

## Cambios en el valor nutricional y bioactivo en la tuna verde por efecto del secado por aire caliente

### Changes in nutritional and bioactive value in green prickly pear due to hot air drying

Contreras-Martínez Cristina Sarai <sup>1</sup>, Rodríguez-Rodríguez Aida Margarita, Ramos-Muñoz Laura Gisela <sup>1</sup>, Carranza-Téllez José <sup>2</sup>, García-González Juan Manuel <sup>2</sup>, Carranza-Concha José <sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Programa Académico de Nutrición, Unidad Académica de Enfermería, Área de Ciencias de la Salud Universidad Autónoma de Zacatecas. Carretera Zacatecas-Guadalajara km 6, Ejido 'La Escondida', Zacatecas, México. CP. 98160 \*Correo electrónico: [jose.carranza@uaz.edu.mx](mailto:jose.carranza@uaz.edu.mx)

<sup>2</sup>Programa Académico de Químico en Alimentos, Unidad Académica de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Zacatecas. Carretera Zacatecas-Guadalajara km 6, Ejido 'La Escondida', Zacatecas, Zacatecas, México. CP. 98160.

#### RESUMEN:

La tuna es una fruta muy representativa de México. Es considerada una fruta muy saludable por su gran aporte de agua, fibra, vitaminas y minerales. Su sabor, frescura y diferentes variedades hacen de ella muy atractiva para el consumidor. El secado por aire caliente es una técnica de deshidratación que resalta frente a otros métodos por su sencillez, por los cortos tiempos de proceso, por no depender de las variaciones climáticas. Esta técnica de deshidratación podría considerarse como una alternativa de transformación, conservación y aprovechamiento comercial de la tuna. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto del secado por aire caliente a diferentes temperaturas (40, 50, 60 y 70° C) en el valor nutricional y bioactivo de la tuna. Se analizó las muestras en fresco como después del proceso de deshidratación en cuanto al contenido en vitamina C, polifenoles totales, así como la capacidad antioxidante. Se observaron diferencias estadísticamente significativas en el contenido en vitamina C, los polifenoles totales y la capacidad antioxidante entre las temperaturas de secado. El secado provocó una mayor disminución en el contenido inicial de vitamina C en la deshidratación a 40 y 70 °C. En los fenoles totales, la mayor reducción fue de 16% en las muestras deshidratadas a 40°C. En la capacidad antioxidante, se observó un incremento en las muestras deshidratadas, independientemente del método de análisis utilizado.

**PALABRAS CLAVE:** Deshidratación, ácido ascórbico, tuna, fitoquímicos

#### ABSTRACT:

The prickly pear is a representative fruit of Mexico. It is considered a very healthy fruit because of its high water content, fiber, vitamins and minerals content. Its flavor, freshness and different varieties make it very attractive to the consumer. Hot air drying is a dehydration technique that stands out from other methods due to its simplicity, short processing times and the fact that it does not depend on climatic variations. This dehydration technique could be considered as an alternative for the transformation, conservation and commercial use of prickly pear. Therefore, the objective of this study was to determine the effect of hot air drying at different temperatures (40, 50, 60 and 70°C) on the nutritional and bioactive value of prickly pear. Samples were analyzed fresh as well as after the dehydration process for vitamin C content, total polyphenols, and antioxidant capacity. Statistically significant differences in vitamin C content, total polyphenols and antioxidant capacity were observed between drying temperatures. Drying caused a decrease in the initial vitamin C content value of the dehydrated samples at 40 and 70 °C. In total phenols, the greatest reduction was 16% in samples dehydrated at 40°C. Finally, an increase on the antioxidant capacity was observed in the dehydrated samples, regardless of the analysis method used.

**KEYWORD:** Drying, ascorbic acid, prickly pear, phytochemicals

## INTRODUCCIÓN

El consumo frecuente de frutas y verduras ricas en antioxidantes está relacionada a la disminución de la incidencia de enfermedades cardiovasculares o cáncer (Boutakiout *et al.*, 2018), razón por la cual la organización mundial de la salud sugiere una ingesta diaria de 400 g de frutas y verduras como base de una alimentación saludable para prevenir enfermedades no transmisibles (OMS, 2020) asegurando la presencia de polifenoles. Estos compuestos químicos pueden dividirse en cuatro clases principales: flavonoides, lignanos, ácidos fenólicos y estilbenos (Fraga, *et al.*, 2019). Se ha descubierto que poseen propiedades anti-angiogénicas, antienvjecimiento, antiinflamatorias, anticancerígenas y antioxidantes, en beneficio de la salud (Caban y Lewandoska, 2020).

