14 (4): 437-443.

Ibáñez-Camacho, R., M. Meckes-Lozoya, y V. Mellado-Campas. 1983. The hypoglucemic effect of *Opuntia streptocontha* studied in different animal experimental model. *Jornal of Ethnopharmacology* 2: 175-181.

INSK (Instituto de Nutrición y Salud Kellogg´s). 2009. Dieta y Salud: Fibra. Prieto, T. P. y S. Villaseñor, M. (ed.). Órgano Informativo del Instituto de Nutrición y Salud Kellogg´s sobre la Relación entre la Nutrición y la Salud. México.

Instituto Nacional de Salud. 2012. [En línea]. 2012 [fecha de consulta: 20 de mayo de 2012]. Disponible en: http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/triglycerides.html.

Jenkins, D. J. A., M. S. Wolever T., H. Taylor R., H. Barker, H. Fielden, J. Baldwin, A. Bowling, H. Newman, A. L. Jenkins y D. Goff. 1981. Glycemic index of foods; a physiological basis for carbohydrates exchange. *The American Journal Clinical Nutrition* 34: 362-366.

Juárez, F. B. 2006. Diabetes mellitus y medicina tradicional. En: El Siglo de la Biologia. Anguiano, E. (ed.). Gaceta del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica. México. *[En línea]. 2012 [fecha de consulta:* 01 de Mayo de 2012*].* http://www.ipicyt.edu.mx/storage-sipicyt.

Laurenz, J.C., C.C. Collier y J.O. Kuti. 2003. Hypoglycaemic effect of *Opuntia lindheimeri* Englem in a diabetic pig model. *Phytotherapy Research* 17(1): 26-29.

Linkner, E. 2009. Resistencia a la insulina y el síndrome metabólico. *In:* Medicina Integrativa Capítulo 35. R. David (ed.). Segunda edición. Ed. ELSEVIER. España. pp: 375-388.

Littell, R. C., G. Milliken A., S. Walter W. y R. Wolfinger D. 1996. SAS, System for Mixed Models. SAS Institute. Cary (North Carolina, USA). 633 p.

Lu, X. Z., K. Walker Z., J. Muir G., T. Mascara y K. O'Dea. 2000. Arabinoxylan fiber a byprodcut of wheat flour processing reduces the postprandial glucose response in normoglycemic subjects. *The American Journal Clinical Nutrition* 71: 1123-1128.

Luengas-Escudero, M. E., A. Lerdo de Tejada, A. Fajardo-Gutiérrez, F. Gordon, H. Hernández- Hernández y H. Aguirre-Gas. 2000. La insulina y su correlación con factores de riesgo vascular. Revista Mexicana Cardiología 11 (1): 198-205.

Luo, C., Z. Wannian, S. Chunquan, Z. Chengjian, Y. Jianzhong y M. Zhenyuan. 2010. Chemical composition and antidiabetic activity of *Opuntia Milpa Alta* extracts. *Chemistry & Biodiversity* 7:2869-2879.

Marlett, J. A., M. I. McBurney y J.L. Slavin. 2002. Position of the American Dietetic Association: Health Implications of Dietary Fiber. *Journal of the American Dietetic Association* 102 (7): 993-1000.

Meckes-Lozoya, M. y R. Ibáñez-Camacho. 1989. Hypoglucaemic activity of *Opuntia streptacantha* troughout its annual cycle. *The American Journal of Chinese Medicine* 17 (3-4): 221-224.

OPS (Organización Panamericana de la Salud). 2012. Sistema Regional de Mortalidad. Causas de mortalidad en las Américas. [En línea]. 2012 [fecha de consulta: 20 de mayo de 2012]. Disponible en: http://www.paho.org

Organización Mundial de la Salud (OMS). 2012. Información general: Día mundial de la diabetes. [En línea]. 2012 [fecha de consulta**:** *04 de Mayo de 2012*]. *http://www.who.int/mediacentre/events/annual/world_diabetes_day/es/index.html*

Páez, H. G. 2009. Beneficio de la fibra dietética en enfermedades crónico-degenerativas. Facultad de Nutrición Xalapa. Universidad Veracruzana. *Revista Médica de la Universidad Veracruzana* 9 (1): 31-35.

