

## Extracción de compuestos antioxidantes en sandía y melón en la Comarca Lagunera

### Extraction of antioxidant compounds in watermelon and cantaloupe from Comarca Lagunera

Mercedes Georgina Ramírez-Aragón<sup>1</sup> , Victoria Jared Borroel-García<sup>1</sup> , José Dimas López-Martínez<sup>1</sup> , Alejandra Nieto-Garibay<sup>2</sup> , José Luis García-Hernández<sup>3\*</sup> 

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México (TecNM), Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Av. Tecnológico N° 1555 Sur. Periférico Lerdo Km. 14.5, Placido Domingo, CP. 35150. Ciudad Lerdo, Durango, México

<sup>2</sup>Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Km. 1 Carretera a San Juan de La Costa El Comitan, CP. 23205. La Paz, Baja California Sur, México.

<sup>3</sup>Universidad Juárez del Estado de Durango-Facultad de Agricultura y Zootecnia. Km 35, Carretera Gómez Palacio - Tlahualilo. CP. 35170. Venecia, Durango, México

\*Autor de correspondencia: luis\_garher@ujed.mx

#### Nota científica

Recibida: 21 de noviembre 2023

Aceptada: 25 de febrero 2024

**RESUMEN.** La sandía y melón son hortalizas básicas. El objetivo fue estudiar sus propiedades antioxidantes en distintas partes de los frutos e identificar el mejor método de extracción para obtener compuestos activos. La cuantificación de compuestos fenólicos totales (CFT), flavonoides totales (FVT) y actividad antioxidante total por ABTS y DPPH se realizó por técnicas espectrofotométricas. Para CFT se obtuvieron valores de 4.4 y 48.1 mg AGE g<sup>-1</sup> para cascara de sandía y pulpa de melón, respectivamente. El FVT fue de 157 y 213 mg QE g<sup>-1</sup> para las semillas de sandía y melón. La técnica de ABTS osciló entre 26147.6 para pulpa de melón y 9302.3 μM Trolox g<sup>-1</sup> para cascara de sandía. Por DPPH la mayor actividad antioxidante fue en pulpa de melón (18989.5 μM Trolox g<sup>-1</sup>). El método de extracción más eficiente fue con muestras sometidas a calor destacando la extracción de semillas de sandía por su alto contenido antioxidante.

**Palabras clave:** Fenólicos, flavonoides, cucurbitácea, hortalizas, nutraceutico.

**ABSTRACT.** Watermelon and cantaloupe are fundamental vegetables. The objective was to study its antioxidant properties in different parts of the fruits and identify the best extraction method to obtain active compounds. The quantification of total phenolic compounds (TPC), total flavonoids (TFC), and total antioxidant activity by ABTS and DPPH was analyzed using spectrophotometric techniques. The contents of TPC were reported as 4.4 and 48.1 mg GAE g<sup>-1</sup> for watermelon peel and cantaloupe pulp, respectively. The TFC was 157 and 213 mg QE g<sup>-1</sup> for watermelon and cantaloupe seeds. The ABTS technique ranged from 26147.6 for cantaloupe pulp to 9302.3 μM Trolox g<sup>-1</sup> for watermelon peel, while the DPPH technique showed the highest antioxidant activity in cantaloupe pulp with a value of 18989.5 μM Trolox g<sup>-1</sup>. The most efficient extraction method was with samples subjected to heat, highlighting the extraction of watermelon seeds due to their high antioxidant content.

**Keywords:** Phenolics, flavonoids, cucurbitaceae, vegetables, nutraceutical.

**Como citar:** Ramírez-Aragón MG, Borroel-García VJ, López-Martínez JD, Nieto-Garibay A, García-Hernández JL (2024) Extracción de compuestos antioxidantes en sandía y melón en la Comarca Lagunera. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 11(1): e3953. DOI: 10.19136/era.a11n1.3953.

## INTRODUCCIÓN

La sandía (*Citrullus lanatus* L.) y el melón (*Cucumis melo* L.) son miembros de la familia de las Cucurbitáceas. Son cultivos altamente redituables en zonas agrícolas de diferentes estados de México (Robles-Robles y Jaime-Meuly 2019). Entre las zonas agrícolas de mayor superficie se encuentra la región que se encuentra entre los estados de Coahuila y Durango llamada Comarca Lagunera (SIAP 2023).

En el año 2022, la superficie sembrada de melón en México fue de 16 896 ha, mientras que de sandía fue de 38 223 ha. Derivado de esta información se estimó un valor de producción de aproximadamente 163 000 y 224 000 dólares, respectivamente (FAOSTAT 2023). Se conoce que, en el procesamiento de estos cultivos para generar otros productos con valor agregado, generan una enorme cantidad de pulpa, semillas, cáscaras y cortezas no utilizadas que generalmente se desechan (Silva *et al.* 2020). Las estadísticas señalan que los residuos generados por las agroindustrias en todo el mundo superan los dos mil millones de toneladas (Barbi *et al.* 2020).

Los residuos agroindustriales son actualmente un tema de preocupación debido a que causan contaminación ambiental y pérdidas económicas (Bala *et al.* 2023). Según la FAO, estos subproductos son pérdidas y desperdicios ya que provocan una disminución en la cadena de suministro de producción de alimentos además de generar pérdidas económicas globales que se estiman alrededor de 990 mil millones de dólares (Dhen *et al.* 2017).

Los desechos generados de sandía y melón (pulpa, semillas y cáscaras) se consideran una fuente renovable de nutrición, ya que contienen compuestos benéficos que pueden tener un uso como subproducto en lugar de ser desechados (Bala *et al.* 2023). Desde la última década, este tipo de residuos han ganado cada vez más atención debido al contenido de fitonutrientes y los numerosos beneficios para la salud que estos compuestos generan (Dhiman *et al.* 2018). Se han realizado estudios donde se han reportado que este tipo de frutos contienen propiedades que benefician la salud como antidepresivas, antiinflamatorias, antidiabéticas, antiobesidad, antibacterianas, antidiarreicas, anticancerígenas, anticonvulsivas, antihistamínicas, relajantes musculares, antiulcerosas, además de nefroprotectoras, entre otras (Manivannan *et al.* 2020). Debido a estas cualidades, estos cultivos están ganando interés a nivel mundial, por lo cual ha aumentado su consumo global para aplicaciones en la industria alimenticia y medicinal (Armesto *et al.* 2020).