La tuna (*Opuntia ficus-indica spp.*), fruta del nopal, es considerada un ícono de la cultura mexicana, hay evidencia de su producción y consumo desde hace más de 9 000 años (Domínguez-García *et al.*, 2017). Principalmente se consume en fresco, sin embargo, también puede emplearse para la elaboración de otros productos como jugos, mermeladas, jaleas, bebidas alcohólicas o endulzantes (Ammar *et al.*, 2014). Es una fruta no climatérica con forma ovalada, de la cual entre un 28-58 % (p/p) del fruto es pulpa, en la que se encuentran contenidas un gran número de semillas (2-10 %, p/p). Su piel o cáscara es gruesa y espinosa (37-67 %, p/p) (García-Curiel *et al.*, 2024). Su costo accesible, hace de ella una alternativa muy atractiva para formar parte de una dieta saludable.

Los alimentos son sustancias complejas por su origen biológico, principalmente de fuentes animales o vegetales. La mayoría de los alimentos en su forma natural u original son muy perecederos debido a su alto contenido de humedad, que los hace susceptibles a las reacciones bioquímicas y al deterioro microbiano, por lo que comúnmente se recurre a conservarlos de una forma u otra. El secado se ha utilizado durante mucho tiempo como método para reducir las pérdidas postcosecha en muchos productos agrícolas, disminuyendo el contenido de humedad para prolongar su vida útil, manteniendo su disponibilidad durante todo el año o permitiendo su acceso en lugares donde no se producen. Paralelamente, el volumen y el peso se reducen, así como los costos de envasado, manipulación y transporte (Gatea, 2011). Sin embargo, el secado de los alimentos también podría provocar cambios en la calidad física, sensorial, nutricional y microbiológica (Adeyeye *et al.*, 2022).

Por todo lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto del secado por aire caliente en el valor nutricional y bioactivo de la tuna verde.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Materia prima

Se utilizó tuna de verde o también conocida como blanca, adquiridas en un mercado de la ciudad de Zacatecas, a la cual en fresco se le determinó el pH, los grados Brix ( $^{\circ}$  Bx), el contenido en humedad (% Xw), la acidez titulable (mg de ácido tartárico /100g) el contenido de vitamina "C" (mg de ácido ascórbico/100g), los fenoles totales (mg de ácido gálico/100g), la capacidad antioxidante ( $\mu$ mol de Trolox/100g).

Para el secado se utilizaron 200 g de tuna cortada en rodajas de aproximadamente 5 mm de grosor (incluida la piel). Posteriormente, fueron distribuidas en las bandejas de los deshidratadores de tipo comercial (Hamilton Beach  $\text{\textcircled{R}}$ ), y se procedió a secar con aire caliente a 40, 50, 60 y 70  $^{\circ}$ C, hasta alcanzar una humedad final de al menos 10%. Para evaluar el efecto del secado a diferentes temperaturas, las muestras deshidratadas posteriormente fueron analizadas en cuanto a % de humedad, contenido de vitamina C, fenoles totales y capacidad antioxidante.

### Contenido en ácido ascórbico

Se llevó a cabo mediante el método volumétrico 967.21 descrito por la AOAC (2000). Para analizar las muestras se mezclaron 10 g de fruta triturada y 10 ml ácido meta-fosfórico (25%), posteriormente se aforó a 50 ml con agua desionizada. De la disolución anterior se tomaron 3 alícuotas de 10 ml y se titularon con el indicador 2,6 diclorofenol-indofenol, previamente valorado con un patrón de AA (250ppm), en ambos casos hasta la aparición de

un color rosa tenue persistente durante al menos 30 segundos. Los resultados fueron expresados como mg de AA  $100\text{g}^{-1}$ .

### Extracción de compuestos bioactivos

La extracción de los fitoquímicos para la cuantificación de los fenoles totales (CFT) y de la capacidad antioxidante (CA) se llevó a cabo mediante el método descrito por Tomás-Barberán *et al.*, (2001). Se trituraron 10 g de fruta con 20 ml de MeOH, 5 ml de HCl 6N y 2 mg de NaF, se mezcló con agitación continua durante 30 min a temperatura ambiente, posteriormente fue centrifugada (Sigma 3-16KL, Germany) durante 10 min a 4°C y 4500 rpm.

