



Caracterización fisicoquímica, compuestos bioactivos y capacidad antioxidante del jugo y harina de cladodios secundarios de *Opuntia ficus-indica*

Physicochemical characterization, bioactive compounds and antioxidant capacity of the juice and flour of secondary cladodes of *Opuntia ficus-indica*

Jose Cachay-Morante^{1, 2, *}; Medali Chacpi-Vasquez³; Gustavo Castillo-Sebastian^{1, 4};
Diana Huamani-Calle¹

¹ Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Agraria la Molina, Av. La Molina, SN, Lima, Perú.

² Circulo de investigación de Biología Aplicada, Universidad Nacional Agraria la Molina, Av. La Molina, SN, Lima, Perú.

³ Class Yordan's SRL, Ate, Lima, Perú.

⁴ Innovation Green Company SAC, San Juan de Miraflores, Lima, Perú.

ORCID de los autores

J. Cachay-Morante: <https://orcid.org/0000-0001-5375-1922>

M. Chacpi-Vasquez: <https://orcid.org/0000-0002-1002-2540>

G. Castillo-Sebastian: <https://orcid.org/0000-0003-2714-594X>

D. Huamani-Calle: <https://orcid.org/0000-0001-9702-8218>

RESUMEN

Las tunas (*Opuntia ficus-indica*) son una de las especies más valoradas la capacidad que poseen de desarrollarse en suelos con poca disponibilidad de nutrientes y acceso al agua, además de poseer gran valor nutricional en sus frutos y hojas. Sin embargo, las frecuentes podas de "cladodios secundarios" generan residuos agroforestales que no son reutilizados, de este modo el presente estudio buscó caracterizar la propiedades nutricionales y bioactivas de los "cladodios secundarios" del distrito de Santiago de Tuna creando una línea base para uso posterior como materia prima. Para el análisis se utilizaron dos tipos de muestra: el jugo y la harina del cladodio en los cuales se realizó un análisis proximal y se determinó concentración de polifenoles, Vitamina C, flavonoides y actividad antioxidante. El jugo presentó un rendimiento de 53% mientras que la harina de 7,3%. Tanto el jugo como la harina presentaron cantidades elevadas de polifenoles (105,1 mg GAE/100 g - 769 GAE/100 g), vitamina C (56,2 mg AA mg/100 g – 114,6 mg AA mg/100 g) y capacidad antioxidante (1247,94 µmol Trolox/g - 2585 µmol Trolox/g). Por tanto, lo resultados indicaron que los cladodios pueden ser utilizados para la elaboración de productos con gran potencial en la industria de alimentos.

Palabras clave: *Opuntia ficus-indica*; Análisis proximal; Santiago de tuna; Bioactivos; Cladodios

ABSTRACT

Prickly pears (*Opuntia ficus-indica*) are one of the most valued species due to their ability to develop on soils with low access to nutrients and water and great nutritional value in their fruits and leaves. However, the frequent pruning of "secondary cladodes" generates agroforestry residues that do not have a secondary use, hence the present study sought to characterize the nutritional and bioactive properties of the "secondary cladodes" from the district of Santiago de Tuna to develop a baseline for its possible ulterior use as raw material. For the assays, two types of samples were used: the juice and the flour of the cladode, in which a proximate analysis was conducted, and the concentration of polyphenols, Vitamin C, flavonoids, and antioxidant activity were determined. The juice presented a yield of 53% while the flour of 7.3%. Both the juice and the flour presented considerable amounts of polyphenols (105.1 mg GAE/100g - 769 GAE/100g), vitamin C (56.2 mg AA mg/100g - 114.6 mg AA mg/100g) and antioxidant capacity (1247.94 µmol Trolox/g - 2585 µmol Trolox/g). Therefore, the results indicated that cladodes can be used to develop products with exciting potential in the food industry.

Keywords: *Opuntia ficus-indica*; Proximate analysis; Santiago de tuna; Bioactives; Cladodes.

1. Introducción

El género *Opuntia* pertenecen a una familia de plantas tolerantes a la sequía que gracias a su ecofisiología: reproducción asincrónica y adaptaciones estructurales (baja densidad de estomas y cutícula gruesa), es capaz de sobrevivir largos periodos de sequía pudiendo ser cultivadas en zonas áridas y semiáridas que no sobrepasen los 50 mm de lluvia (Torres et al., 2015; Contreras-Padilla et al., 2012). Este género es originario de América abarcando territorios desde el sur de Canadá hasta el norte de Argentina. Se conocen casi 300 especies del género *Opuntia*, de las cuales sólo 10 o 12 son utilizadas en diferentes aplicaciones (productos alimenticios, fibras, mucílagos, pigmentos, vitaminas, colorantes, hidrocoloides, cosméticos, bioenergía, fertilizantes, pinturas y biopolímeros) (Pascoe-Ortiz et al., 2019). Además, también es posible utilizar estas plantas en programas de reforestación, por su capacidad de crecimiento en suelos pobres inapropiados para otros cultivos (Zenteno-Ramírez et al., 2018).

