

Efecto de la congelación sobre los polifenoles y capacidad antioxidante del fruto de *Syzygium paniculatum* (eugenio)

Effect of freezing on polyphenol levels and antioxidant capacity of the fruit pulp of *Syzygium paniculatum* (eugenio)

Beatriz Estella López–Marín^a  beatriz.lopez@udea.edu.co; Diego Fernando Noguera–Córdoba^a  diego.noguera@udea.edu.co;
Julián Camilo Aragón–Rincón^b  julian.arango@udea.edu.co

^aGrupo Impacto de los Componentes Alimentarios en la Salud (ICAS), Universidad de Antioquia. Calle 67 No. 53 – 108 Medellín – Colombia.

^bGrupo Micología Medica y Experimental. Corporación para investigaciones Biológicas y Universidad de Antioquia. Carrera 72A #78b–141 Medellín – Colombia.

Recibido: 01/03/2024 Aceptado: 23/04/2024

Citar, APA: López–Marín, B. A., Noguera–Córdoba, D. F., y Aragón–Rincón, J. M. (2024). Efecto de la congelación sobre los polifenoles y capacidad antioxidante del fruto de *Syzygium paniculatum* (eugenio). *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 11 (1), 32–41. <https://doi.org/10.23850/24220582.6241>

Resumen *Syzygium paniculatum* o eugenio es un árbol empleado con fines ornamentales. Este produce un fruto comestible y caracterizado por tener polifenoles y alta capacidad antioxidante, sin embargo, es poco conocido en Colombia y muchos de sus frutos se desperdician. Una alternativa para incentivar su consumo es la congelación. Este trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la congelación sobre los niveles de polifenoles y la capacidad antioxidante del fruto de *S. paniculatum*. Los frutos fueron recolectados en Medellín y Granada, Colombia. Posteriormente, se obtuvo la pulpa y fue sometida a congelación $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Se determinó la cantidad de polifenoles usando el método de Folin–Ciocalteu y la capacidad antioxidante con la técnica CARO–H (capacidad de absorción de radicales de oxígeno hidrofílicos), las mediciones se realizaron antes de la congelación (línea base), 15 y 45 días post–congelación. Con respecto al contenido de polifenoles se encontró una línea base con un promedio de $826 \pm 6,95\text{ mg EAG}/100\text{ g muestra}$ ($N = 6$). Después de la congelación se evidenció una disminución en la concentración de polifenoles en los dos tiempos de almacenamiento (15 y 45 días). En cuanto a la capacidad antioxidante el valor inicial CARO–H en la pulpa fresca fue de $935 \pm 7,04\text{ }\mu\text{mol ET}/100\text{ g muestra}$. Durante el tiempo de almacenamiento no hubo cambios significativos en la capacidad antioxidante. Al corroborar que posterior a un proceso de congelación se mantiene una importante capacidad antioxidante, se considera, que el eugenio pudiera ser una alternativa como un alimento con potencial inmunomodulador y de gran importancia en la prevención del cáncer.

Palabras clave: Anti–cancerígeno, CARO–H, compuestos fenólicos, inmunomodulador, Mirtáceas.

Abstract *Syzygium paniculatum*, or eugenio, is a tree used for ornamental purposes. It produces an edible fruit characterized by its polyphenol content and high antioxidant capacity, yet it remains relatively unknown in the community and many of its fruits go to waste. One alternative to encourage its consumption is freezing. This study aimed to evaluate the effect of freezing on the levels of polyphenols and antioxidant capacity of *S. paniculatum* fruit. The fruits were collected in Medellín and Granada, Colombia. Subsequently, the pulp was obtained and subjected to freezing at $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Polyphenol content was assessed using the Folin–Ciocalteu method, and antioxidant capacity was measured using the ORAC–H (Oxygen Radical Absorbance Capacity hydrophilic) technique. Measurements were taken before freezing (baseline), and at 15 and 45 days post–freezing. The measurement of polyphenols revealed a baseline with an average of $826 \pm 6.95\text{ mg GAE}/100\text{ g sample}$ ($N = 6$). After freezing, a decrease in polyphenol concentration was observed at both 15 and 45 days. Regarding antioxidant capacity, the initial ORAC–H value in the fresh pulp was $935 \pm 7.04\text{ }\mu\text{mol TE}/100\text{ g sample}$. During storage, there were no significant changes in antioxidant capacity between day 0 and 45. By confirming that a significant antioxidant capacity is maintained even after a freezing process, eugenio can be considered as a food with potential immunomodulatory properties and importance in cancer prevention.

Keywords: Anti–cancer, immunomodulator, Myrtaceae, ORAC–H, phenolic compounds.