Los compuestos de interés son llamados metabolitos secundarios y se ha reportado que contienen propiedades benéficas, principalmente aquellos metabolitos que tienen una actividad antioxidante (Swallah *et al.* 2020). Los antioxidantes son compuestos o sistemas que pueden interactuar en contra de los radicales libres, los cuales pueden desencadenar distintos problemas al formarse como parte de la oxidación natural del organismo (Oroian y Escriche 2015). Estos compuestos desempeñan un papel vital tanto en los sistemas alimentarios como en el cuerpo humano para reducir los procesos oxidativos y los efectos nocivos (Cakmakci *et al.* 2015). En los sistemas alimentarios, el retardo de la peroxidación lipídica y la formación de productos de peroxidación lipídica secundaria se pueden prevenir mediante el uso de antioxidantes, ayudando así a mantener el sabor, el color y la textura del producto alimenticio durante el almacenamiento (Gulcin 2020). Los compuestos fenólicos y flavonoides han sido reconocidos como antioxidantes y como excelentes complementos en la producción de alimentos funcionales y como sustitutos de

los aditivos sintéticos utilizados, debido a sus numerosos efectos beneficiosos sobre la salud humana (Ignat *et al.* 2011). En consecuencia, se han realizado muchos estudios para optimizar su extracción, aislamiento, separación y determinación a partir de fuentes naturales. Sin embargo, debido a sus estructuras muy diferentes y complejas, no existe un método universal adoptado para la extracción de todas las subclases de polifenoles vegetales (Ivanović *et al.* 2020); por ello; evaluar la capacidad antioxidante de distintos frutos no se puede realizar con precisión mediante un solo método debido a que los fitoquímicos son de naturaleza compleja con múltiples características y mecanismos de reacción (Silva y Sirasa 2016).

Ante esto, usar residuos generados a partir de los cultivos de melón y sandía con fines alimentarios puede ayudar a contrarrestar distintos problemas que se derivan de la mala alimentación y el desabasto de productos nutritivos naturales; por ello, el objetivo fue conocer las propiedades antioxidantes presentes en distintas partes de frutos de sandía y melón e identificar el mejor método de extracción.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

Los materiales vegetales utilizados fueron residuos de frutos de melón y sandías recolectados en el municipio de Tlahualilo, Durango, en la región denominada Comarca Lagunera. Las muestras de frutos fueron recolectadas en bolsas de plástico y se trasladaron al laboratorio de ingeniería Ambiental del Tecnológico Superior de Lerdo.

### Preparación de muestra

Los frutos de sandía se separaron en pulpa, semilla y corteza; y los de melón en pulpa y semilla. Posteriormente, se pasaron por agua destilada para eliminar residuos que podrían contaminar, para luego procesarlas en una licuadora (Hamilton Beach) para colocar las muestras en tubos falcón y almacenarlos a 5 °C hasta su extracción.

### Obtención de extractos por maceración

Se tomaron 1 000 mg de cada muestra almacenada y se le añadieron 10 mL de etanol al 70%. La mezcla se mantuvo a temperatura ambiente durante 24 h en movimiento constante en un agitador de tubos (Benchmark M2100). El resultado de la mezcla se centrifugó a 9 200 rpm durante 3 min. Después se recuperó el sobrenadante para posteriormente pasarlo por un filtro de jeringa de 45 µm de poro. Los extractos se almacenaron a -20 °C para hasta su análisis. Cada muestra se analizó por triplicado.

### Obtención de extractos por ultrasonicator

La cantidad de solvente y muestra fue la misma empleada por el método de maceración. Cada preparación se llevó a sonicación (Ultrasonics®) durante 30 min a 20 KHz. Después se pasó a centrifugación (9 200 rpm) durante 3 minutos, se eliminó el sobrenadante de los tubos y se pasaron por un filtro de jeringa de 45 µm de poro (Mai *et al.* 2022). Los extractos se almacenaron en tubos Eppendorf a -20 °C hasta su análisis. Cada muestra se analizó por triplicado.

### Obtención de extractos por digestión

La cantidad de muestra y solvente fue la misma empleada por los métodos mencionados anteriormente, las muestras se sometieron a baño maría en tubos de ensayo durante 30 min, a temperatura entre 55 y 58 °C. Después la mezcla se centrifugó a 9 200 rpm durante 3 minutos, el sobrenadante se eliminó de los tubos y se filtró con un filtro de jeringa de 45 µm de poro (Velavan 2015). Los extractos se almacenaron en tubos Eppendorf a -20 °C hasta su análisis. Cada muestra se analizó por triplicado.

### Determinación de compuestos fenólicos totales

El contenido de compuestos fenólicos totales (CFT) se cuantificó mediante una modificación del método de Folin-Ciocalteu (Ainsworth y Gillespie 2007). Para lo cual se mezclaron 50 µL de extracto con 3 mL de agua destilada en un tubo de ensayo. Después de eso, el reactivo de Folin-Ciocalteu (250 µL) fue agregado a la mezcla (Sigma-Aldrich, St. Louis MO, EE. UU.). La mezcla se agitó durante 10 segundos en vortex y se dejó reposar durante tres minutos para reacción. Luego se agregó carbonato de sodio (20% p/v) en proporción de 750 µL a cada tubo de muestra y se agitó durante 10 s, seguido de 950 µL de agua destilada para llevar a agitación nuevamente en vortex. Después las muestras se colocan durante 2 horas a temperatura ambiente y en un lugar oscuro para dejar reaccionar al reactivo. Pasado este tiempo las muestras fueron trasladadas a un espectrofotómetro 10 UV (Genesys, EE.UU.) para leer a una absorbancia a 765 nm. Los análisis se realizaron por triplicado. El total de compuestos fenólicos se calculó en base a una curva de calibración con ácido gálico como estándar. Los resultados se reportan en mg de ácido gálico por gramo de muestra (mg AGE g<sup>-1</sup>).

