

FUNCIONALIDAD DE LAS CÁSCARAS DE LA TUNA 'ROJA LISA': PARTE II (IN VIVO)

Mayra Denise Herrera
Jorge Artemio Zegbe Domínguez
Valentín Melero Meraz
Raquel Karina Cruz Bravo



Centro de Investigación Regional Norte Centro
Campo Experimental Zacatecas

Calera de Víctor Rosales, Zacatecas.

Folleto Técnico Núm. 121

Diciembre 2023

ISBN: 978-607-37-1617-8

Registro de Derechos de Autor: 03-2023-120109213300-01



AGRICULTURA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL

inifap
Instituto Nacional de Investigación
Fitosanitaria, Vegetal y Forestal

SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL

DR. VÍCTOR MANUEL VILLALOBOS ARÁMBULA
Secretario

ING. VÍCTOR SUÁREZ CARRERA
Subsecretario de Autosuficiencia Alimentaria

M.V.Z. ARTURO MACOSAY CÓRDOVA

Coordinador General de Ganadería

DR. SALVADOR FERNÁNDEZ RIVERA

Coordinador General de Desarrollo Rural

ING. SANTIAGO JOSÉ ARGUELLO CAMPOS

Coordinador General de Agricultura

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

DR. LUIS ÁNGEL RODRÍGUEZ DEL BOSQUE

Encargado del Despacho de los Asuntos Correspondientes
a la Dirección General del INIFAP

DR. ALFREDO ZAMARRIPA COLMENERO

Coordinador de Investigación, Innovación y Vinculación

DR. LUIS ORTEGA REYES

Coordinador de Planeación y Desarrollo

LIC. JOSÉ HUMBERTO CORONA MERCADO

Coordinador de Administración y Sistemas

CENTRO DE INVESTIGACIÓN REGIONAL NORTE-CENTRO

DR. JOSÉ ANTONIO CUETO WONG

Director Regional

DR. JUAN BAUTISTA RENTERÍA ANIMA

Director de Investigación

ING. RICARDO CARRILLO MONSIVÁIS

Director de Administración

CAMPO EXPERIMENTAL ZACATECAS

DR. LUIS ROBERTO REVELES TORRES

Director de Coordinación y Vinculación

Funcionalidad de las cáscaras de la tuna 'Roja Lisa': Parte II (*in vivo*)

MC. Mayra Denise Herrera

Investigadora del Programa Frijol y Garbanzo
Campo Experimental Zacatecas

Dr. Jorge Artemio Zegbe Domínguez

Investigador del Programa de Frutales
Campo Experimental Pabellón

MC. Valentín Melero Meraz

Investigador del Programa de Frutales
Campo Experimental Zacatecas

Dra. Raquel Karina Cruz Bravo

Investigadora del Programa de Inocuidad de
Alimentos
Campo Experimental Zacatecas

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y
Pecuarias
Centro de Investigación Regional Norte Centro
Campo Experimental Zacatecas
Calera de V. R., Zacatecas, México.

Diciembre de 2023

Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Progreso No. 5, Barrio de Santa Catarina
Alcaldía Coyoacán, C. P. 04010 Ciudad de México.
Teléfono (55) 3871-8700

Derechos Reservados ©

Folleto Técnico No. 121

**FUNCIONALIDAD DE LAS CÁSCARAS DE LA TUNA
'ROJA LISA': PARTE II (*in vivo*)**

ISBN: 978-607-37-1617-8

Número de Registro de Derechos de Autor:

03-2023-120109213300-01

Primera Edición 2023

No está permitida la reproducción total o parcial de esta publicación, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de la institución.

Hecho en México

Contenido

	Página
1. Introducción.....	1
2. Antecedentes.....	3
3. Estrategia experimental.....	7
3.1. Animales experimentales	7
3.2. Selección de las cáscaras	7
3.3. Prueba de tolerancia a la glucosa en ratones 'Balb-C'	10
3.4. Prueba oral de tolerancia a lípidos en ratones 'Balb-C'	12
3.5. Análisis de datos.....	13
4. Resultados	13
4.1. Efecto hipoglucemiante de las cáscaras de tuna	13
4.2. Efecto hipolipídico de las cáscaras de tuna	18
5. Conclusiones.....	22
6. Bibliografía	24

Índice de Figuras

Número	Figura	Página
Figura 1.-	Ratón Balb-C	7
Figura 2.-	Tuna 'Roja Lisa'	8
Figura 3.-	Cambios en la concentración de glucosa a través del tiempo (a) y respuesta media del área bajo la curva (b) para Acarbosa (+ control), control negativo (- control), extractos de cáscara de plantas de nopal sin riego y de fruta recién cosechada (SR x C) recolectadas en 2018 y en 2019. En la figura "a", para cada fecha de muestreo, las barras verticales y los asteriscos representan diferencias mínimas y diferencias significativas, respectivamente, por la prueba de Fisher con $p \leq 0.05$. En la figura "b", para cada tratamiento, las barras verticales indican una vez la desviación estándar de la media.....	16
Figura 4.-	Cambios en la concentración de triglicéridos a través del tiempo (a) y respuesta media del área bajo la curva (b) para Orlistat (+control), control negativo (-control) y extractos de cáscaras de tuna 'Roja Lisa' de plantas sin riego (SR) y de fruta recién cosechada (C) recolectados en 2018 y 2019. En la figura "a", para cada fecha de muestreo, las barras verticales representan las diferencias significativas por la prueba de Fisher con $p \leq 0.05$. En la figura "b", para cada promedio de tratamiento, las barras verticales indican una vez la desviación estándar.	20

Índice del Cuadro

Número	Cuadro	Página
Cuadro 1.-	Grupos de tratamiento.....	10
Cuadro 2.-	Análisis de varianza de la primera función canónica basado en el análisis discriminante canónico por año, sistema de riego y condiciones de almacenaje.....	14

