

FRUTAS DE CACTÁCEAS: COMPUESTOS BIOACTIVOS Y SUS PROPIEDADES NUTRACÉUTICAS

Luis Jorge Corzo-Rios*, **María Esther Bautista-Ramírez**,
Yolanda de la Mercedes Gómez y Gómez, **Luis Gilberto
Torres-Bustillos**

Instituto Politécnico Nacional, Unidad Profesional Interdisciplinaria de
Biotecnología (UPIBI del IPN), México.

lcorzo@ipn.mx*, maestherbr@gmail.com, ygomezipn@hotmail.com,
ltorresbustillos@gmail.com

<https://doi.org/10.3926/oms.360>

Corzo-Rios, L.J., Bautista-Ramírez, M.E., Gómez y Gómez, Y.M., & Torres-Bustillos, L.G. (2016). Frutas de cactáceas: Compuestos bioactivos y sus propiedades nutraceuticas. En M.E. Ramírez Ortiz (Ed.). *Alimentos Funcionales de Hoy*. Barcelona, España: OmniaScience. 35-66.

Resumen

Las frutas de diversas cactáceas, originarias de México, América Central y Sudamérica han ganado popularidad en su consumo no sólo en estas regiones sino también en países de Asia y Europa. Dentro de estas frutas se encuentran la tuna (*Opuntia ficus-indica*), la pitaya de mayo (*Stenocereus spp*) y la pitaya (*Hylocereus spp*). El propósito principal de este capítulo es revisar la información sobre los compuestos fitoquímicos bioactivos en la cáscara, pulpa y semillas de algunos frutos de cactáceas. En *Opuntia ficus-indica*, tanto el cladodio, el fruto y las semillas son fuentes ricas en fenoles y flavonoides, ácidos grasos poliinsaturados, vitaminas, minerales, esteroides, aminoácidos y pigmentos. Este tipo de compuestos le confieren a *Opuntia* diversas actividades tales como antimicrobiana, antioxidante, citoprotectiva, anti-ulcerosa, antiinflamatoria, anticáncer, antiviral, antidiabética y hepatoprotectora, entre otras. En las frutas de *Stenocereus* e *Hylocereus*, los pigmentos más importantes son las betacianinas y betaxantinas. Dado que las betacianinas se encontraron en mayor proporción que los fenoles solubles totales, se consideran que estos compuestos son los que más contribuyen a la actividad antioxidante observada en los frutos de *S. griseus*, los cuales representan una alternativa como fuente de betalainas y de sustancias antioxidantes con propiedades inhibitorias en la proliferación de ciertas células cancerígenas. En *Hylocereus* la betanina y la filocactina son las betacianinas que se presentan en mayor proporción, reportando valores de capacidad antioxidante que ubica a las frutas de *Hylocereus* entre los 10 vegetales con más antioxidantes. Por otra parte, se determinó que presentan un efecto inhibitorio en la proliferación de células de melanoma. Adicionalmente se han estudiado los oligosacáridos presentes en la pulpa, los cuales son una potencial fuente de prebióticos.

Palabras clave

Propiedades nutraceuticas, *Opuntia ficus-indica*, *Stenocereus spp*, *Hylocereus spp*. cactáceas.

2.1. Introducción

Las cactáceas son una familia constituida por alrededor de 1600 especies que crecen en zonas tropicales y subtropicales, incluso en zonas semiáridas. Dentro de éstas existen especies que se cultivan para la obtención de frutos, vegetales o forraje. Tradicionalmente la parte comestible se considera el fruto, sin embargo, se ha reportado el consumo de flores, los brotes frescos y las semillas.

En México, el uso de las cactáceas como alimento está fuertemente arraigado en las costumbres de su población, ya sea aprovechando el tallo, el fruto y/o sus semillas. En las grandes ciudades se ha incrementado la demanda de frutos que contienen compuestos fitoquímicos que proporciona beneficios a la salud humana, ya que juega un papel importante en la prevención de enfermedades crónicas. En este capítulo se hace una revisión de la información publicada sobre los compuestos fitoquímicos bioactivos, con las propiedades biofuncionales que éstos poseen.

Opuntia ficus-indica tiene una amplia distribución en México y puede ser empleada como fuente de alimentos funcionales (nopalitos y tunas) y no solo relegarla a su uso como cerca de separación entre parcelas. Los frutos de la especie *S. griseus* son importantes para la economía de comunidades rurales de algunas zonas semiáridas de México, mientras que los frutos de *Hylocereus* su cultivo va desde huertos familiares hasta plantaciones comerciales con elevada productividad de frutos.

La pitaya o pitahaya ha sido referido al fruto pulposo, jugoso y comestible de una cactácea, se utiliza de manera indistinta en América central y Sudamérica, mientras que en algunas regiones de México la pitaya se refiere a la fruta de la cactácea tipo columnar y pitahaya a la fruta de la cactácea tipo trepadora (Ortiz-Hernández & Carrillo-Salazar, 2012). En las regiones del sur México la pitaya se refiere a la fruta de la cactácea tipo trepadora. Es posible que en los distintos países a los que nos referimos, la pronunciación de pitahaya derivó en pitaya y de ahí su uso indistinto en ciertas regiones.

Tanto a la pitaya de mayo (*Stenocereus griseus* H.) y la pitaya (*Hylocereus spp*) se les ha determinado su contenido de betalainas, las cuales además de dar coloración a los frutos que las contienen, son reconocidas por las importantes actividades biológicas que poseen; actividad antioxidante, antiinflamatoria, hepatoprotectora y anti-cancerígena, entre otras.

2.2. *Opuntia ficus-indica*

Opuntia ficus-indica es el nombre del nopal que en inglés se le conoce como *pricklypear*. Es una planta perteneciente a las dicotiledóneas, específicamente una angiosperma (ver taxonomía en la Tabla 7). Está notablemente adaptada a climas áridos y semiáridos en regiones tropicales y semitropicales del mundo. En los últimos tiempos, se ha reportado evidencia de los beneficios nutricionales y de salud de esta cactácea (El-Mostafa et al., 2014).

Esta planta es notablemente rica en polifenoles, vitaminas, ácidos grasos poliinsaturados y aminoácidos. Los compuestos identificados y sus derivados han mostrado poseer actividades muy relevantes incluyendo la antiinflamatoria, antioxidante, hipoglucémica, antimicrobial y neuroprotectora, entre otras (El-Mostafa et al., 2014).

El género *Opuntia* conocido incluye especies que producen frutas nutritivas comestibles, cladodios (vástagos o juntas) los cuales son consumidos como vegetales. México es considerado uno de los lugares con mayor diversidad genética de *Opuntia* y *Opuntia ficus-indica* y es la cactácea de mayor importancia agroeconómica que se cultiva en lugares áridos y semiáridos. La tuna tiene

Reino:	<i>Plantae</i>
División:	<i>Magnoliophyta</i>
Clase:	<i>Magnoliopsida</i>
Orden:	<i>Caryophyllales</i>
Familia:	<i>Cactaceae</i>
Subfamilia:	<i>Opuntioideae</i>
Tribu:	<i>Opuntieae</i>
Género:	<i>Opuntia</i>
Subgénero:	<i>Opuntia</i>
Especie:	<i>O. ficus-indica</i> (L.) Mill., 1768

Tabla 7. Taxonomía de *Opuntia ficus-indica*.



Figura 6. (a) La tuna. (b) Pulpa de la tuna roja y verde.

tres componentes que pueden ser utilizados comercialmente: las semillas, la cáscara y la pulpa. La fruta contiene aproximadamente 85% de agua, 15% de azúcares, 0.3% de cenizas y menos del 1% de proteína. La pulpa es una fuente de minerales y varios aminoácidos (alanina, arginina y asparagina) vitaminas como las vitaminas C (ácido ascórbico), E, K y β -carotenos, también incluye flavonoides y betalainas que son los responsables de la actividad antioxidante (Cota-Sánchez, 2016).