Introducción

Colombia es un país con gran diversidad de árboles productores de diferentes frutos comestibles, de los cuales un gran porcentaje son conocidos y utilizados en la industria gastronómica y en la cocina de muchas familias, sin embargo, otro porcentaje es totalmente desconocido. Uno de los menos conocidos por la población colombiana, es el fruto la especie *Syzygium paniculatum* (Gaertn.), la cual pertenece a la familia Myrtaceae y es originaria de Australia (Maldonado *et al.*, 2013).

Comúnmente, *S. paniculatum* es llamado el eugenio, un árbol de tamaño pequeño o mediano que crece en promedio 15 metros, con una corteza escamosa, fibrosa, con hojas opuestas, con floración en tonos blancos en los extremos de sus ramas, la cual se da usualmente entre los meses noviembre y febrero (Canberra, 2024).

Tras varios procesos de investigación, en Colombia y otros países, se ha encontrado que *S. paniculatum* cuenta con un importante contenido de polifenoles y alta capacidad antioxidante, lo cual es prometedor porque puede ser un interesante alimento con propiedades anticancerígenas en humanos (Abdulrahman & Hama, 2023). Así mismo, investigaciones reportan que el fruto de *S. paniculatum* comparado con otras frutas como manzanas, melones y peras presenta un contenido fenólico total más bajo, sin embargo, frente al limón, la manzana, el kiwi y el melocotón presenta un contenido fenólico total más alto (Ishiwata *et al.*, 2007; Vuong *et al.*, 2014). Principalmente, su contenido fenólico total está representado por flavonoides en un 54 % y proantocianidinas en un 30 % (Vuong *et al.*, 2014). Las proantocianidinas tienen efectos sobre el mantenimiento de la función epitelial, disminución de la presión

arterial, capacidad antioxidante y vasodilatación endotelial (Delgadillo & Calani, 2014). Por otra parte, los flavonoides se destacan por su capacidad antioxidante y efectos protectores en diabetes mellitus II, cáncer, cardiopatías, infecciones víricas, úlcera estomacal y duodenal, inflamaciones, efecto antiviral y antialérgico (Martínez-Flórez *et al.*, 2002; Panche *et al.*, 2016).

El fruto de la planta eugenio puede constituir una fuente de aporte nutricional para la población, en aras de cubrir deficiencias en el consumo de frutas, además, una característica importante del fruto es su fácil adaptabilidad a las condiciones climáticas de gran parte del territorio de Colombia presentando floración recurrente (Maldonado *et al.*, 2013).

Aunque *S. paniculatum* no es una especie originaria de Colombia, actualmente el país tiene entre cuatro y cinco especies representativas de dicha familia, las cuales son plantadas como árboles ornamentales o frutales (Parra-O, 2014). Adicionalmente, en Colombia se han descrito entre 160 y 180 especies pertenecientes a la familia Mirtácea, constituyendo entre el 0,7 y el 0,8 % de las plantas angiospermas en el territorio nacional (Parra-O, 2014).

En Antioquia, *S. paniculatum* se ha subestimado, limitando su uso a la producción ornamental, actuando como cercas vivas y participando en la recuperación de suelos degradados. Esta especie presenta una gran distribución en todo el territorio antioqueño y aunque su fruto es comestible, la población lo considera de poco interés comercial, mientras que en algunas zonas del país lo aprovechan para elaboración de jaleas, mermeladas y jarabes (Camelo, 2016).

Para la conservación de los componentes nutritivos y funcionales de los alimentos, se emplean varios métodos, siendo uno de ellos la congelación, este es un método de conservación muy común y de fácil aplicación, que emplea temperaturas de -18 a -25 °C, haciendo que el agua de los alimentos pase a un estado sólido, disminuyendo su actividad acuosa y limitando la multiplicación de los microorganismos (Noguera *et al.*, 2018). Sin embargo, no es muy empleado en frutas o verduras enteras para posterior consumo, pues las propiedades sensoriales, tienden a perderse, por lo que el alimento debe ser tratado previamente con otro proceso, como convertirlo en pulpa o extracto, trozos más pequeños y jugos entre otros (Noguera *et al.*, 2018), además, con el empleo de estas bajas temperaturas se tiende a disminuir el contenido de algunos componentes saludables y nutritivos propios de los alimentos (Bonat-Celli *et al.*, 2016).

Conociendo las propiedades nutricionales del fruto de eugenio y el poco aprovechamiento de este en la alimentación humana, este trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de congelación sobre los niveles de polifenoles y la capacidad antioxidante del fruto de *Syzygium paniculatum*.

