

FUNCIONALIDAD DE LAS CÁSCARAS DE LA TUNA 'ROJA LISA': PARTE I (*in vitro*)

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



Centro de Investigación Regional Norte Centro
Campo Experimental Zacatecas

Calera de Víctor Rosales, Zacatecas.

Folleto Técnico Núm. 111

Diciembre 2022

ISBN: 978-607-37-1522-5

Registro de Derechos de Autor: 03-2022-120610545600-01



AGRICULTURA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN

iniap
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA

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

**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. FRANCISCO JAVIER PASTOR LÓPEZ

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 I (*in vitro*)**

MC. Mayra Denise Herrera

Investigadora del Programa Frijol y Garbanzo
Campo Experimental Zacatecas

MC. Valentín Melero Meraz

Investigador del Programa de Frutales
Campo Experimental Zacatecas

Dr. Jorge Artemio Zegbe Domínguez

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 Víctor Rosales, Zacatecas, México

Diciembre 2022

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

Folleto Técnico Núm. 111

Funcionalidad de las cáscaras de la tuna 'Roja Lisa':
Parte I (*in vitro*)

Derechos Reservados ©

ISBN: 978-607-37-1522-5

Registro de Derechos de Autor:
03-2022-120610545600-01

Primera Edición 2022

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

1.	<i>Introducción</i>	1
2.	<i>Antecedentes</i>	2
3.	<i>Estrategia experimental</i>	5
	<i>3.1 Lugar de experimentación, material vegetal y manejo del huerto</i>	5
	<i>3.2 Experimento poscosecha</i>	6
	<i>3.3 Extracción y cuantificación de compuestos fenólicos totales</i>	9
	<i>3.4 Propiedades funcionales</i>	10
	<i>3.4.1 Determinación de capacidad antioxidante por el método de DPPH y ABTS</i>	10
	<i>3.4.2 Ensayos de inhibición de enzimas digestivas in vitro</i>	11
	<i>3.5 Análisis de datos</i>	12
4.	<i>Resultados</i>	12
	<i>4.1 Concentración de compuestos fenólicos</i>	12
	<i>4.2 Capacidad funcional in vitro</i>	15
5.	<i>Conclusiones</i>	24
6.	<i>Bibliografía</i>	25

Índice de Cuadros

<i>Número</i>	<i>Cuadro</i>	<i>Página</i>
1	Descripción de tratamientos poscosecha	7
2	Efectos principales y de interacción entre Sistema de producción y condición de almacenamiento de tunas, sobre la concentración de polifenoles en cáscaras de la fruta.	20
3	Efectos principales y de interacción entre sistema de producción y condición de almacenamiento de tunas, sobre la capacidad funcional in vitro de las cáscaras de la fruta.	22

Índice de Figura

<i>Número</i>	<i>Figura</i>	<i>Página</i>
1	Tunas 'Roja lisa' sin procesar (arriba), semi procesadas (en medio) y cáscaras (abajo).	8
2	Muestras de cáscaras de tunas molidas para posteriores análisis.	9

1. **Introducción**

El nopal (*Opuntia ficus-indica*) es la cactácea con mayor relevancia económica en el mundo (Potgieter y D'Aquino 2017). México es el principal productor y consumidor de su fruto, donde más de 96 mil toneladas anuales son cosechadas tan sólo de tuna roja. También, exporta cerca del 4% de la producción, principalmente a los Estados Unidos de América (SIAP, 2021). El fruto de *O. ficus-indica* se caracteriza por una pulpa carnosa y jugosa entremezclada con un gran número de pequeñas semillas y envuelta por una cáscara gruesa. Normalmente es consumida como fruta fresca, pero también se puede utilizar en la fabricación de diferentes productos alimenticios, mientras que las semillas se utilizan para la extracción de aceite. Sin embargo, las cáscaras, que representan alrededor de 50 a 100 g de la materia prima, se consideran como “residuo” agroindustrial que generalmente se desecha, a pesar de que son fuente de compuestos bioactivos (Bouazizi *et al.*, 2020; De-Wit *et al.*, 2020; Díaz-Vela *et al.*, 2015). Por lo tanto, a esta parte del fruto, menos investigación ha sido dedicada, sobre todo a dilucidar compuestos fitoquímicos y

propiedades funcionales contenidos en estas estructuras. Por lo anterior, el objetivo de la presente publicación técnica es informar sobre la funcionalidad de cáscaras de tuna. En primera instancia, esta publicación (Parte I) aborda el tema de la caracterización de fitoquímicos de las cáscaras de tuna, principalmente compuestos fenólicos, y su capacidad funcional *in vitro*, mediante la evaluación de la capacidad de las cáscaras de inhibir radicales libres y la actividad de enzimas digestivas y, cómo las dos variables pueden ser afectadas por el sistema de producción de la tuna y su almacenamiento poscosecha. Por otro lado, la Parte II tratará el tema de la funcionalidad *in vivo* a través de modelos agudos para la evaluación de la capacidad hipoglucémica e hipolipidémica de los extractos de cáscaras de tuna.

2. Antecedentes

El término fitoquímicos, se define como compuestos químicos de las plantas, y entre una gran diversidad de fitoquímicos se puede resaltar a los compuestos fenólicos, los cuales son de gran importancia en el área de la ciencia de alimentos por sus beneficios a la salud.