Paiz, R.C., B.I. Juárez-Flores, J.R. Aguirre-Rivera, N.C. Cárdenas-Ortega, J.A. Reyes-Agüero, E. García-Chávez y G. Álvarez-Fuentes. 2010. Glucose-lowering effect of xoconostle (*Opuntia joconostle* A. Web., Cactaceae) in diabetic rats. *Journal of Medicinal Plants Research* 4 (2): 2326-2333.

Pari, L. y S. Venkateswaran. 2003. Effect of an aqueous extract of *Phaseolus vulgaris* on plasma insulin and hepatic key enzymes of glucose metabolism in experimental diabetes. *Pharmazie* 58 (12): 916-919.

Parkin, C. G. y N. Brooks. 2002. Is Postprandial Glucose Control Important? Is It Practical In Primary Care Settings?. *Clinical Diabetes* 20 (2): 71-76.

Pimienta-Barrios, E., L. Méndez-Morán, B. C. Ramírez-Hernández, J. E. García de Alba-García y R. M. Domínguez-Arias. 2008. Efecto de la ingestión del fruto de xoconostle (*Opuntia joconostle* Web.) sobre la glucosa y lípidos séricos. *Agrociencia* 42: 645-653.

Reynoso-Camacho, R., E. González-Jasso y L. Salgado, M. 2007. La alimentación del mexicano y la incidencia de diabetes tipo 2. *Tip Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas* 10 (1): 36-38.

SAS, Institute. 2000. SAS/STAT. User´s Guide. Release 9.1.3 ed. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina. USA.

Scheinvar, L., S. Filardo K., G. Olalde P. y P. Zavaleta B. 2009. Diez especies mexicanas productoras de xoconostle *Opuntia spp.* y *Cylindropuntia*

imbricata (Cactaceae). Universidad Nacional Autónoma de México, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. México. 179 p.

Solá, I. E., K. García M. y A. Hernández M. 2008. Tratamiento de la diabetes mellitus tipo 2 con insulina. *Endocrinología y Nutrición* 55 (Supl. 2): 53-57.

Takeshi Kuzuya, Shoichi Nakagawa, Jo Satoh, Yasunori Kanazawa, Yasuhiko Iwamoto, Masashi Kobayashi, Kisihio Nanjo, Akira Sasaki, Yutaka Seino, Chikako Ito, Kenji Shima, Kyohei Nonaka, Takashi Kadowaki. (The Committee of the Japan Diabetes Society on the diagnostic criteria of diabetes mellitus). 2002. Report of the Committee on the classification and diagnostic criteria of diabetes mellitus. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 55 (1): 65-85.

Torres, N., B. Palacios-González, L. Noriega-López y A.R. Tovar-Palacio. 2006. Índice glicémico, índice insulinémico y carga glicémica de bebidas de soya con un contenido bajo y alto en hidratos de carbono. *Revista de Investigación Clínica* 58 (5): 487-497.

Torres, T. M., A. Trejo G., R. Posadas S., J. Zamora G., M. del S. Ichazo C., A. Meave G., G. Cardoso S. y C. Posadas R. 2001. Efecto del extracto de nopal sobre lípidos y lipoproteínas en hipercolesterolemia moderada. *Revista Médica del IMSS* 39 (6): 491-499.

Trejo-González, A., G. Gabriel-Ortiz, A.M. Puebla-Pérez, M.D. Guísar-Contreras, M.R. Munguía-Mazariegos, S. Mejía-Arreguin y E. Calva. 1996. A purified extract from prickly pear cactus (*Opuntia fuliginosa*) controls experimentally induced diabetes in rats. *Journal of Ethnopharmacology* 55 (1): 27-33.

Wild. S., G. Roglic, A. Green, R. Sicree, H. King. 2004. Global prevalence of diabetes. Estimates for the year 2000 and projections for 2030. *Diabetes Care* 27 (5):1047-1053.

Wolever, T. M. S., D. Jenkins J. A., A. L. Jenkins y R. Josse G. 1991. The glycemic index: methodology and clinical implications. *The American Journal Clinical Nutrition* 54: 846-854.