### Cuantificación de flavonoides totales

Se utilizó la técnica de Baba y Malik (2015) para determinar el contenido total de flavonoides (FVT), para lo cual se colocaron 50 µL de extracto obtenido de muestra en un tubo de ensayo, después se añadió etanol para obtener 1 mL de solución. Después las muestras se mezclaron con 4 mL de agua destilada y 0.3 mL de solución de NaNO<sub>3</sub> al 5% para continuar agregando 0.3 mL de solución de AlCl<sub>3</sub> al 10%. Las muestras se incubaron durante 5 min. Después de este tiempo se agregaron 2 mL de solución de NaOH al 1 M y se aforo a 10 mL con agua bidestilada. La mezcla se dejó en reacción durante 15 min. La cuantificación de flavonoides se realizó por espectrofotometría a una absorbancia de 510 nm. El contenido total de flavonoides se expresó en mg de equivalente de quercetina por gramo de muestra de (mg QE g<sup>-1</sup>). Los análisis se realizaron por triplicado.

### Actividad antioxidante total por ABTS

El análisis de la capacidad antioxidante se realizó siguiendo la modificación de la técnica propuesta por Domínguez y Ordoñez (2013) utilizando como radical ABTS (2,2'-azinobis [3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico]-sal de diamonio) (Sigma-Aldrich®, EE.UU.). Para las pruebas se utilizaron 10 µL de muestra y 990 µL del radical ajustado (ABTS). Después de 30 min de reacción, se leyó la absorbancia a 734 nm mediante espectrofotometría. La curva de calibración se realizó utilizando Trolox (ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico) como agente

antioxidante; el resultado se expresó como micromoles equivalentes en Trolox por gramo de muestra ( $\mu\text{M}$  equivalente Trolox  $\text{g}^{-1}$ ).

### Actividad antioxidante total por DPPH

La actividad antioxidante se determinó mediante el método DPPH+ (2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo) *in vitro* (Brand y Berset 1995). Para ello se preparó una solución de DPPH+ (Aldrich, St. Louis, Missouri, EE.UU.) en etanol, ajustando la absorbancia de la solución a  $1\ 100 \pm 0.010$  a una longitud de onda de 515 nm. Para la determinación de la capacidad antioxidante se mezclaron 50  $\mu\text{L}$  de muestra y 1 950  $\mu\text{L}$  de solución DPPH+ ajustada, después de 30 min de reacción se leyó la absorbancia de la mezcla a 515 nm en un espectrofotómetro UV (Genesys 10). Las lecturas se tomaron por triplicado y se utilizó etanol como blanco. Se preparó una curva estándar con Trolox (Aldrich, St. Louis, Missouri, EE. UU.), y los resultados se expresan como capacidad antioxidante en  $\mu\text{M}$  equivalente de Trolox por g de muestra ( $\mu\text{M}$  Trolox  $\text{g}^{-1}$ ).

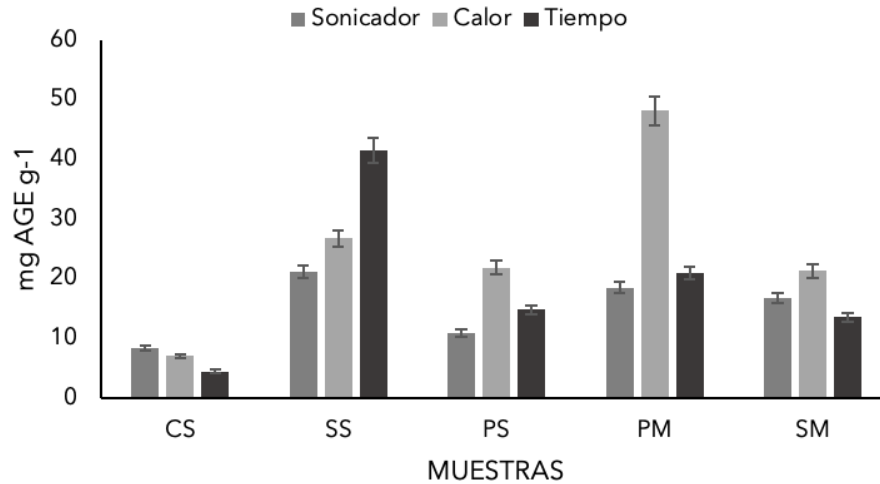
### Análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar, con tres repeticiones. Las variables evaluadas fueron: compuestos fenólicos totales, contenido de flavonoides y capacidad antioxidante por dos métodos distintos (ABTS y DPPH). Los datos se analizaron estadísticamente mediante ANOVA para comparar las medias. Se utilizó la prueba LSD para verificar las diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95% ( $p < 0.05$ ). Los datos fueron analizados utilizando el software Statistica 6.0®.

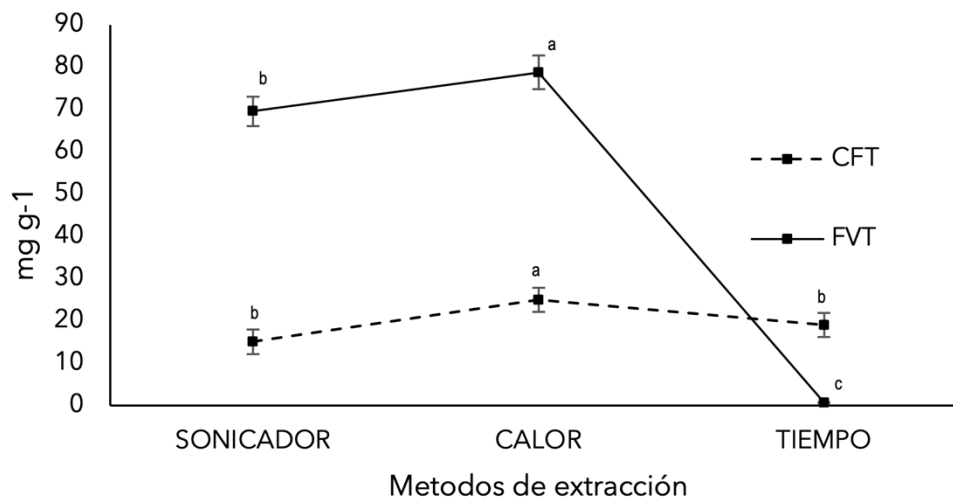
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Compuestos fenólicos totales (CFT)