Materiales y métodos

Zona de estudio

Estudio observacional, cuasiexperimental, longitudinal, realizado en los municipios de Granada y Medellín ubicados en el departamento de Antioquia-Colombia. Los dos municipios presentaban una temperatura que oscilaba entre 25 ± 3 °C, factores típicos del clima templado de la zona, más en épocas del fenómeno del niño dichas temperaturas podían oscilar entre 35 ± 3 °C.

Obtención de pulpa ver el comentario adjunto una sugerencia de reestructuración

La recolección del fruto se realizó en la segunda temporada de cosecha (entre los meses mayo a julio) de las tres que se efectúan al año. Se tomaron las muestras en los dos municipios, en apoyo con la organización Tejipaz del municipio de Granada-Antioquia.

El fruto recolectado presentaba madurez y condiciones organolépticas aptas, procediendo a almacenarse en neveras de icopor para conservarlos a una temperatura de 4 °C, para ser procesado en el laboratorio de alimentos de la Universidad de Antioquia en Medellín.

Antes de obtener la pulpa, el fruto fue lavado y desinfectado con hipoclorito de sodio a 150 ppm durante 20 minutos, con el objetivo de eliminar cualquier microorganismo, posteriormente se le extrajo la semilla interna y la pulpa fue sometida a un proceso de licuado con un equipo semi industrial (Oster®), en una relación sólido líquido de 4/1 (4 g de la fruta sin semilla en 1 mL de agua potable), posteriormente el licuado fue pasada por un cernidor y almacenado en bolsas flexibles de PEBD con cierre hermético para luego ser congeladas a -20 °C en un congelador industrial (Thermo scientific®).

Extracto etanólico

Para la determinación de polifenoles y capacidad antioxidante CARO se preparó un extracto etanólico de la siguiente forma: 200 mg de pulpa fueron pesados en viales de 2 mL, posteriormente, se adicionó etanol al 70 % aforando a un volumen de 2 mL y se sonicó durante 20 minutos en ultrasonido de baño (Hielscher®) a temperatura ambiente. Posteriormente, se centrifugó a 13,000 RMP -4 °C durante 10 minutos (Thermo

scientific®). Finalmente, el sobrenadante se transfirió a un balón volumétrico de 2 mL y se aforó nuevamente con etanol al 70 %.

Determinación de polifenoles

El contenido de los polifenoles se determinó el día cero (antes de congelación) y a los 15 y 45 días posterior al proceso de congelación, mediante un método colorimétrico usando el ensayo Folin-Ciocalteu, el cual fue realizado siguiendo los procedimientos descritos por Bravo *et al.* (2015).

En el procedimiento se emplearon 125 μ L del extracto etanólico de la pulpa de *S. paniculatum*. El método Folin-Ciocalteu emplea ácido fosfotúngstico como oxidante, el cual en un medio alcalino es fácilmente reducido por grupos fenólicos produciendo una coloración azul, con una absorbancia máxima a 765 nm, siendo cuantificada por espectrofotometría empleando una curva de calibración con Ácido Gálico (3,4,5-Trihydroxybenzoic acid) como estándar de referencia, en un rango de concentraciones entre 10 -100 μ g/mL (Fluka Analytica®, Sigma-aldrich®) (Bravo *et al.*, 2015; Singleton *et al.*, 1999).

Determinación de la capacidad antioxidante

Se evaluó la capacidad antioxidante el día cero (antes de congelación) y a los 15 y 45 días posterior al proceso de congelación, empleando la técnica CARO-H o Capacidad de absorción de radicales de oxígeno hidrofílico conocida en inglés como (hydrophilic Oxygen radical absorbance capacity - ORAC-H), este ensayo se adaptó de procedimientos descritos previamente por Bravo *et al.* (2015). En breve, se empleó AAPH (diclorhidrato de 2,2-azobis (2-amidinopropano)) como generador de radicales peroxilo y Trolox como estándar (Rango 25 - 200 μ M), así mismo se usó fluoresceína

como sonda fluorescente. Brevemente, se mezclaron 25 μ L del extracto etanólico o estándar Trolox con 150 μ L de fluoresceína (1 μ M) y se pre incubaron a 37 °C durante 30 min antes de agregar 25 μ L de solución AAPH (200 mM). Luego se evaluó la fluorescencia a una longitud de onda de 520 nm cada dos minutos, durante 120 minutos, utilizando un lector de microplacas multimodo Synergy HT (BioTek Instruments, Inc.; Winooski, EE. UU.). Los valores relativos de CARO se calcularon utilizando las diferencias de áreas bajo las curvas de desintegración y se expresaron como μ mol TE/100 g de muestra.