Los compuestos polifenólicos se clasifican en extraíbles y no extraíbles. Estos últimos están integrados por proantocianidinas no extraíbles y polifenoles hidrolizables. Los extraíbles se absorben en el intestino delgado y el estómago, y los no extraíbles llegan casi intactos al colon y son transformados por la microbiota intestinal en metabolitos fenólicos de bajo peso molecular, lo que facilita su absorción. Ambos son responsables de los beneficios para la salud asociados con el consumo de alimentos ricos en polifenoles, como la salud gastrointestinal y la prevención de factores de riesgo de enfermedades cardiovasculares, como la hiperlipidemia y la hipertensión (Amaya-Cruz *et al.*, 2019; López-Romero *et al.*, 2014). Sin embargo, la gran variación en los niveles de compuestos fenólicos está relacionada con las diferencias entre el genotipo del cultivar, pero también está influenciada por diversos factores, como la composición del suelo, las prácticas agrícolas, estado de madurez de la fruta, las condiciones climáticas y el almacenamiento poscosecha (Külen *et al.*, 2013). Por lo tanto, el efecto de los factores ambientales tiene una influencia importante en su concentración final, por ejemplo,

Herrera *et al.* (2019) mencionaron que, si bien la aplicación de diferentes regímenes de riego durante el crecimiento de las plantas se ha realizado principalmente para evaluar su impacto agronómico, también, se ha realizado para evaluar su efecto sobre la síntesis de compuestos bioactivos específicos.

En cuanto al almacenamiento poscosecha, Cruz-Bravo *et al.* (2019) estudiaron cómo el almacenamiento altera los compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante de los frutos de tuna. Después de almacenar las frutas a 24 y 10 °C, se encontró una mayor concentración de fenoles totales y flavonoides, así como de ácidos fenólicos (gálico, hidroxibenzoico y protocatecoico) en comparación con la fruta recién procesada después de la cosecha, estos autores asociaron la concentración de compuestos con una mayor capacidad antioxidante.

Todo lo anterior define la funcionalidad de un alimento, al proveer un beneficio adicional a la nutrición básica. Se ha mencionado anteriormente que todos los alimentos son funcionales y proveen sabor, olor y valor nutricional. Sin embargo, los alimentos comúnmente consumidos se han analizado intensamente con el fin de descubrir sus beneficios, como la capacidad de

disminuir el riesgo de enfermedades crónicas (Chávez-Mendoza y Sánchez, 2017). Pero también ha incrementado la atención a las partes de los cultivos agrícolas que comúnmente se han categorizado como residuos o materia prima para alimentación de ganado, ya que se ha encontrado que son fuente importante de fitoquímicos.

3. Estrategia experimental

3.1 Lugar de experimentación, material vegetal y manejo del huerto

La fruta se recolectó en una huerta comercial de nopal 'Roja Lisa' manejada con prácticas agrícolas locales (poda de cladodios, aclareo de frutos, riego por goteo, fertilización mineral y orgánica, y control de malezas y plagas), ubicado en 'La Victoria', Pinos, Zacatecas, México (22° 22' de latitud norte, 101° 67' de longitud oeste, 2,161 m de elevación) en 2018 y 2019. El experimento en campo consistió en el sistema de producción con dos niveles: sin riego o temporal (T, como control) y riego suplementario (RS). El diseño experimental fue completamente al azar con cuatro

repeticiones, cada una tuvo dos plantas uniformes de 15 años de edad. Una sección de la huerta fue irrigada por goteo tres a cuatro veces cada ciclo de cultivo durante la época seca (abril-junio) siguiendo el criterio del productor.

3.2 Experimento poscosecha

En cada ciclo, se cosecharon al azar 18 frutos por repetición (72 frutos por tratamiento), en estado de madurez al envero (de verde a rojo) y se transportaron al laboratorio de poscosecha del Campo Experimental Zacatecas del INIFAP.

Para el experimento poscosecha, se consideró un segundo factor denominado 'condición de almacenamiento' con tres niveles: sin almacenamiento (frutas procesadas el día de la cosecha), temperatura ambiente y cámara frigorífica. Las condiciones de almacenamiento a temperatura ambiente y humedad relativa en ambos ciclos de evaluación, se indican en el Cuadro 1. La precipitación pluvial durante el experimento bajo temporal fue de 155 y 50 mm para 2018 y 2019, respectivamente. El riego suplementario fue con 374 y 297 mm para los mismos años.

Cuadro 1. Descripción de tratamientos poscosecha de tuna

Tratamiento	Año	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Días de almacenamiento
Sin almacenamiento		-	-	
Temperatura ambiente	2018	24 ± 2	40 ± 10	28
Cámara frigorífica		7 ± 2	90 ± 4	98
Sin almacenamiento		-	-	
Temperatura ambiente	2019	25 ± 2	38 ± 7	28
Cámara frigorífica		7 ± 2	90 ± 4	77

En cada temporada, la fruta se colectó al tercer evento de cosecha. Tres lotes de 24 frutos cada uno por tratamiento de riego (18 frutos por repetición) fueron tomados para analizar la fruta a la cosecha y los otros dos lotes, cada uno de 24 frutos, fueron sometidos a un proceso de almacenamiento a temperatura ambiente y en cámara fría hasta que la fruta perdió, en promedio 8% de su peso inicial como límite máximo de pérdida de peso para esta fruta. El peso de cada fruta, se monitoreó semanalmente.