En el Perú las primeras evidencias del uso de cactáceas se remontan al periodo lítico o preagrícola (18 mil a 6 mil A.C.) en cultivos cercanos a la cueva de Pachamachay (Junín), hallándose en aquel lugar las semillas de especie de *Opuntia* más antigua rondando los 11800 años. El cultivo de *Opuntia ficus-indica* es próspero en Ayacucho, Cusco, Huancavelica, Lima y Apurímac, que cuentan con el 75% de la producción nacional, destinada principalmente al cultivo de cochinilla (65% a 70%). En la región de Lima, la mayor producción ocurre en la provincia de Huarochirí con 609 ha de cultivo de tuna blanca que producen alrededor de 6 mil t de fruta por año.

El fruto de la *Opuntia ficus-indica* es muy valorado por sus propiedades nutricionales por su alto contenido de polifenoles, vitamina C, clorofila y antioxidantes (Albergamo et al., 2022; Torres et al., 2015; Yeddes et al., 2013). En México se utiliza el nopalito “cladodios de 1 mes como verduras para ensaladas o guisos como fuente de fibra y vitamina C (Ayadi et al., 2009; Dávila-Aviña et al., 2019; du Toit et al., 2018). Sin embargo, aún existen pocos estudios sobre la posibilidad de como reincorporar los cladodios, en estadios posteriores a la fructificación, a una cadena de valor, por lo que su ciclo productivo suele finalizar como residuos agroforestales que son posteriormente quemados o utilizados como una forma rudimental de abono. Por tanto, en el presente trabajo se busca realizar estudios relacionados con un análisis de las propiedades fisicoquímicas y nutricionales de los cladodios secundarios (estadio posterior a la fructificación) del Distrito de Santiago de Tuna, como una base para futuras aplicaciones y proponer alternativas de aprovechamiento agroindustrial.

2. Material y métodos

Recolección de Cladodios

Recolección de Cladodios: Los cladodios son fueron colectados en el distrito de Santiago de tuna en la provincia de Huarochirí, sierra de la región de Lima. Las muestras fueron colectadas durante el mes de marzo, la zona se encuentra ubicada a una altitud de 2921 M.S.N.M con una temperatura anual promedio de 14 °C con una humedad relativa entre 40% a 90%. Los cladodios recolectados habían pasados por un proceso previo de fructificación y serian dispuestos como residuos en la poda de la siguiente campaña.



Figura 1. A: Distrito de Santiago de Tuna, Lima, Perú (earth.google.com/web/). B: Ubicación referencial del lugar de recolección de tunas (-11.9991450, -76.5287853), Distrito de Santiago de Tuna, Provincia de Huarochirí.

Preparación de muestras

Para la obtención del jugo, se procedió con la remoción de las espinas de los cladodios de tuna, posteriormente fueron sometidos a un lavado para retirar el cualquier residuo que pudiese contener. Luego, las pencas lavadas fueron cortas en trozos de 3 por 20 centímetros y extruidas en una extractora marca Oster, el jugo obtenido se almacenó en refrigeración a -10 °C hasta su uso. Posteriormente, para la obtención de la harina de la penca de tuna, fue a base de los subproductos del proceso de extracción del jugo, un combinado de fibras y mucílago que se encontraban el penca retenido por el filtro presente en la extractora, se secaron en una estufa a 60 °C por 48 horas, pulverizados y tamizados en con un tamiza de 200 MESH.

La harina fue envasada en bolsas al vacío.

Posteriormente se realizó un extracto alcohólico de ambas muestras:

Se utilizaron 2 g de jugo de cladodios y se disolvieron el 100 ml de metanol al 99% (volumen final), luego de lo cual se filtró utilizando un papel Whatman #4. El líquido obtenido del filtrado fue utilizado en las pruebas de compuesto bioactivos. Para la harina se utilizó 1 g de muestra y se realizó una extracción por agotamiento 10 ml de metanol al 99% durante 3 ciclos.

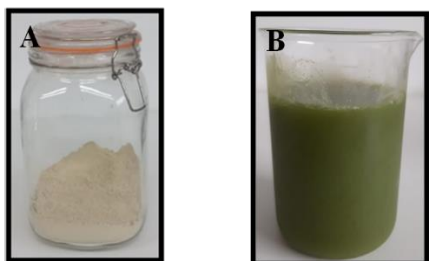


Figura 2. representación de los productos obtenidos de las pencas de Santiago de tuna A: Harina de pencas de *Opuntia ficus indica*, B: Jugo de pencas de *Opuntia ficus indica*.

Análisis fisicoquímico

Se evaluó la humedad (AOAC 964.22), pH (AOAC 945.27) proteína (AOAC 940.25), extracto etéreo método Bligh & Dyer, cenizas (AOAC 920.152), los ensayos fueron realizados por triplicado (AOAC, 1990).