Análisis de datos

El análisis de los datos fue llevado a cabo con el paquete estadístico Graph Pad Prism V8 (GraphPad Software, Inc, La Jolla, CA, USA). Para todos los datos se aplicó un chequeo de normalidad empleando el test Shapiro Wilk. Además, los datos fueron graficados mostrando la media y la desviación estandar (SD). Finalmente, la comparación entre las diferentes mediciones fue desarrollada empleando el test: "T de Student" y solo se consideraron los valores de $p < 0,05$ estadísticamente significativos.

Resultados y Discusión

Curva de calibración cantidad de polifenoles

El análisis cuantitativo se realizó por el método de Folin-Ciocalteu y para ello se construyó una curva de calibración con diferentes concentraciones ácido gálico. Entre los parámetros de la curva de calibración se obtuvo un valor de r^2 de 0,9996, el cual valida la linealidad de la absorbancia vs concentración. Los datos de la curva de calibración se muestran en la **Figura 1** y en la **Tabla 1**, se representan como absorbancia a 765 nm vs. Concentraciones (μ g/mL) de ácido gálico.

Figura 1

Curva de calibración para la medición de polifenoles

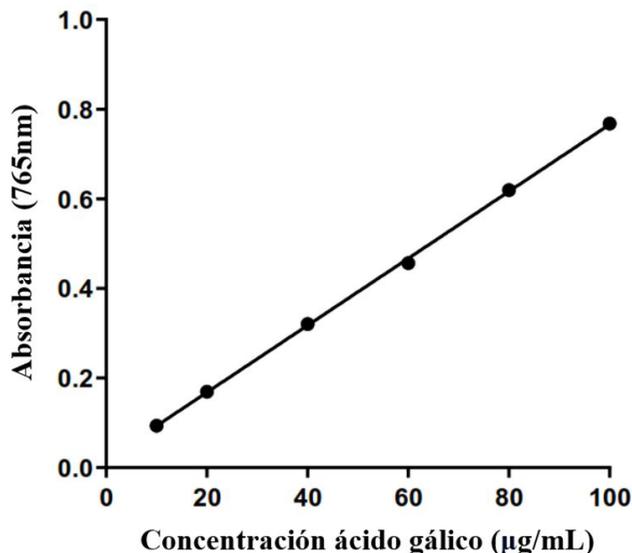


Tabla 1

Regresión lineal obtenida en la curva de calibración del ácido gálico

Parámetros de curva de calibración	
Rango	10 -100,0 µg/mL
Pendiente	0,007473 ± 0,00003934
Y-intercepto	0,01848 ± 0,002387
X-intercepto	-2,473
Bondad de ajuste	
r ²	0,9996
Sy.x	0,005314

Determinación de polifenoles

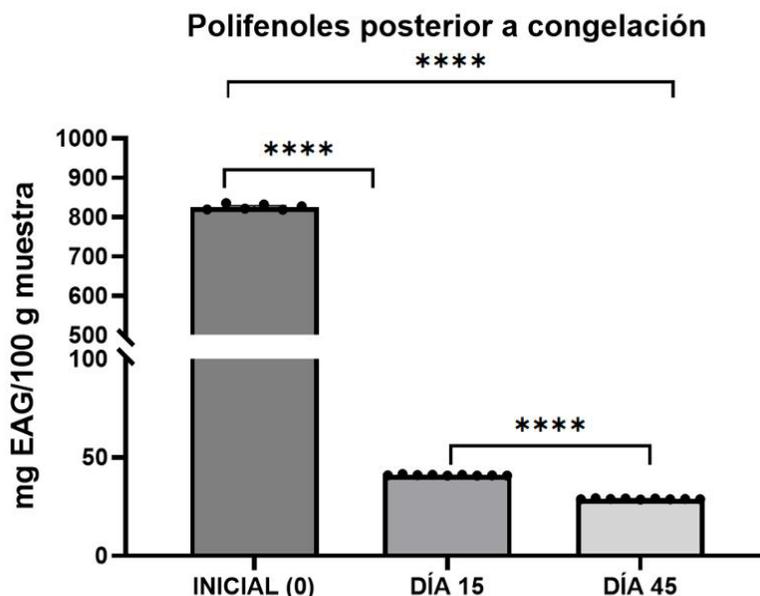
Se encontró una línea base con un promedio de $826 \pm 6,95$ mg EAG/100 g muestra (N = 6), esto indicó que los frutos de *S. paniculatum*, presentaban un alto contenido de polifenoles, antes de someterlos al proceso de almacenamiento por congelación. Posterior a la congelación se evidenció una disminución en la concentración de polifenoles y se encontró una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,0001$) entre la línea base (contenido inicial) y los días 15 ($40,7 \pm 0,26$ mg EAG/100 g muestra, N = 9) y 45 ($28,9 \pm 0,22$ mg EAG/100 g muestra,

N = 9) de almacenamiento, asimismo, también se encontró una diferencia estadísticamente significativa entre los días 15 y 45 (Figura 2).

