

Efecto de la pasteurización tradicional y con ultrasonido sobre la capacidad antioxidante total del jugo de granada (*Punica granatum*)

Effect of traditional and ultrasonic pasteurization on the total antioxidant capacity of pomegranate (*Punica granatum*) juice

Norma Angélica Caudillo-Ortega*✉, Verónica Vallejo-Yebra*,
Claudia Rivera-Domínguez**, Edgar Enrique Vázquez-Ramírez***,
Hugo Rosales-Bravo****

Caudillo-Ortega, N. A., Vallejo-Yebra, V., Rivera-Domínguez, C., Vázquez-Ramírez, E. E., & Rosales-Bravo, H. (2025). Efecto de la pasteurización tradicional y con ultrasonido sobre la capacidad antioxidante total del jugo de granada (*Punica granatum*). *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 33(96), e7828, <https://doi.org/10.33064/iycuaa2025967828>

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar las características fisicoquímicas, sensoriales, microbiológicas y capacidad antioxidante total (CAT) en jugo de granada (*Punica granatum*), al cual se aplicaron dos métodos de conservación independientes, uno a baja temperatura y tiempo prolongado (LTLT, por sus siglas en inglés) y otro sometido a ultrasonido (T ultra). Las características fisicoquímicas se conservaron en todos los casos, mientras el color se afectó para ambos métodos, a excepción de un tratamiento con pasteurización tradicional y un tratamiento con ultrasonido. La CAT en las muestras con ambos tratamientos aumentó significativamente, pero la técnica de DPPH mostró mayor potencial antioxidante en el jugo asistido con ultrasonido (> 100 Trolox, μM) en comparación a la pasteurización LTLT (< 91 Trolox, μM), posiblemente por una menor degradación de los compuestos fenólicos. El jugo asistido con ultrasonido a 20°C durante 30 y 60 minutos fue insuficiente para inhibir el crecimiento de levaduras, posiblemente por el inicio de una fermentación. En general, las características sensoriales de los jugos fueron bien aceptados por los consumidores.

Recibido: 30 de enero de 2025 Aceptado: 18 de septiembre de 2025 Publicado: 30 de septiembre de 2025

*Departamento de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Tecnológico Nacional de México/ITS de Guanajuato (Instituto Tecnológico Superior de Guanajuato). Carretera Guanajuato-Puentecillas Km 10.5, C. P. 36262, Puentecillas, Guanajuato, México. Correo electrónico: ncaudillo@itesg.edu.mx; veronicayebra27@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2895-0919>; <https://orcid.org/0009-0006-4112-8643>

**Departamento de Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México/ITS de Guanajuato (Instituto Tecnológico Superior de Guanajuato). Carretera Guanajuato-Puentecillas Km 10.5, C. P. 36262, Puentecillas, Guanajuato, México. Correo electrónico: crivera@itesg.edu.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5538-4713>

***Departamento de Ingeniería Mecatrónica, Tecnológico Nacional de México/ITS de Guanajuato (Instituto Tecnológico Superior de Guanajuato). Carretera Guanajuato-Puentecillas Km 10.5, C. P. 36262, Puentecillas, Guanajuato, México. Correo electrónico: evazquezr@itesg.edu.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4410-7200>

****Colegio de Estudios Científicos y Tecnológicos del Estado de Guanajuato, Plantel Guanajuato. San Bernardo No. 17, Km 10.5, C. P. 36000, Puentecillas, Guanajuato, México. Correo electrónico: hugo.rosalesb@cecycateg.edu.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3327-166X>

✉ Autor para correspondencia

Palabras clave: capacidad antioxidante total; granada; pasteurización; ultrasonido; características fisicoquímicas; evaluación sensorial.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the physicochemical, sensory, microbiological characteristics, and total antioxidant capacity (TAC) of pomegranate (*Punica granatum*) juice, which underwent two independent preservation methods: one at low temperature and long time (LTLT) and the other subjected to ultrasound (T ultra). The physicochemical characteristics were preserved in all cases, while the color was affected by both methods, with the exception of a traditional pasteurization treatment and an ultrasound treatment. The TAC in samples with both treatments increased significantly, but the DPPH technique showed greater antioxidant potential in the ultrasound-assisted juice (> 100 Trolox, μM) compared to LTLT pasteurization (<91 Trolox, μM), possibly due to a lower degradation of phenolic compounds. The ultrasound-assisted juice at 20°C for 30 and 60 minutes was insufficient to inhibit yeast growth, possibly due to the initiation of fermentation. Overall, the sensory characteristics of the juices were well accepted by consumers.