Polifenoles

Se determina el contenido de fenoles en la muestra del mucílago de penca de tuna utilizando el método de Folin-Ciocalteu (Benzie, 1999). A 250 μ L del extracto se le añadieron 15ml del extracto y 15mL de agua bidestilada y 1,25 mL de

reactivo Folin-Ciocalteu (Sigma-Aldrich, Alemania). Se mezclaron las disoluciones y se dejaron reposar por 8 minutos en oscuridad. Luego, se añadieron 3,75 mL de carbonato de sodio 7,5% (p/v) y se ajustó a un volumen final de 25 mL con agua bidestilada. Se mantuvo en oscuridad a temperatura ambiente durante 2 horas. Después, se midió la absorbancia a 765 nm con un espectrofotómetro UV-visible (Thermo Electron Corporation, USA). Se usaron diferentes disoluciones de ácido gálico (Sigma-Aldrich, Alemania) para elaborar la curva patrón para la cuantificación de fenoles. El resultado se expresó en mg de ácido gálico/100 g.

Actividad antioxidante:

Se determinó mediante el método del ABTS, que fue propuesto por Arnao (2001), Re (1999) y Thaipong (2006), se preparó una disolución de ABTS 7mM y persulfato de potasio 2,45 mM (1:0,5), se mantuvo en refrigeración y oscuridad por 16 horas. Luego, se diluyó en etanol hasta obtener un 0,7 a una absorbancia de 734 nm.

Entonces, 10 μ L del extracto fueron adicionados a 1 mL del reactivo anterior, se midió la absorbancia a 734 nm a tiempo cero y haber pasado un minuto, cuando la reacción ya se había estabilizado. Se usó diferentes disoluciones de Trolox para construir la recta patrón. Los resultados fueron expresados como mmol Trolox equivalente/100g Vitamina C: El ácido ascórbico se determinó mediante el método AOAC 967.21

Flavonoides totales

El contenido total de flavonoides se evaluó mediante Cromatografía líquida (HPLC-DAD). En este análisis se trabajó con el estándar de flavonoide: quercetina, para la evaluación e integración de los picos obtenidos por el análisis de HPLC-DAD. La identificación de los componentes se realizó mediante la comparación del tiempo de retención y los espectros UV (Chbani et al., 2020)

3. Resultados y discusión

Análisis de rendimiento

La extracción de jugo presentó un rendimiento de 53%, siendo esta dependiente de la cantidad de líquido presente en los cladodios (Tabla 1). Los resultados fueron similares a los obtenidos por Pascoe-Ortiz et al. (2019), que varían entre 40% a 60% de rendimiento en la extracción del jugo a partir de cladodios.

Tabla 1

Rendimiento del procesamiento del Cladodios de *Opuntia ficus-indica*

	Rendimiento	Porcentaje
Jugo	553 ± 30 g / kg de Cladodio	53%
Harina	73 ± 17 g / kg de Cladodio	7,3%

Análisis fisicoquímicos

El pH del mucílago se reportó dentro de un rango de $4,44 \pm 0,1$, lo cual concuerda con la literatura encontrada sobre el pH del mucílago de tuna (*Opuntia ficus indica*) en el estudio desarrollado por Contreras-Padilla et al. (2016) donde se encontró que el extracto de cladodios de 50 a 150 días de edad tienen un pH promedio de 5,5 a 6,5, mientras que Ayadi et al. (2009) y Contreras-Padilla et al. (2012) identificaron un pH promedio de 4,0 a 5,5 para el mucílago extraídos de cladodios en la misma etapa.

La razón de esta acidez se debe a la presencia de ácido málico en las plantas de este género (Maki-Díaz et al., 2015), lo que se relaciona con el metabolismo de las crasuláceas el cual produce ácidos como parte de su ciclo metabólico entre ellos el ácido málico, cítrico y oxálico (Stintzing & Carle, 2005). Aunque en cultivares de tipo rojo y amarillo la presencia de ácido betalámico, como betacianinas (rojas) y las betaxantinas (amarillas) también puede influir (Abraján Villaseñor, 2008). Respecto al ensayo de humedad, se observó que el jugo del cladodio presenta alto contenido de agua, entre 93% y 94%, lo que es característico de estas plantas, en concordancia con los indicado por Guzman & Chavez (2007). La harina del nopal presentó en un rango de $5,98\% \pm 0,62\%$, según Loubet González (2008) la humedad en base seca de los cladodios se encuentra en el rango de 4,41-5,49%. Las cactáceas presentan un alto contenido de agua (90%) a modo de reserva, sin embargo, los valores de cada cultivar pueden variar principalmente debido a los cambios climáticos, características del suelo, la época del año en que se realiza la cosecha,

