



## **Cladodios (*Opuntia spp.*):**

composición, compuestos bioactivos y sus  
beneficios en salud y nutrición

R. Aparicio-Ortuño\*, M. T. Jiménez-Munguía, A. E. Ortega-Regules, T. S. Silva-Pereira  
y K. Villaseñor-López

\*Programa de Doctorado en Ciencia de Alimentos  
Correos electrónicos: [rocio.aparicio00@udlap.mx](mailto:rocio.aparicio00@udlap.mx) • [ana.ortega@udlap.mx](mailto:ana.ortega@udlap.mx)

## RESUMEN

Los cladodios de nopal han sido un componente importante en la dieta de los mexicanos desde la época prehispánica, y también se utilizan como forraje y para el control de erosión del suelo, etcétera. En general, los cladodios tienen un alto valor nutricional debido a su contenido de fibra dietética, compuestos bioactivos, minerales y proteína. Dada su importancia, el objetivo del presente artículo fue llevar a cabo una revisión de diferentes aspectos de los cladodios de *Opuntia spp.*, tales como su composición química, los compuestos bioactivos presentes (polifenoles, flavonoides, fitoesteroles y clorofila), y sus diversas formas de consumo. También se exploraron los efectos benéficos en salud y nutrición, al coadyuvar en la prevención y/o mejoría de algunas enfermedades o padecimientos. Entre las propiedades con beneficios a la salud, se encontraron su capacidad antioxidante, antiinflamatoria, hipoglucémica y antiadipogénica, lo que ayuda a incentivar el desarrollo y consumo de cladodios en diversas aplicaciones.

**Palabras clave:** cladodio, *Opuntia spp.*, fibra dietética, compuesto bioactivo.

## ABSTRACT

Cladodes of nopal have been used since the pre-Hispanic era as an important component of the Mexican diet. These are also used as fodder and soil erosion control, among other uses. Overall, cladodes have a high nutritional value due to their dietary fiber content, bioactive compounds, minerals and protein. Due to its importance, the objective of the present article was to carry out a review of the fundamental aspects of the cladodes of *Opuntia spp.*, such as their chemical and nutritional composition, the presence of the bioactive compounds (polyphenols, flavonoids, phytosterols and chlorophyll), and their diverse forms of consumption. Moreover, the beneficial health and nutritional effects have been explored concerning the prevention and/or improvement of some diseases or health conditions. Amongst the beneficial health properties, it has been discovered its antioxidant, anti-inflammatory, hypoglycemic and antiadipogenic capacity, which incentivizes the development and consumption of cladodes in various applications.

**Keywords:** cladode, *Opuntia spp.*, dietary fiber, bioactive compound.

## INTRODUCCIÓN

Los cladodios de las especies *Opuntia spp.*, también llamados nopales, pertenecen a la familia de las cactáceas (Santos *et al.*, 2017). Estos son cactus adaptables al clima extremo, por lo que su cultivo requiere poca agua y pueden crecer en regiones áridas o semiáridas de todo el mundo. México es uno de los principales productores y también posee la mayor diversidad con al menos 126 especies (Santos *et al.*, 2017).

Los cladodios contienen compuestos bioactivos como polifenoles, flavonoides, carotenoides, ácido ascórbico, fitoesteroles y clorofila (Santos *et al.*, 2017). Estos pueden proporcionar beneficios importantes para la salud, como eliminar las sustancias químicas tóxicas; en otros casos mejoran la absorción y estabilidad de los nutrientes esenciales; y en algunos otros actúan ejerciendo efectos benéficos sobre la microbiota (factores de crecimiento, sustratos de fermentación, o inhibidores de bacterias intestinales dañinas) (Angulo *et al.*, 2014). Igualmente, su contenido de fibra dietética total previene trastornos gastrointestinales y enfermedades, especialmente aquellas asociadas con la baja ingesta de fibra dietética; también reduce los valores de glucosa en la sangre; y tiene efectos antihiperlipidémicos y antihipercolesterolémicos (Hernández *et al.*, 2011).

Por esta razón, la descripción e información sobre el consumo de los cladodios de *Opuntia spp.* puede ser de gran ayuda para promover su ingesta de forma que beneficie la salud y nutrición de la población en general y de personas con ciertos padecimientos o enfermedades crónicas. El objetivo de este artículo es llevar a cabo una revisión científica sobre los aspectos fundamentales de los cladodios de *Opuntia spp.*, su composición química, los compuestos bioactivos presentes y sus diversas formas de consumo. También se explorarán sus propiedades benéficas en salud y nutrición, pues son una fuente de fibra dietética y de cal-

cio, tienen propiedades antioxidantes, antiadipogénicas, hipoglucémicas y otros beneficios derivados de su consumo o de sus extractos bioactivos.

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 1. Descripción de los cladodios

Los cactus de *Opuntia spp.* producen alimentos comestibles conocidos a nivel mundial como cladodios, nopales, tallos o pencas. Según la Norma Mexicana FF-068-SCFI-2006, los cladodios son el segmento de un tallo de las especies de los géneros *Opuntia spp.* de forma aplanada, provistos de hojas reducidas temporales, gloquidias (ahuates) y espinas en puntos específicos denominadas areolas. A los cladodios jóvenes (brotes tiernos) se les llama nopal verdura. Los cladodios se clasifican por grado de calidad, tamaño y variedad; su longitud va desde 7 cm (Cambray) hasta 25.1 cm o más, según la norma mexicana.

Para el Codex Alimentarius (2006), el nopal es el tallo modificado de las variedades comerciales de nopales obtenidos de *Opuntia ficus indica*, *O. tomentosa*, *O. hyptiacantha*, *O. robusta*, *O. inermis*, *O. undulata*, de la familia de las *Cactaceae*, que habrán de suministrarse frescos al consumidor, después de su acondicionamiento y envasado. La longitud del nopal puede variar de 9 a 30 cm.

Los cladodios de *Opuntia spp.* se cultivan en más de 30 países, entre los que se encuentran Italia, Chile, Sudáfrica, Israel, Colombia y Estados Unidos, siendo México uno de los principales productores. Para el año 2019, según datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), se sembraron 12,799 hectáreas de nopal verdura a nivel nacional, con una producción de 821,000 toneladas y un rendimiento promedio de 71 toneladas por ha.

Con relación a la cosecha de los cladodios en México, esta se lleva a cabo por lo general cuando alcanzan una longitud de 20 a 25 cm y pesan de 90 a 100 g. La cosecha se realiza durante todo el año, aunque la productividad aumenta en primavera (Saénz *et al.*, 2006). La especie más cultivada es *Opuntia ficus indica* de las variedades Milpa Alta, Copena V-1, Copena F-1, Atlixco, Jalpa, Esmeralda y blanco de Valtierra (Saénz *et al.*, 2006). Por otro lado, el consumo per cápita anual en 2015 fue de 6.4 kg (SAGARPA).

### 1.1. Características botánicas

La clasificación botánica del género *Opuntia* se encuentra dentro del reino *Plantae*, división *Magnoliophyta*, clase *Magnoliopsida*, orden *Caryophyllales*, familia *Cactaceae*, subfamilia *Opuntioideae* y género *Opuntia* (Paiva *et al.*, 2016). A los cactus se les conoce también por el nombre de peras espinosas y hay aproximadamente 130 géneros y 1,500 especies. Los tallos de los cactus son gruesos, suculentos y de forma oblonga, tienen una epidermis gruesa y cerosa, la mayoría de las hojas son espinosas, la floración se produce en los cladodios con uno o dos años y los cactus del género *Opuntia* son comestibles (Isaac, 2017).