1. Introducción

Recientemente, algunos autores han destacado diferentes partes aéreas del nopal (*Opuntia ficus-indica*) como excelentes fuentes de fitoquímicos con actividades biológicas y alto valor agregado para la industria alimentaria, nutracéutica y farmacéutica (Barba *et al.*, 2017; Msaddak *et al.*, 2017; Sánchez-Tapia *et al.*, 2017). El interés en los compuestos bioactivos de *Opuntia* es aún más relevante cuando se considera la necesidad de hacer frente a los desafíos del cambio climático, considerando la tolerancia relativa de las cactáceas a condiciones climáticas y de suelo extremas (Russell y Felker, 1987). Por esta razón, el conocimiento del contenido de compuestos fitoquímicos por efecto de factores abióticos, puede contribuir al cultivo sostenible de estas especies, como el género *Opuntia* spp. Por ejemplo, la ausencia de lluvias y altas temperaturas, en especies del género *Opuntia*, hace que ciertas hormonas y proteínas sean activadas para contribuir a la sobrevivencia temporal de estas especies (Mayer *et al.*, 2021). A su vez, un periodo temporal con déficit de humedad en el suelo induce cambios positivos en el metabolismo secundario de estas plantas (Luna-Zapién *et al.*, 2023).

Lizárraga-Velázquez *et al.* (2020) indicaron que los subproductos vegetales como la cáscara de la tuna son una fuente importante de antioxidantes (terpenos, compuestos fenólicos, fitoesteroles, entre otros) de bajo costo con aplicaciones potenciales como productos farmacéuticos debido a las propiedades antidiabéticas, antihipertensivas, anticancerígenas y antibacterianas que poseen (Colantuono *et al.*, 2016; Dang *et al.*, 2019). Por otro lado, autores como Bouazizi *et al.* (2020), Namir *et al.* (2017) y Parafati (2020) han propuesto tecnologías alimentarias con el objetivo de agregar valor a este subproducto agrícola, tales como snacks de bajo contenido de almidón y productos de panificación.

Por lo anterior, el objetivo de la presente publicación técnica es informar sobre la funcionalidad de cáscaras de tuna. Como antecedente, Herrera *et al.* (2022) abordaron el tema de la caracterización de fitoquímicos de las cáscaras de tuna, principalmente, compuestos fenólicos; además, se evaluó la capacidad funcional *in vitro* de las cáscaras mediante la inhibición de radicales libres, y la actividad de enzimas digestivas, y cómo estas características pueden ser afectadas por

el sistema de producción de la tuna y su almacenamiento poscosecha. Brevemente, los resultados mostraron que las cáscaras de tuna de plantas que no recibieron riego suplementario, y que fueron analizadas a la cosecha, es decir, sin almacenamiento poscosecha, tuvieron en general mayor concentración de polifenoles y un mayor potencial funcional *in vitro*. En consecuencia, la presente publicación exhibe información técnica relacionada con la calidad funcional *in vivo* de las cáscaras de tuna a través de modelos agudos para la evaluación de la capacidad hipoglucémica e hipolipídica de los extractos de cáscaras de tuna.

2. Antecedentes

En un estado de hiperglucemia se involucran factores, tales como: el momento de la ingesta de alimentos, la cantidad y calidad de los carbohidratos y la secreción de hormonas gastrointestinales, entre otros (Gamboa-Gómez *et al.*, 2020). La inhibición de la α -amilasa y la α -glucosidasa, que son enzimas que hidrolizan carbohidratos, puede regular esta condición. Primero, la α -amilasa pancreática hidroliza el almidón a oligosacáridos, que luego son hidrolizados a glucosa

por la α -glucosidasa intestinal (Gamboa-Gómez *et al.*, 2020; Herrera *et al.*, 2021a). Por otro lado, la hiperlipidemia se define como el incremento de triglicéridos y colesterol total, que pueden o no estar asociadas con una concentración elevada de triglicéridos o anomalías de las lipoproteínas (Nelson, 2013). En este sentido, un efecto hipolipídico puede estar relacionado con la regulación de la captación intestinal de triglicéridos, debido, en parte, a su digestión o absorción mediada por la lipasa pancreática, que hidroliza los triglicéridos de la dieta a ácidos grasos (Hernández-Saavedra *et al.*, 2015).

Además, la hiperglucemia y la hiperlipidemia inducen una alta producción de radicales libres que ejercen un estrés oxidativo, por lo que las opciones terapéuticas alternativas, incluidos los productos naturales con compuestos bioactivos, son vías para controlar alteraciones en pacientes con trastorno metabólico de la glucosa y los lípidos (Chen *et al.*, 2019; Gamboa-Gómez *et al.*, 2020).

Previamente, la ingesta de los cladodios del nopal deshidratado (*Opuntia ficus indica*), como

complemento de una dieta de estilo occidental, demostró atenuar la aparición de trastornos metabólicos en ratas experimentales, al reducir el riesgo de síndrome metabólico y los niveles de colesterol, mejorando la tolerancia a la glucosa (Cysneiros *et al.*, 2019). Por otro lado, Núñez-López *et al.*, 2013 evaluaron el potencial hipoglucemiante de cladodios en ratas sanas y diabéticas. Los resultados también mostraron una atenuación en la aparición de trastornos metabólicos.

Estos resultados permiten considerar esta especie como un cultivo con propiedades funcionales y explorar si la cáscara de la tuna pudiera considerarse como un subproducto agrícola con potencial de ingrediente funcional, no solo para la agregación de valor, sino también para hacer un uso adecuado de este subproducto, además de reducir la emisión de gases de efecto invernadero que produce el desperdicio de este subproducto primario.

Bajo este contexto, las cáscaras de tunas han sido estudiadas en lo relativo a su caracterización fitoquímica, es decir, identificar y cuantificar

biomoléculas presentes en esta materia prima (Amaya-Cruz *et al.*, 2019). En este sentido, Mena *et al.* (2018) identificaron 36 flavonoides individuales en la cáscara de seis variedades de tuna; mientras que Dormousoglou *et al.* (2023) identificaron ocho flavonoides individuales, principalmente de la familia de la quercetina. Estos autores indicaron que esta información representa el punto de partida para el desarrollo de subproductos derivados de la tuna con altos niveles de compuestos polifenólicos como fuertes antioxidantes.