Como se observa en la Figura 2, se encontró un contenido de polifenoles inicial dentro del rango 990 - 730 mg EAG/100 g muestra, lo cual ha sido reportado por Pérez-Mora & Mojica-Gómez (2018) para estadios de maduración 2 y 3 en el fruto de *S. paniculatum*. Valores similares han sido reportados para diferentes cultivos de Uchuva (*Physalis peruviana*) con contenidos entre 614 - 831 mg EAG/100 g muestra fresca (Rop et al., 2012).

Figura 2

Contenido de polifenoles totales en pulpa congelada durante almacenamiento a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$



Nota. ****= $p < 0,0001$

Por otra parte, el contenido inicial de polifenoles encontrados en el fruto eugenio fue superior al reportado para arándanos (*Vaccinium corymbosum*) con 150 - 400 mg EAG/100 g en muestra fresca (Li *et al.*, 2017), pulpa de agraz (*Vaccinium meridionale Swartz*) congelada 200 mg EAG/100 g muestra fresca (Franco-Tobón *et al.*, 2016), diferentes cultivos de fresas 8 - 208 mg EAG/100 g muestra fresca (*Fragaria x ananassa* Duch) (Nowicka *et al.*, 2019) y al reportado para otras especies de *Syzygium* como el Jambu air (*Syzygium aqueum* (Burm.f.) Alston.) con valores entre 218 - 452 mg EAG/100 g en muestra fresca (Tehrani *et al.*, 2011). Así mismo se ha documentado que el principal grupo de polifenoles presentes en el fruto eugenio son las antocianinas con un 68 % del total, siendo las malvidinas-diglucósido las de mayor abundancia (Pachulicz *et al.*, 2022).

En este estudio, durante el almacenamiento bajo congelación la pulpa del fruto eugenio presentó una pérdida elevada de los compuestos fenólicos, disminuyendo significativamente más

del 95 % para el día 15 y 45, respecto a su valor inicial, alcanzando un valor de $28,9 \pm 0,21$ mg EAG/100 g muestra para el día 45. Esta pérdida de polifenoles puede deberse a factores como la oxidación y la pérdida de agua. La oxidación durante el proceso de congelación puede alterar los polifenoles y contribuir a su disminución (Zaritzky, 2003). Igualmente, durante el proceso de congelación, el agua presente en las frutas puede formar cristales de hielo y a su vez este proceso puede dañar las estructuras celulares y liberar polifenoles al agua, lo que podría resultar en una pérdida de estos compuestos durante la descongelación y posterior procesamiento (Neri *et al.*, 2020).

Esta alta disminución en el contenido de compuestos fenólicos por congelación también ha sido reportada en otros alimentos como la berenjena, donde la congelación generó una pérdida entre el 77 - 88 % de fenoles (Vallespir *et al.*, 2019) y en cubos de manzana pérdidas del 45 % (Dalmau *et al.*, 2017). En un estudio llevado a cabo con cereza dulce, (*var.* "Bing") también se

encontró una marcada reducción del contenido total de compuestos fenólicos y antocianinas cuando se almacenó a $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$ después de seis meses (Chaovanalikit & Wrolstad, 2004). En otro estudio realizado por Johnson *et al.* (2015), en jugo de fruto de Sauco Americano (*Sambucus nigra* subsp. *canadensis*) estos reportaron una pérdida de hasta el 72 % en los polifenoles respectó al valor inicial. Dichos autores atribuyen una disminución en los polifenoles debido a la pérdida de antocianinas que alcanzó una reducción del 82 % bajo congelación a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

En general, la degradación de estos compuestos fenólicos puede atribuirse a varios factores. Por un lado, el elevado contenido del compuesto antocianino cianidina 3-glucósido, que es altamente reactivo, podría jugar un