A continuación, se describen los contenidos de algunos compuestos de interés, tanto en la tuna de *Opuntia* como en algunos otros componentes de la planta (Ver Figuras 6a y 6b).

2.2.1. Compuestos encontrados en *Opuntia ficus*

Las tunas pueden distinguirse por su color verde, amarillo, naranja y rojo o por su forma y presencia de espinas, contiene un gran número de semillas del 30 al 40% del peso húmedo de la fruta, sin embargo, generalmente no son aprovechadas, siendo que representan una importante fuente de ácidos grasos poliinsaturados, vitaminas, polifenoles, flavonoides y taninos. La semilla contiene 25% fibra cruda, la cual ha sido estudiada en cuanto a sus propiedades tecnofuncionales, principalmente capacidad de absorción de agua y aceite 1.6 y 7.1 g/g de harina, respectivamente, lo que posiciona a la harina de semilla de tuna dentro de las mejores harinas usadas en alimentos para retención de agua y aceite. Adicionalmente se le determinó un 65% de fibra dietética total; siendo una alternativa viable en comparación con fuentes tradicionales (Mendoza-Rivera, Barbosa-Martín, Betancur-Ancona, Chel-Guerrero & Corzo-Rios, 2016)

El contenido de aceite en la semilla ha sido reportado en valores superiores al 10% (Mendoza-Rivera et al., 2016). El aceite de las semillas es rico en ácidos grasos insaturados cerca del 83% entre los cuales se incluyen ácidos grasos monoinsaturados (oleico y vaccínico) y ácidos grasos polinsaturados (linoleico), también contienen ácidos grasos saturados (palmítico y esteárico) predominando el ácido linoleico en todas las variedades de tunas (Chougui et al., 2013).

El aprovechamiento de la tuna genera una gran cantidad de residuos ya que la cáscara no se consume como alimento pero podría servir como una posible fuente de grasas y proteína para consumo animal debido a que contiene un 3.8% (en base húmeda) de lípidos, entre ellos se encuentran los lípidos totales (LT), los lípidos neutros en gran cantidad (63.3% de los LT), seguidos por los glucolípidos (GL) (26% de LT) y fosfolípidos (8.75% de LT). Las subclases de lípidos neutros (LN) contenidos en la cáscara son los triacilgliceroles (60% del total de LN), esteroles esterificados (10.8% del total LN) y esteroles (5.85% del total de LN), esteroles libres, diacilgliceroles, monoacilgliceroles y ácidos grasos libres en pequeñas cantidades. En las subclases de glucolípidos se encuentran sulfoquinovosil-diacilglicerol, cerebrosidos, esterilglicósidos, monogalactosil-diglicéridos y esterilglicósidos esterificados. Las subclases de fosfolípidos que se encuentran son fosfatidilcolina, fosfatidilserina, fosfatidiletanolamina, fosfatidilinositol y lisofosfolípidos en pequeñas cantidades. Entre los diferentes esteroles se han reportado sitosterol y sitostenol que tienen efectos benéficos en la salud del hombre debido a sus propiedades antioxidantes. También contienen componentes nutricionalmente importantes como los carotenos y tocoferoles (vitamina E). Los niveles de vitamina E en alta concentración, los α -tocoferoles constituyen aproximadamente, 80.5%, β -tocoferoles 10.2%, γ -tocoferoles 8% y δ -tocoferoles 1.20%. También se han reportado vitamina K₁ (1.09g/Kg) (Ramadan & Mörsel, 2003).

2.2.1.1. *Compuestos fenólicos*

Todas las partes del cactus son ricas en polifenoles, flavonoides y ácidos fenólicos. Tanto las flores, como la pulpa, la semilla, la cáscara, el fruto y la penca o cladodio, contienen variados polifenoles en cantidades de bajas (cladodio) a considerables (principalmente cáscara de la fruta). La Tabla 8 presenta un resumen de los polifenoles encontrados en distintas partes de *Opuntia*.

Tejido	Compuesto identificado	
Flor	Ácido gálico	6 Isorhamnetin 3-Robinosido
	Queracitina 3-O Rutinosido	7 Isorhamnetin 3-O galactosido
	4 Kaempferol 3-O Rutinosido	8 Isorhamnetin 3-O glucosido
	5 Queracitin-glucosido	9 Kaempferol 3-O Arabinosido
Pulpa	Ácidos fenólicos totales	Kaempferol
	Queracetina	Luteolina
	Isorhamnetina	Isorhamnetinglucosidos
Semilla	Ácidos fenólicos totales	Sinapoidiglucosido
	Ferulolilsucrosa isómero 1	Flavonoides totales
	Ferulolilsucrosa isómero 2	Taninas totales
Cáscara del fruto	Ácidos fenólicos totales	Keracetina
	Flavonoides totales	Isorhamnetina
	Kaemprenol	
Cladodio	Ácido gálico	Isoquercitina
	Cumarina	Isorhamnetin 3-O glucosidos
	Acido 3,4 dihidroxibenzoico	Nicotiflorina
	Acido 4-hidroxibenzoico	Rutina
	Ácido ferúlico	Narcisina
	Ácido salicílico	

Tabla 8. Presencia de fenoles y flavonoides en varias partes de *Opuntia ficus-indica* (El-Mostafa et al., 2014).

En la semilla, los compuestos fenólicos incluyen ácidos fenólicos que contienen 48 mg en la tuna roja y 89 mg GAE/100g en la tuna anaranjada, los flavonoides se encuentran entre 1.55 y 264 mg QE/100g y los taninos entre 4.1 y

6.6 mg CE/100g, estas moléculas se encuentran en mayor concentración que en la pulpa. También contienen isómeros 1, 2 y 3 feruloil-sacarosa, sinapoildiglicósidos y feruloil derivados. El isómero 3 se encuentra en mayor proporción (105-717 mmoles/100g), los derivados del feruloil (34-233 mmoles/100g), los sinapoil-diglicósido (12.6-23.4 mmoles/100g), los isómeros feruloil-sacarosa 1(6.7-34.3 mmoles/100g) y 2(5.6-33.1 mmoles/100g) (Chougui et al., 2013)

2.2.1.2. Ácidos grasos

Análisis cromatográficos reportados demuestran que los lípidos presentes en los cladodios de *Opuntia* son básicamente ácido palmítico, oleico y linoleico. La Tabla 9 presenta la distribución específica de los ácidos grasos en algunas fracciones de *Opuntia*.

2.2.1.3. Vitaminas

El fruto de *Opuntia*, particularmente la cáscara de este, es rico en vitamina E. algunas otras vitaminas están presentes en el aceite de semilla y la cáscara. La Tabla 10 muestra la distribución de vitaminas en algunas fracciones de *Opuntia*.

Ácido graso	C12:0	C14:0	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	C22:0	C24:0
Cladodio	1.33	2.96	13.87	0.24	3.33	11.16	34.87	33.23	–
Aceite de semilla	–	–	20.1	1.80	2.72	18.3	53.5	2.58	–
Cáscara del fruto	0.71	1.95	23.1	2.48	2.67	24.1	32.3	9.27	0.41
Aceite de pulpa de fruto	–	1.13	34.4	1.62	2.37	10.8	37	12.68	–

Tabla 9. Comparación de los ácidos grasos presentes en distintas fracciones de *Opuntia* (g/100 g ácidos grasos) (El-Mostafa et al., 2014).

Pulpa	Semillas	Cáscara	Cladodio
Vitamina K1	Vitamina K1	Vitamina K1	–
Vitamina C	–	–	Vitamina C
–	–	–	Vitamina B1
–	–	–	Vitamina B2
–	–	–	Vitamina B3
α -tocoferol	α -tocoferol	α -tocoferol	–
β -tocoferol	β -tocoferol	β -tocoferol	–
γ -tocoferol	γ -tocoferol	γ -tocoferol	–
σ -tocoferol	σ -tocoferol	σ -tocoferol	–

Tabla 10. Distribución de vitaminas en *Opuntia*, g/100 g (El-Mostafa et al., 2014).