El contenido de CFT mostró un rango de 6.6 a 29.7 mg AGE  $\text{g}^{-1}$  entre las muestras evaluadas (Figura 1). Los resultados indican que las cucurbitáceas contienen metabolitos secundarios de compuestos fenólicos en diferentes proporciones de acuerdo con la parte analizada. Los tres métodos de extracción destacan que en sandía las semillas son las que contienen mayor concentración de CFT en concentraciones de 21, 26.7 y 41.5 mg AGE  $\text{g}^{-1}$  para los métodos de extracción de sonicador, calor y tiempo, respectivamente (Tabla 1). Para el melón la parte con mayor contenido de CFT fue la pulpa con extracción por calor de 48.15 mg AGE  $\text{g}^{-1}$  (Figura 1). Para los métodos de extracción el mejor método de extracción de CFT fue por calor, con media de 24.9 mg AGE  $\text{g}^{-1}$  (Figura 2). Todas las muestras evaluadas mostraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), entre el método de extracción y tipo de muestra. Según los resultados observados, las diferencias entre los métodos de extracción reflejan una eficiencia superior del 39 y 23% para los métodos por sonicador y tiempo, respectivamente.



**Figura 1.** Compuestos fenólicos totales presentes en muestras de sandía y melón. \*CS: Cascara de sandía, SS: Semilla de sandía, PS: Pulpa de sandía, PM: Pulpa de melón, SM: Semilla de melón. <sup>a-c</sup> Diferentes laterales en la misma columna indican diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ ) para cada muestra.



**Figura 2.** Métodos de extracción utilizados para Compuestos Fenólicos totales (CFT) y Flavonoides totales (FVT). <sup>a-c</sup> Diferentes laterales en la misma columna indican diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ ) para cada muestra.

Las frutas son importantes debido a su contenido en fitoquímicos, antioxidantes, vitaminas, minerales y fibra dietética (Septembre-Malaterre *et al.* 2018). Estos compuestos conocidos como metabolitos secundarios se encargan de reducir el riesgo de desarrollo de problemas de salud como ciertos tipos de cáncer, enfermedades relacionadas con el corazón, diabetes, obesidad, entre otras (Reyes-Munguía *et al.* 2016). Desde hace años en la Comarca Lagunera se cultiva sandía y melón debido a que son cultivos adaptados a la región que son parte de la economía de los productores. De la sandía y el melón suele consumirse solo la pulpa, desechando otras partes como cáscara, corteza y semillas. Se ha descubierto que estas partes, a menudo descuidadas, poseen beneficios para la salud; por ejemplo, se sabe que la cascara de la sandía posee efecto vasodilatador (Rimando y Perkins-Veazie 2005); y las semilla regulan el azúcar en la sangre al

desencadenar la liberación de insulina de las células  $\beta$  del islote de Langerhans (Omigie y Agoreyo 2014), mientras que la cáscara tienen actividades analgésicas (Kumari *et al.* 2013). Estas características se deben al contenido de metabolitos presentes en las distintas partes del melón y sandía. Los CFT son uno de los constituyentes principales de las plantas y frutos, los cuales han despertado un gran interés en las industrias alimentarias, principalmente por su capacidad antioxidante y propiedades para la salud humana. De acuerdo con los datos obtenidos para los CFT la mayor concentración fue encontrada en las semillas de sandía y en la pulpa de melón (Figura 1). Estos resultados se pueden comparar con los reportes de compuestos fenólicos totales de 2 473.45 mg equivalente de ácido gálico (GAE)  $100\text{ g}^{-1}$ , para cáscara de sandía (Feizy *et al.* 2020). Valor numérico menor a los CFT encontrados en semilla y pulpa de sandía y melón. En otro estudio realizado por Naguib y Tantawy (2019) investigaron el efecto anticancerígeno de alcaloides, taninos, saponinas, esteroides, cianuro glicosídico, fitato, fenólicos y flavonoides de cáscaras de frutas, con valores de CFT para la cáscara de sandía de  $120.83 \pm 0.038\ \mu\text{g g}^{-1}$  de peso seco, los cuales son menores que los encontrados en este estudio. Esto puede deberse al tipo de método de extracción ya que ellos solo realizaron extracción por tiempo con una mezcla de agua destilada – etanol (70% v/v) como solvente.

### Flavonoides totales (FVT)

Los resultados mostraron variación en la parte de fruto analizada (Tabla 1). La mayor concentración de flavonoides se tuvo en las semillas de sandía con máximo de 213.3 y mínimo de 3.5 mg QE  $\text{g}^{-1}$ , seguido del contenido de las semillas de melón con valores máximos de 170.5 mg QE  $\text{g}^{-1}$  (Figura 3). La evaluación entre métodos para la extracción de FVT reveló mayor eficiencia con el método de calor, mientras que para la extracción de flavonoides por tipo de método no se detectaron valores en las muestras analizadas. Mientras que las diferencias entre el método de extracción por calor y por sonicator varían en un 12% de eficiencia (Figura 2).

En el estudio desarrollado por Rolim *et al.* (2018) determinaron el contenido de CFT de la cáscara y la semilla de melón. El contenido de CFT del extracto hidroetanólico (70:30 v/v) utilizado por ellos reportó  $203.1 \pm 7.17\text{ mg GAE}/100\text{ g}$  de extracto seco los cuales son menores en comparación con los datos obtenidos, donde se puede visualizar que, a pesar de deshidratar las muestras para concentrar los compuestos activos, los resultados en fresco presentaron mayor concentración. Por lo que concluyeron que la diferencia entre sus resultados con los de otros investigadores, se debía a diferencias en el método de análisis y la variedad de melón (Feizy *et al.* 2020). Por lo que el método de extracción es otro de los factores que han generado diferencias significativas entre los resultados obtenidos para cada una de las variables analizadas.