Tabla 2

Análisis químico proximal de jugo y harina de cladodios

Componentes	Penca de Santiago de tuna		Guzman & Chavez, 2007 Cladodio 1 año	Abraján Villaseñor, 2008 Cladodio 1 año materia seca
	Jugo	Harina		
pH	4,44 ± 0,11	-		
Humedad	94% ± 0,8%	5,98% ± 0,62%	94,33%	5,04%
Proteínas	0,43% ± 0,02%	5,68% ± 0,17%	0,48%	5,4%
Grasa	0,72% ± 0,07%	1,10% ± 0,07%	0,11%	1,29%
Cenizas	1,20% ± 0,05%	14,42% ± 1,8%	1,6%	18,2%

variedad del nopal y edad del cladodio León-Martínez et al. (2010). Los valores reportados de cenizas en base húmeda fueron de 1,20% y en el caso de base seca, fue 14,42%, como se observa en la Tabla 2. Grünwaldt et al. (2015) menciona que la composición química del nopal y en general de las cactáceas, varía en las distintas especies y también dentro de una misma especie. Sepúlveda et al. (2007) determinaron que las pencas de tuna se caracterizan por poseer altos contenidos de cenizas y que su composición varía con su edad oscilando valores de cenizas en base seca varía de 10% a 25%, debido principalmente al alto contenido de calcio. Los principales componentes minerales de las cenizas de *Opuntia ficus-indica* son calcio, potasio, magnesio y sodio, usualmente encontrados como sales y silicio. Hierro y aluminio son encontrados en trazas (Pérez & Mondragón, 2003).

Pérez & Mondragón (2003) mencionan que a medida que el cladodio madura se observa un aumento en el contenido de cenizas en las cactáceas, ya que la mayoría de los minerales se almacenan en los tallos viejos. Cabe resaltar que las cactáceas presentan un complicado proceso metabólico, que da origen a la formación de diversos compuestos orgánicos, por lo anterior muchos investigadores coinciden en que es necesario profundizar el estudio en este género debido a la gran capacidad de adaptación (Loubet González, 2008).

La proteína obtenida en base húmeda fue de 0,43%, mientras que en la harina de cladodios arrojó un resultado de 5,68% para las pencas recolectadas en el distrito de Santiago de Tuna. Los valores de proteína cruda hallados concuerdan con la literatura en la cual se presenta una variación de porcentajes de proteína en los cladodios de entre 0,19% y 1,48% en base húmeda (Abraján Villaseñor, 2008; Guzman & Chavez, 2007) y de 2,5% a 7,5% en base seca varía (Abraján Villaseñor, 2008; Contreras-Padilla et al., 2012; Sepúlveda et al., 2007).

Los valores de proteína cruda presentes en los cladodios se relaciona de manera directa con la cantidad de nitrógeno en el sustrato como lo expresan Grünwaldt et al. (2015) en su estudio sobre la aplicación de fertilizantes en el cultivo de *Opuntia* sp, donde se duplicó la cantidad de proteínas presentes en los cladodios al aplicar un fertilizante rico en nitrógeno. Por otro lado, el método de secado en el caso de la harina también influye sobre la presencia de proteína cruda, como lo demuestran Contreras-Padilla et al. (2012) en su estudio, habiendo obtenido 7,5% de proteínas cuando se realiza un secado por liofilización frente a un 4% del secado en una estufa de aire caliente, las razones brindadas para esta diferencia por el autor son 1. Ocurren reacciones entre los carbohidratos y las proteínas durante el proceso de secado a temperaturas elevadas que produce compuestos volátiles y 2. Un contenido de humedad más bajo en las muestras liofilizadas aparenta una cantidad de proteínas mayor bajo este método. Así mismo otro factor importante en la concentración de proteínas en los cladodios es la edad de la penca, como se aprecia en la tabla 2, las pencas más jóvenes presentan cantidades más altas de proteína (Abraján Villaseñor, 2008; Contreras-Padilla et al., 2012; Guzman & Chavez, 2007).

En el ensayo de extracción de lípidos para la caracterización del Cladodio de Tuna (*Opuntia ficus-indica*) se determinaron valores de 0,72% en base húmeda y 1,10% en la harina. La literatura, con respecto a las grasas en la tuna (*Opuntia ficus indica*), identifica valores de entre 0,5% y 1,1% en pencas de más de 150 días de edad para el caso de muestras en base seca (Contreras-Padilla et al., 2012). Mientras que, Stintzing & Carle, (2005) encontraron que la cantidad de lípidos promedio en base húmeda es de 0,2% y en base seca de entre 1% a 4% para la mayoría de las especies del género *Opuntia*, lo cual concuerda con lo hallado en este estudio. Contreras-Padilla et al. (2012) mencionan que existe una relación entre la metodología de secado empleada y la cantidad de lípidos obtenidos, siendo las metodologías que emplean calor en las que se obtiene menor cantidad de lípidos, debido a la pérdida de compuestos volátiles explicando las diferencias encontradas en la literatura.