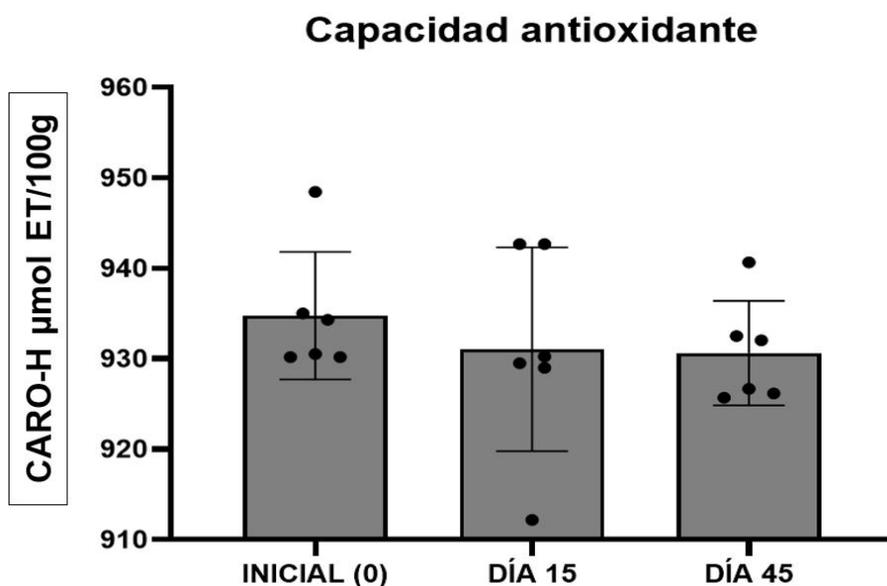
papel importante. Además, la alteración en la estructura celular causada por el proceso de congelación podría provocar la liberación de enzimas oxidorreductasas, al descongelarse la pulpa (Sablani, 2015). Por otro lado, la alta humedad también podría haber favorecido la degradación al solubilizar el oxígeno y facilitar la oxidación de los compuestos fenólicos (Franco *et al.*, 2016).

Capacidad antioxidante posterior a congelación

Se observó que la capacidad antioxidante no cambió significativamente entre el contenido inicial (línea base) y los días 15 y 45. Los valores obtenidos en $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$ muestra corresponden a $935 \pm 7,0$; $931,1 \pm 11,3$ y $930,6 \pm 5,8$ respectivamente. **Figura 3.**

Figura 3

Variación de la capacidad antioxidante CARO-H en pulpa congelada a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$



Nota. Los puntos indican las repeticiones en cada medición.

Existen diferentes metodologías para evaluar la capacidad antioxidante de un alimento, entre ellas se encuentra la capacidad de absorción de los radicales de oxígeno (llamada en inglés ORAC), este método analiza

la capacidad de los compuestos antioxidantes (fenólicos y no fenólicos) para atrapar al radical peroxilo ($\text{ROO}\cdot$), responsable de la oxidación de los lípidos en los alimentos (Benítez-Estrada *et al.*, 2020).

Como se observa en la **Figura 3**, el valor inicial para CARO-H en la pulpa fresca fue de $935 \pm 7,04$ $\mu\text{mol ET}/100$ g muestra. Durante el tiempo de almacenamiento no hubo cambios significativos en la capacidad antioxidante entre el día 0 y 45 ($p > 0,05$). Un comportamiento similar fue reportado para puré de mora almacenado a -20 °C hasta el mes seis, tiempo en el cual se presentó un leve aumento de la capacidad antioxidante, los autores atribuyen este comportamiento a la formación de compuesto poliméricos con una mayor capacidad antioxidante (Hager *et al.*, 2008). En contraste, en un estudio realizado por Franco *et al.* (2016) usando pulpa de mortiño (*Vaccinium Meridionale Swartz*) congelada a -10 °C, encontraron una disminución significativa de la capacidad antioxidante el día 60 de almacenamiento, medida por el método FRAP.

En relación a esta variable es posible considerar que gran parte de la capacidad antioxidante de la pulpa del eugenio podría deberse a la presencia en su composición de sustancias como vitamina C y compuestos fenólicos de diferentes especies las cuales tienen la capacidad de donar electrones a otras moléculas, lo que le permite neutralizar a los radicales libres (Pachulicz *et al.*, 2022). Por otra parte, ya que no se presentó una pérdida significativa de la capacidad antioxidante durante el almacenamiento de la pulpa de eugenio y a que el contenido de polifenoles disminuye drásticamente, se podría plantear la hipótesis de que los productos de degradación de los polifenoles retienen su capacidad antioxidante. Este comportamiento ha sido reportado por otros autores en cerezas dulces almacenadas a -23 y -70 °C durante 6 meses (Chaovanalikit & Wrolstad, 2004).

Conclusiones

Este trabajo evaluó el contenido polifenólico y capacidad antioxidante de la pulpa del fruto de *S. paniculatum* o eugenio antes y después de un proceso de congelación a -20 oC. A pesar

de evidenciarse una notable disminución de la cantidad de polifenoles los días 15 y 45 posteriores a la congelación, se corroboró que el fruto del eugenio mantiene su capacidad antioxidante. Este hallazgo sugiere la posibilidad de usar el fruto de esta especie vegetal como un alimento con potencial inmunomodulador que además pudiera ayudar a la prevención de diferentes tipos de cáncer. Finalmente, estos resultados subrayan la relevancia de investigar el potencial nutricional del fruto del eugenio y fomentar su cultivo en granjas o fincas locales. Asimismo, sugieren la posibilidad de un aumento en el consumo de este fruto en un futuro cercano, tanto en áreas urbanas medianas como en grandes ciudades.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad de Antioquia, específicamente a la Vicerrectoría de Extensión (Fondo Buppe) por la financiación de este proyecto, así como a la Comunidad del Municipio de Granada y a la organización Tejipaz por su ayuda en la recolección del fruto.