Los cactus del género *Opuntia* son nativos de varios ecosistemas, desde zonas áridas hasta tierras de gran altitud, y pueden crecer en temperaturas que varían de los -40 °C hasta regiones muy cálidas, por lo que pueden ser sembrados en zonas donde difícilmente crecen otras plantas. Al respecto, estos cactus son adaptables a lugares con muy poca precipitación pluvial, pues poseen un sistema de raíces poco profundo que se extiende para facilitar la absorción de agua y nutrientes y, al iniciar la sequía, estas se contraen de manera radial contribuyendo a disminuir la pérdida de líquido. Asimismo, los cladodios se encuentran protegidos por una cutícula gruesa, la cual puede estar cubierta de cera o pelos que disminuyen la pérdida de agua, además de que el mucílago presente en los tejidos tiene la capacidad

de absorber y retener líquido y las espinas presentes ayudan a evitar la pérdida de agua por transpiración durante el día (Saénz *et al.*, 2006; Santos *et al.*, 2017).

### 1.2. Usos y formas de consumo

En los últimos años, el nopal ha sido reconocido como uno de los cultivos más importantes en la economía, debido a sus propiedades nutricionales, funcionales, terapéuticas, su potencial en las industrias cosmética, farmacéutica, bioenergética y por sus aplicaciones ecológicas (Ciriminna *et al.*, 2019). Debido a lo anterior, hay un gran interés en el cultivo y utilización de los cladodios más allá de su uso alimenticio o en forraje para el ganado. A su vez, la planta de *Opuntia ficus indica* hospeda al insecto cochinitilla (*Dactylopius spp.*), el cual es la fuente de un tinte rojo muy valorado, el ácido carmínico (Ciriminna *et al.*, 2019). Los cladodios también pueden consumirse después de remover las espinas, ya sea frescos, precocidos, cocidos (hervidos, a la parrilla, fritos, en ensaladas, sopas), en salmuera, fermentados, en jugos, salsas, mermeladas, dulces y cristalizados (Saénz *et al.*, 2006).

De igual manera, los cladodios en polvo se pueden añadir a productos elaborados con harina de trigo, incluyendo pastas, galletas, pan, barras (artículos de panificación en general), y a otros hechos con maíz, que pueden ser tortillas, tostadas y totopos; esto con el objetivo de incrementar el contenido de fibra, calcio, potasio y polifenoles (Barba *et al.*, 2020). Otro uso en polvo se basa en su venta en cápsulas para regular el peso, el azúcar en la sangre o como fuente de fibra (Stinzing y Carle, 2005).

Una de las aplicaciones investigadas para el mucílago de nopal en polvo es la microencapsulación de compuestos bioactivos —como polifenoles— o pigmentos como betalainas; además de su empleo como agente emulsionante, espesante, estabilizante y como recubrimiento comestible para conservar la fruta fresca (Barba *et al.*, 2020). Otro uso del mucílago es el reportado

por Lugo-Arias *et al.* (2020), donde se utilizó como agente coagulante en una mezcla con almidón de yuca para eliminar la turbidez durante los procesos de purificación de agua.

En el área de la cosmética, la pulpa de los cladodios se utiliza para elaborar champús, acondicionadores, cremas corporales, jabones, geles para el cabello y protectores solares (Stintzing y Carle, 2005). También se aplica en la generación de biomasa para producir biocombustibles y productos de energía verde, por ejemplo, bioetanol y biodiesel (Ciriminna *et al.*, 2019). Por otra parte, la siembra de los cactus de *Opuntia spp.* contribuye a la preservación de los ecosistemas al formar barreras físicas que ayudan a controlar el viento y mantener la fertilidad del suelo, y al ser forraje importante para el ganado en áreas donde escasea el agua para el cultivo de pastura (Isaac, 2017). Por otro lado, en un estudio llevado a cabo por Mandujano-Ruiz *et al.* (2017) se probó, con buenos resultados, la eficacia de un extracto de nopal *Opuntia ficus indica* como posible inhibidor de corrosión del acero al carbono.

## 2. Composición química y nutricional de los cladodios

En los cladodios frescos de *Opuntia spp.*, el componente principal es el agua (80-95 %), seguido de hidratos de carbono (3-7 %), fibra (1-2 %), proteínas (0.5-1 %) y otros compuestos incluyendo lípidos, vitaminas, minerales y compuestos bioactivos. Dentro de los hidratos de carbono, el 50 % corresponde al mucílago, líquido viscoso secretado por los cladodios, cuya función fisiológica es regular los flujos de calcio de la planta y el contenido de agua celular durante sequías prolongadas (Ginestra *et al.*, 2009).

La composición química y nutricional de los cladodios puede variar según el tipo de especie, las condiciones ambientales, la etapa de madurez, temporada de cosecha y el tratamiento poscosecha (Astello-García *et al.*, 2015; Aruwa *et al.*, 2018). Por ejemplo, en función de su madurez, el contenido de lípidos puede disminuir y el de hidratos de carbono aumentar. Además, la síntesis de proteínas puede incrementar como una protección celular cuando el suelo es demasiado ácido o salino. Por su parte, el contenido de algunos minerales depende de ciertos factores,

incluyendo el pH, la disponibilidad de agua, el tipo y composición del suelo (Hernández *et al.*, 2011). Con relación al contenido de fibra dietética en los cladodios, se ha observado que la fibra dietética insoluble aumenta con la madurez y la fibra dietética soluble disminuye (Hernández-Urbiola *et al.*, 2010).

### 2.1. Macronutrientes

Los hidratos de carbono son los compuestos más abundantes en los cladodios, con una variación según la especie de *Opuntia spp.*, que varía de 55 a 75 g por cada 100 g de materia seca (tabla I). Para la especie de *Opuntia ficus indica* se observan valores diferentes, pues los de Hernández *et al.* (2011) —originarios de México— y Msaddak *et al.* (2015) —procedentes de Túnez— presentan datos similares (55.15 g y 59.16 g por cada 100 g de materia seca, respectivamente), a diferencia del valor reportado por Nabil *et al.* (2020) —originarios de Marruecos—, que es de 74.27 g por cada 100 g de materia seca. La cantidad de hidratos de carbono puede variar de acuerdo con el estado de madurez de los cladodios en el momento del análisis, así como por las condiciones ambientales y del suelo en el país donde se cultivan (Aruwa *et al.*, 2018).

El mucílago de los cladodios está compuesto por arabinosa, galactosa, ramnosa, xilosa y ácido galacturónico, además de manosa, fucosa y glucosa (Ginestra *et al.*, 2009). Otros hidratos de carbono y polisacáridos no amiláceos se encuentran en la fibra dietética de los cladodios, como la celulosa, las hemicelulosas, los hemiglucanos y la inulina (Gray, 2006). En el Codex Alimentarius (2009), la fibra dietética se define así: «Polímeros de hidratos de carbono con 10 o más unidades de monómeros, que no son hidrolizados por las enzimas endógenas en el intestino delgado de los seres humanos». En particular, los cladodios contienen tanto fibra dietética soluble como insoluble, ya que en su composición presentan mucílago, pectina, hemicelulosa, celulosa y lignina (Bautista *et al.*, 2010). Las propiedades fisicoquímicas (solubilidad, hidratación y viscosidad) de la fibra dietética influyen en su comportamiento durante la digestión. Con base en su solubilidad en agua, se puede dividir en fibra soluble (pectinas, gomas, oligosacáridos, etc.) y en fibra insoluble (celulosa, lignina, etc.) (Capuano, 2017).