Compuestos bioactivos

La cantidad de polifenoles totales encontrados entre 105,1 mg GAE/100 g en el jugo del cladodio y 769 mg GAE/100 g para la harina, en concordancia con los resultados reportados para

los cladodios de diferentes especies de *Opuntia* los cuales varían de 30mg GAE/100 g a 4000 mg GAE/100 g en muestras secas (Albergamo et al., 2022; Santos-Zea et al., 2011). En referencia, Albergamo et al. (2022) mencionan que los polifenoles en *Opuntia ficus-indica* presentan gran variabilidad de un cultivar a otro, ya que su producción se ve depende por muchos factores intrincados del lugar y el linaje entre ellos la cantidad de nutrientes en el suelo, cantidad de lluvia, edad del cladodio, variabilidad genética. Por otro lado, Alves et al. (2017) indican que las muestras colectadas en épocas lluviosas poseen mayor una mayor cantidad de polifenoles, posiblemente debido a un mecanismo de síntesis bioquímico relacionado con el estrés hídrico, lo cual explicaría la elevada cantidad de polifenoles obtenidos con respecto a los resultados de Messina et al. (Messina et al., 2021).

Tabla 3

Análisis de compuestos bioactivos en jugo y harina de cladodios

Componentes	Penca de Santiago de tuna	
	Jugo	Harina
Polifenoles (mg GAE/100g)	105,1±0,76	769,5±1,52
Capacidad antioxidante (µmol Trolox/g)	1247,94±0,37	2585,95±4,51
Vitamina C (mg AA/100g)	56,2±0,02	114,6±0,0
Flavonoides (mg /100g)	3,792±0,02	2,055±0,007

Nota: Los polifenoles son expresados en miligramos de Ácido gálico. La capacidad antioxidante se expresa en µmol Trolox/g de muestra. La vitamina C es expresada en mg de Ácido Ascórbico/100g de muestra y los flavonoides en mg/100g.

Con respecto a la capacidad antioxidante se hallaron valores elevados para ambas muestras, así el jugo de cladodio contiene 1247,94 µM TE/g de muestra y la harina contiene 2558,0 µM TE/g de muestra, superando los valores reportados por (Alves et al., 2017) que varían entre 39 a 217 µM TE/g de cladodio seco, de igual manera en el caso del jugo, Boutakiout et al. (2018) indican valores entre 13,17 a 23 µM TE/g de muestra. Por otro lado, los resultados hallados se asemejan a los encontrados por Zeghad et al. (2019) de 1403 µM TE/g de muestra seca en *Opuntia ficus-indica* así como los reportados en los subproductos del procesamiento del "nopalito" (*Opuntia ficus-indica*) que cuentan con una capacidad antioxidante de 271 a 2645,5 µM TE/g dependiendo de la variedad (Dávila-Aviña et al., 2019). En cuanto

a la variabilidad en los valores encontrados Contreras-Padilla et al. (2012) comentan que el método de secado empleado afecta los compuestos bioactivos presentes en la penca, principalmente los que se realizan a altas temperatura pues muchos compuestos antioxidantes son termolábiles. Además, para comprender la variabilidad de los resultados es necesario tomar en cuenta que la capacidad antioxidante es una propiedad acumulativa de diferentes compuestos presentes en los cladodios como polifenoles, vitaminas, carotenoides, betalainas, antocianinas, tocoferoles, cumarinas, entre otros (Alves et al., 2017), por lo cual cada cultivar con condiciones de cultivo y variabilidad genética específicas presentara una combinación y cantidades de estos compuestos.

La cuantificación de vitamina C presentó valores de 56,2 mg de ácido ascórbico en 100 g de jugo de cladodio mientras que se encontró una cantidad de 114,6 mg de ácido ascórbico por cada 100 g de harina. Los valores obtenidos superaron los reportados por Guzman & Chavez (2007) y Álvarez et al. (2008) de 23,11 mg de ácido ascórbico y 6,88 mg de ácido ascórbico por cada 100 g de cladodio fresco de *Opuntia ficus-indica* y *Opuntia elatior* respectivamente. En tanto, resultaron similares a los presentados por Du Toit et al. (2018) de 39 a 52 mg de ácido ascórbico por cada 100 g de jugo de cladodio y de 159,73 a 282,14 mg de ácido ascórbico por cada 100 g de harina de cladodio. Es interesante destacar que, de acuerdo con los resultados obtenidos, 100 g del jugo de Cladodio de tuna poseen 62,4%, mientras que en la haría hay 127,3% la de la dosis diaria recomendada (Castillo-Velarde, 2019). La importancia de la vitamina C reside en su capacidad antioxidante, siendo una de las fuentes de antioxidantes más abundantes y efectiva para las plantas (Zenteno-Ramírez et al., 2018). La vitamina C suele encontrarse en cloroplastos en concentraciones de hasta 20 mM, es así como se observan mayores cantidades de esta vitamina en tejidos como hojas, flores y frutos jóvenes con alta capacidad fotosintética (Paciolla et al., 2019), como se aprecia en cladodios de *Opuntia*.