### Fenoles totales

Los fenoles totales (CFT) se cuantificaron utilizando la prueba Folin-Ciocalteu (Li *et al.*, 2006); Se mezclaron 250  $\mu\text{l}$  de extracto con 15 ml de agua desionizada y 1.25 ml de reactivo Folin-Ciocalteu (Sigma-Aldrich, St. Louis, Missouri, USA). Después de 5 minutos, se añadieron 3.75 ml de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (7.5%), se enrasó a 25 ml con agua desionizada y se dejó reaccionar durante 2 horas en oscuridad, después, se midió la absorbancia a 765 nm en un espectrofotómetro UV-Vis (Thermo Scientific 10S, Thermo Fisher Scientific Inc, EE. UU.). Los resultados se expresaron como mg de ácido gálico (mg GAE/ 100 g).

### Capacidad Antioxidante (CA)

La capacidad antioxidante (CA), se cuantificó mediante las técnicas espectrofotométricas del ABTS $\bullet+$  (Re *et al.*, 1999) y DPPH (Brand-Williams *et al.*, 1995).

### Método ABTS $\bullet+$

El radical ABTS $\bullet+$  7 mM (Sigma-Aldrich, St. Louis, Missouri, USA) fue generado por persulfato de potasio 2,45 mM ( $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ). Esta mezcla, previamente se dejó reaccionar durante 16 h, en oscuridad y a temperatura ambiente ( $\sim 20^\circ\text{C}$ ). La disolución anterior se diluyó para obtener una absorbancia de  $0.7 \pm 0.1$  a 734 nm. Una vez alcanzada la absorbancia deseada del reactivo ABTS $\bullet+$ , se mezclaron 100  $\mu\text{l}$  de extracto de cada fruta con 900  $\mu\text{l}$  de la solución diluida ABTS $\bullet+$ , se dejó reaccionar durante 2.5 min a  $20^\circ\text{C}$ , enseguida se midió la absorbancia a 734 nm. Los resultados se expresaron como  $\mu\text{mol}$  de equivalente de Trolox (TEAC)/100 g de fruta fresca. Todos los experimentos fueron replicados tres veces.

### Método DPPH

En cuanto a la medición de la CA por el método DPPH, se añadieron 100  $\mu\text{l}$  de extracto de fruta a 1 ml de 2,2-difenil-1-picrylhidrazil (DPPH) (Sigma-Aldrich, St. Louis, Missouri, USA) (3 mg 100 ml $^{-1}$  en solución etanólica). La absorbancia de las muestras se determinó a 515 nm en el espectrofotómetro, después de una reacción de 2,5 minutos a  $20^\circ\text{C}$ . Los resultados se expresaron como  $\mu\text{mol}$  equivalentes de Trolox/100 g de fruta fresca.

Todos los análisis se realizaron por triplicado y los resultados se expresaron como promedio y desviación estándar. Para determinar las diferencias significativas de las variables entre los datos en las variedades de frutas, se realizó un ANOVA de una vía, en caso de ser significativo, se aplicó una prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Todos los análisis estadísticos se realizaron con Statgraphics® Centurion XV (Statpoint Technologies Inc., Warrenton, VA, EE. UU.). La investigación se realizó en el Laboratorio de Inocuidad e Investigación de Alimentos del Programa Académico de Nutrición de la Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ).

## RESULTADOS

La tabla 1 muestra los valores medios y desviación estándar del análisis composicional de tuna fresca. Los datos obtenidos con respecto a la humedad concuerdan con lo reportado por García Curiel *et al.* (2024) quienes reportaron un 87.55%. En cuanto a sólidos totales ( $^\circ\text{Bx}$ ) y pH se encontraron datos muy similares a Terán *et al.*, (2015), 8.3 grados brix y 5.98 respectivamente.