Adicionalmente, existen reportes en los que se menciona el uso de cáscaras de tuna para la elaboración de algunos productos alimentarios, tales como: galletas (Bouazizi, 2020), refrigerios sin almidón (Namir *et al.*, 2017) y pan (Parafati *et al.*, 2020). Sin embargo, menos investigación ha sido dedicada a dilucidar las propiedades funcionales de la cáscara de tuna *in vivo*, por lo que en esta obra se resalta la capacidad de este subproducto para disminuir la glucosa y triglicéridos en el torrente sanguíneo.

3. Estrategia experimental

3.1. Animales experimentales

Los ratones experimentales que se utilizaron en este estudio fueron machos de la cepa 'Balb-C' (Figura 1).



Figura 1.- Ratón 'Balb-C'

Fuente: Taconic (<https://www.taconic.com/mouse-model/balbc>). Consultado en agosto de 2023.

Los animales experimentales fueron obtenidos del bioterio "Claude Bernard" localizado en el Campus Siglo XXI de la Universidad Autónoma de Zacatecas. Los roedores fueron manipulados bajo las condiciones estándar para animales de laboratorio especificadas en la Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999.

3.2. Selección de las cáscaras

Para llevar a cabo este estudio, las cáscaras de la tuna 'Roja Lisa' (Figura 2) fueron recolectadas de fruta que

provenía de un experimento de campo donde las plantas fueron, previamente, sometidas a riego suplementario, además, se tomó muestra de plantas sin riego. Durante la cosecha de 2018 y 2019, parte de la fruta se analizó al momento de la cosecha mientras que las cáscaras fueron liofilizadas y almacenadas a -70 °C hasta la determinación de los perfiles fitoquímicos. Las condiciones de almacenamiento y el criterio para el término de la prueba están previamente descritas por Herrera *et al.* (2022) y Melero-Meraz *et al.* (2022).



Figura 2.- Tuna 'Roja Lisa'

Posteriormente, las cáscaras fueron recolectadas, liofilizadas y almacenadas a $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta la determinación de los perfiles fitoquímicos. Esto último consistió en determinar los compuestos fenólicos (fenoles totales, flavonoides, proantocianidinas y antocianinas), capacidad antioxidante e inhibición de enzimas digestivas. Todas estas determinaciones fueron hechas bajo la estructura y diseño experimental completamente aleatorio previamente descrito (Melero-Meraz *et al.*, 2022).

La información fitoquímica fue colectivamente analizada con la técnica multivariada canónico discriminante (MCD). Este análisis permitió identificar qué cáscaras habrían de usarse para el estudio *in vivo*. Por tanto, las muestras de cáscaras que se usaron fueron aquellas de plantas que no recibieron riego suplementario y de fruta recién cosechada (C) en los ciclos de producción de 2018 y 2019.

De cada muestra de cáscaras, se hizo un extracto acetónico descrito en Herrera *et al.* (2022). Después de rotaevaporar, los extractos ya liofilizados, se mezclaron

en una solución fisiológica de NaCl al 0.9 % para disolver el producto seco (2 g/kg).

3.3. Prueba de tolerancia a la glucosa en ratones 'Balb-C'

La evaluación de la tolerancia a la glucosa se realizó en ratones 'Balb-C' machos sanos con un peso corporal similar (27 ± 1 g) y se formaron cuatro grupos, cada uno con seis ratones adultos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Grupos de tratamiento

Grupo	Tratamiento
Control negativo	Solución fisiológica (100 μ L de NaCl al 9%)
Control positivo	Acarbosa 4 (mg/kg)
Extracto de cáscara cosecha 2018	Extracto de cáscara de plantas sin riego suplementario procesadas a la cosecha (2g/kg)
Extracto de cáscara cosecha 2019	Extracto de cáscara de plantas sin riego suplementario procesadas a la cosecha (2g/kg)

Un grupo de ratones recibió una solución fisiológica (100 μ L de NaCl al 9 %, control negativo). El control

positivo recibió 4 mg/kg de Acarbosa (fármaco comercial utilizado para la regulación de glucosa). Dos grupos adicionales recibieron el tratamiento con los extractos de cáscaras seleccionados de las cosechas 2018 y 2019.

Los roedores experimentales fueron privados de alimento (ayuno) por 12 h antes de las determinaciones (Herrera *et al.*, 2021b). La administración de los tratamientos fue vía oral con cánula intragástrica para roedores. Primero, se canuló a cada ratón con Acarbosa (control positivo) o solución fisiológica (control negativo). En el caso de los animales tratados con las cáscaras de tuna, estos fueron canulados con el extracto en la dosis indicada en el Cuadro 1. Posteriormente, se administró una solución de glucosa al 2% preparada en solución fisiológica a toda la población de individuos experimentales (N = 24), el volumen de la solución se calculó para cada individuo en una dosis de 2 g/kg. La concentración de la glucosa se determinó tomando muestras individuales de sangre de la vena de la cola de cada roedor. La concentración de la glucosa (mg/dL) se determinó a los 0, 30, 60, 90 y 120 min con un glucómetro Accu-

chek Instant (Roche Diagnosis, Alemania) y tiras reactivas específicas para este equipo. El área bajo la curva (ABC) se calculó utilizando la función trapezoidal (Allison *et al.*, 1995), y la evaluación de la forma de la curva se realizó de acuerdo con lo reportado por Tschritter *et al.* (2003).

3.4. Prueba oral de tolerancia a lípidos en ratones 'Balb-C'

La evaluación de la tolerancia a lípidos en ratones macho Balb-C se evaluó en cuatro grupos de seis ratones cada uno. Los 24 ratones fueron sometidos a un ayuno de 12 horas antes de la prueba. El primer grupo de ratones fue tratado con 100 μ L de una solución fisiológica (control negativo). El segundo grupo fue tratado con 20 mg/kg de Orlistat o tetrahidrolipstatina (inhibidor de las lipasas, control positivo). Los grupos de tratamiento con cáscaras de tuna recibieron los extractos en una dosis de 2 g/kg de peso corporal. Cinco minutos más tarde, cada ratón fue administrado con una carga de aceite de maíz vía intragástrica (5 g/kg). Los niveles de triglicéridos sanguíneos (mg/dL) fueron determinados a los 0, 30, 60, 90 y 120 min en muestras de sangre obtenidas de

la vena de la cola usando un aparato Accutrend Plus System (Roche Diagnosis, Alemania) y tiras reactivas específicas para este equipo. Adicionalmente, el ABC y el índice de la forma de la curva fueron calculados como se describió en la sección anterior.