**Tabla I.** Composición química de los cladodios en diferentes especies de *Opuntia spp.*

Especie de <i>Opuntia spp.</i>	Humedad*	Proteína*	Lípidos*	CHO'S totales*	Fibra*	Cenizas*	Ca*	K*	P*	Mg*	Referencias
<i>Opuntia monacantha</i>	5.13	5.12	1.72	74.87	TDF: 45.36 IDF: 32.86 SDF: 12.50	18.29	2.75	4.55	0.19	1.05	Dick <i>et al.</i> (2020)
<i>Opuntia ficus indica</i>	8.10	7.43	3.02	59.16	28.84	27.78	0.45	2.27	-	0.59	Msaddak <i>et al.</i> (2015)
<i>Opuntia ficus indica</i>	9.55	8.76	2.30	74.27	41.04	11.90	5.52	1.24	0.34	1.54	Nabil <i>et al.</i> (2020)
<i>Opuntia ficus indica</i> variedad Redonda	4.18	7.07	1.87	-	TDF: 66.6 IDF: 56.8 SDF: 9.8	24.3	0.04	0.07	-	0.01	Aguilera-Barreiro <i>et al.</i> (2013)
<i>Opuntia ficus indica</i>	4.81	7.78	1.50	55.15	Fibra cruda: 19.12	19.12	2.86	6.97	0.46	1.2	Hernández <i>et al.</i> (2011)
<i>Opuntia ficus indica</i> variedad Atlixco	5.65	1.13	1.22	-	TDF: 64.25 IDF: 54.45 SDF: 9.8	16.54	-	-	-	-	Bensadón <i>et al.</i> (2010)
<i>O. streptacantha</i> <i>O. hyptiacantha</i> <sup>a</sup> <i>O. megacantha</i> <sup>a</sup> <i>O. albicarpa</i> <sup>a</sup> <i>O. ficus indica</i> <sup>a</sup> <i>O. humifusa</i> <sup>a</sup>	-	11.2 11.0 10.7 11.6 11.2 4.7	0.73 0.80 0.69 0.75 0.69 1.25	-	Fibra cruda: 7.3 6.5 6.5 6.5 5.9 50.3	12.6 15.1 13.6 13.2 14.4 2.0	0.67 0.74 0.70 0.64 0.63 1.97	2.21 2.69 1.96 1.96 2.40 1.27	-	-	Santos <i>et al.</i> (2017)
<i>O. ficus indica</i> variedad Atlixco <sup>b</sup>	-	12.6	0.90	-	Fibra cruda: 5.35	14.8	0.63	2.67	-	-	Astello-García <i>et al.</i> (2015)
<i>O. ficus indica</i> variedad Redonda	5.02	13.10	2.87	-	TDF: 51.42 IDF: 33.21 SDF: 18.21	19.61	1.76 (%)	6.84 (%)	0.34 (%)	-	Rodríguez-García <i>et al.</i> (2007)
<i>O. ficus indica</i> variedad Milpa Alta	2.73	12.90	1.10	-	TDF: 47.48 IDF: 41.80 SDF: 5.68	18.38	-	-	-	-	Ramírez-Romero <i>et al.</i> (2015)

\* g/100 g en base seca

TDF: fibra dietética total; IDF: fibra dietética insoluble; SDF: fibra dietética soluble

<sup>a, b</sup> Mediciones en %

Ca: calcio; K: potasio; P: fósforo; y Mg: magnesio

La composición de la fibra dietética total en los cladodios varía desde 45 a 66 g por cada 100 g de materia seca (tabla I). La fibra dietética insoluble (32.86-56.8 g por cada 100 g de materia seca) es mayor que la fibra dietética soluble (9.8-18.21 g por cada 100 g de materia seca) en todas las especies de *Opuntia spp.*, lo que denota una mayor cantidad de material celulósico en los cladodios en comparación con la de mucilago, ya que este está compuesto por fibra dietética soluble. Algunas de las especies con mayor cantidad de fibra dietética total son *Opuntia ficus indica* variedad Redonda y *Opuntia ficus indica* variedad Atlixco con 66.6 g y 64.25 g por cada 100 g de materia seca, respectivamente.

En cuanto al contenido de proteína presente en los cladodios, este puede variar desde 1 a 13.1 g por cada 100 g de materia seca (tabla I). Para *Opuntia ficus indica* variedad Atlixco se observan valores diferentes; el reportado por Bensadón *et al.* (2010) de 1.13 g por cada 100 g de materia seca, y el de Astello-García *et al.* (2015) de 12.6 g por cada 100 g de materia seca. Ello puede deberse a la etapa de madurez de los cladodios al momento del análisis y la síntesis de proteína en la planta (Astello-García *et al.*, 2015). Otras variedades de *O. ficus indica* con un alto contenido de proteína son Milpa Alta y Redonda (12.9 g y 13.10 g por cada 100 g de materia seca, respectivamente). Además, se han detectado 17 aminoácidos en los cladodios, que mayoritariamente son glutamina, leucina, lisina, valina, arginina, fenilalanina, isoleucina, treonina, metionina, triptófano e histidina (Hernández-Urbiola *et al.*, 2010; El-Mostafa *et al.*, 2014).

Los lípidos son el componente minoritario en los cladodios, dado que pueden variar de 0.69 a 3 g por cada 100 g de materia seca (tabla I). Además, se ha encontrado una fracción de esteroides en la clorofila de la corteza, junto con la presencia de sitosterol, ácidos grasos y terpenos (Stintzing y Carle, 2005), y ácidos grasos poliinsaturados como el ácido linoleico y linolénico (El-Mostafa *et al.*, 2014).

## 2.2. Micronutrientes

Los minerales que se encuentran en mayor cantidad en los cladodios son el calcio y el potasio, seguidos del fósforo y el magnesio (tabla I). Algunos autores han reportado una cantidad más alta de potasio que de calcio (Hernández *et al.*, 2011; Dick *et al.*, 2020) mientras que, en otros estudios, se informó una mayor cantidad de calcio, lo cual puede deberse al tipo y composición

del suelo. El calcio puede fluctuar de 0.04-5.5 g/100 g de materia seca, el potasio de 0.07-6.97 g/100 g de materia seca, el fósforo de 0.19-4.6 g/100 g de materia seca y el magnesio de 0.01-1.54 g/100 g de materia seca. En cuanto a las vitaminas, hay presencia de ácido ascórbico (vitamina C), riboflavina (vitamina B<sub>2</sub>), niacina (vitamina B<sub>3</sub>) y tiamina (vitamina B<sub>1</sub>) (Stintzing y Carle, 2005).

## 2.3. Compuestos bioactivos

El vocablo *bioactivo* es un término alternativo para *biológicamente activo*, el cual refiere a una sustancia con actividad biológica; causa una reacción que desencadena una respuesta en el tejido vivo. Los compuestos bioactivos son sustancias químicas como polifenoles, flavonoides, ácidos fenólicos, vitaminas y carotenoides, entre otros, que se encuentran en pequeñas cantidades en plantas y ciertos alimentos, los cuales generan acciones en el cuerpo que pueden promover la buena salud (Guaadaoui *et al.*, 2014). Con relación a los polifenoles, sus estructuras químicas se caracterizan por la presencia de varios grupos fenólicos que pueden estar asociados con otros compuestos de alto peso molecular; además, son generalmente subproductos del metabolismo de las plantas (El-Mostafa *et al.*, 2014).

En el caso de los cladodios, los compuestos bioactivos presentes son, predominantemente, polifenoles, flavonoides, carotenoides y clorofila (Santos *et al.*, 2017). De estos, se han identificado más de 30 compuestos con propiedades antioxidantes, algunos de los cuales son kaempferol, quercetina, isorhamnetina, ácido gálico, glucósidos de isorhamnetina, narcisina, nicotiflorina y el ácido p-hidroxibenzoico. Con respecto a los carotenoides, la luteína, el  $\beta$ -caroteno y la  $\beta$ -criptoxantina son los más abundantes (Santos *et al.*, 2017; Barba *et al.*, 2020). En la tabla II se muestran diferentes compuestos bioactivos encontrados y cuantificados en los cladodios de diferentes especies. Los de *Opuntia ficus indica* son kaempferol, isorhamnetina, quercetina, narcisina, ácido ferúlico, betacianinas y betaxantinas, entre otros. Para las especies de *O. robusta*, *O. streptacantha* y *O. undulata*, se han identificado kaempferol e isorhamnetina. Otros autores solo mencionan el contenido total de ácidos fenólicos y flavonoides (Santos-Zea *et al.*, 2011) para *O. megacantha* y *O. albicapa*, al igual que Astello-García *et al.* (2015) para *O. streptacantha*, *O. hyptiacantha*, *O. megacantha* y *O. ficus indica*.