Los flavonoides son los fitoquímicos más comunes entre los compuestos fenólicos de las plantas. Son muy buenos atrapadores de radicales libres debido a la presencia de grupos hidroxilo (Dhiman *et al.* 2018). Según Bouaziz *et al.* (2020) los FVT extraídos de semillas de melón tienen un valor menor de 1 mg QE  $\text{g}^{-1}$ , lo cual coincide con los resultados obtenidos en este estudio. Sin embargo, este valor solo fue reportado cuando el método de extracción fue por tiempo, ya que en los métodos por calor y sonicator el valor de flavonoides aumentó considerablemente en todas las muestras analizadas. Mientras que, otro estudio del contenido de FVT contenidos en semillas de distintas cucurbitáceas, reporta que las semillas de calabaza de fresno tenían el mayor contenido de flavonoides ( $159.16\text{ mg QE }100\text{ g}^{-1}$ ) en comparación con el melón ( $148.57\text{ mg QE }100$

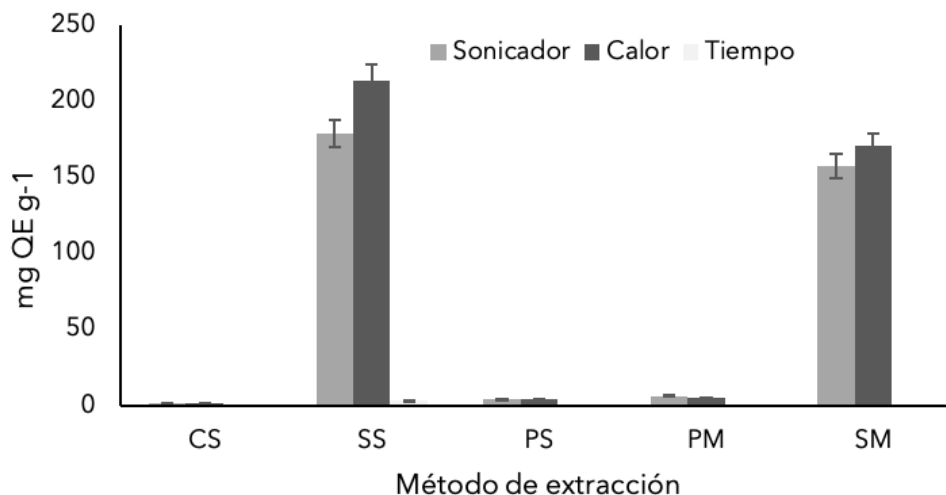
$\text{g}^{-1}$ ) y la calabaza ( $142.82 \text{ mg QE } 100 \text{ g}^{-1}$ ), mientras que las semillas de sandía contenían el contenido más bajo de flavonoides ( $140.12 \text{ mg QE } 100 \text{ g}^{-1}$ ) entre todas las muestras de semillas (Gade *et al.* 2022). Los valores previamente mencionados sobrepasan los resultados obtenidos cuando se comparan exclusivamente con el método de extracción por maceración. No obstante, al contrastar los resultados de Gade *et al.* (2022) con los métodos de extracción por digestión y ultrasonicador utilizados en el presente estudio se reportaron significativamente por debajo de los valores obtenidos en esta investigación. En tanto, que un estudio realizado para el contenido de CFT y FVT, reporto valores en el melón de  $0.90 \text{ mg GAE } \text{g}^{-1}$  y la melaza de  $0.96 \text{ mg GAE } \text{g}^{-1}$  en extractos metanólicos (Ganji *et al.* 2019). De manera semejante, Rolim *et al.* (2018) reportaron valores en extractos acuosos de cáscara de melón de  $110.7 \text{ mg GAE } 100 \text{ g}^{-1}$ , los cuales son menores que los obtenidos en el presente estudio. En contraste con lo antes mencionado, los datos reportados por Zia *et al.* (2023) oscilaron entre  $3.5 \text{ mg GAE } \text{g}^{-1}$  y  $3.9 \text{ mg QE } \text{g}^{-1}$  para CFT y FVT respectivamente en residuos de sandía los cuales son similares a los obtenidos en esta investigación. Cabe destacar que los valores que representan una mayor concentración se han reportado cuando los métodos de extracción son distintos al método tradicional por maceración.

**Tabla 1.** Compuestos fenólicos totales, flavonoides totales y actividad antioxidante total de muestras de sandía y melón

Muestras por método de extracción	CFT $\text{mg AGE } \text{g}^{-1}$	FVT $\text{mg QE } \text{g}^{-1}$	ABTS $\mu\text{M Trolox } \text{g}^{-1}$	DPPH $\mu\text{M Trolox } \text{g}^{-1}$
Sonicador				
CS	8.35 <sup>c</sup>	1.42 <sup>c</sup>	14469.05 <sup>b</sup>	2208.33 <sup>c</sup>
SS	21.05 <sup>a</sup>	178.92 <sup>a</sup>	26111.90 <sup>a</sup>	3791.67 <sup>c</sup>
PS	10.84 <sup>c</sup>	4.30 <sup>c</sup>	16123.81 <sup>b</sup>	1083.33 <sup>b</sup>
PM	18.48 <sup>b</sup>	6.22 <sup>c</sup>	26111.90 <sup>a</sup>	18989.58 <sup>a</sup>
SM	16.69 <sup>b</sup>	157.22 <sup>b</sup>	22278.57 <sup>a</sup>	968.75 <sup>b</sup>
Digestión				
CS	7.00 <sup>c</sup>	1.22 <sup>b</sup>	11611.90 <sup>b</sup>	0.00 <sup>c</sup>
SS	26.71 <sup>b</sup>	213.30 <sup>a</sup>	26076.19 <sup>a</sup>	5614.58 <sup>b</sup>
PS	21.84 <sup>b</sup>	4.05 <sup>b</sup>	24385.71 <sup>a</sup>	4593.75 <sup>b</sup>
PM	48.15 <sup>a</sup>	5.05 <sup>b</sup>	24314.29 <sup>a</sup>	16468.75 <sup>a</sup>
SM	21.25 <sup>b</sup>	170.59 <sup>a</sup>	26064.29 <sup>a</sup>	0.00 <sup>c</sup>
Maceración				
CS	4.46 <sup>d</sup>	0.00 <sup>b</sup>	9302.38 <sup>c</sup>	0.00 <sup>c</sup>
SS	41.53 <sup>a</sup>	3.51 <sup>a</sup>	14064.29 <sup>b</sup>	375.00 <sup>b</sup>
PS	14.76 <sup>c</sup>	0.00 <sup>b</sup>	15790.48 <sup>b</sup>	531.25 <sup>b</sup>
PM	20.94 <sup>b</sup>	0.00 <sup>b</sup>	26147.62 <sup>a</sup>	13645.83 <sup>a</sup>
SM	13.51 <sup>c</sup>	0.00 <sup>b</sup>	15254.76 <sup>b</sup>	0.00 <sup>c</sup>