2.2.1.4. Esteroles

Se ha documentado la presencia de esteroles, tanto en fruto como en cáscara del mismo, pulpa y semillas. El campesterol es uno de los esteroles más abundantes, aunque hay que destacar la presencia de sitosterol y stigmasterol. En la Tabla 11 se muestra la distribución e algunos esteroles en fracciones de *Opuntia*.

Esteroles	Pulpa	Semilla	Cáscara
Campesterol	x	x	x
Estigmasterol	x	x	x
Lanosterol	x	x	x
β -Sitosterol	x	x	x
Δ^5 -Avenasterol, Δ^7 Avenasterol	x	x	x
Δ^7 Avenasterol	–	x	–
Ergosterol	–	–	x

Tabla 11. Distribución de esteroles en fracciones de *Opuntia*, mg/100 g (El-Mostafa et al., 2014).

Minerales	Pulpa	Semillas	Cadodio
Ca	x	x	x
Ca oxalato	–	–	x
Mg	x	x	x
Na	x	x	x
K	x	x	x
Fe	x	x	x
P	–	x	x
Zn	–	x	x
Cu	–	x	–
Mn	–	x	x

Tabla 12. Distribución de minerales en distintas fracciones de *Opuntia*, mg/ 100 g (El-Mostafa et al., 2014).

2.2.1.5. Compuestos minerales

Las semillas del cactus son ricas en minerales como Mg, K y Ca, pero otras partes de *Opuntia* también contienen cantidades importantes de minerales. La Tabla 12 muestra algunos de estos contenidos.

2.2.1.6. Aminoácidos

Muchos son los aminoácidos presentes en el cladodio, fruta y semillas de *Opuntia*, Se habla de Glutamina, Valina, Ac aspártico, Arginina y lisina entre otros. En la Tabla 13 se muestra la distribución específica de aminoácidos en fracciones de *Opuntia*.

2.2.2. Actividad biológica y aplicaciones en salud

Una serie de actividades biológicas han sido reportadas para *Opuntia*, entre ellas, algunas con potencial en aplicaciones en la salud, otras más en aplicaciones en

Aminoácido	Cladodio	Fruta	Semilla
Alanina	1.25	3.17	4.75
Arginina	5.01	1.11	6.63
Asparagina	3.13	1.51	Trazas
Ác. Aspártico	4.38	Trazas	10.42
Ác. Glutámico	5.43	2.40	21.68
Glutamina	36.12	12.59	Trazas
Cistina	1.04	0.41	0.37
Histidina	4.18	1.64	3.11
Isoleucina	3.97	1.13	6.20
Leucina	2.71	0.75	9.94
Lisina	5.22	0.63	6.79
Metionina	2.92	2.01	0.70
Fenilalanina	3.55	0.85	5.25
Serina	6.68	6.34	8.46
Treonina	4.18	0.48	1.53
Tirosina	1.46	0.45	3.09
Triptófano	1.04	0.46	Trazas
Valina	7.72	1.43	6.02
Prolina	Trazas	46.00	Trazas
Taurina	Trazas	15.79	Trazas
Glicina	Trazas	Trazas	5.06

Tabla 13. Principales aminoácidos presentes en cladodio, fruta y semilla de Opuntia, mg/100 g (El-Mostafa et al., 2014).

nutrición. En los próximos párrafos se describen las actividades más importantes reportadas para *Opuntia*.

Medicinalmente la tuna y sus extractos se han usado en el tratamiento de diabetes, colesterol y enfermedades del sistema inmunes. Los polisacáridos extraídos de *O. ficus-indica* han sido usados para proteger el hígado del daño producido por los pesticidas organofosforados, en la medicina tradicional China se ha usado para el tratamiento del dolor y la inflamación y como agente contra las picaduras de serpientes (Cota-Sánchez, 2016).

Las betalainas presentes en la tuna tienen un gran número de actividades entre las que se encuentran la actividad antioxidante, siendo esta actividad aun mayor que la de las antocianinas y la vitamina C, participan en la captación de radicales libres por lo que previenen el cáncer de ovario y cáncer cervical y enfermedades cardiovasculares debido a que regulan las lipidemias, ya que inhiben la mieloperoxidasa induciendo nitrato oxidación de lipoproteínas de baja densidad (LDL) por captación de radicales lipoperoxilo (Gengatharan, Dykes & Choo, 2015).

Disminuyen el colesterol, los triglicéridos y LDL incrementando las lipoproteínas de alta densidad (HDL). Disminuyen los niveles de glucosa y el índice aterogénico. También tienen actividad antimalaria debido a que actúan como agentes quelantes de los iones (Ca^{2+} , Fe^{2+} y Mg^{2+}) ya que bloquean el transportador intracelular de colina de los parásitos. La actividad antimicrobiana se ha reportado contra *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella typhimurium*, *Staphylococcus aureus* y *Bacillus cereus* y otros microorganismos *Pseudomonas aeruginosa*, *Citrobacter freundii*, *Citrobacter youngae*, *E. cloacae* (Gengatharan et al., 2015).

Los aceites de la semilla de la tuna previenen la diabetes inducida por aloxan en el ratón por administración oral debido a la inhibición de formación de radicales libres o por la captación de los radicales producidos, por sus efectos sinérgicos de los compuestos antioxidantes y la capacidad de los ácidos grasos poliinsaturados para mejorar las células pancreáticas (Berraaouan et al., 2015)

El extracto DWJ504 de las semillas de la tuna reduce la esteatosis hepática y la inflamación mediante la regulación de la lipogénesis hepática de novo y polarización de macrófagos contra la esteatohepatitis no alcohólica experimental inducida en ratones con una dieta alta en grasas. Disminuye el incremento en el

elemento regulatorio-de unión a la proteína 1 y la expresión al elemento carbohidrato-respuesta de unión a la proteína, disminuye la carnitin-palmitoil-transferasa 1A, aumenta la expresión al receptor a peroxisoma proliferador-receptor activado y disminuye la expresión al receptor g peroxisoma proliferador receptor activado. Promueve la polarización de macrófagos M2 por atenuación de los marcadores de genes M1 y M2, disminuye el factor nuclear kB, interleucina 6 y factor de necrosis tumoral (Kang et al., 2016).

Quizás las actividades de *Opuntia* con aplicaciones a la salud humana más importantes son la actividad antiulcéricas, antiinflamatoria, neuroprotectora, anticáncer, antiviral, antidiabética, hepatoprotectiva, contra el daño renal y antioxidante (Kaur, Kaur & Sharma, 2012).

2.2.2.1. *Actividad antiulcérica*

Se han empleado fracciones de *Opuntia* en el tratamiento de úlceras gástricas, y úlceras inducidas por consumo de alcohol. Es posible que el mucílago de *Opuntia* prevé la introducción del agente necrotizante en la mucosa gástrica.

2.2.2.2. *Actividad antiinflamatoria*

Opuntia ha sido reportada por su actividad analgésica y antiinflamatoria empleando el extracto de fruta, o el mucílago liofilizado. Se cree que el β -sitosterol contenido en *Opuntia*, es el responsable de esta actividad biológica.

2.2.2.3. *Actividad neuroprotectora*

Debido a la presencia de los flavonoides quercetina, dihidroquercetina y quercetina-3 metil-eter, *Opuntia* es capaz de esta actividad neuroprotectora.

2.2.2.4. *Actividad anti-cáncer*

Estudios recientes sugieren que el extracto de la fruta inhibe la proliferación de líneas cancerosas celulares cervicales, de ovarioso de mezclas en modelos *in vivo*.