**Tabla II.** Contenido de compuestos bioactivos y efectos benéficos de los cladodios en diferentes especies de *Opuntia spp.*

Especie de <i>Opuntia spp.</i>	Compuesto bioactivo	Concentración	Efectos benéficos	Referencias
<i>O. megacantha</i>	Ácidos fenólicos totales Flavonoides totales	6.7-19.5 mg GAE/g base seca 3.2-5.62 mg GAE/g base seca	Capacidad antioxidante, con propiedades antiaterogénicas al neutralizar la formación de Especies Reactivas de Oxígeno (ROS).	Santos <i>et al.</i> (2017)
<i>O. rastrera</i>	Ácidos fenólicos totales Kaempferol Isorhamnetina	0.39 mg/g base seca 28.9 µg/g base seca 199.8 µg/g base seca	Efecto citotóxico en cáncer de colon en humanos (extracto de <i>O.ficus indica</i> o glicósido purificado de isorhamnetina).	
<i>O. robusta</i>	Kaempferol Isorhamnetina	45.6 µg/g base seca 99.58 µg/g base seca		
<i>O. streptacantha</i>	Kaempferol Isorhamnetina	42.2 µg/g base seca 59.9 µg/g base seca		
<i>O. albicapa</i>	Ácidos fenólicos totales Flavonoides totales	5.83-18 mg GAE/g base seca 2.5-5.62 mg QE/g base seca		
<i>O. ficus indica</i>	Ácidos fenólicos totales Flavonoides totales	6.8-18 mg GAE/g base seca 5.3-6.1 mg QE/g base seca		
<i>O. undulata</i>	Kaempferol Isorhamnetina	12.9 µg/g base seca 326.9 µg/g base seca		
<i>O. ficus indica</i>	Ácido gálico Coumarico 3,-4 Dihydroxibenzoico 4-Hidroxybenzoico Ácido ferúlico Isoquercetina Isorhamnetina-3- <i>O</i> - Nicotiflorina Rutin Narcisin	0.64-2.37 mg/100 g 14.08-16.18 mg/100 g 0.06-5.02 mg/100 g 0.5-4.72 mg/100 g 0.56-34.77 mg/100 g 2.29-39.67 mg/100 g 4.59-32.21 mg/100 g 2.89-146.5 mg/100 g 2.36-26.17 mg/100 g 14.69-137.1 mg/100 g	Mecanismo antiinflamatorio y neuroprotector (nicotiflorina) al atenuar el déficit neurológico inducido por isquemia.	El-Mostafa <i>et al.</i> (2014)
<i>O. ficus indica</i>	Ácido piscidico I Ácido eucomico Kaempferol Isorhamnetina Narcisina Polifenoles totales	967.2 mg/100 g 48.8 mg/100 g 6.8 mg/100 g 254.4 mg/100 g 75.2 mg/100 g 1446.8 mg/100 g	Capacidad antioxidante, simulación de digestión gastrointestinal con una alta bioaccesibilidad y absorción intestinal de los polifenoles.	Missaoui <i>et al.</i> (2020)
<i>O. streptacantha</i>	Ácidos fenólicos Flavonoides	56.8 µmol GAE/g base seca 18.0 µmol QE/g base seca	Capacidad antioxidante de los polifenoles, actividad antitumoral y antiinflamatoria (kaempferol).	Astello-García <i>et al.</i> (2015)
<i>O. hyptiacantha</i>	Ácidos fenólicos Flavonoides	33.4 µmol GAE/g base seca 17.1 µmol QE/g base seca		
<i>O. megacantha</i>	Ácidos fenólicos Flavonoides	44.7 µmol GAE/g base seca 16.8 µmol QE/g base seca		
<i>O. ficus indica</i>	Ácidos fenólicos Flavonoides	40.1 µmol GAE/g base seca 19.4 µmol quercetina/g base seca		

**Tabla II.** Contenido de compuestos bioactivos y efectos benéficos de los cladodios en diferentes especies de *Opuntia spp.* (continuación)

Especie de <i>Opuntia spp.</i>	Compuesto bioactivo	Concentración	Efectos benéficos	Referencias
<i>O. ficus indica</i>	Ácido ascórbico Betacianinas Betaxantinas Carotenos Fenoles	182.36 mg/100 g base seca 5.02 mg/kg 3.52 mg/kg 254.75 µg/g base seca 203.18 mg/kg	Contenido y capacidad antioxidante mayor en los cladodios en polvo, se pueden formular alimentos saludables.	Du Toit <i>et al.</i> (2018)
<i>O. ficus indica</i> variedad Milpa Alta	Fenoles totales Flavonoides Quercitina Kaempferol Isorhamnetina B-Caroteno	60.0 g/kg base húmeda 20.79 g/kg base húmeda 1.995 g/kg base seca 2.201 g/kg base seca 4.065 g/kg base seca 1.16 g/kg base húmeda	El proceso de deshidratación conserva los compuestos bioactivos con beneficios a la salud humana en varias enfermedades crónicas (cáncer, hipertensión, cardiovasculares).	Medina-Torres <i>et al.</i> (2011)
<i>O. ficus indica</i> variedad Fresa	Isorhamnetina Quercitina Kaempferol Miricetina	0.62 mg/g base seca 1.80 mg/g base seca 0.47 mg/g base seca 4.27 mg/g base seca	Desarrollo de productos saludables con altos niveles de polifenoles.	Mena <i>et al.</i> (2018)
<i>O. ficus indica</i> de Ficodindia di San Cono	Flavonoides-antocianinas Flavonoides-flavonas Flavonoides-flavonoles Lignanos Otros fenoles Ácidos fenólicos	1440.19 mg/kg de fenoles 52.64 mg/kg de fenoles 357.59 mg/kg de fenoles 9.99 mg/kg de fenoles 86.17 mg/kg de fenoles 1453.83 mg/kg de fenoles	Propiedad antioxidante que neutraliza radicales libres reduciendo el estrés oxidativo que puede dañar moléculas como proteínas, ADN y lípidos.	Rocchetti <i>et al.</i> (2018)
<i>O. ficus indica</i> variedad Atlixco	Fenoles totales Carotenoides	2.69 g GAE/100 g base seca 21.32 g GAE/100 g base seca	Capacidad antioxidante sinérgica de los polifenoles y carotenoides con beneficios para la salud.	Bensadón <i>et al.</i> (2010)
<i>O. ficus indica</i> variedad Milpa Alta	Fenoles totales Carotenoides	3.71 g GAE/100 g base seca 22.84 g GAE/100 g base seca		
<i>O. ficus indica</i> variedad Jalpa	Fenoles totales	318.11 µg GAE/g base seca	Capacidad antioxidante de los cladodios en polvo e inhibición de radicales libres, su uso en alimentos procesados como pan o tortillas.	Santos-Zea <i>et al.</i> (2011)
<i>O. ficus indica</i> variedad Villanueva	Fenoles totales	593.10 µg GAE/g base seca		

GAE: ácido gálico, QE: quercetina.