Después de cada período de almacenamiento, muestras de cáscara fueron recolectadas (Figura 1), almacenadas a -70 °C por al menos 12 horas y liofilizadas. Posteriormente se pulverizaron con un molino doméstico (KRUPS, modelo: gx410011) y las

muestras fueron almacenadas en bolsas de polietileno con cierre, protegiendo de la luz y a 4°C (Figura 2).



Figura 1. Tunas 'Roja lisa' sin procesar (arriba), abiertas exponiendo pulpa (en medio) y cáscaras (abajo).



Figura 2. Muestras de cáscaras de tunas liofilizadas y molidas para posteriores análisis.

3.3 Extracción y cuantificación de compuestos fenólicos totales

Los extractos de las cáscaras de tuna se obtuvieron a partir de 1 g de muestra mezclada con 10 mL de acetona/agua/ácido acético (70:29,5:0,5, v/v/v, respectivamente). Se siguió el procedimiento de extracción acetónica descrito por Xu y Chang (2007). El contenido de fenoles totales se determinó mediante el ensayo de Folin-Ciocalteu (Singleton *et al.*, 1999). La concentración se expresó en mg equivalentes de ácido

gálico por gramo de muestra seca (mg EAG/g). Las proantocianidinas se determinaron con el método de vainillina-HCl descrito por Deshpande y Cheryan (1985), y los flavonoides totales se cuantificaron mediante el ensayo colorimétrico AlCl₃ descrito por Liu et al. (2002). La concentración de proantocianinas y flavonoides totales se expresó en mg equivalentes de (+)-catequina por gramo de muestra seca (mg ECA/g). El contenido de antocianinas se determinó a partir de un extracto etanólico descrito por Abdel-Aal y Hucl (1999). El contenido de antocianinas se expresó en mg equivalentes de cianidina-3-glucósido por 100 g de muestra seca utilizando un coeficiente de 26.900 L/cm mol y un peso molecular de 449.2 g/mol. La medición de absorbancias para todos los métodos se realizó en un Multiskan Go (ThermoScientific, N10588).

3.4 Propiedades funcionales

3.4.1 Determinación de capacidad antioxidante por el método de DPPH y ABTS

La capacidad antioxidante se determinó mediante la evaluación de la capacidad de los extractos de cáscara

de tuna, para contrarrestar al radical estable 1,1-diphenil-2-picrylhydrazyl (DPPH) de acuerdo con el método descrito por Brand-Williams et al. (1995), y del radical ABTS (ácido 2,2-azinobis-3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico (Machado *et al.*, 2008). Los resultados se expresaron como IC50 (concentración media inhibitoria).

3.4.2 Ensayos de inhibición de enzimas digestivas *in vitro*

La capacidad inhibitoria de la α -glucosidasa de extractos de cáscara de tuna se determinó según lo propuesto por Apostolidis et al. (2007). Se utilizó como sustrato una solución de p-nitrofenil- α -D-glucopiranosido 5 mmol/L.

Para evaluar la inhibición de la lipasa pancreática, se trabajó con lipasa pancreática porcina tipo II, según lo propuesto por McDougall et al. (2009).

Para ambos ensayos, se utilizó un MultiScan Go (Thermo Scientific, Finlandia). Además, de un control de inhibidor que contenía una solución tampón (citrato-fosfato y Tris para α -glucosidasa y lipasa pancreática, respectivamente) en lugar del extracto. La

capacidad inhibidora de las enzimas digestivas se expresó como porcentaje de inhibición.

3.5 Análisis de datos

Los datos se analizaron mediante un modelo completamente aleatorio con arreglo factorial en los tratamientos, con el procedimiento de modelo lineal general del sistema de análisis estadístico (SAS Institute ver. 9.3, 2002-2010, Cary, NC, EE. UU.). El primer factor consistió en el sistema de producción con dos niveles (T y RS); el segundo factor fue las condiciones de almacenamiento de la fruta con tres niveles (sin almacenamiento, temperatura ambiente y cámara frigorífica). Las medias de tratamiento se agruparon por la prueba estadística de Scheffé con $p \leq 0.05$.

4. Resultados

4.1 Concentración de compuestos fenólicos

En el año 2018 no se observó interacción significativa entre los factores sistema de riego y condición de almacenamiento de la fruta, en relación con la concentración de compuestos fenólicos.

El riego disminuyó las concentraciones de flavonoides, proantocianidinas (independientemente del análisis de separación de medias) y antocianinas (Cuadro 2). Este tipo de metabolitos secundarios tienen un papel importante en la adaptación de las plantas al medio ambiente y en su recuperación al estrés. Las plantas que crecen en condiciones de temporal, generalmente producen más compuestos fenólicos para protegerse contra los radicales libres y las especies reactivas de oxígeno generadas durante la fotosíntesis (Albergaria *et al.*, 2020).