2.2.2.5. *Actividad antiviral*

Se ha reportado que un extracto de cladodio de *Opuntia*, inhibió la replicación intracelular de un número de NA- y RNA-virus, tales como el herpes simple, el virus de la influenza, el virus de herpes equino, el virus de enfermedad respiratoria y aun el VIH1.

2.2.2.6. *Actividad antidiabética*

Algunos estudios con jugo de cactus en ratas, demostraron que la administración de este jugo disminuyó los niveles de superóxido dismutasa, glutatión reducido, colesterol HDL, proteína, hemoglobina y glicógeno hepático disminuyeron sensiblemente en ratas diabéticas. El tratamiento aquí escrito sanó a las ratas llevándolas hasta niveles normales de tales parámetros.

2.2.2.7. *Actividad hepato-protectora*

Los extractos de *Opuntia* tuvieron un efecto protector contra daño de hígado inducido en ratas. Este daño fue inducido con un pesticida (clorpirifos). El daño fue medido por la medida el peso y la cuantificación de algunos parámetros tales como alanina-amino transferasa, aspartato amino-transferasa, fosfatasa alcalina, lactato deshidrogenasa, colesterol y albumina en suero de las ratas.

2.2.2.8. *Actividad anti-daño renal*

Osuna-Martínez, Reyes-Esparza & Rodríguez-Fragoso (2014) reportaron que el extracto de flores de *Opuntia* fue moderadamente efectivo en el incremento de diuresis y natriuresis. También el extracto de la fruta tuvo estos efectos y aun en mayor grado que el extracto de flores.

2.2.2.9. *Actividad antioxidante*

Pereira Souza et al., 2014 caracterizaron los extractos atomizados de *Opuntia ficus-indica* y su potencial farmacéutico. Ellos demostraron que estos extractos tuvieron actividad antioxidante, inhibitoria de la tirosinasa, antimicrobial y fotoprotectiva.

2.2.2.10. *Actividad protectora*

Galati et al. (2007) reportaron que *Opuntia ficus-indica* mostró acción citoprotectora contra úlcera inducida por alcohol en ratas. Se reporta que esta actividad puede estar relacionada con la presencia del mucílago y la pectina.

2.3. *Stenocereus griseus*

Los pitayos, son cactus columnares de las regiones subtropicales de México que producen frutos comestibles (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada, 1991; Pimienta-Barrios, Pimienta-Barrios & Nobel, 2004). Los pitayos pertenecen a las cactáceas, producen como frutos a las pitayas, en sentido restringido la mayor parte de los frutos de las especies incluidas en los géneros agrupados dentro de la subtribu *Stenocereinae*, principalmente a las especies del género *Stenocereus* (Rebollar, Romero, Cruz & Zepeda, 2002).

Existe varios sinónimos para *Stenocereus griseus*, algunos de ellos son:

- *Cereus griseus*
- *Lemaireocereus griseus*
- *Ritterocereus griseus*
- *Rathbunia grisea*
- *Cereus eburneus*
- *Cereus deficiens*
- *Lemaireocereus deficiens*
- *Ritterocereus deficiens*
- *Stenocereus deficiens*

El género *Stenocereus* se encuentra ubicado dentro de la siguiente clasificación taxonómica (Tabla 14) (Mercado & Granados, 2002).

Orden:	<i>Cactales Britton Cactaceae</i>
Familia:	<i>Cactaceae</i>
Subfamilia:	<i>Cactoideae Schum</i>
Tribu:	<i>Pachycerae Buxanb</i>
Subtribu	<i>Stenocereinae</i>
Género:	<i>Stenocereus</i>
Especie:	<i>Stenocereus griseus</i>
Nombre vulgar	«Pitayo de mayo»

Tabla 14. Taxonomía de *Stenocereus*.

2.3.1. Características generales y composición química de las especies *Stenocereus griseus* (*S. griseus*)

Los frutos de las especies *S. griseus* son importantes para la economía de comunidades rurales de algunas zonas semiáridas de México (López-Gómez, Díaz-Pérez & Flores-Martínez, 2000). La pitaya de mayo (*Stenocereus griseus* H.) es una cactácea columnar originaria de México. Sus frutos son bayas poliespermáticas de forma globosa u ovoide, con espinas caducas; la pulpa puede ser de color anaranjado, rojo y morada (Figura 7). El color característico de sus frutos se debe a las betalainas, pigmentos naturales.

El estudio nutricional de las pitayas de *S. griseus* ha sido reportado por los ensayos bromatológicos. En la Tabla 15, se resume el análisis bromatológico, los datos se expresan en porcentajes, contiene 23.1 de fibra cruda, 9.07 de proteínas, 3.29 de carbohidratos en base seca (Mercado & Granados, 2002).

La composición química de la pulpa de las variedades de pitaya ha sido reportada por diferentes autores (Mercado & Granados, 2002; Campos-Rojas, Pinedo-Espinoza, Campos-Montiel & Hernández-Fuentes, 2011), en la Tabla 16 se muestra un resumen del estudio la pulpa de las variedades de *Stenocereus griseus* H; blanca, roja, amarilla, anaranjada y morada.

La acidez y el pH están relacionados, el intervalo de acidez va de 0.39 a 0.53 en *S. griseus* y el pH fue de 3.7 a 4.5 este es muy similar a la pera (3.5 a 4.6 pH) y el de la



Figura 7. Fruta de *Stenocereus griseus* H, rojo; pulpa y semilla.

Composición fisicoquímica de <i>Stenocereus griseus</i> (%)		
Contenido	Base húmeda	Base seca
Proteína	1.29	9.07
Fibra cruda	3.23	23.15
Cenizas	0.46	3.29
Grasas	0.12	0.85
Humedad	85.8	–
Extracto libre de nitrógeno	9.05	63.71

Tabla 15. Análisis Bromatológico de *Stenocereus griseus* (Mercado & Granados, 2002).

Variedad de pitaya	pH	Acidez			Proteína		Humedad (%)
		(% de ácido cítrico)	Azúcares totales (%)	Azúcares reductores (%)	Proteína en pulpa (g kg⁻¹)	en semilla (g kg⁻¹)	
Roja	4.2	0.53	9.2	10.1	1.35	91.0	83.8
Blanca	4.4	0.39	10.0	11.2			
Amarrilla	4.46	0.50	9.1	10.2	1.07	90.0	84
Morada	3.7	0.47	9.0	9.6	1.06	80.0	86.6
Anaranjada					1.25	82.2	83.2

Tabla 16. Propiedades químicas de la pulpa de las variedades de *Stenocereus griseus* (Mercado & Granados, 2002; Campos-Rojas et al., 2011).

manzana es (3.3 a 3.9 pH) (Chuck-Hernández, Parra-Saldívar & Sandate-Flores, 2015).

Otras de las características químicas importantes es la concentración de azúcares, que es similar a otras frutas, la cantidad de fructosa y glucosa es de 9.3% en promedio. Frutos con una cantidad similares son la pera con 10% y la naranja con 9.2%. La cantidad en promedio de proteína en la pulpa de las variedades fue de

1.18 g/kg y en la semilla 85.8 g/kg (Mercado & Granados, 2002; Campos-Rojas et al., 2011)

Las investigaciones realizadas en pitaya de mayo se han enfocado principalmente en la composición proximal y características físicas de los frutos. El color característico de sus frutos de *Stenocereus griseus* H. se debe a las betalainas, pigmentos naturales hidrosolubles con nitrógeno en su estructura que se sintetizan a partir del aminoácido tirosina. Las betalainas se dividen en dos grupos: betacianinas, que brindan tonalidades rojas y se forman por condensación de una estructura ciclo-DOPA (dihidroxifenilalanina) con el ácido betalámico, y betaxantinas que proporcionan coloraciones amarillas y se sintetizan a partir de diferentes compuestos amino y el ácido betalámico (García-Cruz, Salinas-Moreno & Valle-Guadarrama, 2012).