Referencias

- Abdulrahman, M. D., & Hama, H. A. (2023). Anticancer of genus *Syzygium*: a systematic review. *Exploration of Targeted Anti-tumor Therapy*, 4(2), 273. <https://doi.org/10.37349/ETAT.2023.00134>
- Benítez-Estrada, A., Villanueva-Sánchez, J., González-Rosendo, G., Alcántar-Rodríguez, V.E., Puga-Díaz, R., & Quintero-Gutiérrez, A. G. (2020). Determinación de la capacidad antioxidante total de alimentos y plasma humano por fotoquimioluminiscencia: Correlación con ensayos fluorométricos (ORAC) y espectrofotométricos (FRAP). *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 23(0), 1-9. <https://doi.org/10.22201/FESZ.23958723E.2020.0.244>
- Bonat-Celli, G., Ghanem, A., & Su-Ling Brooks, M. (2016). Influence of freezing process and frozen storage on the quality of fruits and fruit products. *Food Reviews International*, 32(3), 280-304. <https://doi.org/10.1080/87559129.2015.1075212>
- Bravo, K., Sepulveda-Ortega, S., Lara-Guzman, O., Navas-Arboleda, A., & Osorio, E. (2015). Influence of cultivar and ripening time on bioactive compounds and antioxidant properties in Cape

- gooseberry (*Physalis peruviana* L.). *J. Sci. Food Agric.* 95, 1562–1569, <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.6866>.
- Camelo, M. (2016). *Contribución al estudio fitoquímico de frutos de Syzygium paniculatum* (G.) y evaluación de su actividad antioxidante. [Tesis pregrado Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Repositorio institucional Universidad distrital Francisco José de Caldas]. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/3477/CameloMunevarDi?sequence=6>
- Canberra, Department of the Environment. (2024). *Syzygium paniculatum* in Species Profile and Threats Database, Department of the Environment, Canberra. Available from: <https://www.environment.gov.au/sprat>.
- Chaovanalikit, A., & Wrolstad, R. E. (2004). Total Anthocyanins and Total Phenolics of Fresh and Processed Cherries and Their Antioxidant Properties. *Journal of Food Science*, 69(1), FCT67–FCT72. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2621.2004.TB17858.X>
- Dalmau, M. E., Bornhorst, G. M., Eim, V., Rosselló, C., & Simal, S. (2017). Effects of freezing, freeze drying and convective drying on in vitro gastric digestion of apples. *Food chemistry*, 215, 7–16. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2016.07.134>
- Delgadillo, J. E., & Calani, L. A. (2014). Nutraceuticos. *Act Clin Med* [onl. 2014, 42(1), 2190–2194. http://revistasbolivianas.umsa.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2304-37682014000300002&lng=en&nrm=iso
- Franco, N., Tobon, Y., Rojano, B., Arbelaez, F., Flores, E., Barrios, D., & Maldonado, M. (2016). Efecto del tiempo de almacenamiento sobre propiedades fisicoquímicas y antioxidantes de productos derivados del fruto agraz (*Vaccinium meridionale swartz*). *Vitae*, 23(3), 184–193. <https://doi.org/10.17533/udea.vitae.v23n3a04>
- Hager, T. J., Howard, L. R., & Prior, R. L. (2008). Processing and storage effects on monomeric anthocyanins, percent polymeric color, and antioxidant capacity of processed blackberry products. *Journal of agricultural and food chemistry*, 56(3), 689–695. <https://doi.org/10.1021/JF071994G>
- Ishiwata, K., Yamaguchi, T., Takamura, H., & Matoba, T. (2007). DPPH Radical-Scavenging Activity and Polyphenol Content in Dried Fruits. *Food Science and Technology Research*, 10(2), 152–156. <https://doi.org/10.3136/FSTR.10.152>
- Johnson, M. C., Thomas, A. L., & Greenlief, C. M. (2015). Impact of Frozen Storage on the Anthocyanin and Polyphenol Contents of American Elderberry Fruit Juice. *Journal of agricultural and food chemistry*, 63(23), 5653–5659. <https://doi.org/10.1021/ACS.JAFC.5B01702>
- Li, D., Li, B., Ma, Y., Sun, X., Lin, Y., & Meng, X. (2017). Polyphenols, anthocyanins, and flavonoids contents and the antioxidant capacity of various cultivars of highbush and half-high blueberries. *Journal of Food Composition and Analysis*, 62, 84–93. <https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2017.03.006>
- Maldonado, G. R., Pacheco, D., Martín, L., Sánchez, A., Quirós, M., Ortega, J., Colmenares, C., & Bracho, B. (2013). Flavonoides presentes en especies de Psidium (MYRTACEAE) de Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia*, 30(2), 26–28. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/27124>
- Martínez-Flórez, S., González-Gallego, J., Culebras, J. M., Tuñón, M. J., & Jesús Tuñón, M. (2002). Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes Correspondencia. *Nutr. Hosp*, 6, 271–278.
- Neri, L., Faieta, M., Di Mattia, C., Sacchetti, G., Mastrocola, D., & Pittia, P. (2020). Antioxidant Activity in Frozen Plant Foods: Effect of Cryoprotectants, Freezing Process and Frozen Storage. *Foods (Basel, Switzerland)*, 9(12), 1886. <https://doi.org/10.3390/foods9121886>
- Nowicka, A., Kucharska, A. Z., Sokół-Łętowska, A., & Fecka, I. (2019). Comparison of polyphenol content and antioxidant capacity of strawberry fruit from 90 cultivars of *Fragaria × ananassa* Duch. *Food Chemistry*, 270, 32–46. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2018.07.015>
- Noguera, F., Gigante, S., Peña, N., Aude, I., Montero, D., & Menoni, C. (2018). Principios de la preparación de alimentos. Montevideo: Comisión Sectorial de Enseñanza, 2018. 127 p. <https://www.cse.udelar.edu.uy/wp-content/uploads/2018/12/Principios-de-la-preparacio%CC%81n-de-alimentos-Noguera-2018.pdf>
- Pachulicz, R. J., Yu, L., Jovcevski, B., Bulone, V., & Pukala, T. L. (2022). Polyphenol characterisation and diverse bioactivities of native Australian lilly pilli (*Syzygium paniculatum*) extract. *Food & Function*, 13(16), 8585–8592. <https://doi.org/10.1039/D2FO01305C>
- Panche, A. N., Diwan, A. D., & Chandra, S. R. (2016). Flavonoids: an overview. *Journal of Nutritional Science*, 5, 1–15. <https://doi.org/10.1017/JNS.2016.41>
- Parra-O, C. (2014). Sinopsis de la familia Myrtaceae y clave para la identificación de los géneros nativos e introducidos en Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 38(148), 261–277. <https://doi.org/10.18257/RACCEFYN.128>
- Pérez-Mora, W. H., & Mojica Gómez, J. (2018). Análisis fisicoquímico de frutos de *Syzygium paniculatum* en diferentes estados de maduración. *Entre ciencia e ingeniería*, 12(24), 124–129. <https://doi.org/10.31908/19098367.3822>