Por otro lado, la condición de almacenamiento afectó la concentración de fenoles totales, flavonoides y proantocianidinas en las cáscaras de tuna. La concentración de fenoles totales y proantocianidinas fue estadísticamente similar en las frutas sin almacenar y disminuyeron después del almacenamiento a temperatura ambiente. Esto último no concuerda con lo reportado por Cruz-Bravo *et al.* (2019) quienes encontraron que la concentración de taninos condensados (proantocianinas) fue significativamente ($p < 0.05$) mayor en tuna roja lisa procesada a la cosecha, en comparación con aquellos

frutos almacenados a temperatura ambiente y en cámara frigorífica. La concentración de flavonoides fue mayor en las cáscaras de frutas almacenadas a temperatura ambiente. Debido a que esta fruta se almacenó en condiciones similares a las utilizadas por los distribuidores locales (temperatura ambiente en sombra) (Cuadro 1), ésta, aun en almacenamiento, experimentó la radiación fotosintética activa de días soleados ($2.8 \pm 1.1 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$). Esto último explica, en parte, la mayor concentración de estos compuestos, ya que la luz es un regulador fuerte de la vía de síntesis de los fenilpropanoides (Sun *et al.*, 2017).

Con base en los resultados de la cosecha 2019, se observó interacciones significativas entre el sistema de riego y las condiciones de almacenamientos para la concentración de fenoles, flavonoides y proantocianidinas totales en las cáscaras de las frutas. La mayor cantidad de fenoles totales se obtuvo mediante la interacción del riego suplementario y el almacenamiento a temperatura ambiente, mientras que las interacciones sin riego, sin almacenamiento o en la cámara frigorífica produjeron la mayor cantidad de flavonoides y proantocianidinas, respectivamente.

Los resultados concuerdan con los reportados por Amaya-Cruz *et al.* (2019), quienes encontraron mayor contenido de fenoles y flavonoides totales en cáscaras de tuna 'Roja Lisa' recolectadas en la etapa madurez de consumo, lo que podría deberse a las diferentes etapas de madurez de la fruta y al clima, ya que estos autores trabajaron con tunas cosechadas en el centro de México. Las concentraciones de antocianina fueron mayores en la cáscara de la fruta que se almacenó en refrigeración (Cuadro 2). El aumento de las antocianinas totales ha sido asociado con las bajas temperaturas. Los tratamientos con frío activan el transporte de antocianinas a las vacuolas, al activar la enzima glutatión S-transferasa, que está involucrada en la conjugación, transporte y almacenamiento de fenoles y flavonoides (Karlund *et al.*, 2014).

4.2 Capacidad funcional *in vitro*

La interacción entre el sistema de riego y la condición de almacenamiento fue significativa para todos los ensayos con los que se evaluó la calidad funcional de la cáscara. En general, las cáscaras de tuna de plantas sin riego tuvieron mayor capacidad para atrapar radicales

libres e inhibir la actividad de las enzimas digestivas *in vitro* (Cuadro 3). En 2018, la mayor capacidad de inhibición de radicales ABTS se observó en las cáscaras de la fruta de plantas cultivadas sin riego a cualquier temperatura de almacenamiento, tanto temperatura ambiente, como cámara frigorífica. Sin embargo, la fruta recién cosechada de plantas sin riego produjo cáscaras con la mayor capacidad para inhibir el radical ABTS en el ciclo 2019. En un estudio realizado por Yahia y Mondragon-Jacobo (2011) se comparó la capacidad antioxidante de 10 variedades de tunas mexicanas. Los resultados mostraron que la tuna 'Roja Lisa' tuvo 3.5 veces más capacidad antioxidante que el cultivar con la capacidad más baja. Para la inhibición del radical DPPH, la interacción sobresaliente fue 'temporal' x 'almacenamiento a temperatura ambiente' en 2018, mientras que 'temporal' x 'sin almacenamiento' fue superior en 2019 (Cuadro 2). La capacidad antioxidante de las plantas puede cambiar después de la cosecha, dependiendo de las condiciones de procesamiento y almacenamiento (Jiménez-Zamora *et al.*, 2016). En este estudio, la síntesis de compuestos fenólicos se vio afectada tanto por el tiempo de almacenamiento

como por la temperatura, esto es importante debido a que los polifenoles son parte de los compuestos que confieren la capacidad antioxidante de los alimentos que los contienen. En general, los polifenoles se sintetizan durante el desarrollo normal y en respuesta a condiciones de estrés, pero son inestables durante el almacenamiento a diferentes temperaturas. Diferentes factores abióticos inducen cambios en la expresión de fenilalanina amonioliasa, el regulador clave de la vía de los fenilpropanoides y, en genes implicados en la síntesis de flavonoides y antocianinas (Karlund *et al.*, 2014). Además, los cambios en la concentración de compuestos fenólicos, modifican la capacidad antioxidante de los alimentos. Por otro lado, las cáscaras de tuna exhibieron una alta capacidad para inhibir el radical DPPH. Esto se ha relacionado con la concentración de polifenoles, puesto que tienen la capacidad de bloquear las reacciones oxidativas causadas por la generación de radicales libres a través de la transferencia de átomos de hidrógeno o electrones (Aruwa *et al.*, 2019) En 2019, la capacidad antioxidante de la pulpa de fruta se vio afectada durante el almacenamiento prolongado. Sin embargo,

Cruz-Bravo et al. (2019) reportaron un resultado contrario en la pulpa de tunas 'Amarilla Olorosa' y 'Roja Lisa' expuestos a almacenamiento prolongado. Los resultados obtenidos sugieren que la presencia o ausencia de riego durante el crecimiento del fruto tiene una fuerte influencia en la capacidad final para capturar ambos radicales libres.