3.5. Análisis de datos

Cada experimento fue conducido en un diseño completamente aleatorio (CA) y la información se analizó por tiempos de muestreo con un modelo CA. Cada tratamiento fue repetido seis veces y cada ratón se consideró como una unidad experimental. La prueba *post hoc* de Fisher con $p \leq 0.05$ fue aplicada para determinar la agrupación entre tratamientos. Todos los cálculos se ejecutaron en el sistema SAS (SAS Institute ver. 9.4, 2002–2010, Cary, NC, USA). Las gráficas fueron procesadas en el sistema SigmaPlot 14.0.

4. Resultados

4.1. Efecto hipoglucemiante de las cáscaras de tuna

El análisis discriminante canónico mostró que las tres variables independientes fueron multivariadas significativas ($p < 0.0001$) con base en la prueba

Lambda de Wilks y explicaron el 68 %, 45 % y 77 % de la variación total entre años y sistemas de riego, y entre condiciones de almacenamiento, respectivamente. Es importante mencionar que el análisis multivariado se realizó considerando los datos de la caracterización de polifenoles de las cáscaras de tuna, resultados reportados en el Folleto Técnico No.111 (Parte I) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Valores canónicos medios estandarizados y significancia generados con base en la primera función canónica por año, sistema de riego y condiciones de almacenamiento de la tuna.

Fuente de variación	Primera variante canónica
Año	
2018	2.2 a
2019	-1.09b
Diferencia mínima significativa	0.3
Significancia	0.0001
Sistema de producción	
No irrigado	0.7 a
Riego suplementario	-1.2b
Diferencia mínima significativa	0.5
Significancia	0.0001
Condición de almacenamiento	
Cosecha	2.0a
Temperatura ambiente	-1.7b
Cuarto frío	1.4a
Diferencia mínima significativa	0.7
Significancia	0.0001

Letras diferentes dentro de la columna para el año, el sistema de riego y el efecto de la condición de almacenamiento indican una

diferencia significativa por la diferencia mínima significativa de la prueba de Fisher en $p < 0.05$.

Posteriormente, el análisis de varianza de la primera función canónica de cada variable independiente reveló que “las mejores” cáscaras de frutas para realizar los ensayos *in vivo* fueron las recolectadas en 2018 y 2019 producidas bajo temporal y de frutas recién cosechadas.

La prueba de tolerancia a la glucosa oral se utiliza para definir el estado de tolerancia a la glucosa en función del nivel de glucosa en plasma dentro de los primeros 120 min (Jagannathan *et al.*, 2020).

Los resultados de la prueba de tolerancia oral a la glucosa realizada en ratones sanos 'Balb-C', a los que se les administraron extractos de cáscara de fruta, se muestran en la Figura 3. Se observó dos tipos de formas, por lo que se evaluó la clasificación de las curvas para plantas de nopal sin riego (SR) y en cáscaras de fruta recién cosechada (C) y recolectada en 2018 y 2019. El control positivo (Acarbosa) y negativo, así como los extractos de cáscaras SR y C recolectadas en 2019 se clasificaron como monofásicos.

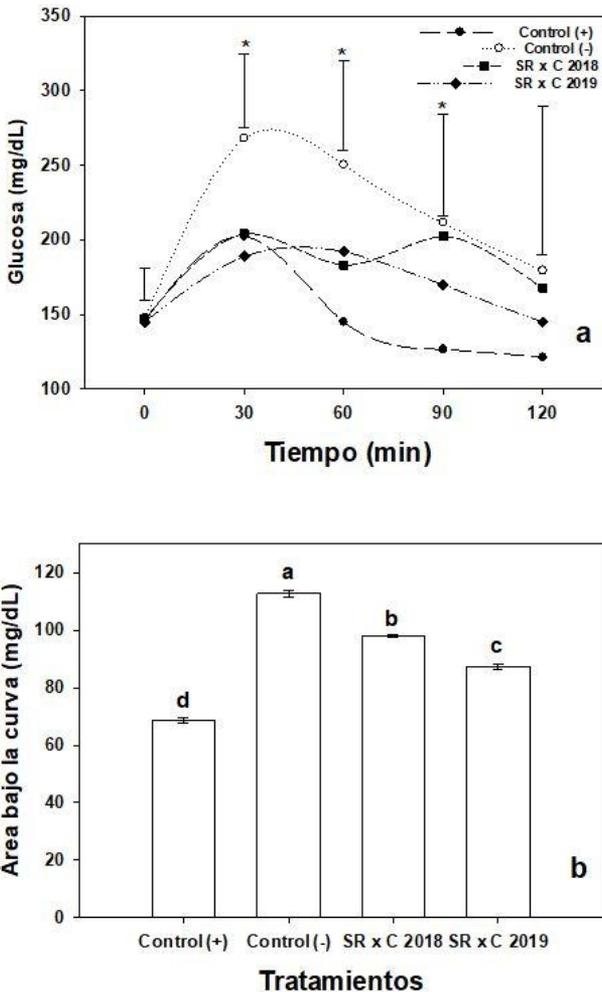


Figura 3.- Cambios en la concentración de glucosa a través del tiempo (a) y respuesta media del área bajo la curva (b) para Acarbosa (+ control), control negativo (- control), extractos de cáscara de plantas de nopal sin riego y de fruta recién cosechada (SR x C) recolectadas en 2018 y en 2019. En la figura “a”, para cada fecha de muestreo, las barras verticales y los asteriscos representan diferencias mínimas y diferencias significativas, respectivamente, por la prueba de Fisher con $p \leq 0.05$. En la figura “b”, para cada tratamiento, las barras verticales indican una vez la desviación estándar de la media.