Los frutos que contienen betalainas también poseen fenoles de diferentes tipos, excepto antocianinas, pues estas dos clases de pigmentos son mutuamente excluyentes (Wu et al., 2006). Las betalainas además de dar coloración a los frutos que las contienen, son reconocidas por las importantes actividades biológicas que poseen; actividad antioxidante, antiinflamatoria, hepatoprotectora y anticancerígena (García-Lucas et al., 2016).

El contenido de fenoles totales de tres variedades de *Stenocereus griseus* fue reportado por Ayala-Camarillo, Gallardo-Velázquez y Beltrán-Orozco (2008). El contenido de fenoles totales de las variedades estudiadas fue de 1482 a 2006 mg eq. ácido gálico/100g de muestra seca, como se observar en la Tabla 17.

Variedad de Pitaya	mg. eq. de ácido gálico/100g de muestra seca
Roja	1482.4 ± 14.56
Amarilla	1704.9 ± 3.8
Anaranjada	2006.2 ± 11.3

Tabla 17. Contenido de fenoles totales de *Stenocereus griseus* (Ayala-Camarillo et al., 2008).

García-Cruz, Salinas-Moreno y Valle-Guadarrama (2012) estudiaron el contenido de betalainas y compuestos fenólicos, así como la actividad antioxidante de la pulpa de dos variedades de pitaya de mayo. Los resultados se muestran en la Tablas 18 y 19.

García-Cruz et al. (2012) reportan que el contenido de betalainas en la pitaya de mayo (*S. griseus*) es diferente entre los dos variedades de fruto analizados, pues las betacianinas son las más abundantes en la pitaya roja y las betaxantinas en la pitaya anaranjada. Dado que las betalainas se encontraron en mayor proporción que los fenoles solubles totales, se consideran estos compuestos como los que más contribuyen a la actividad antioxidante observada en los frutos de *S. griseus*, los cuales representan una alternativa como fuente de betalainas y de antioxidantes.

Variedad	BET	BC	BX
Pitaya roja	347.30 ^a ± 20.98	199.6 ^a ± 24.32	147.61 ^b ± 18.21
Pitaya anaranjada	215.04 ^b ± 36.16	37.6 ^b ± 7.54	177.37 ^a ± 30.18

Medias con letras iguales en una columna, no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

Tabla 18. Contenido de betalainas totales (BET), betacianinas (BC) y betaxantinas (BX) en dos muestras de pitaya de mayo (*Stenocereus griseus* H.) (mg/100 g de muestra seca) (García-Cruz et al., 2012).

Variedad	FST	AFL	AFG	AFE
Pitaya roja	166.5 ^a ± 14.40	18.15 ^b ± 0.04	3.6 ^b ± 0.31	2.9 ^b ± 0.23
Pitaya anaranjada	52.8 ^b ± 3.8	28.35 ^a ± 5.67	4.3 ^a ± 0.22	5.6 ^a ± 0.66

Medias con letras iguales en una columna, no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

Tabla 19. Contenido de fenoles solubles totales (FST), ácidos fenólicos libres (AFL), glucosilados (AFG) y esterificados, en frutos de pitaya roja y anaranjada (mg equivalentes de ácido gálico/100 g de pulpa seca) (García-Cruz et al., 2012).

2.3.2. Capacidad antioxidante

En la pitaya roja una concentración de 135.07 μM reduce 76% del radical DPPH, en tanto que en la pitaya anaranjada se requiere una concentración de 307.01 μM para lograr una reducción de 67%. Estos resultados indican que los metabolitos presentes en los dos extractos de pitaya son diferentes, y pueden relacionarse con el tipo de betalainas. Se ha informado que las betacianinas son antioxidantes más potentes que las betaxantinas (Azeredo, 2009), y estas últimas son las predominantes en la pitaya anaranjada. Los valores obtenidos de porcentaje de DPPH reducido se encuentran por arriba de lo reportado en frutos de frambuesa (*Rubus idaeus*) los cuales oscilaron de 50 a 70% (Peña-Varela, Salinas-Moreno & Ríos-Sánchez, 2006), aunque en esta especie los metabolitos responsables de la actividad antioxidante son las antocianinas. El IC_{50} de la pitaya anaranjada fue de $161.7 \pm 4.8 \mu\text{M}$, que es más del doble que el de la roja ($59.8 \pm 0.32 \mu\text{M}$), lo que significa que el poder antioxidante de la pitaya roja es mayor que el de la naranja. Sin embargo, el poder antioxidante de *S. griseus* H. también puede atribuirse a los compuestos fenólicos presentes en sus frutos, y aunque están en menor proporción que las betalainas se consideran potentes antioxidantes (García-Cruz et al., 2012).

La composición de las sales minerales es muy variable entre especies, ya que depende de la composición química del suelo como la salinidad, acidez, conductividad, grado de disociación, humedad y textura de los suelos. Las pectinas son muy comunes en los frutos de las cactáceas principalmente en las tunas y pitayas, debido a que tiene un valor en la manufactura de jaleas y dulces. También presentan diversas concentraciones de azúcares que pueden formar ácidos, siendo el principal el ácido urónico, estos ácidos cuando están en solución, forman ésteres denominados lactonas como la histrixlactona, la cual se encontró en *S. griseus* (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada, 1991).

Los glicósidos, son compuestos formados por la combinación de un azúcar con una o más sustancias, algunas de sus propiedades son tónicas para el sistema cardiovascular. Las ceras juegan un papel importante en las cactáceas como mecanismo para conservar la humedad. Las saponinas triterpénicas o esteroideas con el agua producen una sustancia jabonosa. Se ha reportado en *S. griseus* los terpenoides como la betulina y el ácido oleanólico, algunos carotenoides y fenoles (Treviño, 2000).

2.4. *Hylocereus* spp.

La pitaya o pitahaya es originaria de las regiones tropicales de América, compartiendo el origen por un lado Mesoamérica, región que conforman los países de El Salvador, Costa Rica, Honduras, Guatemala, Nicaragua, México y Panamá; y por otro lado Sudamérica, especialmente Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Perú, Uruguay y Venezuela (Centurión Yah, Solís Pereira, Saucedo Veloz, Báez Sañudo & Sauri Duch, 2008; Grimaldo-Juárez, Terrazas, García-Velásquez, Cruz-Villagas & Ponce-Medina, 2007; Ortiz-Hernández & Carrillo-Salazar, 2012; Wybraniec & Mizrahi, 2002). Pertenecen a la familia *Cactaceae* y está conformada por distintas variedades de los géneros *Hylocereus* (pitaya roja) y *Selenicereus* (pitaya amarilla), que se les ha determinado que poseen un ancestro en común por lo que comparten muchas características y se les ha clasificado como taxa hermanas, (Grimaldo-Juárez et al., 2007), incluso han sido reportadas algunas variedades en ambos géneros, por la cercanía en las características morfológicas, taxonómicas y genéticas; lo que puede deberse a la hibridación derivada del procesos de domesticación y del cultivo mixto de ambas especies (Baquero, Castro & Narvæz, 2005; Grimaldo-Juárez et al., 2007).

La complejidad para clasificar taxonómicamente a la pitaya, ha generado controversia al determinar el número de variedades que posee el género *Hylocereus* (Figura 8). Algunos investigadores reportan entre 16 y 19 variedades, entre las que se encuentran *H. undatus*, *H. purpusii*, *H. ocamponis*, *H. costaricensis*, *H. polyrhizus*, que pueden ser distinguidas entre ellas caracterizando los frutos por la forma,



Figura 8. Fruta de *Hylocereus* spp de diferentes colores de cáscara y pulpa (Ortiz-Hernández & Carrillo-Salazar, 2012).

tamaño, el color de la cáscara (exocarpio) y/o el color de la pulpa (mesocarpio o endocarpio), además del número y longitud de las espinas por areola y características de los segmentos externos del perianto (Ariffin et al., 2009; Grimaldo-Juárez et al., 2007; Wybraniec & Mizrahi, 2002). Tradicionalmente la parte comestible se considera el fruto, sin embargo se ha reportado el consumo de flores, los brotes frescos y las semillas (Castillo-Martínez, Livera-Muñoz & Márquez-Guzmán, 2005; Suárez Román, Caetano & Ramírez, 2014).