La evaluación del efecto de un alimento sobre la inhibición de enzimas digestivas *in vitro* como la α -glucosidasa y la lipasa pancreática es un enfoque preliminar para determinar su potencial funcional. La α -glucosidasa hidroliza los oligosacáridos a glucosa, mientras que la lipasa pancreática hidroliza los triglicéridos a ácidos grasos libres. La inhibición de estas enzimas digestivas podría reducir la absorción de glucosa y lípidos (Herrera et al., 2021). Inesperadamente, los resultados de la presente investigación mostraron exactamente la misma tendencia en las capacidades de inhibición de la α -glucosidasa y la lipasa pancreática. Las capacidades de inhibición fueron ligeramente menores en la fruta cosechada en 2018. La mayor capacidad de inhibición de las dos enzimas se registró en las cáscaras de la fruta

recién cosechada de plantas cultivadas en temporal (con una precipitación de 155 y 50 mm para 2018 y 2019, respectivamente). Resultados similares se observaron en 2019 (Cuadro 3). La deficiencia en el suministro de agua aumentó la inhibición de la α -glucosidasa y la lipasa pancreática.

Estos resultados muestran que ambos factores considerados en este estudio tienen un efecto importante sobre la síntesis de metabolitos secundarios, específicamente los metabolitos de la vía de los fenilpropanoides o compuestos fenólicos, por lo tanto, el sistema de producción (temporal o riego suplementario) y el almacenamiento postcosecha deben ser considerados si se desea extraer compuestos bioactivos a partir de la cáscara de tuna y aprovechar este residuo agrícola. No obstante, se recomienda un estudio económico para evaluar su factibilidad lucrativa en términos de la utilización de la fruta para tal fin.

Cuadro 2. Efectos principales y de interacción entre Sistema de producción y condición de almacenamiento de tunas, sobre la concentración de polifenoles en cáscaras de la fruta.

Fuente de variación	Fenoles totales (mg EAG/g)		Flavonoides (mg ECA/g)		Proantocianidinas (mg ECA/g)		Antocianinas (mg EC3G/g)	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Efectos principales								
Sistema de producción								
Temporal (T)	4.0 ± 0.7 a	2.2 ± 0.3 a	0.45 ± 0.18 a	1.16 ± 1.04 a	9.3 ± 1.4 a	11.0 ± 2.9 a	0.26 ± 0.04 a	0.19 ± 0.09 a
Riego suplementario (RS)	4.5 ± 0.7 a	2.3 ± 1.0 a	0.27 ± 0.07 b	0.46 ± 0.23 b	8.6 ± 1.3 a	9.9 ± 1.9 b	0.23 ± 0.01 b	0.19 ± 0.07 a
DMS	0.4	0.32	0.08	0.33	0.94	0.66	0.02	0.02
P>F	NS	NS	0.02	0.0003	0.01	0.003	0.01	NS
Condición de almacenamiento								
Sin almacenamiento (SA)	4.7 ± 0.7 a	2.2 ± 0.8 b	0.27 ± 0.06 b	1.18 ± 1.20 a	10.0 ± 15 a	11.5 ± 1.3 a	0.25 ± 0.03 a	0.13 ± 0.03 b
Temperatura ambiente (TA)	3.8 ± 0.6 ab	2.8 ± 0.5 a	0.50 ± 0.17 a	0.47 ± 0.04 ab	8.3 ± 1.1 b	8.3 ± 1.6 b	0.25 ± 0.04 a	0.15 ± 0.03 b
Cámara frigorífica (CF)	4.4 ± 0.1 b	1.8 ± 0.3 b	0.26 ± 0.06 b	0.76 ± 0.11 b	9.4 ± 0.9 ab	11.6 ± 2.8 a	0.25 ± 0.02 a	0.30 ± 0.05 a
DMS	0.7	0.5	0.12	0.51	1.5	1.0	0.03	0.03
P>F	0.01	0.001	0.001	0.003	0.004	0.0001	NS	0.0001