Después de la prueba, los resultados mostraron que el pico hipoglucémico apareció 30 min después de la administración de Acarbosa y en los ratones control; mientras que los grupos que recibieron los extractos de 2019, el pico se presentó a los 60 min después de la administración del extracto de cáscaras. La tendencia de la curva por la administración de extractos de cáscaras de frutos recién cosechados y plantas sin riego en 2018 tuvo forma trifásica. La glucosa sanguínea disminuyó entre los 30 y los 60 min, pero se observó un aumento entre los 60 y los 90 min. Posteriormente, la glucosa disminuyó de manera consistente hasta los 120 min (Figura 3a).

La Figura 3b del ABC sugirió que los dos extractos de cáscara de fruta fueron eficientes en la reducción de los niveles de glucosa en la sangre en comparación con los ratones control negativo, por lo que se considera que las cáscaras de la tuna pueden catalogarse como un subproducto con potencial hipoglucemiante, ya que tuvieron la capacidad de disminuir el pico hiperglicémico (Figura 3a). Además, los extractos de cáscara de fruta de plantas sin riego y fruta recién cosechada en 2019, fueron más eficientes en la reducción de los niveles de glucosa en sangre en

comparación con la cosecha 2018 (Figura 3b). Esto pudiera estar influenciado por la variabilidad en las condiciones agroclimáticas entre ambos años, ya que la síntesis de compuestos bioactivos, como los polifenoles, depende tanto de factores abióticos como bióticos, y estos difieren año con año.

El efecto benéfico hipoglucemiante que ejercen los extractos de las cáscaras producidas bajo condiciones de temporal puede atribuirse al alto contenido en compuestos fenólicos. Los polifenoles se han estudiado por su potencial para regular la captación de glucosa (Zakłós-Szyda *et al.*, 2019). Similarmente, otros subproductos de *Opuntia* tienen propiedades hipoglucemiantes, como el aceite de semilla (Berraaouan *et al.*, 2014) y los cladodios en pacientes diabéticos (López-Romero 2014). Las cápsulas comerciales OpinDia™, también reducen los niveles de glucosa en sangre en pacientes humanos prediabéticos (Godard *et al.*, 2010).

4.2. Efecto hipolipídico de las cáscaras de tuna

Se realizó una prueba de tolerancia a lípidos, específicamente triglicéridos en ratones sanos 'Balb-C' para evaluar la capacidad de las cáscaras de la tuna 'Roja

Lisa' para inhibir la degradación intestinal y/o la absorción de grasa (Figura 4). El control negativo mostró los mayores niveles de triglicéridos, la mayor concentración en sangre se registró a los 30 min después de administrar el aceite de maíz con un aumento 1.23 veces, en comparación con los ratones control positivo que recibieron Orlistat (Figura 4a). De manera similar, la mayor concentración de triglicéridos de los grupos administrados con los extractos de cáscara apareció a los 30 min después de la carga de aceite. Para los grupos control positivo y negativo, y el que recibió cáscaras de la cosecha 2018, la curva se catalogó como monofásica; el grupo tratado con cáscaras cosecha 2019 mostró una tendencia trifásica.

El ABC indicó que los valores promedio de los triglicéridos séricos se redujeron significativamente ($p < 0.05$) en ratones tratados con cáscaras de frutos recién cosechadas de plantas cultivadas sin riego en 2018 y 2019 (Figura 4b). Lo anterior puede estar asociado a la capacidad de los fitoquímicos presentes en las muestras para inhibir la lipasa pancreática. Al respecto, Angulo-Bejarano *et al.* (2019) mencionaron que la ingesta de *Opuntia* es eficaz para reducir la concentración de triglicéridos en la sangre.

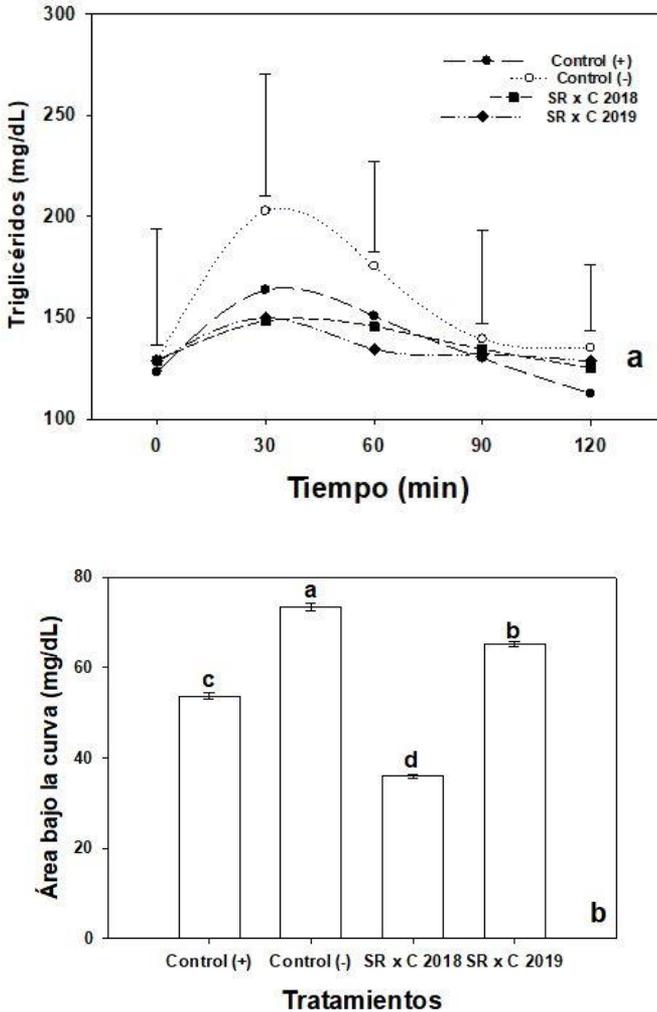


Figura 4.- Cambios en la concentración de triglicéridos a través del tiempo (a) y respuesta media del área bajo la curva (b) para Orlistat (+control), control negativo (-control) y extractos de cáscaras de tuna 'Roja Lisa' de plantas sin riego (SR) y de fruta recién cosechada (C) recolectados en 2018 y 2019. En la figura "a", para cada fecha de muestreo, las barras verticales representan las diferencias significativas por la prueba de Fisher con $p \leq 0.05$. En la figura "b", para cada promedio de tratamiento, las barras verticales indican una vez la desviación estándar.