- Rop, O., Mlcek, J., Jurikova, T., & Valsikova, M. (2012). Bioactive content and antioxidant capacity of Cape gooseberry fruit. *Central European Journal of Biology*, 7(4), 672-679. <https://doi.org/10.2478/S11535-012-0063-Y>
- Sablani, S. S. (2015). Freezing of Fruits and Impact on Anthocyanins. *Processing and Impact on Active Components in Food*, 147-156. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404699-3.00018-4>
- Singleton, V.L, Orthofer R., & Lamuela-Raventós R.M. (1999). *Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-calteu reagent*, in Stockbrige, R.B., *Methods in Enzymology*. (vol. 299, pp 152-178). Lester P. Academic Press.
- Tehrani, M., Chandran, S., M Sharif Hossain, A. B., & Nasrulhaq-Boyce, A. (2011). Postharvest physico-chemical and mechanical changes in jambu air (*Syzygium aqueum* Alston) fruits. *AJCS*, 5(1), 32-38.
- Vallespir, F., Rodríguez, Ó., Eim, V. S., Rosselló, C., & Simal, S. (2019). Effects of freezing treatments before convective drying on quality parameters: Vegetables with different microstructures. *Journal of Food Engineering*, 249, 15-24. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2019.01.006>
- Vuong, Q. V., Hirun, S., Chuen, T. L. K., Goldsmith, C. D., Bowyer, M. C., Chalmers, A. C., Phillips, P. A., & Scarlett, C. J. (2014). Physicochemical composition, antioxidant and anti-proliferative capacity of a lilly pilly (*Syzygium paniculatum*) extract. *Journal of Herbal Medicine*, 4(3), 134-140. <https://doi.org/10.1016/J.HERMED.2014.04.003>
- Zaritzky, N. E. (2003). Factors affecting the stability of frozen Foods, *Managing Frozen Foods*. In Kennedy, C. J. *Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition*. pp.111-135. Woodhead Publishing.