### 3. Propiedades benéficas del consumo de cladodios y sus extractos bioactivos en la salud y nutrición

Los beneficios del consumo de cladodios y sus extractos bioactivos han sido sugeridos por la medicina tradicional con una base científica, gracias a numerosos modelos experimentales dedicados a la evaluación de sus compuestos para tratar diferentes enfermedades. Los estudios *in vitro* e *in vivo* son convergentes para

concluir que los extractos de *Opuntia ficus indica* presentan propiedades antioxidantes, antiadipogénicas, hipoglucémicas y antiinflamatorias para continuar con su exploración y desarrollo farmacológico (El-Mostafa *et al.*, 2014). En la tabla III se presenta un resumen de los diversos beneficios en salud y nutrición identificados. Estos se han observado *in vivo* en ratas y ratones, pero también en grupos de humanos saludables o con algún padecimiento de diabetes *mellitus* tipo 2, dislipidemias, sobrepeso u obesidad.

**Tabla III.** Beneficios de los cladodios en diferentes modelos experimentales

Tipo de producto e ingesta o dosis suministrada	Beneficio	Modelo experimental	Referencias
Cladodios de nopal fresco: 300 g diarios durante 3 días	Se observó capacidad antioxidante <i>in vitro</i> e <i>in vivo</i> en el plasma y sangre de sujetos sanos.	<i>in vitro</i> e <i>in vivo</i>	Ávila-Nava <i>et al.</i> (2014)
Fibra de <i>Opuntia ficus indica</i> (Litramine IQP G-002AS). 3 g/d durante doce semanas	Reducción de peso corporal en sujetos con sobrepeso y obesidad.	<i>in vivo</i>	Grube <i>et al.</i> (2013)
Cladodios frescos de <i>Opuntia ficus indica</i> variedad Milpa Alta. 250 g/d	Reduce la glucosa en sangre posprandial y la insulina sérica, e incrementa la actividad antioxidante en sujetos sanos y con diabetes tipo 2.	<i>in vivo</i>	López-Romero <i>et al.</i> (2014)
<i>Opuntia ficus indica</i> variedad Milpa Alta en polvo. 4 % de nopal/d durante siete días	Atenúa la esteatosis hepática y el estrés oxidativo en ratas obesas.	<i>in vivo</i>	Moran-Ramos <i>et al.</i> (2012)
<i>Opuntia ficus indica</i> variedad Milpa Alta en polvo. 4 %/d durante 28 días	Reduce adiposidad, inflamación intestinal y cambios en la microbiota y metabolismo de ratas obesas.	<i>in vivo</i>	Moran-Ramos <i>et al.</i> (2017)
<i>Opuntia ficus indica</i> en polvo. 3 g/d durante 90 días	Mejora el perfil lipídico en individuos con dislipidemia y sobrepeso/obesidad.	<i>in vivo</i>	Muñoz <i>et al.</i> (2014)
Extracto acuoso de <i>Opuntia ficus indica</i> variedad Milpa Alta. 500 mg/k de peso	Efecto hipocolesterolémico en ratones con hipercolesterolemia por inhibición de la lipasa pancreática.	<i>in vivo</i>	Padilla-Camberos <i>et al.</i> (2015)
<i>Opuntia ficus indica</i> en polvo variedad Milpa Alta. 50 mg/k de peso	Reduce la glucosa en sangre posprandial en ratas con diabetes inducida y la difusión de glucosa <i>in vitro</i> .	<i>in vitro</i> e <i>in vivo</i>	Nuñez-López <i>et al.</i> (2013)
<i>Opuntia ficus indica</i> en polvo variedad Milpa Alta. 100 g/d durante 21 días	Mejora la capacidad antioxidante y la concentración de polifenoles totales en plasma; disminuye la glucosa, los triglicéridos y el colesterol total y en sujetos sanos.	<i>in vivo</i>	Guevara-Araza <i>et al.</i> (2011)
Fibra de <i>Opuntia ficus indica</i> (Litramine IQP G-002AS). 500 mg/d durante 45 días	Promueve la excreción fecal de grasa en adultos sanos.	<i>in vivo</i>	Uebelhack <i>et al.</i> (2014)
Extracto de <i>Opuntia ficus indica</i> . 250 µg/k durante 16 días	Efecto quimiopreventivo sobre el estrés oxidativo y la genotoxicidad de la aflatoxina B1 en ratones.	<i>in vivo</i>	Brahmi <i>et al.</i> (2011)

### 3.1. Fuente de fibra dietética

En las últimas décadas, los cambios relacionados con una alimentación deficiente han llevado a desarrollar problemas de salud; por ejemplo, diabetes, cáncer de colon, hipertensión, y otros desórdenes metabólicos, por lo que el consumo de fibra dietética ha cobrado relevancia. La ingesta de fibra dietética tiene un papel preventivo y terapéutico importante contra estos padecimientos (Corte *et al.*, 2011). Algunas propiedades de

la fibra dietética son la disminución en el tiempo de tránsito intestinal y que el aumento en el volumen de las deposiciones es fermentable por la microflora colónica, también previene trastornos gastrointestinales, reduce los niveles de colesterol total y los niveles posprandiales de glucosa y/o insulina en la sangre (Capuano, 2017).

Por otra parte, la fibra dietética puede transportar una cantidad significativa de compuestos bioactivos, tales como poli-

fenoles y carotenoides vinculados a la matriz de fibra a través del intestino humano. En promedio, el 2.5 % de la fibra dietética insoluble consiste en polifenoles (Bensadón *et al.*, 2010).

### 3.2. Fuente de calcio

La osteoporosis es un problema de salud pública en las mujeres mexicanas de 50 años o más, con una prevalencia del 16 % en osteoporosis y del 57 % en osteopenia, cuya consecuencia son fracturas asociadas a la baja masa ósea. La ingesta de calcio es esencial para el crecimiento y mantenimiento de hueso. De acuerdo con los National Institutes of Health (2019), en las mujeres pre y posmenopáusicas el requerimiento de calcio es de 1,200 mg/día. La ingesta de nopal deshidratado puede ser una excelente fuente de calcio en la dieta para mejorar o mantener la salud ósea (la densidad mineral ósea) y la calciuria (el balance de calcio en el organismo), como medida preventiva de la osteoporosis en mujeres pre y posmenopáusicas con baja masa ósea (Aguilera-Barreiro *et al.*, 2013).

En general, los cladodios de *Opuntia spp.* contienen más calcio (*Opuntia ficus indica* 5.52 g/100 g, según Nabil *et al.*, 2020) que otras verduras como las espinacas (1.15 g/100 g), lechuga (0.80 g/100 g) y col (0.50 g/100 g) (Santos *et al.*, 2017).

### 3.3. Propiedad antioxidante

El estrés oxidativo se asocia con el proceso general de envejecimiento y la muerte celular que afecta a los principales sistemas de órganos y tiene relación con todas las enfermedades cardiovasculares (Brieger *et al.*, 2012).

Aunado a esto, los antioxidantes son sustancias que, en bajas concentraciones, previenen o retrasan la oxidación de biomoléculas como lípidos, proteínas y ácidos nucleicos; y contrarrestan los radicales libres para evitar el daño oxidativo. La propiedad antioxidante se reconoce por la habilidad de eliminar o barrer los radicales libres, lo que protege a las células contra los efectos perjudiciales de las especies reactivas de oxígeno (Ndhkala *et al.*, 2010).

Esta propiedad antioxidante es uno de los principales mecanismos para que los cladodios proporcionen beneficios a la salud, gracias a que los polifenoles presentes en su composición tienen la capacidad de donar un átomo de hidrógeno o un electrón a un radical libre (u otras especies reactivas) y proteger a las células contra la oxidación (Andreu *et al.*, 2018). Se ha informado que los cladodios en polvo presentan un mayor contenido y capacidad antioxidante respecto a los cladodios frescos. Esto se debe a que se ha observado que el calor impacta las paredes de los tejidos celulares, lo que provoca que los antioxidantes sean liberados; además, el tratamiento térmico inactiva ciertas enzimas que pudieran afectarlos. Por otra parte, el calor provoca la formación de nuevos grupos estructurales que aumentan la actividad antioxidante; por ejemplo, la formación de grupos hidroxilo y cambios en la estructura de los polifenoles aumenta la capacidad antioxidante del ácido gálico. Estos cambios también permiten que los antioxidantes sean más estables al pH y su actividad antioxidante continúe a lo largo del tracto digestivo (Du Toit *et al.*, 2018).