\*CS: Cáscara de sandía, SS: Semilla de sandía, PS: Pulpa de sandía, PM: Pulpa de melón, SM: Semilla de melón. <sup>a - c</sup> Diferentes laterales en la misma columna indican diferencias estadísticas en  $p < 0.05$  para cada muestra.





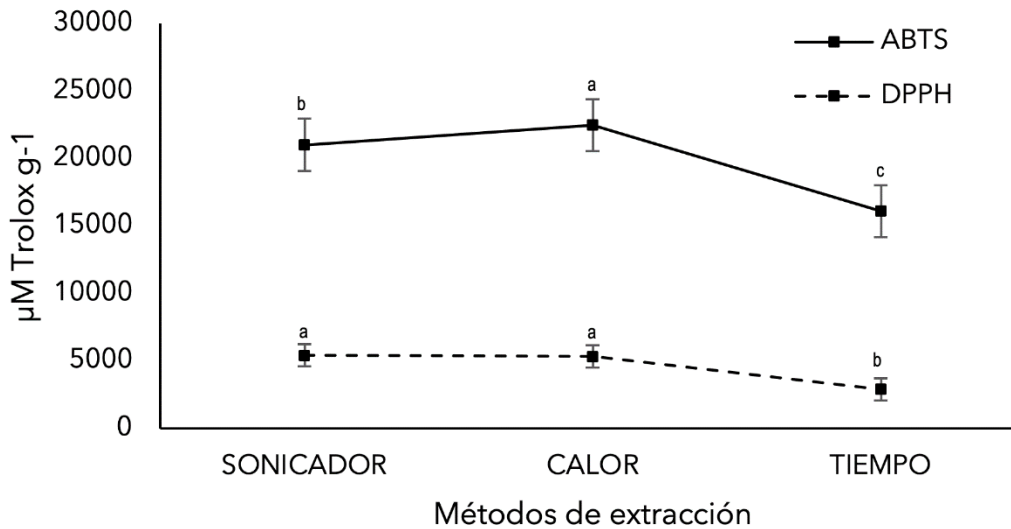
**Figura 3.** Flavonoides totales presentes en muestras de sandía y melón. \*CS: Cascara de sandía, SS: Semilla de sandía, PS: Pulpa de sandía, PM: Pulpa de melón, SM: Semilla de melón. <sup>a-c</sup> Diferentes laterales en la misma columna indican diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ ) para cada muestra.

### Capacidad antioxidante total por ABTS y DPPH

La actividad antioxidante total promedio de muestras de sandía y melón por medio de la técnica de ABTS oscilo entre 26 147.6 y 9 302.3  $\mu\text{M}$  Trolox  $\text{g}^{-1}$  y para la técnica por DPPH la mayor actividad antioxidante fue de 18 989.5  $\mu\text{M}$  Trolox  $\text{g}^{-1}$  para pulpa de melón por el método de ultrasonicator (Tabla 1). A diferencia de las técnicas anteriores la actividad antioxidante total reporta todo tipo de metabolitos secundarios antioxidantes que las muestras puedan contener. Para estas técnicas la pulpa de melón presentó la mayor actividad en los tres diferentes métodos de extracción (Tabla 1). Para los métodos de extracción se detectaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). Las extracciones por el método de sonicator y calor fueron 6 y 28% menos eficientes que el método por calor para la técnica de ABTS, mientras que para la técnica de DPPH solo hubo diferencia en el método por tiempo, ya que los métodos de calor y sonicator no presentan diferencia significativa (Figura 4).

El ensayo DPPH se ha utilizado para detectar la actividad antioxidante, ya que es lo suficientemente sensible como para detectar compuestos activos en concentraciones bajas (Sreedhar *et al.* 2010). De igual manera el método por ABTS también es sensible en un amplio rango, ya que detecta antioxidantes altamente potentes hasta antioxidantes muy débiles, estos últimos que pueden no ser detectados por DPPH (Nenadis y Tsimidou 2002).

Un estudio realizado en sandía para determinar actividad antioxidante por ABTS y DPPH, reportó que la corteza y la cáscara tenían una actividad eliminadora superior al 90% comparada con el resto de las partes de la sandía (Neglo *et al.* 2021). Por otro lado Tan-Mei-Chin *et al.* (2021) reportan valores entre 167 – 840 mg TEAC 100  $\text{g}^{-1}$  por DPPH, los cuales coinciden con los obtenidos en este estudio por el método de extracción por ultrasonicator. Estos mismos autores reportaron valores entre 73.2 - 386 mg TEAC 100  $\text{g}^{-1}$  para la técnica de ABTS los cuales son menores a los obtenidos en el presente estudio. La diferencia entre los valores reportados en literatura y los obtenidos en esta investigación pueden deberse al tipo de solvente utilizado para la extracción o al método de extracción.



**Figura 4.** Métodos de extracción utilizados para ABTS y DPPH. <sup>a-c</sup> Diferentes laterales en la misma columna indican diferencias estadísticas en  $p < 0.05$  para cada muestra.