Los flavonoides encontrados en este trabajo mostraron valores de 2 y 3 mg por cada 100 g de harina y jugo de cladodio respectivamente con una cantidad 10 veces menor en comparación con lo hallado por Bargougui et al. (2019) con una variación de 26,13 a 34,19 mg por cada 100 g de cladodio de *Opuntia ficus-indica* (base seca). Por otro lado, de manera similar a lo reportado en esta investigación, Pascoe-Ortiz et al. (2019) no

encontraron cantidades significativas de flavonoides en *Opuntia megacantha*, lo que sugiere la posibilidad de que el género *Opuntia* no cuente con una gran cantidad de estos compuestos bioactivos.

Aprovechamiento de Cladodios

El aprovechamiento de los subproductos generados por la agroindustria es indispensable si se desea trazar un futuro guiado por lo principios de la economía circular y la sostenible.

Este hidrocoloide natural ha ganado un interés industrial creciente debido a sus características comestibles, biodegradables, no tóxicas y su rentabilidad (Kaur et al., 2012). En este sentido, se busca dar un acercamiento sobre los posibles productos que podrían ser desarrollados con los cladodios de *Opuntia ficus-indica* de Santiago de tuna.

En primera instancia, se ha buscado utilizar las pencas de *Opuntia* spp. como forraje para rumiantes. En este sentido, Grünwaldt et al. (2015), mencionan las especies de *Opuntia* presenta un bajo contenido en fibra y proteína cruda, por tanto, se considerándose una fuente de alimento no balanceada que es necesario enriquecer, aun así, plantean que reemplazar el maíz en los concentrados con esta materia resultaría económicamente viable con un manejo agronómico adecuado.

Por otro lado, resultan de mayor interés los productos que proporcionan un valor agregado a los subproductos. Las pencas del género *Opuntia* han sido tenidas en cuenta para la preparación de alimentos nutraceuticos a debido a su elevado contenido de compuestos bioactivos (Bensadón et al., 2010), entre los que se encuentra productos como pan fortificado con harina de pencas de tuna formulados por Sciacca et al. (2021), demostrando que es posible aumentar actividad antioxidante en el pan al incrementar el porcentaje de harina de penca de tuna.

Mientras que, los azúcares presentes en las pencas generan polímeros excelentes para su aplicación en la obtención de plásticos biodegradables para la industria alimentaria (Gheribi et al., 2018; Pascoe-Ortiz et al., 2019). La posibilidad de utilizar estos plásticos como revestimiento para aumentar la vida útil de frutas está siendo investigado con resultados prometedores en tomate y fresa (Del-Valle et al., 2005; Olicón-Hernández et al., 2019). De esta manera se pone en perspectiva diferentes formas de revalorización de las pencas de *Opuntia ficus-indica*.

4. Conclusiones

El análisis químico proximal del jugo y la harina de cladodios de *Opuntia ficus-indica* muestra que la harina contiene mayor concentración de proteínas, cenizas, fibras y carbohidratos, asemejándose el resultado de ambos productos al de los cladodios de 1 año. Los análisis de polifenoles, capacidad antioxidante y vitamina C presentes en el jugo y harina presentaron valores elevados en comparación con otros estudios e indican que los cultivos de Santiago de Tuna son variables y podrían utilizarse como parámetros para complementar la normativa de calidad del cladodio de *Opuntia ficus-indica*, lo cual permitiría potenciar su utilización como insumo en productos destinados a la industria alimentaria.

Agradecimientos

Agradecemos al profesor Dr. Victor Juan Meza Contreras (In Memoriam) docente de la Universidad Nacional Agraria la Molina su apoyo, orientación y amistad. Así mismo, deseamos agradecer a la comunidad de Santiago de tuna por su constante apoyo y guía durante la recolección y a Proinnovate Perú por el financiamiento del proyecto (138-INNOVATEPERU-PIEC1-2020) el cual permitió el desarrollo de esta investigación.