Efectos de interacción

RS x SA	4.7 ± 0.9 a	2.0 ± 1.1 b	0.26 ± 0.05 a	0.21 ± 0.05 b	9.3 ± 1.5 a	11.5 ± 1.3 ab	0.23 ± 0.02 a	0.13 ± 0.03 a
RS x TA	4.0 ± 0.2 a	3.3 ± 0.3 a	0.34 ± 0.06 a	0.46 ± 0.03 b	7.5 ± 0.3 a	8.7 ± 1.7 b	0.23 ± 0.00 a	0.17 ± 0.03 a
RS x CF	4.5 ± 0.1 a	1.6 ± 0.2 b	0.22 ± 0.05 a	0.76 ± 0.12 b	8.5 ± 0.2 a	9.4 ± 1.4 b	0.23 ± 0.00 a	0.29 ± 0.04 a
T x SA	4.8 ± 0.5 a	2.4 ± 0.3 a	0.30 ± 0.06 a	2.25 ± 1.21 a	10.9 ± 0.8 a	11.5 ± 1.5 ab	0.27 ± 0.03 a	0.13 ± 0.03 a
T x TA	3.7 ± 0.7 a	2.4 ± 0.3 a	0.54 ± 0.17 a	0.47 ± 0.04 b	8.5 ± 1.1 a	7.8 ± 1.3 b	0.26 ± 0.04 a	0.13 ± 0.03 a
T x CF	4.4 ± 0.1 a	1.9 ± 0.2 b	0.30 ± 0.06 a	0.77 ± 0.10 b	10.2 ± 0.2 a	13.6 ± 2.2 a	0.27 ± 0.04 a	0.30 ± 0.06 a
DMS	1.9	1.0	0.3	1.0	3.6	2.1	0.1	0.17
P>F	NS	0.003	NS	0.0001	NS	0.0001	NS	NS

Los valores se expresan como la media ± desviación estándar. Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa ($p < 0.05$) con la diferencia media significativa (DMS) de la prueba de Scheffé. EAG, equivalentes de ácido gálico; ECA, equivalentes de catequina, EC3G, equivalentes de cianidina 3 glucósido.

Cuadro 3. Efectos principales y de interacción entre sistema de producción y condición de almacenamiento de tunas, sobre la capacidad funcional *in vitro* de las cáscaras de la fruta.

Fuente de variación	Capacidad antioxidante (IC50)				Inhibición de enzimas digestivas (%)			
	ABTS		DPPH		Lipasa		lucosidasa	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Efectos principales								
Sistema de producción								
Temporal (T)	2.3 ± 0.9 a	1.7 ± 0.5 a	2.7 ± 0.6 a	3.3 ± 0.8 a	24.9 ± 5.1 a	41.9 ± 6.7 a	43.6 ± 16.5 a	64.6 ± 16.2 a
Riego suplementario (RS)	1.6 ± 0.4 b	1.1 ± 0.1 b	1.3 ± 0.2 b	2.0 ± 0.9 b	16.5 ± 3.4 b	27.2 ± 3.0 b	30.3 ± 5.2 b	45.6 ± 16.7 b
DMS	0.13	0.1	0.17	0.2	2.0	1.6	1.8	2.3
P > F	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Condición de almacenamiento								
Sin almacenamiento (SA)	1.1 ± 0.2 c	1.7 ± 0.6 a	2.0 ± 0.9 b	3.7 ± 0.6 a	25.6 ± 6.1 a	36.1 ± 9.9 a	50.5 ± 16.5 a	71.3 ± 6.0 a
Temperatura ambiente (TA)	1.9 ± 0.5 b	1.1 ± 0.1 c	2.3 ± 1.0 a	2.1 ± 0.5 b	16.2 ± 4.0 c	31.7 ± 2.9 b	32.4 ± 3.2 b	51.7 ± 25.0 b
Cámara frigorífica (CF)	2.7 ± 0.7 a	1.4 ± 0.3 b	1.7 ± 0.5 a	2.2 ± 1.0 b	20.2 ± 3.5 b	35.8 ± 11.9 a	27.8 ± 3.8 c	42.2 ± 2.5 c
DMS	0.2	0.4	0.2	0.2	14.7	2.0	2.2	2.8

P > F 0.0001 0.0001 0.0001 0.0001 0.0001 0.0001 0.0001 0.0001

Efectos de interacción

RS x SA	1.1 ± 0.2 d	1.2 ± 0.1 c	1.2 ± 0.2 d	3.2 ± 0.4 b	19.9 ± 0.9 b	27.1 ± 2.0 d	36.2 ± 0.4 b	66.1 ± 0.8 b
RS x TA	1.5 ± 0.2 c	1.1 ± 0.1 c	1.4 ± 0.3 d	1.6 ± 0.3 d	12.6 ± 2.2 b	30.0 ± 2.5 c	29.8 ± 2.1 c	30.1 ± 2.3 d
RS x CF	2.1 ± 0.2 b	1.1 ± 0.1 c	1.3 ± 0.2 d	1.2 ± 0.2 e	17.0 ± 0.9 b	24.4 ± 1.1 e	24.8 ± 2.1 d	40.6 ± 2.8 c
T x SA	1.1 ± 0.2 d	2.3 ± 0.1 a	2.8 ± 0.3 b	4.2 ± 0.3 a	31.4 ± 1.4 a	45.2 ± 3.9 a	64.7 ± 0.9 a	76.6 ± 0.1 a
T x TA	3.2 ± 0.2 a	1.1 ± 0.1 c	3.2 ± 0.3 a	2.5 ± 0.3 c	19.8 ± 0.7 b	33.5 ± 2.3 b	35.1 ± 1.0 b	43.8 ± 0.1 c
T x CF	3.3 ± 0.3 a	1.7 ± 0.1 b	2.1 ± 0.3 c	3.2 ± 0.4 b	23.4 ± 1.3 b	47.2 ± 1.1 a	30.8 ± 1.3 c	73.3 ± 1.5 a
DMS	0.2	0.1	0.3	0.3	4.7	2.6	2.6	3.3
P > F	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001

Los valores se expresan como la media ± desviación estándar. Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa ($p < 0.05$) con la diferencia media significativa (DMS) de la prueba de Scheffer.