En el mismo contexto, se ha observado en estudios *in vitro* que los extractos etanólicos de cladodios de *Opuntia ficus indica* pueden reducir la producción de moléculas clave liberadas en la inflamación crónica como óxido nítrico, glicosoaminoglicanos y especies reactivas de oxígeno, al inhibir su producción en las células a través de la supresión de ciertas proteínas y expresiones del RNA mensajero, lo que puede retardar la neurotoxicidad y aligerar los daños resultantes en las células. Asimismo, las beta-lainas de la pulpa en fresco de los cladodios pueden ayudar en los trastornos degenerativos que afectan a la función endotelial; por ejemplo, en la aterosclerosis, aterotrombosis, isquemia y accidente cerebrovascular al disminuir la expresión de moléculas de adhesión celular debido a sus propiedades antioxidantes (El-Mostafa *et al.*, 2014).

### 3.4. Propiedad antiadipogénica

La propiedad antiadipogénica o hipolipemiante se refiere a cualquier sustancia con la propiedad de disminuir los niveles

de lípidos en la sangre. Dentro de los hipolipemiantes naturales se encuentran la fibra dietética, los ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados, los fitoesteroles y los antioxidantes (como polifenoles y flavonoides). El consumo de alimentos con estas características puede ayudar a reducir las concentraciones séricas del colesterol total y los triglicéridos (Ramírez y Román, 2018).

De acuerdo con lo anterior, los cladodios de nopal de *Opuntia ficus indica* pueden tener múltiples efectos sobre el metabolismo, en la regulación de lípidos, colesterol total, lipoproteína de alta densidad y lipoproteína de baja densidad; los polifenoles inhiben la enzima lipasa pancreática, la cual cataliza la hidrólisis de los triglicéridos para ser absorbidos por el cuerpo; además, el nivel de colesterol se reduce y se previene la hiperlipidemia (Padilla-Camberos *et al.*, 2015). De igual forma, el contenido de fibra dietética reduce los niveles de colesterol en hiperlipidemias, mejora la función de las plaquetas y contribuye a prevenir el riesgo ateroesclerótico (Santos *et al.*, 2017).

### 3.5. Propiedad hipoglucémica

La diabetes *mellitus* tipo 2 es una enfermedad multifactorial que incluye determinantes genéticos de la persona y su estilo de alimentación (Santos *et al.*, 2017). Se considera un problema de salud a nivel mundial con una incidencia creciente, que puede invalidar con el tiempo a quien la padece con complicaciones al sistema vascular, riñón, corazón, nervios u ojos, etcétera (Santos *et al.*, 2017).

La ingesta de cladodios de *Opuntia spp.* mejora la respuesta posprandial de glucosa e insulina en sangre en estudios llevados a cabo en animales de laboratorio y pacientes diabéticos. Además, se ha observado que la eficacia hipoglucémica puede ser mayor en los extractos de *Opuntia ficus indica* que han sido sometidos a un tratamiento térmico (Santos *et al.*, 2017). Este beneficio hipoglucémico puede deberse al contenido de fibra dietética de los cladodios, ya que hace más lenta la absorción de glucosa al aumentar la viscosidad de los alimentos en el intestino; otra hipótesis está

relacionada con el estímulo de su ingesta para secretar insulina a través de una acción directa sobre las células beta pancreáticas. De igual forma, los compuestos bioactivos de los cladodios pueden apoyar en la prevención de complicaciones cardiovasculares derivadas de la diabetes, ya que ejercen un efecto inhibitorio sobre el estrés oxidativo generado por glucosa alta (Santos *et al.*, 2017).

### 3.6. Otros beneficios

Se ha estudiado la actividad antimicrobiana de los extractos metanólicos, etanólicos o acuosos de *Opuntia ficus indica* sobre el crecimiento de *Campylobacter jejuni* y *Campylobacter coli* (microorganismos causantes de gastroenteritis bacteriana transmitida en los humanos por los alimentos) y *Clostridium perfringens*. También se ha estudiado el efecto bactericida en *Vibrio cholerae*, siendo el extracto metanólico el más eficiente. Los extractos alteran la membrana celular, lo que conduce a un aumento en la permeabilidad de esta y ello, a su vez, deviene en un decremento en el pH y el ATP. La concentración mínima bactericida se observó en diferentes variedades de *Opuntia ficus indica*; para *Campylobacter jejuni* fue de 1.1 a 12.5 mg/ml, de 4.4 a 30 mg/ml para *Vibrio cholerae* y de 0.8 a 16 mg/ml para *Clostridium perfringens*. De tal manera, hay un interés farmacológico en *Opuntia ficus indica* para prevenir la contaminación de alimentos por *Campylobacter* y *Vibrio cholerae*, así como para el tratamiento del tracto intestinal por trastornos asociados con estos microorganismos (El-Mostafa *et al.*, 2014; Sánchez *et al.*, 2014).

También se utiliza *Opuntia ficus indica* en medicina tradicional para tratar quemaduras, heridas, edema, obesidad, gastritis y sus extractos alcohólicos como analgésicos, antiinflamatorios, protectores de las capas mucosas y antivirales (El-Mostafa *et al.*, 2014; Osuna-Martínez *et al.*, 2014).

Diferentes estudios han evaluado los beneficios de extractos de *Opuntia ficus indica* en el tratamiento de los síntomas de la resaca en los seres humanos, que se debe en parte a la inflamación y alteración de los lípidos. Síntomas que incluyen náuseas,

sequedad en la boca y anorexia se redujeron al ser ingerido el extracto de *Opuntia ficus indica* cinco horas antes del consumo de alcohol (Osuna-Martínez *et al.*, 2014).

## CONCLUSIONES Y COMENTARIOS FINALES

Los artículos revisados en el presente documento compilan información sobre los cladodios de *Opuntia spp.* y su importancia botánica como especie adaptable en regiones áridas, pues pueden constituir una alternativa nutritiva, y a su vez económica, de alimento en lugares donde otro tipo de cultivos son limitados. Los diversos estudios sobre su composición demuestran que el contenido de fibra dietética y compuestos bioactivos son un gran incentivo para continuar los estudios de especies *Opuntia spp.* endémicas, los cuales permitirán profundizar en su composición química y nutrimental, diversificarán sus formas de uso e incentivarán su ingesta.

Al analizar las ventajas en salud y nutrición relacionadas con el consumo de cladodios y sus extractos, se han encontrado estudios experimentales (en animales y humanos) donde se presentan propiedades antioxidantes, antiadipogénicas y antiinflamatorias benéficas.

El consumo de cladodios de nopal en fresco no suele ser del agrado de muchas personas, en especial de los niños, ya sea por su sabor y/o consistencia. Por ello, los cladodios en polvo pueden ser una línea de investigación para el desarrollo de nuevos productos.

En conclusión, los cladodios de *Opuntia spp.* son una fuente accesible de fibra dietética y compuestos bioactivos con beneficios asociados a la nutrición y salud, por lo que su consumo puede prevenir o ayudar a tratar ciertos padecimientos o enfermedades.

## AGRADECIMIENTOS

La autora R. Aparicio-Ortuño agradece a la Universidad de las Américas Puebla (UDLAP) y al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) — hoy Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI)— por el financiamiento de sus estudios de posgrado.