Wolfram R., A. Budinsky, Y. Efthimiou, J. Stomatopoulos, A. Oguogho y H. Sinzinger. 2003. Daily prickly pear consumption improves platelet function. *Prostaglandins Leukot Essent Fatty* 69: 61-66.

Wolfram, R. M., H. Kritz, Y. Efthimiou, J. Stomatopoulos y H. Sinzinger. 2002. Effect of prickly pear (*Opuntia robusta*) on glucose and lipid metabolism in non-diabetic with hyperlipidemia - A pilot study. *Wienner Klinische Wochenschrift* 114: 840-846.

Yang, N., M. Zhao, B. Zhu, B. Yang, C. Chen, C. Cui y Y. Jiang. 2008. Anti-diabetic effects of polysaccharides from *Opuntia monacantha* cladode in normal and streptozotocin-induced diabetic rats. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 9: 570-574.

ANEXOS

CARTA DE CONSENTIMIENTO

A quién corresponda: Yo _____declaro libre y voluntariamente que acepto participar en el estudio "**EFECTO DEL FRUTO DE XOCONOSTLE (*Opuntia matudae*) EN LA CONCENTRACIÓN DE GLUCOSA, INSULINA Y TRIGLICÉRIDOS SÉRICOS"**, cuyo objetivo consiste en evaluar el efecto antihiperglucemiante de la cáscara de xoconostle edulcorada (0.011 g neotame L^{-1}) y deshidratada por liofilización, así como evaluar el efecto que tiene sobre los niveles de insulina y triglicéridos séricos en sujetos sanos.

Estoy consciente de que los procedimientos y pruebas para lograr los objetivos mencionados consistirán en pruebas de laboratorio para cuantificar glucosa, insulina y triglicéridos en sangre y que no habrá riesgos para mi persona. Entiendo que del presente estudio se derivará el beneficio de ayudar a reducir glucosa en sangre en personas sanas y con diabetes mellitus tipo ll.

Es de mi conocimiento que seré libre de retirarme de la presente investigación en el momento que así lo desee. También puedo solicitar información adicional acerca de los riesgos y beneficios de mi participación en este estudio.

Nombre:_____Firma_____

Dirección:_____

Fecha:_____

Testigo: _____

Dirección:_____

Testigo: _____

Dirección:_____

Cuadro A - 1. Resultados del análisis de medidas repetidas con modelo mixto y diseño completamente al azar con estructura unifactorial de los tratamientos, de la concentración de glucosa en sangre (mg dL^{-1}) de sujetos sanos después del consumo del DHC y DHC más cáscara de xoconostle edulcorada (0.011 g Neotame L^{-1}).

Efecto	*gl* (numerador)	*gl* (denominador)	F - valor	Pr > F
Tratamiento	1	18	0.05	0.8214
Tiempo	6	108	31.2	0.0001
Tratamiento*tiempo	6	108	0.97	0.4492

Cuadro A - 2. Resultados del análisis de medidas repetidas con modelo mixto y diseño completamente al azar con estructura unifactorial de los tratamientos, de la concentración de insulina (µU mL^{-1}) de sujetos sanos después del consumo del DHC y DHC más cáscara de xoconostle edulcorada (0.011 g Neotame L^{-1}).

Efecto	*gl* (numerador)	*gl* (denominador)	F - valor	Pr > F
Tratamiento	1	18	0.07	0.7932
Tiempo	6	108	13.3	0.0001
Tratamiento*tiempo	6	108	0.72	0.6378

Cuadro A - 3. Resultados del análisis de medidas repetidas con modelo mixto y diseño completamente al azar con estructura unifactorial de los tratamientos, de la concentración de triglicéridos (mg dL^{-1}) de sujetos sanos después del consumo del DHC y DHC más cáscara de xoconostle edulcorada (0.011 g Neotame L^{-1}).

Efecto	*gl* (numerador)	*gl* (denominador)	F - valor	Pr > F
Tratamiento	1	16	0.18	0.6809
Tiempo	6	96	1.94	0.0817
Tratamiento*tiempo	6	96	1.14	0.3455