Actualmente la pitaya (*Hylocereus spp.*) se cultiva alrededor del mundo, además de América su cultivo se ha extendido a países como Australia, Camboya, China, Filipinas, India, Indonesia, Malasia, Taiwán y Vietnam donde es frecuentemente llamada «Fruta dragón» (Ariffin et al., 2009; Ortiz-Hernández & Carrillo-Salazar, 2012). Su cultivo va desde plantas ornamentales en jardines, huertos familiares hasta plantaciones comerciales con técnicas modernas de cultivo, en donde se han llevado a cabo diversos estudios agronómicos, fisiológicos y genéticos para incrementar la producción y calidad de los frutos (Centurión Yah et al., 2008; Ortiz-Hernández & Carrillo-Salazar, 2012).

2.4.1. Composición química

La fruta de la pitaya (*Hylocereus spp.*) es de forma elipsoidal de 10 a 12 cm de diámetro, que pesan entre 200 y 570 g (Ochoa-Velasco et al., 2012; Vaillant, Pérez, Dávila, Dornier & Reynes, 2005) contiene una pulpa que va de blanca, rosa a roja con pequeñas semillas de color negro. La cáscara varía de amarillo, rosa a rojo y rojo púrpura, la cual está cubierta por brácteas salientes de forma triangular (Centurión Yah et al., 2008; Ortiz-Hernández & Carrillo-Salazar, 2012).

La parte comestible (pulpa y semillas) de la pitaya ha sido reportada que es desde un 60 hasta un 80% de la fruta, con un contenido de agua de 80-88% (Centurión Yah et al., 2008; Vaillant et al., 2005), las semillas son pequeñas y representan entre 1 y 2% de la fruta (B.S.) en *H. andatus* y *H. polyrhizus* (Ariffin et al., 2009). La pulpa es dulce y un poco ácida con un aroma suave, contiene aproximadamente 7 y 13% de azúcares reductores y sólidos solubles totales, respectivamente, (Centurión Yah et al., 2008), aunque para *H. andatus* y *H. polyrhizus* se ha reportado un contenido de sólidos solubles totales de 12 y 15%, siendo glucosa (353-451g/100 g), fructosa (238-158 g/100 g) y oligosacáridos (86-90 g/100 g) de distintos pesos moleculares los principales azúcares (Wichienchot, Jatupornpipat & Rastall, 2010).

Por otra parte, el sabor que presenta la pulpa en variedades de *Hylocereus*, está relacionada con el valor de pH que ha sido reportado que va de 4.3 a 4.7 y con la acidez titulable que va de 2.4 a 3.0 en variedades agridulces y 0.2 a 0.5 (% de ácido málico) en variedades dulces, más importante en esta percepción de sabor es la relación azúcares/acidez que va desde 3.5 a 33 para las variedades más ácidas y más dulces respectivamente (Centurión Yah et al., 2008; Obenland et al., 2016; Vaillant et al., 2005). Dentro de los ácidos orgánicos reportados, el ácido málico es el que se presenta en mayor proporción seguido del ac. cítrico y ac. oxálico con intervalos de 8.21-10.06, 0.06-0.21 y 0.07-0.16 g/kg respectivamente (Obenland et al., 2016).

2.4.2. Otros componentes y su actividad nutracéutica

La pulpa contiene además de los azúcares y ácidos, fibra, vitamina C, pectina y distintos pigmentos. En *H. andatus* se ha reportado un contenido de Ac. Ascórbico que varía de 10 a 24 mg/100 g de pulpa (Centurión Yah et al., 2008; Ortiz-Hernández & Carrillo-Salazar, 2012), mientras que otros investigadores han reportado valores de vitamina C que varía de 7 a 9 mg/100 g de pulpa (Enciso et al., 2011). Como se observa en la Tabla 20, el contenido de vitamina C disminuye con el proceso de maduración de la fruta, pues esta vitamina disminuye de aproximadamente 15 a 10 mg/100, teniendo un comportamiento inverso la concentración de azúcares reductores que se incrementó de 2.4 a 6.6% (Centurión Yah et al., 2008). También se ha reportado que contiene cantidades menores de beta caroteno, licopeno y vitamina E (Wichienchot et al., 2010).

Variable	Días después de floración				
	20	25	27	29	31
Sólidos Solubles totales (°Brix)	4.6 ^d	9.5 ^c	12.8 ^a	11.8 ^b	12.6 ^a
Vitamina C (mg/100 g de pulpa)	14.7 ^a	12.2 ^b	12.1 ^b	10.9 ^c	9.6 ^c
Azúcares reductores (%)	2.4 ^c	4.5 ^c	5.9 ^b	5.8 ^b	6.6 ^a

Letras iguales en la misma fila indican que no hay diferencia significativa ($P < 0.05$).

Tabla 20. Evolución de las características físicas y químicas de los frutos de pitaya durante su maduración (Centurión Yah et al., 2008).

2.4.2.1. Polifenoles: Betacianinas y flavonoides

Los polifenoles, carotenoides, tocoferoles y glucosinolatos, comúnmente son encontrados en frutas y vegetales, a estos compuestos se les ha atribuido un efecto quimioprotectivo para combatir el estrés oxidativo del cuerpo, además de su función como agentes antiinflamatorios, con lo cual ayudan a mejorar la salud humana. El contenido total de compuestos fenólicos en frutas de *H. polyrhizus* 42.4 mg de EAG/100 g de pulpa. A estos compuestos se les determinó la actividad antioxidante mediante DPPH y ABTS encontrándose una CE_{50} de 22.4 mmol equivalente de vitamina C/g extracto seco y 28.3 mmol CAET/g extracto seco (Wu et al., 2006).

Como parte de los compuestos fenólicos, los pigmentos responsables de la coloración de las frutas de *Hylocereus* se encuentran las betacianinas y las betaxantinas las cuales son una clase de pigmentos solubles en agua. Las betacianinas que dan color a una amplia variedad de flores y frutas, entre ellas a las de cactáceas, en tonalidades rojo-violeta, por su parte las betaxantinas son las responsables del color amarillo (Wu et al., 2006; Wybraniec & Mizrahi, 2002). En la pulpa del fruto de *H. polyrhizus* se ha detectado al menos 8 betacianinas y la ausencia de betaxantinas (Stintzing, Schieber & Carle, 2002).

Diferentes investigadores han publicado que las betalainas y betaninas presentan actividades antirradical y antioxidante y que hay indicios de que actúan como protector contra ciertos desórdenes en la salud provocados por el estrés oxidativo como lo reporta Wu et al. (2006). En distintas variedades de *Hylocereus* se ha reportado que el contenido total de betacianinas varía entre 10 y 39 mg por 100 g de pulpa, en donde se identificaron a los siguientes pigmentos: bougainvillein-R-I, betanina, isobetanina, filocactina, isofilocactina, hylocerenina e isohylocerenina, entre otros; siendo las betanina y filocactina las que se presentan en mayor proporción (Stintzing et al., 2002; Wu et al., 2006; Wybraniec & Mizrahi, 2002).

Vaillant et al. (2005) estudiaron las propiedades antioxidantes del jugo de 3 variedades de *Hylocereus*, encontrando valores de capacidad de absorber radical oxígeno, que fue atribuida esencialmente a las betacianinas, que van de 8.8 a 11.3 mmol Trolox/g, 2 veces más alto que jugo comercial de manzana y de uva blanca, y de igual magnitud que el betabel y la fresa, lo cual lo ubica entre los 10 vegetales más antioxidantes.