Keywords: Total antioxidant capacity; pomegranate; pasteurization; ultrasound; physicochemical characteristic; sensory evaluation.

INTRODUCCIÓN

Los jugos de frutas se conservan por pasteurización, tratamiento térmico a temperaturas $<100^{\circ}\text{C}$, que inactiva enzimas y microorganismos, contribuyendo al aumento de vida útil. La técnica más utilizada es la pasteurización de alta temperatura en corto tiempo (HTST, por sus siglas en inglés) y LTLT (Knorr et al., 2011). Durante el tratamiento térmico, el contenido de vitaminas (complejo B), minerales (potasio, magnesio y calcio), proteínas (cambios en la estructura que afectan la biodisponibilidad) y antioxidantes (polifenoles y flavonoides) son susceptible a cambios y/o degradación por factores como temperatura, tiempo y medio de calentamiento (Ok, Aria, Jose, & Diego, 2025).

Existen otras tecnologías como el ultrasonido, técnica no térmica que mejora la calidad y favorece la integridad de los compuestos nutraceuticos; especialmente en alimentos con características termosensibles nutricionales, sensoriales y funcionales (Bhargava, Mor, Kumar, & Sharanagat, 2021). La aplicación del ultrasonido tiene una serie de ventajas; reduce significativamente la resistencia térmica de las esporas de *Bacillus cereus*, una preocupación en la industria alimentaria por su resistencia al tratamiento térmico (Lv et al., 2019). Asimismo, reduce el contenido de pesticidas de la superficie de lechugas frescas y mantiene la misma calidad fisicoquímica, correspondiente al contenido de clorofila y carotenoides (Azam et al., 2021) e incrementa el rendimiento de extracción de compuestos bioactivos de vegetales, dando lugar a la optimización de procesos de plantas con potencial antioxidante, antiinflamatoria y analgésica (Xiang et al., 2024).

El ultrasonido tiene varias alternativas, una de ellas es el baño ultrasónico que consiste en un lote de agua en donde se propagan ondas acústicas, colocando el alimento

dentro del fluido (Rojas, Miano, Aguilar, & Augusto, 2020). Esta técnica se ha utilizado en diversos alimentos como cárnicos, lácteos, emulsiones y procesamiento de vegetales (Majid, Nayik, & Nanda, 2015) y ha mejorado a lo largo de los años. En 1995 se realizó uno de los primeros experimentos de inactivación de la peroxidasa en jugos, empleando frecuencia de 20 KHz y temperatura de 126 °C (López, 1995).

En el año 2000 un estudio en jugo de tomate mostró la inactivación de pectinmetilesteras y poligalacturonasa, utilizando frecuencias de 24 KHz y temperaturas de 60 y 65 °C; encontrando mayor efecto reductor a estas condiciones, haciendo factible el empleo de termosonación (ultrasonido y temperatura) como tecnología de conservación para jugos (Wu, Hulbert, & Mount, 2000). Actualmente el potencial nutraceútico de jugos es una tendencia, se ha analizado el efecto del baño ultrasónico en diferentes condiciones sobre el jugo de fresa. El tratamiento disminuyó el recuento microbiano y conservó las características fisicoquímicas como pH, Brix y capacidad antioxidante del jugo (Menelli, Fracalossi, Lepaus, & De São José, 2021).

La granada (*P. granatum*) es un fruto rico en polifenoles, flavonoides, antocianinas y ácido elágico; compuestos responsables de sus propiedades antioxidantes, que contribuyen a la neutralización de radicales libres y a la prevención de estrés oxidativo en el organismo (Azmat et al., 2024). Por ello, su consumo rutinario se asocia con bienestar cardiovascular al disminuir el colesterol total (CT) y la presión arterial (Dasenaki, Drakopoulou, Aalizadeh, & Thomaidis, 2019). Las enfermedades metabólicas (como la diabetes mellitus) y neurodegenerativas (como el Alzheimer) son un reto para el sistema de salud en México, en donde el estrés oxidante es un factor de relevancia (Barba Evia, 2018). Incluso, de las muertes por COVID-19 reportadas a febrero de 2021, un porcentaje considerable presentaba hipertensión, obesidad y diabetes; lo que ilustra la desafiante situación que enfrenta México, según el INSP (Instituto Nacional de Salud Pública, 2021).