Referencias bibliográficas

- Abraján Villaseñor, M. A. (2008). Efecto del método de extracción en las características químicas y físicas del mucilago del nopal (*Opuntia ficus-indica*) y estudio de su aplicación como recubrimiento comestible. Tesis De Doctorado. Universidad Politécnica De Valencia, Valencia, España. 244pp
- Albergamo, A., Giorgia, A., Bella, G. Di, Amor, N. Ben, Vecchio, G. Lo, Nava, V., Rando, R., Mansour, H. Ben, & Turco, V. Lo. (2022). Chemical Characterization of Different Products from the Tunisian *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. *Foods*, 155, 1–19.
- Álvarez, M. J. M., Pantaleón, D. G., & Camacho, D. B. (2008). Análisis bromatológico de la tuna *Opuntia elatior* Miller (Cactaceae). *Revista de La Facultad de Agronomía*, 25, 68–80.
- Alves, F. A. L., De Andrade, A. P., Bruno, R. de L. A., Silva, M. G. de V., De Souza, M. de F. V., & Dos Santos, D. C. (2017). Seasonal variability of phenolic compounds and antioxidant activity in prickly pear cladodes of *Opuntia* and *Nopalea* genres. *Food Science and Technology*, 37, 536–543.
- AOAC. (1990). Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15th edition. Association of Official Analytical Chemists, Washington D.C. 1213 p.
- Arao, M. B., Cano. A., & Acosta. M. (2001). The hydrophilic and lipophilic contribution to total antioxidant activity. *Food Chemistry*, 73(2), 239–244.
- Ayadi, M. A., Abdelmaksoud, W., Ennouri, M., & Attia, H. (2009). Cladodes from *Opuntia ficus indica* as a source of dietary fiber: Effect on dough characteristics and cake making. *Industrial Crops and Products*, 30(1), 40–47.
- Bargougui, A., Tag, H. M., Bouaziz, M., & Triki, S. (2019). Antimicrobial, antioxidant, total phenols, and flavonoids content of four cactus (*Opuntia ficus-indica*) cultivars. *Biomedical and Pharmacology Journal*, 12(3), 1353–1368.
- Bensadón, S., Hervert-Hernández, D., Sáyago-Ayerdi, S. G., & 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.
- Benzie, I. F., & Strain J. J. (1999). Ferric reducing/antioxidant power assay: Direct measure of total antioxidant activity of biological fluids and modified version for simultaneous measurement of total antioxidant power and ascorbic acid concentration. *Methods in Enzymology*, 299, 15–27.
- Boutakiout, A., Ellothmani, D., Hanine, H., Mahrouz, M., Le Meurlay, D., Hmid, I., & Ennahli, S. (2018). Effects of different harvesting seasons on antioxidant activity and phenolic content of prickly pear cladode juice. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17(4), 471–480.
- Castillo-Velarde Edwin. (2019). Vitamina C en la salud y en la enfermedad. *Revista de La Facultad de Medicina Humana*, 4(19), 95–100.
- Chbani, M., Matthäus, B., Charrouf, Z., el Monfalouti, H., Kartah, B., Gharby, S., & Willenberg, I. (2020). Characterization of phenolic compounds extracted from cold pressed cactus (*Opuntia ficus-indica* L.) seed oil and the effect of roasting on their composition. *Foods*, 9(8), 1–14
- Contreras-Padilla, M., Gutiérrez-Cortez, E., Valderrama-Bravo, M. del C., Rojas-Molina, I., Espinosa-Arbeláez, D. G., Suárez-Vargas, R., & Rodríguez-García, M. E. (2012). Effects of Drying Process on the Physicochemical Properties of Nopal Cladodes at Different Maturity Stages. *Plant Foods for Human Nutrition*, 67(1), 44–49.
- Contreras-Padilla, M., Rodríguez-García, M. E., Gutiérrez-Cortez, E., Valderrama-Bravo, M. del C., Rojas-Molina, J. I., & Rivera-Muñoz, E. M. (2016). Physicochemical and rheological characterization of *Opuntia ficus mucilage* at three different maturity stages of cladode. *European Polymer Journal*, 78, 226–234.
- Dávila-Aviña, J., Gallegos-Ruiz, B., García, S., & Heredia, N. (2019). Comparison of total polyphenol content, antioxidant activity, and antimicrobial potential among nine cactus pear (*Opuntia* spp.) cultivars and their by-products. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 20, 113–127.
- Del-Valle, V., Hernández-Muñoz, P., Guarda, A., & Galotto, M. J. (2005). Development of a cactus-mucilage edible coating (*Opuntia ficus indica*) and its application to extend strawberry (*Fragaria ananassa*) shelf-life. *Food Chemistry*, 91(4), 751–756.
- du Toit, A., de Wit, M., Osthoff, G., & 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.
- Gheribi, R., Puchot, L., Verge, P., Jaoued-Grayaa, N., Mezni, M., Habibi, Y., & Khwaldia, K. (2018). Development of plasticized edible films from *Opuntia ficus-indica* mucilage: A comparative study of various polyol plasticizers. *Carbohydrate Polymers*, 190, 204–211.
- Grünwaldt, J. M., Guevara, J. C., Grünwaldt, E. G., & Carretero, E. M. (2015). Cacti (*Opuntia* spp.) as forage in Argentina dry lands. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias*, 47(1), 263–282.
- Guzman, Deysi., & Chavez, Jorge. (2007). Chemical compositional study of nopal (*Opuntia ficus indica*) cladophyll for human consumption. *Rev Soc Quim Perú*, 73(1), 41–45.
- Kaur, M., Kaur, A., & Sharma, R. (2012). Pharmacological actions of *Opuntia ficus indica*. *A Review. J. Appl. Pharm. Sci.* 2, 15–18.
- León-Martínez, F. M., Méndez-Lagunas, L. L., & Rodríguez-Ramírez, J. (2010). Spray drying of nopal mucilage (*Opuntia ficus-indica*): Effects on powder properties and characterization. *Carbohydrate Polymers*, 81(4), 864–870.
- Loubet González, A. L. (2008). Biodisponibilidad de calcio presente en harina de nopal (*Opuntia ficus-indica*) en función de su estado de maduración. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Del Estado De Hidalgo. Hidalgo, México. 100 pp
- Maki-Díaz, G., Peña-Valdivia, C. B., García-Nava, R., Arévalo-Galarza, M. L., Calderón-Zavala, G., & Anaya-Rosales, S. (2015). Características físicas y químicas de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) para exportación y consumo nacional. *Agrociencia*, 49(1), 31–51.
- Messina, C. M., Arena, R., Morghese, M., Santulli, A., Liguori, G., & Inglese, P. (2021). Seasonal characterization of nutritional and antioxidant properties of *Opuntia ficus-indica* [(L.) Mill.] mucilage. *Food Hydrocolloids*, 111, 1–7
- Olicón-Hernández, D. R., Acosta-Sánchez, Á., Monterrubio-López, R., & Guerra-Sánchez, G. (2019). Quitosano y mucilago de