## REFERENCIAS

- Aguilera-Barreiro, M., Rivera-Márquez, J. A., Trujillo-Arriaga, H. M., Tamayo y Orozco, J. A., Barreira-Mercado, E. y Rodríguez-García, M. E. (2013). Intake of dehydrated nopal (*Opuntia ficus indica*) improves bone mineral density and calciuria in adult Mexican women. *Food & Nutrition Research*, 57(1).
- Andreu, L., Nuncio-Jáuregui, N., Carbonell-Barrachina, Á. A., Legua, P. y Hernández, F. (2018). Antioxidant properties and chemical characterization of Spanish *Opuntia ficus-indica* Mill. cladodes and fruits: Bioactive compounds of Spanish *Opuntia ficus-indica*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(4), 1566-1573.
- Angulo, B., Martínez, C. y Paredes, L. (2014). Phytochemical Content, Nutritional Potential and Biotechnological Applications of an Ancient Mexican Plant: Nopal (*Opuntia ficus-indica*). *Current Nutrition & Food Science*, 10(3), 196-217.
- Aruwa, C. E., Amoo, S. O. y Kudanga, T. (2018). *Opuntia* (Cactaceae) plant compounds, biological activities and prospects - A comprehensive review. *Food Research International*, 112, 328-344.
- Astello-García, M. G., Cervantes, I., Nair, V., Santos-Díaz, M. del S., Reyes-Agüero, A., Guéraud, F., Negre-Salvayre, A., Rossignol, M., Cisneros-Zevallos, L. y Barba de la Rosa, A. P. (2015). Chemical composition and phenolic compounds profile of cladodes from *Opuntia spp.* Cultivars with different domestication gradient. *Journal of Food Composition and Analysis*, 43, 119-130.
- Ávila-Nava, A., Calderón-Oliver, M., Medina-Campos, O. N., Zou, T., Gu, L., Torres, N., Tovar, A. R. y Pedraza-Chaverri, J. (2014). Extract of cactus (*Opuntia ficus indica*) cladodes scavenges reactive oxygen species *in vitro* and enhances plasma antioxidant capacity in humans. *Journal of Functional Foods*, 10, 13-24.
- Barba, J., García, C., Fessard, A., Munekata, S., Lorenzo, M., Aboudia, A., Ouadia, A. y Remize, F. (2020). *Opuntia Ficus Indica* Edible Parts: A Food and Nutritional Security Perspective. *Food Reviews International*, 1-23.
- Bautista, J., Pineda, T., Camarena, A., Alanís, G., Da Mota, V. y Barboza, C. (2010). El nopal fresco como fuente de fibra y calcio en panqués. *Acta Universitaria*, 20(3), 11-17.
- Bensadón, S., Hervert-Hernández, D., Sáyago-Ayerdi, S. G. y Goñi, I. (2010). By-Products of *Opuntia ficus-indica* as a Source of Antioxidant Dietary Fiber. *Plant Foods for Human Nutrition*, 65(3), 210-216.
- Brahmi, D., Bouaziz, C., Ayed, Y., Ben Mansour, H., Zourgui, L. y Bacha, H. (2011). Chemo preventive effect of cactus *Opuntia ficus indica* on oxidative stress and genotoxicity of aflatoxin B<sub>1</sub>. *Nutrition & Metabolism*, 8(1), 73.
- Brieger, K., Schiavonea, S., Miller, F. y Heinz, K. (2012). Reactive oxygen species: from health to disease. *Swiss Medical Weekly*, 142: w13659.
- Capuano, E. (2017). The behavior of dietary fiber in the gastrointestinal tract deter-

- mines its physiological effect. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(16), 3543-3564.
- Ciriminna, R., Chavarria-Hernández, N., Rodríguez-Hernández, A. I. y Pagliaro, M. (2019). Toward unfolding the bioeconomy of nopal (*Opuntia spp.*). *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 13(6), 1417-1427.
- Codex Alimentarius. (2005). *Norma para el nopal*. CODEX-STAN-185-1993.
- Corte, O., Martínez, F. y Ortiz, A. (2011). Efecto del consumo de la fibra dietética en la expresión cuantitativa del receptor de butirato GPR43 en colon de ratas. *Nutrición Hospitalaria*, 26(5), 1052-1058.
- Dick, M., Limberger, C., Cruz Silveira Thys, R., de Oliveira Rios, A. y Hickmann Flôres, S. (2020). Mucilage and cladode flour from cactus (*Opuntia monacantha*) as alternative ingredients in gluten-free crackers. *Food Chemistry*, 314.
- Du Toit, A., de Wit, M., Osthoff, G. y Hugo, A. (2018). Antioxidant properties of fresh and processed cactus pear cladodes from selected *Opuntia ficus-indica* and *O. robusta* cultivars. *South African Journal of Botany*, 118, 44-51.
- El-Mostafa, K., El Kharrassi, Y., Badreddine, A., Andreoletti, P., Vamecq, J., El Kebbaj, M., Latruffe, N., Lizard, G., Nasser, B. y Cherkaoui-Malki, M. (2014). Nopal Cactus (*Opuntia ficus-indica*) as a Source of Bioactive Compounds for Nutrition, Health and Disease. *Molecules*, 19(9), 14879-14901.
- Ginestra, G., Parker, M. L., Bennett, R. N., Robertson, J., Mandalari, G., Narbad, A., Lo Curto, R. B., Bisignano, G., Faulds, C. B. y Waldron, K. W. (2009). Anatomical, Chemical, and Biochemical Characterization of Cladodes from Prickly Pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(21), 10323-10330.
- Gray, J. (2006). Dietary Fibre, ILSI Europe Concise Monograph Series. *International Life Sciences Institute*, 1-35.
- Grube, B., Chong, P., Lau, K. y Orzechowski, H. (2013). A natural fiber complex reduces body weight in the overweight and obese: A double-blind, randomized, placebo-controlled study. *Obesity*, 21(1), 58-64.
- Guaadaoui, A., Benaicha, S., Elmajdoub, N., Bellaoui, M. y Hamal, A. (2014). What is a Bioactive Compound? A Combined Definition for a Preliminary Consensus. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 3(3), 174-179.
- Guevara-Arauz, J. C., Órnelas, P., Rosales, M., Soria, G., Paz, M. y Pimentel, G. (2011). Biofunctional activity of tortillas and bars enhanced with nopal. Preliminary assessment of functional effect after intake on the oxidative status in healthy volunteers. *Chemistry Central Journal*, 5(1), 1-10.
- Hernández, U., Pérez, T. y Rodríguez, G. (2011). Chemical Analysis of Nutritional Content of Prickly Pads (*Opuntia ficus indica*) at Varied Ages in an Organic Harvest. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8(5), 1287-1295.
- Hernández-Urbiola, M. I., Contreras-Padilla, M., Pérez-Torrero, E., Hernández-Quevedo, G., Rojas-Molina, J. I., Cortes, M. E. y Rodríguez-García, M. E. (2010). Study of Nutritional Composition of Nopal (*Opuntia ficus indica* cv. Redonda) at Different Maturity Stages. *The Open Nutrition Journal*, 4(1), 11-16.
- Isaac, A. A. (2017). Overview of Cactus (*Opuntia Ficus-Indica* (L.): A Myriad of Alternatives. *Studies on Ethno-Medicine*, 10(2), 195-205.
- López-Romero, P., Pichardo-Ontiveros, E., Avila-Nava, A., Vázquez-Manjarrez, N., Tovar, A. R., Pedraza-Chaverri, J. y Torres, N. (2014). The Effect of Nopal (*Opuntia Ficus Indica*) on Postprandial Blood Glucose, Incretins, and Antioxidant Activity in Mexican Patients with Type 2 Diabetes after Consumption of Two Different Composition Breakfasts. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 114(11), 1811-1818.
- Lugo-Arias, J., Lugo-Arias, E., Ovallos-Gazabon, D., Arango, J., De la Puente, M. y Silva, J. (2020). Effectiveness of the mixture of nopal and cassava starch as clarifying substances in water purification: A case study in Colombia. *Heliyon*, 6(6).
- Mandujano-Ruiz, A., Morales-Hernández, J., Herrera-Hernández, H., Corona-Almazán, L. E. y Juárez García, J. M. (2017). Evaluación del comportamiento electroquímico del extracto de nopal (*Opuntia Ficus-Indica*) como posible inhibidor de corrosión. *Revista de Metalurgia*, 53(4), 108.
- Medina-Torres, L., Vernon-Carter, E. J., Gallegos-Infante, J. A., Rocha-Guzman, N. E., Herrera-Valencia, E. E. y Calderas, F. (2011). Study of the antioxidant properties of extracts obtained from nopal cactus (*Opuntia ficus-indica*) cladodes after convective drying. *J Science Food Agricultural*, 91, 1001-1005.
- Mena, P., Tassotti, M., Andreu, L., Nuncio-Jáuregui, N., Legua, P., Del Rio, D. y Hernández, F. (2018). Phytochemical characterization of different prickly pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) cultivars and botanical parts: UHPLC-ESI-MSn metabolomics profiles and their chemometric analysis. *Food Research International*, 108, 301-308.
- Missaoui, M., D'Antuono, I., D'Imperio, M., Linsalata, V., Boukhchina, S., Logrieco, A. F. y Cardinali, A. (2020). Characterization of Micronutrients, Bioaccessibility and Antioxidant Activity of Prickly Pear Cladodes as Functional Ingredient. *Molecules*, 25(9).
- Morán-Ramos, S., Avila-Nava, A., Tovar, A. R., Pedraza-Chaverri, J., López-Romero, P. y Torres, N. (2012). *Opuntia ficus indica* (Nopal) Attenuates Hepatic Steatosis and Oxidative Stress in Obese Zucker (fa/fa) Rats. *The Journal of Nutrition*, 142(11), 1956-1963.
- Morán-Ramos, S., He, X., Chin, E. L., Tovar, A. R., Torres, N., Slupsky, C. M. y Raybould, H. E. (2017). Nopal feeding reduces adiposity, intestinal inflammation and shifts the cecal microbiota and metabolism in high-fat fed rats. *PLOS ONE*, 12(2).
- Msaddak, L., Siala, R., Fakhfakh, N., Ayadi, M. A., Nasri, M. y Zouari, N. (2015). Cladodes from prickly pear as a functional ingredient: Effect on fat retention, oxidative stability, nutritional and sensory properties of cookies. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 66(8), 851-857.