5. Conclusiones

A través de este estudio se cuantificaron algunos metabolitos secundarios en las cáscaras de tuna que, en conjunto, pueden aprovecharse en beneficio humano como compuestos bioactivos funcionales. A lo largo de dos años, las concentraciones de compuestos fenólicos totales, flavonoides, antocianinas y proantocianinas, fueron diferenciadas tanto por el sistema de producción como por el tipo de almacenamiento poscosecha. La producción bajo temporal, y el procesamiento a la cosecha, permite en general una mayor concentración de polifenoles. Estos factores influyen de manera significativa la capacidad funcional, por lo que deben considerarse si se pretende aislar y purificar fitoquímicos de importancia en la ciencia de los alimentos. Adicionalmente, la concentración de polifenoles varía según el año de experimentación, este debido a que estos compuestos se sintetizan de manera diferencial según las condiciones agroclimáticas.

Esta información es importante para los países productores de todo el mundo porque sólo en México, 42,728 toneladas de cáscaras de frutos rojos por año

podrían aprovecharse en beneficio de la salud humana, en lugar de descartarse como desecho orgánico.

6. Bibliografía

Abdel-Aal, E.S.M. and Hucl, P. 1999. A rapid method for quantifying total anthocyanins in blue aleurone and purple pericarp wheats. *Cereal Chem.* 76:350-354.

Albergaria, E.T., Oliveira, A.F.M. and Albuquerque, U.P. 2020. The effect of water deficit stress on the composition of phenolic compounds in medicinal plants. *S African J Bot.* 131:12-17.

Amaya-Cruz, D.M., Pérez-Ramírez, I.F., Delgado-García, J., Mondragón-Jacobo, C., Dector-Espinoza, A. and 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 Chem.* 278:568-578.

Apostolidis, E., Kwon, Y.I. and Shetty, K. 2007. Inhibitory potential of herb, fruit, and fungal-enriched cheese against key enzymes linked to type 2 diabetes and hypertension. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 8:46-54.

Aruwa, C.E., Amoo, S. and Kudanga, T. 2019. Phenolic compound profile and biological activities of Southern African *Opuntia ficus-indica* fruit pulp and peels. *Lwt-Food Sci. Technol.* 111:337-344.

Bouazizi, S., Montevecchi, G., Antonelli, A. and Hamdi, M. 2020. Effects of prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L.) peel flour as an innovative ingredient in biscuits formulation. *Lwt-Food Sci. Technol.* 124:109155.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E. and Berset, C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lwt-Food Sci. Technol.* 28:25-30.

Chávez-Mendoza, C. and Sánchez, E. 2017. Bioactive compounds from Mexican varieties of the common bean (*Phaseolus vulgaris*): Implications for health. *Molecules*, 22(8), 1360.

Cruz-Bravo, R.K., Guzmán-Maldonado, S.H., Araiza-Herrera, H.A. and Zegbe, J.A. 2019. Storage alters physicochemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant capacity of cactus pear fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 150:105-111.

De-Wit, M., Du-Toit, A. and Osthoff, H.A. 2020. Antioxidant content, capacity and retention in fresh

and processed cactus pear (*Opuntia ficus-indica* and *O. robusta*) fruit peels from different fruit-colored cultivars. *Front. Sustain. Food Syst.* 4:133.

Deshpande, S.S. and Cheryan, M. 1985. Evaluation of vanillin assay for tannin analysis of dry beans. *J. Food Sci.* 50:905-910.

Díaz-Vela, J., Totosaus, A. and Pérez-Chabela, M.L. 2015. Integration of agroindustrial co-products as functional food ingredients: Cactus pear (*Opuntia ficus indica*) flour and pineapple (*Ananas comosus*) peel flour as fiber source in cooked sausages inoculated with lactic acid bacteria. *J. Food Process. Preserv.* 39:2630-2638.

Herrera, M.D., Acosta-Gallegos, J.A., Reynoso-Camacho, R. and Pérez-Ramírez, I.F. 2019. Common bean seeds from plants subjected to severe drought, restricted- and full-irrigation regimes show differential phytochemical fingerprint. *Food Chem.* 294:368-377.

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

Karlund, A., Moor, U., Sandell, M. and Karjalainen, R.O. 2014. The impact of harvesting, storage and processing factors on health-promoting phytochemicals in berries and fruits. *Process* 2:596-624.

Külen, O., Stushnoff, C. and Holm, D.G. 2013. Effect of cold storage on total phenolics content, antioxidant activity and vitamin C level of selected potato clones. *J. Sci. Food Agric.* 93:2437-2444.

Liu, M., Li, X.Q., Weber, C., Lee, C.Y., Brown, J. and Liu, R.H. 2002. Antioxidant and antiproliferative activities of raspberries. *J. Agric. Food Chem.* 50:2926-2930.