La mayor actividad antioxidante se tuvo en la pulpa de melón y en las semillas de sandía. Los cuales se correlacionan con los niveles de compuestos fenólicos y flavonoides, ya que la presencia de mayores cantidades de CFT y FVT en las semillas sugiere mayor actividad antioxidante en las técnicas de ABTS y DPPH. Estas técnicas coinciden en identificar las muestras con mayor actividad antioxidante. Pero la sensibilidad superior de la técnica de ABTS en la detección de compuestos antioxidantes se refleja en las disparidades numéricas entre ambas técnicas.

El método de extracción por sonicador es más efectivo para extraer compuestos fenólicos de la pulpa de sandía en comparación con los métodos convencionales utilizados tradicionalmente (Tenase *et al.* 2019). Pero los compuestos fenólicos de materiales vegetales se obtienen por métodos de extracción convencionales como la agitación, maceración, prensado en frío, exprimido e hidrodestilación. En contraste, la extracción por sonicador opera mediante un mecanismo de cavitación que induce la formación, expansión y rápido colapso de microburbujas en el solvente de extracción sobre la muestra (Panda y Manickam 2019). Este proceso coincide con los resultados reportados, donde las variables medidas exhibieron valores superiores cuando se utilizó el método de extracción mediante ultrasonificador y digestión.

Entre las distintas partes analizadas de la fruta de sandía y melón, las semillas de sandía y melón exhibieron mayores valores de actividad antioxidante y flavonoides totales. En contraste, tanto la pulpa de sandía como la cáscara de sandía mostraron valores bajos en todas las variables evaluadas. Todas las variables analizadas tuvieron valores superiores cuando se utilizó el método de extracción por digestión en comparación con los métodos de maceración y ultrasonificador. Las cáscaras y las semillas no solo presentaron efectos antioxidantes, sino que también mostraron niveles significativos de fenólicos totales, compuestos responsables de propiedades medicinales en los frutos y plantas.

## AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías por la beca asignada para sus estudios de posdoctorado.

## CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen conflicto de interés.

## LITERATURA CITADA

- Ainsworth E, Gillespie K (2007) Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin–Ciocalteu reagent. *Nature Protocols* 2: 875-877. <https://doi.org/10.1038/nprot.2007.102>
- Armesto J, Rocchetti G, Senizza B, Pateiro M, Barba FJ, Domínguez R, Lorenzo JM (2020) Nutritional characterization of Butternut squash (*Cucurbita moschata* D.): Effect of variety (Ariel vs. Pluto) and farming type (conventional vs. organic). *Food Research International* 132: 109052. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109052>
- Baba S, Malik S (2015) Determination of total phenolic and flavonoid content, antimicrobial and antioxidant activity of a root extract of *Arisaema jacquemontii* blume. *Journal of Taibah University for Science* 9: 449-454. <https://doi.org/10.1016/j.jtusci.2014.11.001>
- Bala S, Garg D, Sridhar K, Inbaraj BS, Singh R, Kamma S, Sharma M (2023) Transformation of agro-waste into value-added bioproducts and bioactive compounds: Micro/nano formulations and application in the agri-food-pharma sector. *Bioengineering* 10(2): 152. <https://doi.org/10.3390/bioengineering10020152>
- Barbi RCT, Hornung PS, Avila S, Alves FEDSB, Beta T, Ribani RH (2020) Ripe and unripe inaja (*Maximilia maripa*) fruit: A new high source of added value bioactive compounds. *Food Chemistry* 331: 127333. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127333>
- Brand W, Berset C (1995) Use of a 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)
- Bouaziz A, Djidel S, Bentaher A y Khenouf S (2020) Polyphenolic content, Antioxidant and Anti-inflammatory activities of Melon (*Cucumis melo* L. var. inodorus) Seeds. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics* 10(2): 22-26. <http://dx.doi.org/10.22270/jddt.v10i2-s.4022>
- Cakmakci S, Topdaş EF, Kalın P, Han H, Şekerci P, Polat-Kose L, Gulcin I (2015) Antioxidant capacity and functionality of oleaster (*Elaeagnus angustifolia* L.) flour and crust in a new kind of fruity ice cream. *International Journal of Food Science and Technology* 50(2): 472-481. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12637>
- Dhen N, Rejeb IB, Martínez MM, Román L, Gómez M, Gargouri M (2017) Effect of apricot kernels flour on pasting properties, pastes rheology and gels texture of enriched wheat flour. *European Food Research and Technology* 243: 419-428.
- Dhiman AK, Bavita K, Attri S, Ramachandran P (2018) Preparation of pumpkin powder and pumpkin seed kernel powder for supplementation in weaning mix and cookies. *International Journal of Chemical Studies* 6: 167-175.
- Domínguez E, Ordoñez E (2013) Evaluación de la actividad antioxidante, vitamina C de zumos cítricos de lima dulce (*Citrus limetta*), limón tahití (*Citrus latifolia*), limón rugoso (*Citrus jambhiri* Lush). *Investigación y Amazonía* 3: 30-35.
- Feizy J, Jahani M, Ahmadi S (2020) Antioxidant activity and mineral content of watermelon peel. *Journal of Food and Bioprocess Engineering* 3(1): 35-40. [10.22059/JFABE.2020.75811](https://doi.org/10.22059/JFABE.2020.75811)
- Gade SR, Meghwal M, Prabhakar PK, Giuffrè AM (2022) A comparative study on the nutritional, antioxidant, thermal, morphological and diffraction properties of selected cucurbit seeds. *Agronomy* 12(10): 2242. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102242>