**Tabla 1. Valor nutricional y funcional de la tuna verde en fresco**

<b>% Humedad</b>	87 (0.6)
<b>pH</b>	5.39 (0.01)
<b>Acidez titulable (mg de ácido tartárico/100 g)</b>	1.010 (0.001)
<b>Vitamina C (mg de ácido ascórbico /100 g)</b>	29.7 (0.7)
<b>° Brix</b>	8.6 (0.1)
<b>Fenoles Totales (mg de ácido gálico/100 g)</b>	62.6 (2.3)
<b>Capacidad antioxidante ABTS (µmol de Trolox/100 g)</b>	41.4 (0.5)
<b>Capacidad antioxidante DPPH (µmol de Trolox/100 g)</b>	52.9 (2.4)

Para el caso del ácido ascórbico, se obtuvo un valor más alto en comparación los 14 mg/100 g y los 19 mg/100g presentados por García-Curiel *et al.* (2024) y Terán *et al.* (2015) respectivamente. El ácido ascórbico forma parte de las vitaminas hidrosolubles, todos los hombres requieren de esta vitamina (75- 90 mg al día), que se obtiene a partir de las frutas y vegetales (Escott-Stump). El ácido ascórbico (AsA) suele ser utilizado como agente reductor en la industria alimentaria, para prevenir reacciones adversas como el pardeamiento enzimático de los alimentos. El ácido ascórbico posee funciones similares como la de otros ácidos orgánicos (ácido cítrico y ácido oxálico) al regular el nivel microbiano de los productos frescos. Se emplea como conservador en verduras y frutas, evitando la pérdida de vitamina A y de los polifenoles, además de ser considerada una vitamina con un gran poder antioxidante (Zhou *et al.*, 2022).

En relación a los fenoles totales, los valores presentados por Goncalves-Albuquerque *et al.* (2020) van desde los 5.5 mg de AG /100g hasta 432 mg de AG/100g, lo que nos indica la alta variabilidad en este parámetro. Los datos obtenidos en el presente trabajo (62.6 mg de AG/100g) se encuentran dentro del rango que maneja Goncalvez-Albuquerque et al., (2020).

Cada vez hay más interés y recomendaciones para que los consumidores obtengan antioxidantes naturales de origen vegetal en lugar de antioxidantes sintéticos. El consumo frecuente de frutas y verduras ricas en antioxidantes naturales ha demostrado en muchos estudios epidemiológicos disminuir la incidencia de ciertos tipos de enfermedades cardiovasculares, diabetes y cáncer, quedando establecido que los compuestos polifenólicos naturales tienen una estrecha relación con estas propiedades (Boutakiout *et al.*, 2018).

En cuanto a los resultados del tratamiento de deshidratación, se observaron diferencias significativas en el % de humedad final (base húmeda) entre las muestras (Tabla II). Como era de esperarse a mayor temperatura, menor fue el tiempo de secado, contabilizando 8.5 horas para las muestras de 70 °C, 9 horas para las muestras secadas a 60°C, 11.5 horas para las de 50 °C y 13.5 horas para las de 40°C.

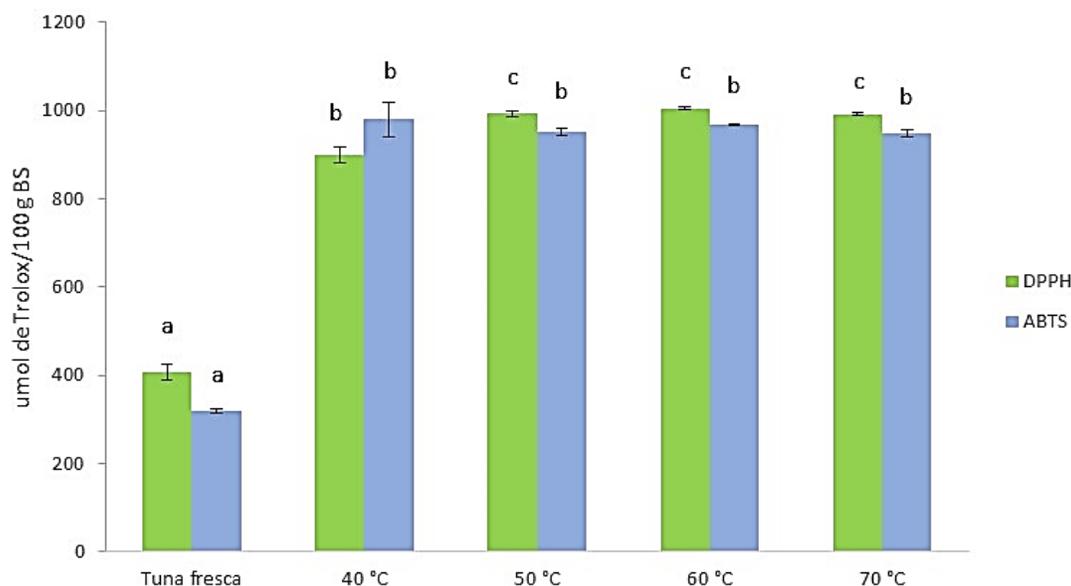
**Tabla II. Valores de humedad, vitamina “C” y fenoles totales de la tuna fresca y deshidratada por aire caliente a diferentes temperaturas**