López-Romero, P., Pichardo-Ontiveros, E., Avila-Nava, A., Vázquez-Manjarrez, N., Tovar, A.R., Pedraza-Chaverri, J. and 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. *J. Acad. Nutr. Diet.* 14:1811-1818.

Machado, C.M., Ferruzzi, M.G. and Nielsen, S.S. 2008. Impact of the hard-to-cook phenomenon on phenolic antioxidants in dry beans (*Phaseolus vulgaris*). *J. Agric. Food Chem.* 56:3102-3110.

McDougall, G.J., Kulkarni, N.N. and Stewart, D. 2009. Berry polyphenols inhibit pancreatic lipase activity *in vitro*. *Food Chem.* 115:193-199.

Potgieter, J. and D'Aquino, S. 2017 Fruit production and post-harvest management. In: Crop ecology, cultivation and uses of cactus pear, 2nd Ed. The Food and Agriculture Organization of the United Nations and the International Centre for Agricultural Research in the Dry Areas, Rome, pp 51–71.

SIAP.2021. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <https://www.gob.mx/siap>.

Singleton, V.L., Orthofer, R. and Lamuela-Raventós, R.M. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods Enzymol.* 299:152-178.

Sun, R.Z., Cheng, G., Li, Q., He, Y.N., Wang, Y., Lan, Y.B., Li, S.Y., Zhu, Y.R., Song, W.F., Zhang, X., Cui, X.D., Chen, W. and Wang, J. 2017. Light-induced variation in phenolic compounds in cabernet sauvignon grapes (*Vitis vinifera* L.) involves extensive transcriptome reprogramming of biosynthetic enzymes, transcription

factors, and phytohormonal regulators. *Front. Plant. Sci.* 8:547.

Xu, B.J. and Chang, S.K.C. 2007. A comparative study on phenolic profiles and antioxidant activities of legumes as affected by extraction solvents. *J. Food Sci.* 72:S159-S166.

Yahia, E.M. and Mondragon-Jacobo, C. 2011. Nutritional components and anti-oxidant capacity of ten cultivars and lines of cactus pear fruit (*Opuntia* spp.). *Food Res. Int.* 44:2311-2318.

La cita correcta de este folleto es:

Herrera, M.D., Melero-Meraz, V., Zegbe-Domínguez, J.A. y Cruz-Bravo, R.K. 2022. Funcionalidad de las cáscaras de la tuna 'Roja Lisa': Parte I (*in vitro*). Folleto Técnico Núm. 111. Campo Experimental Zacatecas, CIRNOC, INIFAP. 30 pp.

Comité Editorial del CIRNOC

M.C. Yasmin Ileana Chew Madinaveitia
Dr. Esteban Salvador Osuna Ceja
Dr. José Ángel Sígala Rodríguez
Dr. Pedro Jurado Guerra
Dra. Blanca Isabel Sánchez Toledano
M.C. María Gabriela Ramírez Valadez
Dr. Arturo Corrales Suastegui

Comité Editorial del CE Zacatecas

Presidente: Dra. Blanca I. Sánchez Toledano
Secretario: Dr. Luis R. Reveles Torres
Vocal: MC. Mayra Denise Herrera
Vocal: Dr. Francisco Guadalupe Echavarría Cháirez
Vocal: MC. Ricardo Alonso Sánchez Gutiérrez

Edición

MC. Mayra Denise Herrera

Diseño y fotografía

Dr. Jorge Artemio Zegbe Domínguez
MC. Mayra Denise Herrera

Código INIFAP

MX-0- 230219-51-02-11-09-111

El proceso editorial de esta publicación y el formato electrónico se terminó en diciembre de 2022, en el Campo Experimental Zacatecas, Km 24.5 Carretera Zacatecas-Fresnillo, Calera, Zacatecas, CP. 98500
Tel: 55-38-71-87-00 ext 82328

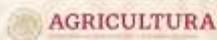
Publicación Electrónica disponible en
la biblioteca digital del INIFAP:

<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. Nadiezhda 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
Dr. Jorge A. Zegbe Domínguez	Frutales
MC Valentín Melero Meráz	Frutales
Ing. Manuel Reveles Hernández	Hortalizas
MC. 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



Las cáscaras de la fruta del nopal (*Opuntia ficus-indica*) se han visto como desechos orgánicos. Este estudio exploró el efecto del riego suplementario durante el crecimiento de tuna 'Roja Lisa' sobre la concentración de fitoquímicos, específicamente compuestos polifenólicos, y propiedades funcionales *in vitro* (capacidad antioxidante y porcentaje de inhibición de enzimas digestivas) de extractos de cáscara de frutas recolectadas en la cosecha y después de las condiciones de almacenamiento. Los tratamientos fueron temporal y riego suplementario; las condiciones de almacenamiento fueron cámara frigorífica o temperatura ambiente, y se incluyó al estudio muestras de cáscaras de tuna recién cosechadas (sin almacenamiento). Después de la caracterización de la cáscara y evaluación de su funcionalidad *in vitro*, los resultados indicaron que las cáscaras de tuna podrían aprovecharse potencialmente para beneficiar la salud humana, en lugar de tratarlas como desechos orgánicos.