El consumo de frutas y vegetales ha sido asociado con la reducción del riesgo de enfermedades coronarias del corazón, síntomas de enfermedades crónicas obs-

tructivas del pulmón y diferentes tipos de cáncer, entre los que destacan cáncer de colon. Los flavonoides ha sido correlacionados con estas la reducción de estos riesgos, el contenido de flavonoides en la pulpa de la fruta de *H. polyrhizus* es de 7.2 mg equivalente de catequina/100 g de pulpa (Wu et al., 2006)

Por otra parte, a extractos de compuestos fenólicos de la cáscara y de la pulpa de *H. polyrhizus*, se les determinó el efecto inhibitorio en la proliferación de células de melanoma B16F10, Wu et al. (2006) reportaron que los compuestos fenólicos en concentraciones de aproximadamente 2.5 a 22.5 mg EAG inhibieron el crecimiento de células de melanoma conforme se incrementaba la concentración de estos compuestos fenólicos, permitiendo el crecimiento de solo 75 a 35% de las células en el caso del extracto de la cáscara y 62 a 55% de las células con el extracto de la pulpa, en el intervalo de concentraciones estudiado.

2.4.2.2. *Oligosacáridos y sus propiedades prebióticas*

La presencia de vitaminas, polifenoles y de oligosacáridos de distinto peso molecular en la pulpa de las frutas de *Hylocereus* ha generado un interés por evaluar a esta fruta como fuente potencial de ingredientes funcionales, que puedan prevenir enfermedades relacionadas con la nutrición. Los oligosacáridos no digeribles son considerados prebióticos, los cuales tienen un efecto benéfico de estimular el crecimiento y/o actividad de ciertas bacterias (probióticos) en el colon, lo que conlleva a mejorar la salud del consumidor. En este sentido, se estudiaron los oligosacáridos presentes en *H. andatus* (pulpa blanca) y *H. polyrhizus* (pulpa roja), encontrando similares concentraciones (86 y 89 g/kg) y cuatro tipos de oligosacáridos con pesos moleculares de 474, 490, 700 y 716 Da. Los oligosacáridos son una potencial fuente de prebióticos, pues demostraron ser resistente a la hidrólisis ácida de manera similar a la presentada por otros oligosacárido prebióticos y mayor resistencia a la hidrólisis por α -amilasa que la inulina, un prebiótico de referencia; además presentaron capacidad de estimular el crecimiento de lactobacilus y bifidobacterias (Wichienchot et al., 2010).

2.4.2.3. *Ácidos grasos del aceite de las semillas*

Por otra parte, las semillas de las frutas de *Hylocereus* han sido estudiadas en cuanto al contenido y características del aceite. Como se mencionó anteriormente, las

Ácidos grasos	Pulpa roja (<i>Hylocereus polyrhizus</i>)	Pulpa blanca (<i>Hylocereus undatus</i>)
Ácido Mirístico (C14:0)	0.20 ± 0.02	0.30 ± 0.01
Ácido Palmítico (C16:0)	17.9 ± 1.10	17.1 ± 0.78
Ácido Esteárico (C18:0)	5.49 ± 0.29	4.37 ± 0.24
Ácido Palmitoleico (C16:1)	0.91 ± 0.05	0.61 ± 0.01
Ácido Oleico (C18:1)	21.6 ± 0.53	23.8 ± 0.14
Ácido Cis-vaccínico (C18:1a)	3.14 ± 0.30	2.81 ± 0.10
Ácido Linoleico (C18:2)	49.6 ± 0.33	50.1 ± 0.35
Ácido Linolénico (C18:3)	1.21 ± 0.20	0.98 ± 0.10

Tabla 21. Composición de ácidos grasos (% del total de ácidos grasos) del aceite de semillas de *Hylocereus polyrhizus* y *Hylocereus undatus* (Ariffin et al., 2009).

semillas representan entre 1 y 2% (B.S.) de la fruta, contienen aproximadamente 30% de aceite. Para *H. andatus* y *H. polyrhizus* se encontraron en mayor proporción los ácidos grasos palmítico, esteárico, oleico, linoleico y linolénico, como se observa en la Tabla 21, siendo en ambas variedades el oleico y linoleico los predominantes con 21.6 a 23.8 y 49.6 y 50.1% del total de ácidos grasos, respectivamente. El aceite de estas semillas son más ricas en linoleico al compararlas con el aceite de semillas de linaza, canola, sésamo y uva (Ariffin et al., 2009).

Referencias

- Ariffin, A.A., Bakar, J., Tan, C.P., Rahman, R.A., Karim, R., & Loi, C.C. (2009). Essential fatty acids of pitaya (dragon fruit) seed oil. *Food Chemistry*, 114(2), 561-564. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.108>
- Ayala-Camarillo, K.C., Gallardo-Velázquez, T., & Beltrán-Orozco, M.C. (2008). Determinación del contenido de fenoles totales y de la capacidad antioxidante de tres especies del fruto de la pitaya (*Stenocereus griseus* H.). *V Congreso Internacional de Ingeniería Bioquímica*. Tuxtla Gutierrez, Chiapas.

- Azeredo, H.M.C. (2009). Betalains: Properties, sources, applications, and stability – A review. *International Journal of Food Science and Technology*, 44(12), 2365-2376. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01668.x>
- Baquero, L., Castro, J., & Narváz, C. (2005). Catalasa, Peroxidasa Y Polifenoloxidasas en pitaya amarilla (*Acanthocereus pitajaya*): maduración y senescencia. *Acta Biológica Colombiana*, 10(2), 49-59.
- Berraaouan, A., Abderrahim, Z., Hassane, M., Abdelkhaleq, L., Mohammed, A., & Mohamed, B. (2015). Evaluation of protective effect of cactus pear seed oil (*Opuntia ficus-indica* L. MILL.) against alloxan-induced diabetes in mice. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 8(7), 532-537. <https://doi.org/10.1016/j.apjtm.2015.06.013>
- Bravo-Hollis, H., & Sánchez-Mejorada H. (1991). *Las cactáceas de México* (2a. ed., Vol. 2 y 3). Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.
- Campos-Rojas, E., Pinedo-Espinoza, J.M., Campos-Montiel, R.G., & Hernández-Fuentes, A.D. (2011). Evaluación de plantas de pitaya (*Stenocereus* spp) de poblaciones naturales de Monte Escobedo, Zacatecas. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 17(3), 173-181. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2011.17.028>
- Castillo-Martínez, R., Livera-Muñoz, M., & Márquez-Guzmán, G.J. (2005). Morphological Characterization and Sexual Compatibility. *Agrociencia*, 39, 183-194.
- Centurión Yah, A.R., Solís Pereira, S., Saucedo Veloz, C., Báez Sañudo, R., & Sauri Duch, E. (2008). Cambios físicos, químicos y sensoriales en frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) durante su desarrollo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31(1), 1-5.
- Chougui, N., Tamendjari, A., Hamidj, W., Hallal, S., Barras, A., Richard, T., & Lartat, R. (2013). Oil composition and characterisation of phenolic compounds of *Opuntia ficus-indica* seeds. *Food Chemistry*, 139(1-4), 796–803. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.01.054>
- Chuck-Hernández, C., Parra-Saldívar, R., & Sandate-Flores, L. (2015). Pitaya (*Stenocereus* spp.). En B. Caballero, P.M. Finglas, & F. Toldrá (Eds.). *Encyclopedia of Food and Health* (385-391). Academic Press.