<b>Tuna</b>	<b>% Humedad (Base húmeda)</b>	<b>Vitamina “C” (mg de ácido ascórbico/100 g base seca)</b>	<b>Fenoles totales (mg de ácido gálico/ 100 g base seca)</b>
<b>Fresca</b>	87 (0.6) c	228.1 (0.5) d	481.3 (17.7) b
<b>40 °C</b>	7.6 (0.8) b	128.0 (3.8) a	413.7 (3.4) a
<b>50 °C</b>	7.2 (0.3) b	181.1 (3.7) b	403.4 (11.0) a
<b>60 °C</b>	4.9 (0.5) a	191.8 (3.5) c	459.1 (3.9) b
<b>70 °C</b>	4.4 (1.0) a	129.2 (3.6) a	520.4 (3.6) c

\* Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas (HD Tukey test,  $p \leq 0.05$ )

Con la finalidad de comparar los efectos del secado entre las muestras, los resultados de la materia prima en fresco se transformaron a base seca. Los datos obtenidos nos permiten observar de forma generalizada una disminución en el contenido en vitamina C, más evidente en las muestras deshidratadas a 40 y 70°C, en ambos casos se observó una pérdida de un 44% del valor inicial, mientras que para las muestras deshidratadas a las temperaturas de 50 °C y de 60 °C fue una disminución de 20% y 16% respectivamente.

Con respecto al contenido fenólico total se observó una disminución de entre 15 %, 16% y 5% en ese parámetro en las muestras deshidratadas a 40, 50 y 60 °C respectivamente, lo cual nos lleva a pensar que este tipo de compuestos podrían haberse degradado por el mayor tiempo de exposición al secado. Por el contrario, las tunas deshidratadas a temperatura de 70 ° C, con un menor tiempo de procesamiento mostraron un incremento en el valor de polifenoles totales. Este incremento posiblemente está relacionado con la diferencia en el porcentaje de humedad final, repercutiendo en la concentración de los polifenoles



**Figura 1. Valores medios y desviación estándar de la capacidad antioxidante de la tuna fresca y deshidratada por aire caliente diferentes temperaturas (\* Letras distintas en entre barras del mismo color indican diferencias estadísticamente significativas (Tukey test,  $p \leq 0.05$ ))**

Con respecto a la capacidad antioxidante, se observó un incremento en los valores de las muestras deshidratadas con respecto a la fruta fresca, tanto en el método DPPH como en el ABTS. Cuando se empleó el método ABTS se presentaron diferencias significativas entre los valores de la tuna fresca con respecto a las deshidratadas, no así entre las muestras secas. Mientras que al ser analizadas por el método DPPH además de ser diferente la fresca, también tuvo un valor distinto la tuna deshidratada a 40 °C.

Los valores de capacidad antioxidante (método DPPH) de la tuna fresca pasaron de 407.3 µmol de Trolox/100g BS, a valores más altos, de 899 µmol de Trolox/100g BS, 993.3 µmol de Trolox/100g BS, 1005.5 µmol de Trolox/100g BS y 991.5 µmol de Trolox/100g BS para las muestras deshidratadas a 40, 50, 60 y 70 °C respectivamente. El mismo comportamiento se observó cuando se aplicó la metodología ABTS, esta vez pasando de los valores de tuna fresca de 318.9 µmol de Trolox/100g BS a 979.6 µmol de Trolox/100g BS para la muestra deshidratada a 40 °C, 952.5 µmol de Trolox/100g BS para la de 50 °C, 968.1 µmol de Trolox/100g BS para la de 60 °C y finalmente 948.1 µmol de Trolox/100g BS para la de 70 °C.