- Ganji SM, Singh H, Friedman M (2019) Phenolic content and antioxidant activity of extracts of 12 melon (*Cucumis melo*) peel powders prepared from commercial melons. *Journal of Food Science* 84(7): 1943-1948. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.1466>
- Gulcin İ (2020) Antioxidants and antioxidant methods: An updated overview. *Archives of Toxicology* 94(3): 651-715. <https://doi.org/10.1007/s00204-020-02689-3>
- Ignat I, Volf I, Popa VIA (2011) Critical review of methods for characterisation of polyphenolic compounds in fruits and vegetables. *Food Chemistry* 126: 1821–1835. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.12.026>
- Ivanović M, Islamčević-Razboršek M, Kolar M (2020) Innovative extraction techniques using deep eutectic solvents and analytical methods for the isolation and characterization of natural bioactive compounds from plant material. *Plants* 9(11): 1428. <https://doi.org/10.3390/plants9111428>
- Kumari J, Rao J, Kumari N, Sharma P, Jain V, Dave S, Sharma (2013) Analgesic activity of aqueous extract of *Citrullus lanatus* peels. *Advances in Pharmacology and Pharmacy* 1(3): 135-138. <https://doi.org/10.13189/app.2013.010303>
- Mai Y, Zhuang Q, Li Q, Du K, Wu D, Li H, Gan R (2022) Ultrasound-assisted extraction, identification, and quantification of antioxidants from 'Jinfeng' kiwifruit. *Foods* 11: 827. <https://doi.org/10.3390/foods11060827>
- Manivannan A, Lee ES, Han K, Lee HE, Kim DS (2020) Versatile nutraceutical potentials of watermelon-a modest fruit loaded with pharmaceutically valuable phytochemicals. *Molecules* 25: 5258. <https://doi.org/10.3390/molecules25225258>
- Naguib DM, Tantawy AA (2019) Anticancer effect of some fruits peels aqueous extracts. *Oriental Pharmacy and Experimental Medicine* 19(4): 415-420. <https://doi.org/10.1007/s13596-019-00398-6>
- Neglo D, Tettey CO, Essuman EK, Kortei NK, Boakye A A, Hunkpe G, Devi WS (2021) Comparative antioxidant and antimicrobial activities of the peels, rind, pulp and seeds of watermelon (*Citrullus lanatus*) fruit. *Scientific African* 11: 00582. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00582>
- Nenadis N, Tsimidou M (2002) Observations on the estimation of scavenging activity of phenolic compounds using rapid 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) tests. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 79: 1191–1195. <https://doi.org/10.1007/s11746-002-0626-z>
- Omigie IO, Agoreyo FO (2014) Effects of watermelon (*Citrullus lanatus*) seed on blood glucose and electrolyte parameters in diabetic wistar rats. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management* 18(2): 231–233. DOI: 10.4314/jasem.v18i2.12
- Oroian M, Escriche I (2015) Antioxidants: Characterization, natural sources, extraction and analysis. *Food Research International* 74: 10-36. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.04.018>
- FAOSTAT (2023). Organización para la Agricultura y la Alimentación, base de datos estadísticos corporativos <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QI>. Fecha de consulta: \_ 20 de enero de 2024.
- Panda D, Manickam S (2019) Cavitation technology-the future of greener extraction method: A review on the extraction of natural products and process intensification mechanism and perspectives. *Applied Sciences* 9(4). <https://doi.org/10.3390/app9040766>
- Reyes-Munguía A, Carrillo-Inungaray ML, Carranza-Álvarez C, Pimentel-González DJ, Alvarado-Sánchez B (2016) Antioxidant activity, antimicrobial and effects in the immune system of plants and fruits extracts. *Frontiers In Life Science* 9(2): 90-98. <http://dx.doi.org/10.1080/21553769.2015.1104388>
- Rimando AM, Perkins-Veazie PM (2005) Determination of citrulline in watermelon rind. *Journal of Chromatography A* 1078(1–2): 196-200. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2005.05.009>
- Robles-Robles MR, Jaime-Meuly R (2019) Characteristics and main effects of contract agriculture in La Costa de Hermosillo. *Expert Journal of Economy* 7(2): 66-74.
- Rolim PM, Fidelis G, De Araújo P, Carlos E, Santos E, Rocha H, Macedo G (2018) Phenolic profile and antioxidant activity from peels and seeds of melon (*Cucumis melo* L. var. *reticulatus*) and their antiproliferative effect in cancer cells. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research* 51(4): 1-14. <https://doi.org/10.1590/1414-431X20176069>
- Septembre-Malaterre F, Remize P, Poucheret (2018) Fruits and vegetables, as a source of nutritional compounds and phytochemicals: changes in bioactive compounds during lactic fermentation. *Food Research International* 104: 86–99. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.031>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2023) Recuperado de [https://nube.siap.gob.mx/avance\\_agricola/](https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/) el 20 de enero de 2024

- Silva JS, Ortiz DW, García LGC, Asquieri ER, Becker FS, Damiani C (2020) Effect of drying on nutritional composition, antioxidant capacity and bioactive compounds of fruits co-products. *Food Science and Technology* 40: 810-816. <https://doi.org/10.1590/fst.21419>
- Silva KDRR, Sirasa MSF (2018) Antioxidant properties of selected fruit cultivars grown in Sri Lanka. *Food chemistry* 238: 203-208. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.102>
- Sreedhar V, Ravindranath LK, Madanagopal N, Venugopal K, Rajasekhar KK, Reddy GH (2010) *In-vitro* antioxidant activity and free radical scavenging potential of roots of *Vitex vestita*. *Journal of Pharmacy Research* 3(12): 3140–3142.
- Swallah MS, Sun H, Affoh R, Fu H, Yu H (2020) Antioxidant potential overviews of secondary metabolites (polyphenols) in fruits. *International Journal of Food Science* 2020: 1-8. <https://doi.org/10.1155/2020/9081686>
- Tan-Mei-Chin B, Ali A, Kamal H, Mustafa MA, Khaliq G, Siddiqui Y (2021) Optimizing parameters on the antioxidant capacity of watermelon pulp using conventional orbital shaker and ultrasound-assisted extraction methods. *Journal of Food Processing and Preservation* 45(2): e15123. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15123>
- Tanase C, Cosarcă S, Muntean DL (2019) A critical review of phenolic compounds extracted from the bark of woody vascular plants and their potential biological activity. *Molecules* 24(6). <https://doi.org/10.3390/molecules24061182>
- Velavan S (2015) Phytochemical techniques-a review. *World Journal of Science and Research* 1(2): 80-91.
- Zia S, Khan MR, Aadil RM, Medina-Meza IG (2023) Bioactive recovery from watermelon rind waste using ultrasound-assisted extraction. *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3568664/v1>