Adicionalmente, el consumo de *Opuntia* reduce la concentración de colesterol y mejora el metabolismo de los lípidos (el Imane *et al.*, 2019; Urquiza-Martínez *et al.*, 2020).

Sin embargo, estos resultados se obtuvieron de estudios realizados utilizando los cladodios de nopal, lo que refuerza la hipótesis de que los órganos de las plantas de *Opuntia* pueden ser aprovechadas integralmente.

Si bien, la evaluación *in vivo* de las cáscaras de tuna demostró la funcionalidad que tienen en un modelo subclínico agudo, la capacidad hipoglicémica y la hipolipídica fue diferenciada por el año de cosecha, a pesar de esto, ambas variables respuesta se vieron favorecidas al utilizar el extracto de tuna, y en el caso de la capacidad hipolipídica, el efecto de la cáscara de tuna cosechada en 2018 fue aún mejor que al utilizar el fármaco Orlistat.

5. Conclusiones

La investigación dedicada a evaluar la capacidad funcional de cáscaras de tuna, obtenidas de dos ciclos consecutivos, en un modelo *in vivo* agudo, reveló que este subproducto tiene potencial para ser utilizado como ingrediente funcional en la elaboración de nuevos productos alimenticios o para utilizarse como un polvo con capacidad funcional, que aportará un beneficio adicional a la salud de quien lo consuma.

La concentración de fitoquímicos fenilpropanoides, junto con la prueba de inhibición de enzimas digestivas y la capacidad antioxidante *in vitro* reportados por Herrera *et al.* (2022), en conjunto con los datos del efecto hipoglucémico e hipolipídica *in vivo*, dejan de manifiesto la importancia de continuar con los esfuerzos por identificar los beneficios adicionales que pudiera tener la cáscara de tuna en un modelo *in vivo* crónico-subclínico, mediante la inducción de alguna enfermedad crónico-degenerativa de interés.

Además, el análisis de variantes canónicas sugirió que las cáscaras de frutas destinadas a este propósito deben provenir de tunas recién cosechadas de plantas de nopal no irrigadas, lo cual también puede implicar una

ventaja económica para este cultivo, debido al valor agregado que se le puede dar a la cáscara e integralmente a este cultivo bajo el sistema de producción sin riego. Lo anterior, considerando que el riego implica mayor inversión y costos de producción, pero sin menoscabo del rendimiento (32.3 t ha⁻¹) comparado con aquel generado sin riego (10.6 t ha⁻¹).

6. Bibliografía

- Allison, D.B., Paultre F., Maggio, C., Mezzitis, N., Pi-Sunyer, F.X. (1995). The use of areas under curves in diabetes research. *Diabetes Care*, 18:245-250.
- Amaya-Cruz, D.M., Pérez-Ramírez, I.F., Delgado-García, J., Mondragón-Jacobo, C., Dector-Espinoza, A., Reynoso-Camacho, R. (2019) An integral profile of bioactive compounds and functional properties of prickly pear (*Opuntia ficus indica* L.) peel with different tonalities. *Food Chemistry*, 278: 568–578.
- Angulo-Bejarano, P.I., Gómez-García, M.R., Valverde, M.E., Paredes-López, O. (2019). Nopal (*Opuntia* spp.) and its effects on metabolic syndrome: new insights for the use of a millenary plant. *Curr Pharm Des*, 25:3457–3477.
- Berraaouan, A., Ziyayat, A., Mekhfi, H., Legssyer, A., Sindic, M., Aziz, M., Bnouham, M. (2014). Evaluation of antidiabetic properties of cactus pear seed oil in rats. *Pharmaceutical Biology*, 52:1286–1290.
- Barba, F. J., Putnik, P., Bursać Kovačević, D., Poojary, M. M., Roohinejad, S., Lorenzo, J.M., Koubaa, M. (2017). Impact of conventional and non-conventional processing on prickly pear (*Opuntia* spp.) and their derived products: From preservation of beverages to

valorization of by-products. *Trends in Food Science and Technology*, 67: 260–270.

Bouazizi, S. (2020). Effects of prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L.) peel flour as an innovative ingredient in biscuits formulation. *LWT Food Science and Technology*, 124, 109155.

Chen, H., Nie, Q., Hu, J., Huang, X., Zhang, K., Pan, S., Nie, S. (2019) Hypoglycemic and Hypolipidemic Effects of Glucomannan Extracted from Konjac on Type 2 Diabetic Rats. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67: 5278-5288.

Colantuono, A., Ferracane, R., Vitaglione, P. (2016). *In vitro* bioaccessibility and functional properties of polyphenols from pomegranate peels and pomegranate peels-enriched cookies. *Food and Function*, 7: 4247–4258.

Cysneiros, G.F., Gonzalez, J.L.C., Marcelino da Silva, A.A., Cavalcante, T.C.F., Quevedo, O.G., Lira, E.C., Soares, J.K., Franco, E.d.S., do Nascimento, E., Flores, H.E.F.M. (2019). The addition of cactus flour (*Opuntia ficus indica*) to the Western-style diet attenuates the onset of metabolic disorders in rats. *Nutrition and Food Science*, 49: 564-579.