### CONCLUSIONES

Las propiedades sensoriales y nutricionales de la tuna fresca son muy atractivas para el consumidor. El secado por aire caliente representa una alternativa sencilla para el secado de la tuna para su aprovechamiento en situaciones en las que requiera una transformación, conservación y aprovechamiento de la materia prima. Se considera que la temperatura idónea de deshidratación para la tuna es la de 60 °C tomando en cuenta de forma global en impacto en los parámetros analizados.

### REFERENCIAS

- Adeyeye S.A.O., T. J. Ashaolu & A. S. Babu (2022). Food Drying: A Review. *Agricultural Reviews*. DOI: 10.18805/ag.R-2537.
- Ammar I., M. Ennouri, O. Bali, H. Attia (2014). Characterization of two prickly pear species flowers growing in Tunisia at four flowering stages. *LWT- Food Science and Technology* 59: 448e454. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2014.05.002>
- AOAC, Association of Official Analytical Chemists (2000) *Official Methods of Analysis of AOAC international* (17th ed.). Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, Maryland, USA. 2200 p.
- Boutakiouta A., D. Elothmani, H. Hanine, M. Mahrouz, D. Le Meurlay, I. Hmidb & S. Ennahli (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: 471–480
- Brand-Williams W., M. E. Cuvelier and C. Berset (1995) Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food science and technology* 28:25-30, [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Caban, M. y Lewandowska U. (2022). Polyphenols and the potential mechanisms of their therapeutic benefits against inflammatory bowel diseases. *Journal of Functional Foods*. 95: 105181
- Domínguez-García I. A., M. R. Granados-Sánchez, L. M. Sagarnaga-Villegas, J. M. Salas-González y J. Aguilar-Ávila. (2017) Viabilidad económica y financiera de nopal tuna (*Opuntia ficus-indica*) en Nopaltepec, Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Vol.8, Núm. 6, p. 1371-1382
- García-Curiel L., J.G. Pérez-Flores, F. Mera-Reyes, D. Esparza-Vital, E. Pérez-Escalante, E. Contreras-López, C. Ángel-Jijón y E. J. Olloqui (2024). Potencial nutricional y terapéutico de la tuna y de sus subproductos: un panorama general de su composición química y aplicaciones. *Facultad de Ciencias Biológicas UANL*. Vol. 7 No. 14, segundo semestre 2024
- Gatea, A.A. (2011). Design and construction of a solar drying system, a cylindrical section and an analysis of the performance of the thermal drying system. *African Journal of Agricultural Research*. 6: 343-351.
- Goncalves Albuquerque T., P. Pereira, M. A. Silva, F. Vicente, R. Ramalho and H. S. Costa (2020). Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables. Chapter 44. *Prickly Pear*. Vol. II: 709-728
- Li B. B., B. Smith and M. M. Hossain (2006) Extraction of phenolics from citrus peels: II. Enzyme-assisted extraction method. *Separation and purification technology* 48:189-196, <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2005.07.019>
- Re R., N. Pellegrini, A. Proteggente, A. Pannala, M. Yang and C. Rice-Evans (1999) Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free radical biology and medicine* 26:1231-1237, [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Terán, Y.; Navas D.; Petit D.; Garrido E.; D'Aubeterre R. (2015). Análisis de las características físico-químicas del fruto de *Opuntia ficus-Indica*(L.) Miller, cosechados en Lara, Venezuela. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. Vol. 16, núm. 1, pp. 69-74
- Tomás-Barberán F. T., M. I. Gil, P. Cremin, A. L. Waterhouse, B. Hess-Pierce and A. A. Kader (2001) HPLC-DAD-ESIMS analysis of phenolic compounds in nectarines, peaches, and plums. *Journal of agricultural and food chemistry* 49:4748-4760, <https://doi.org/10.1021/jf0104681>
- WHO, 2020. World Health Organization (April, 20, 2024). Increasing fruit and vegetable consumption to reduce the risk of noncommunicable diseases. <https://www.who.int/tools/elena/interventions/fruit-vegetables-ncds>.

Zhou Y., L. Hu, Y. Chen, L. Liao, R. Li, H. Wang, Y. Mo, L. Lin & K. Liu (2022). The combined effect of ascorbic acid and chitosan coating on postharvest quality and cell wall metabolism of papaya fruits. *LWT- Food Science and Technology*. 171: 114134