- Muñoz, L., Díaz, Y., González, C., Medina, E. y Cardona, E. (2014). Efecto de la administración oral de nopal deshidratado sobre el perfil de lípidos en individuos con dislipidemia y sobrepeso/obesidad. *Revista Iberoamericana de Ciencias* 1(1), 11.
- Nabil, B., Ouaabou, R., Ouhammou, M., Essaadouni, L. y Mahrouz, M. (2020). Functional Properties, Antioxidant Activity, and Organoleptic Quality of Novel Biscuit Produced by Moroccan Cladode Flour *Opuntia ficus-indica*. *Journal of Food Quality*, 2020, 1-12.
- Ndhlala, A., Moyo, M. y Staden, J. (2010). Natural Antioxidants: Fascinating or Mythical Biomolecules? *Molecules*, 15(10), 6905-6930.
- Núñez-López, M. A., Paredes-López, O. y Reynoso-Camacho, R. (2013). Functional and Hypoglycemic Properties of Nopal Cladodes (*O. ficus-indica*) at Different Maturity Stages Using in Vitro and in Vivo Tests. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(46), 10981-10986.
- Osuna-Martínez, U., Reyes-Esparza, J. y 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), 1-8.
- Padilla-Camberos, E., Flores-Fernandez, J. M., Fernandez-Flores, O., Gutierrez-Mercado, Y., Carmona-de la Luz, J., Sandoval-Salas, F., Mendez-Carreto, C. y Allen, K. (2015). Hypocholesterolemic Effect and *In Vitro* Pancreatic Lipase Inhibitory Activity of an *Opuntia ficus-indica* Extract. *BioMed Research International*, 2015, 1-4.
- Paiva, P., Souza, I., Costa, M., Santos, A. y Coelho, L. (2016). *Opuntia sp.* Cactus: Biological Characteristics, Cultivation and Applications. *Advances in Research*, 7(3), 1-14.
- Programa FAO/OMS sobre Normas Alimentarias. (2009). *Fibra Dietética*. Comisión del Codex Alimentarius.
- Ramírez, B. y Román, M. (2018). Sobre los alimentos con actividad hipolipemiante. *Revista cubana de cardiología y cirugía cardiovascular*, 28(2), 417-456.
- Ramírez-Moreno, E., Córdoba-Díaz, M., de Cortes Sánchez-Mata, M., Marqués, C. D. y Goñi, I. (2015). The addition of cladodes (*Opuntia ficus indica* L. Miller) to instant maize flour improves physicochemical and nutritional properties of maize tortillas. *LWT - Food Science and Technology*, 62(1), 675-681.
- Rocchetti, G., Pellizzoni, M., Montesano, D. y Lucini, L. (2018). Italian *Opuntia ficus-indica* Cladodes as Rich Source of Bioactive Compounds with Health-Promoting Properties. *Foods*, 7(2), 24.
- Rodríguez-García, M. E., de Lira, C., Hernández-Becerra, E., Cornejo-Villegas, M. A., Palacios-Fonseca, A. J., Rojas-Molina, I., Reynoso, R., Quintero, L. C., Del-Real, A., Zepeda, T. A. y Muñoz-Torres, C. (2007). Physicochemical Characterization of Nopal Pads (*Opuntia ficus indica*) and Dry Vacuum Nopal Powders as a Function of the Maturation. *Plant Foods for Human Nutrition*, 62(3), 107-112.
- Sáenz, C., Berger, H., Corrales, J., Galleti, Ljubica., García, V., Higuera, I., Mondragón, C., Rodríguez, A., Sepúlveda, E. y Varnero, M. (2006). Utilización agroindustrial del nopal. *Boletín de servicios agrícolas de la FAO*, 162.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2015). *Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesquero*. Gobierno de México.
- Secretaría de Economía. (2013). NMX-FF-068-SCFI-2006 Hortaliza fresca - nopal verdura (*Opuntia spp.*).
- Sánchez, E., Dávila-Aviña, J., Castillo, S. L., Heredia, N., Vázquez-Alvarado, R. y García, S. (2014). Antibacterial and Antioxidant Activities in Extracts of Fully Grown Cladodes of 8 Cultivars of Cactus Pear. *Journal of Food Science*, 79(4), M659-M664.
- Santos, M., Barba de la Rosa, P., Héliers, C., Guéraud, F. y Nègre, A. (2017). *Opuntia spp.*: Characterization and Benefits in Chronic Diseases. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 1-17.
- Santos-Zea, L., Gutiérrez-Urbe, J. A. y Serna-Saldivar, S. O. (2011). Comparative Analyses of Total Phenols, Antioxidant Activity, and Flavonol Glycoside Profile of Cladode Flours from Different Varieties of *Opuntia spp.* *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(13), 7054-7061.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2019). *Anuario estadístico de la producción agrícola*. Gobierno de México.
- Stintzing, F. C. y Carle, R. (2005). Cactus stems (*Opuntia spp.*): A review on their chemistry, technology, and uses. *Molecular Nutrition & Food Research*, 49(2), 175-194.
- Uebelhack, R., Busch, R., Alt, F., Beah, Z. y Chong, P. (2014). Effects of Cactus Fiber on the Excretion of Dietary Fat in Healthy Subjects: A Double Blind, Randomized, Placebo-Controlled, Crossover Clinical Investigation. *Current Therapeutic Research*, 76, 39-44.
- U. S. Department of Health & Human Services. (2019). *Office of Dietary Supplements*. National Institutes of Health (NIH).