- Dang, Y., Zhou, T., Hao, L., Cao, J., Sun, Y., Pan, D. (2019). *In vitro* and *in vivo* studies on the angiotensin-converting enzyme inhibitory activity peptides isolated from broccoli protein hydrolysate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67: 6757–6764.
- Dormousoglou, M., Efthimiou, I., Antonopoulou, M., Dailianis, S., Herbst, G., Vlastos, D. (2023). Phytochemical analysis and genotoxicological evaluation of prickly pear peel extracts. *Plants* 12: 1-16.
- el Imane, H.N., Louala, S., Bensalah, F., Affane, F., Chekkal, H., Lamri-Senhadji, M. (2019). Anti-hypertensive, anti-diabetic, hypocholesterolemic and antioxidant properties of prickly pear nopalitos in type 2 diabetic rats fed a high-fat diet. *Nutrition and Food Science*, 49:476–490.
- Gamboa-Gómez, C.I., Guerrero-Romero, F., Sánchez-Meraz, M.A., Simental-Mendía, L.E. (2020). Hypoglycemic and antioxidant properties of konjac (*Amorphophallus konjac*) *in vitro* and *in vivo*. *Journal of Food Biochemistry*, 44: e13503.
- Godard, M.P., Ewing, B.A., Pischel, I., Ziegler, A., Benedek, B., Feistel, B. (2010) Acute blood glucose lowering effects and long-term safety of OpunDia™

supplementation in pre-diabetic males and females. *Journal of Ethnopharmacology*, 130:631–634.

Hernández-Saavedra, D., Pérez-Ramírez, A.F., Ramos-Gómez, M., Mendoza.Días, S., Loarca-Piña, G., Reynoso-Camacho, R. (2015). Phytochemical characterization and effect of *Calendula officinalis*, *Hypericum perforatum*, and *Salvia officinalis* infusions on obesity associated cardiovascular risk. *Medicinal Chemistry Research*, 25: 163-172.

Herrera, M.D., Reynoso-Camacho, R., Melero-Meraz, V., Guzmán-Maldonado, S.H., Acosta-Gallegos, J.A. (2021a). Impact of soil moisture on common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) phytochemicals. *Journal of Food Composition and Analysis*, 99: 103883.

Herrera, M.D., Jiménez-Ocampo, R., Rosales-Serna R., Rodríguez-González, J.A., Santos de la Cruz, J.L., Cruz-Bravo, R.K., Alvarado-Aguilar, P., Gamboa-Gómez, C.I., Guerrero-Romero, F. (2021b). A simple thermal detoxified method for castor bean (*Ricinus communis* L.) cake and its potential nutraceutical properties. *Industrial Crops and Products*, 174: 114151.

Herrera, M.D., Zegbe-Domínguez, J.A., Melero-Meraz, V., Cruz-Bravo, R.K., Salas-Lumbreras, G.C. 2022. Funcionalidad de las cáscaras de la tuna 'Roja Lisa':

Parte I (*in vitro*) Folleto Técnico 111. Campo Experimental Zacatecas, CIRNOC, INIFAP. 30 pp.

Jagannathan, R., Weber, M.B., Anjana, R.M., Ranjani, H., Staimez, L.R., Ali, M.K., Mohan, V., Narayan, K.M.V. (2020). Clinical utility of 30-min plasma glucose for prediction of type 2 diabetes among people with prediabetes: ancillary analysis of the diabetes community lifestyle improvement program. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 161:108075.

Lizárraga-Velázquez, C.E., Leyva-López, N., Hernández, C., Gutiérrez-Grijalva, E.P., Salazar-Leyva, J.A., Osuna-Ruiz, I., Martínez-Montaño, E., Arrizon, J., Guerrero, A., Benitez-Hernández, A. (2020). Antioxidant molecules from plant waste: Extraction techniques and biological properties. *Processes*, 8: 1566.

López-Romero, P., Pichardo-Ontiveros, E., Avila-Nava, A., Vázquez-Manjarrez, N., Tovar, A.R., Pedraza-Chaverri, J., Torres, N. (2014). The effect of nopal (*Opuntia ficus indica*) on postprandial blood glucose, incretins, and antioxidant activity in mexican patients with type 2 diabetes after consumption of two different composition breakfasts. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 114:1811–1818.

- Luna-Zapién, E.A., Zegbe, J.A., Meza-Velázquez, J.A., Contreras-Esquivel, J.C., Morales-Martínez, T.K. 2023. Mucilage yield, composition, and physicochemical properties of cultivated cactus pear varieties as influenced by irrigation. *Agronomy*, 13: 419.
- Mayer, J.A., Wone, B.W.M., Alexander, D.C., Guo, L., Ryals, J.A., Cushman, J.C. 2021. Metabolic profiling of epidermal and mesophyll tissues under water-deficit stress in *Opuntia ficus-indica* reveals stress-adaptive metabolic responses. *Functional Plant Biology*, 48: 717-731.
- Melero-Meraz, V., Zegbe, J.A., Herrera, M.D., Guzmán-Maldonado, S.H., Medina-García, G., Sánchez-Toledano, B.I., Cruz-Bravo, R.K., Servín-Palestina, M. 2022. On-Farm supplemental irrigation of 'Roja Lisa' cactus pear: Pre- and postharvest Effects. *Horticulturae*, 8: 483-492.
- Mena, P., Tassotti, M., Andreu, L., Nuncio-Jáuregui, N., Legua, P., Del Río, D., Hernández, F. (2018). Phytochemical characterization of different prickly pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) cultivars and botanical parts: UHPLC-ESI-MSn metabolomics profiles and their chemometric analysis. *Food Research International*, 108: 301-308.

- Msaddak, L., Abdelhedi, O., Kridene, A., Rateb, M., Belbahri, L., Ammar, E., & Zouari, N. (2017). *Opuntia ficus-indica* cladodes as a functional ingredient: Bioactive compounds profile and their effect on antioxidant quality of bread. *Lipids in Health and Disease*, 16: 1–8.
- Namir, M., Elzahar, K., Ramadan, M.F., Allaf, K. (2017). Cactus pear peel snacks prepared by instant pressure drop texturing. Effect of process variables on bioactive compounds and functional properties. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11: 388-400.
- Nelson, R.H. (2013). Hyperlipidemia as a Risk Factor for Cardiovascular Disease. *Prim Care*, 40: 195-211.
- NORMA Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999, Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio.
- Núñez-López, M.A., Paredes-López, O., Reynoso-Camacho, R. (2013). Functional and hypoglycemic properties of nopal cladodes (*O. ficus-indica*) at different maturity stages using in vitro and in vivo tests. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61: 10981-6.