- Opuntia ficus-indica* (nopal) como base de una película polimérica comestible para la protección de tomates contra *Rhizopus stolonifer*. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 22, 1–9.
- Paciolla, C., Fortunato, S., Dipierro, N., Paradiso, A., De Leonardis, S., Mastropasqua, L., & de Pinto, M. C. (2019). Vitamin C in plants: From functions to biofortification. *Antioxidants* 8 (11):
- Pascoe-Ortiz, S., Rodríguez-Macías, R., Robledo-Ortiz, J. R., Salcedo-Pérez, E., Zamora-Natera, J. F., Rabelero-Velasco, M., & Vargas-Radillo, J. J. (2019). Identificación de propiedades presentes en jugo de *Opuntia megacantha* Salm-Dyck importantes para la producción de biopolímeros. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 22, 1–10.
- Pérez, S., & Mondragón, C. (2003). El nopal (*Opuntia* spp.) Como Forraje. Edit. Candelario Mondragón-Jacobo, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP). México
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang M., & Rice-Evance, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Biology and Medicine*, 26, 1231–1237.
- Santos-Zea, L., Gutiérrez-Urbe, J. A., & 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.
- Sciacca, F., Palumbo, M., Pagliaro, A., Di Stefano, V., Scandurra, S., Virzi, N., & Mellilli, M. G. (2021). Opuntia cladodes as functional ingredient in durum wheat bread: rheological, sensory, and chemical characterization. *CYTA - Journal of Food*, 19(1), 96–104.
- Sepúlveda, E., Sáenz, C., Aliaga, E., & Aceituno, C. (2007). Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. *Journal of Arid Environments*, 68(4), 534–545.
- Stintzing, F. C., & Carle, R. (2005). Cactus stems (*Opuntia* spp.): A review on their chemistry, technology, and uses. *Molecular Nutrition and Food Research*, 49(2), 175–194.
- Thaipong, K., Boonprakob, U., Crosby, K., Cisneros-Zevallos, L., Hawkins Byrne H. (2006). Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19, 669–675.
- Torres, R., Morales, D., Ballinas, M., & Nevárez, G. (2015). Nopal: semi-desert plant with applications in pharmaceuticals, food and animal nutrition. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(5): 1129–1142.
- Yeddes, N., Chérif, J. K., Guyot, S., Sotin, H., & Ayadi, M. T. (2013). Comparative study of antioxidant power, polyphenols, flavonoids and betacyanins of the peel and pulp of three Tunisian *Opuntia* forms. *Antioxidants*, 2(2), 37–51.
- Zeghad, N., Ahmed, E., Belkhir, A., Heyden, Y. Vander, & Demeyer, K. (2019). Antioxidant activity of *Vitis vinifera*, *Punica granatum*, *Citrus aurantium* and *Opuntia ficus indica* fruits cultivated in Algeria. *Heliyon*, 5(4), e01575.
- Zenteno-Ramírez, G., Juárez-Flores, B. I., Aguirre-Rivera, J. R., Monreal-Montes, M., García, J. M., Serratos, M. P., Santos, M. Á. V., Pérez, M. D. O., & Rendón-Huerta, J. A. (2018). Juices of prickly pear fruits (*Opuntia* spp.) as functional foods. *Italian Journal of Food Science*, 30(3), 614–627.