- Cota-Sánchez, J.H. (2016). *Chapter 28 – Nutritional Composition of the Prickly Pear (Opuntia ficus-indica) Fruit. Nutritional Composition of Fruit Cultivars.* Elsevier Inc.
- El-Mostafa, K., Kharrassi, Y., Badreddine, A., Andreoletti, P., Vamecq, J., Kebbaj, M., et al. (2014). Nopal Cactus (*Opuntia ficus-indica*) as a Source of Bioactive Compounds for Nutrition, Health and Disease. *Molecules*, 19(9), 14879-14901. <https://doi.org/10.3390/molecules190914879>
- Enciso, T.O., Zazueta, M.E.I., Rangel, M.D.M., Torres, J.B.V., Romero, M.V., & Verdugo, S.H. (2011). Calidad postcosecha de frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haw.) cosechados en tres estados de madurez. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 34(1), 63-72.
- Galati, E.M., Monforte, M.T., Miceli, N., Mondello, M.R., Taviano, M.F., Galluzzo, M., & Tripodo, M.M. (2007). *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. mucilages show cytoprotective effect on gastric mucosa in rat. *Phytotherapy Research*, 21(4), 344-346. <https://doi.org/10.1002/ptr.2075>
- García-Cruz, L., Salinas-Moreno, Y., & Valle-Guadarrama, S. (2012). Betalaínas, compuestos fenólicos y actividad antioxidante en pitaya de mayo (*Stenocereus griseus* H.). *Rev Fitotec Mex*, 35(5), 1-5.
- García-Lucas, K.A., Méndez-Lagunas, L.L., Rodríguez-Ramírez, J., Campanella, O.H., Patel, B.K., & Barriada-Bernal, L.G. (2016). Physical properties of spray dried *Stenocereus griseus* pitaya juice powder. *Journal of Food Process Engineering*, April, 1-9. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12470>
- Gengatharan, A., Dykes, G.A., & Choo, W.S. (2015). Betalains: Natural Plant Pigments with Potential Application in Functional Foods. *LWT – Food Science and Technology*, 64(2), 645–649. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.06.052>
- Grimaldo-Juárez, O., Terrazas, T., García-Velásquez, A., Cruz-Villagas, M., & Ponce-Medina, J.F. (2007). Morphometric Analysis of 21 Pitahaya (*Hylocereus undatus*) Genotypes. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 9, 99-117. Retrieved from <http://jpacd.org/downloads/Vol9/V9P99-117.pdf>

- Kang, J.-W., Shin, J.-K., Koh, E.-J., Ryu, H., Kim, H.J., & Lee, S.-M. (2016). *Opuntia ficus-indica* seed attenuates hepatic steatosis and promotes M2 macrophage polarization in high-fat diet-fed mice. *Nutrition Research*, 36(4), 369-379. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2015.12.007>
- Kaur, M., Kaur, A., & Sharma, R. (2012). Pharmacological actions of *Opuntia ficus indica*: A review. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 2(7), 15–18. <https://doi.org/10.7324/japs.2012.2703>
- López-Gómez, R., Díaz-Pérez, J.C., & Flores-Martínez, G. (2000). Vegetative propagation of three species of cacti: Pitaya (*Stenocereus griseus*), Tunillo (*Stenocereus stellatus*) and Jiotilla (*Escontria chiotilla*). *Agrociencia*, 34(3), 363-367.
- Mendoza-Rivera, R.D., Barbosa-Martín, E., Betancur-Ancona, D., Chel-Guerrero, L., & Corzo-Rios, L.J. (2016). Evaluación del potencial aprovechamiento de la semilla de tuna (*Opuntia ficus-indica*) como fuente de ingrediente alimentario. *IX Congreso Internacional de Ingeniería Bioquímica*. Boca del Rios, Veracruz.
- Mercado, J., & Granados, D. (2002). *La pitaya. Biología, Ecología, Fisiología sistemática, Etnobotánica*. México: Universidad Autónoma de Chapingo. 2º reimpresión.
- Obenland, D., Cantwell, M., Lobo, R., Collin, S., Sievert, J., & Arpaia, M.L. (2016). Impact of storage conditions and variety on quality attributes and aroma volatiles of pitahaya (*Hylocereus spp.*). *Scientia Horticulturae*, 199, 15-22. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.12.021>
- Ochoa-Velasco, C.E., García-Vidal, V., Luna-Guevara, J.J., Luna-Guevara, M.L., Hernández-Carranza, P., & Guerrero-Beltrán, J.J. (2012). Características antioxidantes, fisicoquímicas y microbiológicas de jugo fermentado y sin fermentar de tres variedades de pitahaya (*Hylocereus spp.*). *Scientia Agropecuaria*, 3, 279-289. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2012.04.02>
- Ortiz-Hernández, Y.D., & Carrillo-Salazar, J.A. (2012). Pitahaya (*Hylocereus spp.*): A short review. *Comunicata Scientiae*, 3(4), 220-237.
- Osuna-Martínez, U., Reyes-Esparza, J., & Rodríguez-Fragoso, L. (2014). Cactus (*Opuntia ficus-indica*): A Review on its Antioxidants Properties and Potential Pharmacological Use in Chronic Diseases. *Natural Products Chemistry & Research*, 2(6), 2-9. <https://doi.org/10.4172/2329-6836.1000153>

- Peña-Varela, G., Salinas-Moreno, Y., & Ríos-Sánchez, R. (2006). Contenido de antocianinas totales y actividad antioxidante en frutos de frambuesa (*Rubus idaeus* L.) con diferente grado de maduración. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 12(2), 159-163.
- Pereira Souza, C.M., Silva Almeida, F., Veiga Junior, V.F., de Lima Damasceno, B.P.G., Dantas Medeiros, A.C., Pereira Santana, D., & Silva, J.A. (2014). Characterization of atomized extract of *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. and assessment of its pharmaceutical potential. *Revista de Ciências Farmacêuticas Básica E Aplicada*, 35(2), 195-203.
- Pimienta-Barrios, E., Pimienta-Barrios, E., & Nobel, P.S. (2004). Ecophysiology of the pitayo de Queretaro (*Stenocereus queretaroensis*). *Journal of Arid Environments*, 59(1), 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2004.01.005>
- Ramadan, M.F., & Mörsel, J.T. (2003). Recovered lipids from prickly pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill] peel: A good source of polyunsaturated fatty acids, natural antioxidant vitamins and sterols. *Food Chemistry*, 83(3), 447-456. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00128-6](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00128-6)
- Rebollar, A., Romero, J., Cruz, P., & Zepeda, H. (2002). *El cultivo de la pitaya* (*Stenocereus* spp.), *una alternativa para el trópico seco del estado de Michoacán*. México: Universidad Autónoma de Chapingo. 2º edición.
- Stintzing, F.C., Schieber, A., & Carle, R. (2002). Betacyanins in fruits from red-purple pitaya, *Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britton & Rose. *Food Chemistry*, 77(1), 101-106. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(01\)00374-0](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00374-0)
- Suárez-Román, R.S., Caetano, C.M., & Ramírez, H. (2014). Multiplicación de *Selenicereus megalanthus* (pitahaya amarilla) e *Hylocereus polyrhizus* (pitahaya roja). *Acta Agronómica*, 63(3), 1-14. <https://doi.org/10.15446/acag.v63n3.40980>
- Treviño, J.F. (2000). *Estudio comparativo de los componentes químicos de callo y plátula de Steocereus griseus (Haworth) Buxabaum*. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Vaillant, F., Pérez, A., Dávila, I., Dornier, M., & Reynes, M. (2005). Colorant and antioxidant properties of red-purple pitahaya (*Hylocereus* sp.). *Fruits*, 60(1), 3-12. <https://doi.org/10.1051/fruits:2005007>

- Wichienchot, S., Jatupornpipat, M., & Rastall, R.A. (2010). Oligosaccharides of pitaya (dragon fruit) flesh and their prebiotic properties. *Food Chemistry*, 120(3), 850-857. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.11.026>
- Wu, L.C., Hsu, H.W., Chen, Y.C., Chiu, C.C., Lin, Y.I., & Ho, J.A.A. (2006). Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya. *Food Chemistry*, 95(2), 319-327. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.01.002>
- Wybraniec, S., & Mizrahi, Y. (2002). Fruit flesh betacyanin pigments in *Hylocereus cacti*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(21), 6086-6089. <https://doi.org/10.1021/jf020145k>