- Parafati, L., Restuccia, C., Palmeri, R., Fallico, B., Arena, E. (2020). Characterization of prickly pear peel flour as a bioactive and functional ingredient in bread preparation. *Foods*, 9: 1189.
- Rusell, C.E. y Felker, P. 1987. The prickly-pears (*Opuntia* spp., Cactaceae): A source of human and animal food in semiarid regions. *Economic Botany*, 41:433-445.
- Sánchez-Tapia, M., Aguilar-López, M., Pérez-Cruz, C., Pichardo-Ontiveros, E., Wang, M., Donovan, S. M., Torres, N. (2017). Nopal (*Opuntia ficus indica*) protects from metabolic endotoxemia by modifying gut microbiota in obese rats fed high fat/sucrose diet. *Scientific Reports*, 7: 4716.
- Tschritter, O., Fritsche, A., Shirkavand, F., Machicao, F., Häring, H., Stumvoll, M. (2003). Assessing the shape of the glucose curve during an oral glucose tolerance test. *Diabetes Care*, 26: 1026-1033.
- Urquiza-Martínez, M.V., Martínez-Flores, H.E., Guzmán-Quevedo, O., Tosacano, A.E., Manhães de Castro, R., Torner, L., Mercado-Camargo, R., Pérez-Sánchez, R.E., Bartolome-Camacho, M.C. (2020). Addition of *Opuntia ficus-indica* reduces hypothalamic microglial activation and improves metabolic

alterations in obese mice exposed to a high-fat diet. *Journal of Food and Nutrition Research* 8:473–483.

Zakłós-Szyda, M., Pawlik, N., Polka, D., Nowak, A., Koziółkiewicz, M., Podsędek, A. (2019). *Viburnum opulus* fruit phenolic compounds as cytoprotective agents able to decrease free fatty acids and glucose uptake by caco-2 cells. *Antioxidants*, 8: 262.

La cita correcta de este folleto es:

Herrera, M.D., Zegbe-Domínguez, J.A., Melero-Meraz, V., Cruz-Bravo, R.K. 2023. Funcionalidad de las cáscaras de la tuna 'Roja Lisa': Parte II (*in vivo*). Folleto Técnico 121. Campo Experimental Zacatecas, CIRNOC, INIFAP. 33 pp.

Comité Editorial del CIRNOC

M.C. Yasmin Ileana Chew Madinaveitia
Dr. Esteban Salvador Osuna Ceja
Dr. José Ángel Sigala Rodríguez
Dr. Pedro Jurado Guerra
M.C. Mayra Denise Herrera
M.C. María Gabriela Ramírez Valadez
Dr. Arturo Corrales Suastegui
M.C. Omar Cástor Ponce García

Comité Editorial del CE Zacatecas

Presidente: M.C. Mayra Denise Herrera
Secretario: Dr. Luis Roberto Reveles Torres
Vocal: Dr. Miguel Servín Palestina
Vocal: Dr. Juan José Figueroa González
Vocal: Dra. Raquel Karina Cruz Bravo

Edición

MC. Mayra Denise Herrera

Revisión Técnica

Dr. Juan José Figueroa González

Diseño y fotografía

Dr. Jorge Artemio Zegbe Domínguez

Código INIFAP

MX-0-230219-51-02-11-09-121

El proceso editorial de esta publicación y el formato electrónico se terminó en diciembre de 2023, en el Campo Experimental Zacatecas, Kilometro 24.5 Carretera Zacatecas - Fresnillo. C.P. 98500, Calera de Víctor Rosales, Zacatecas. México.

Tel: 55-38-71-87-00 ext. 82328

Publicación Electrónica disponible en
la biblioteca digital del INIFAP:

https://vun.inifap.gob.mx/BibliotecaWeb/_Content
www.gob.mx/inifap



Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Centros de Investigación y Campos Experimentales del INIFAP



Directorio del CE Zacatecas

Dr. Luis Roberto Reveles Torres Director de Coordinación y Vinculación

Dr.	Guillermo Medina García	Agrometeorología y Modelaje
Dra.	Nadiezhdá Y. Ramírez Cabral	Agrometeorología y Modelaje
MC.	José Israel Casas Flores	Agrometeorología y Modelaje
Dr.	Alfonso Serna Pérez	Fertilidad de suelos y nutrición vegetal
Dr.	Francisco G. Echavarría Cháirez	Fertilidad de suelos y nutrición vegetal
MC.	José Ángel Cid Ríos	Fríjol y Garbanzo
Dr.	Juan José Figueroa González	Fríjol y Garbanzo
MC.	Mayra Denise Herrera	Fríjol y Garbanzo
MC	Valentín Melero Meráz	Frutales
Ing.	Manuel Reveles Hernández	Hortalizas
Dr.	Miguel Servín Palestina	Ingeniería de Riego
Dra.	Raquel Cruz Bravo	Inocuidad de Alimentos
MC	Enrique Medina Martínez	Maíz
MC.	Francisco A. Rubio Aguirre	Pastizales y Cultivos Forrajeros
Dr.	Ramón Gutiérrez Luna	Pastizales y Cultivos Forrajeros
MC.	Ricardo A. Sánchez Gutiérrez	Pastizales y Cultivos Forrajeros
Dr.	Luis Roberto Reveles Torres	Recursos Genéticos: Forestales, Agrícolas, Pecuarios y Microbianos
Dr.	Jaime Mena Covarrubias	Sanidad Forestal y Agrícola
Dra.	Blanca I. Sánchez Toledano	Socioeconomía



www.gob.mx/inifap

Las cáscaras de la fruta del nopal (*Opuntia ficus-indica*) se han visto como un subproducto orgánico. Este estudio exploró el efecto de la cáscara de tuna 'Roja Lisa' sobre la capacidad funcional *in vivo* mediante la evaluación del potencial hipoglucémico e hipolipidémico en un modelo subclínico agudo con ratones Balb-C. Después de una previa caracterización de la cáscara y evaluación de su funcionalidad *in vitro*, los resultados indicaron que las cáscaras de tuna provenientes de plantas de nopal sin riego podrían aprovecharse potencialmente para beneficiar la salud humana, en lugar de tratarlas como desechos orgánicos.