El objetivo de este proyecto fue evaluar el impacto de dos métodos de pasteurización; tradicional y asistido con ultrasonido, sobre las principales variables fisicoquímicas, microbiológicas y la capacidad antioxidante total del jugo de granada almacenado. Debido al alto potencial de compuestos bioactivos en esta bebida es necesario evaluar el impacto de los diferentes procesos de pasteurización sobre su estabilidad y calidad funcional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Estandarización del jugo de granada

Las granadas (*P. granatum*) fueron adquiridas en un mercado local en Guanajuato, México. Las granadas fueron seleccionadas libres de daños físicos y microbiológicos; se lavaron y desinfectaron durante 1 minuto con una solución de hipoclorito de sodio de 150 µL/l. Los arilos fueron separados manualmente de la fruta y la extracción del jugo se realizó utilizando un prensado manual. Se filtró con una malla textil de poro cerrado, seguido de un tamiz de acero inoxidable (No. 200).

Condiciones de los métodos de conservación del jugo

Pasteurización tradicional LTLT. Se aplicó una pasteurización tradicional LTLT, que consistió en un tratamiento térmico a una temperatura de 75 °C durante un tiempo prolongado, como se muestra en la tabla 1. La pasteurización se realizó en un baño de agua, aplicando varias condiciones de tiempo de exposición.

Tabla 1
*Condiciones de los tratamientos del jugo de granada con
pasteurización LTLT (Temperatura= 75 °C)*

Tratamiento	Tiempo (minutos)
T1 LTLT	1
T2 LTLT	5
T3 LTLT	10
T4 LTLT	15

Nota: Elaboración propia.

Pasteurización asistida con ultrasonido. Se utilizó una tecnología de baño ultrasónico (Mod. AE-600D, marca Ultrasonic Cleaner ROHS). Se aplicaron diferentes tratamientos, variando el tiempo y la temperatura, a una frecuencia de 40 kHz, ver tabla 2.

Tabla 2
Condiciones de los tratamientos asistidos con ultrasonido

Tratamiento	Tiempo (min)	Temperatura (°C)
T1 ultra	30	20
T2 ultra	60	20
T3 ultra	5	60
T4 ultra	10	60
T5 ultra	20	60
T6 ultra	30	60

Nota: Todos los tratamientos se realizaron a una frecuencia de 40 kHz.
Elaboración propia.

Parámetros fisicoquímicos

Se utilizó un refractómetro ATAGO (Atago Co. Ltd., Tokio, Japón) para medir el contenido de sólidos totales solubles (Brix) (Secretaría de Economía, 28 de febrero de 2022); pH y acidez titulable utilizando una solución de NaOH 0.1 N (Secretaría de Economía, 5 de julio de 2010) con un potenciómetro (marca Hanna, modelo HI 2211) a $20 \pm 5^\circ\text{C}$.

Color

Se utilizó un colorímetro portátil (marca FRU, modelo WR10QC, China) para medir los parámetros de color L^* , a^* , b^* (modo de transmitancia) en la escala CIELab* (Marcus, 1998).

Capacidad antioxidante total (CAT)

La capacidad antioxidante total se analizó de acuerdo con el método DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil) (Kedare & Singh, 2011) y por el método por el método ABTS (Re et al., 1999) basado en la capacidad de la muestra para inhibir el radical ABTS⁺ radical comparado con un estándar antioxidante de referencia (Trolox®) para ambos métodos de pasteurización.

Evaluación sensorial

El análisis sensorial consistió en una prueba subjetiva de preferencia con escala hedónica de siete puntos con 30 jueces no entrenados entre 18 y 40 años de edad. Se evaluaron los atributos de sabor, olor, color, acidez y dulzor para cada muestra con un método de conservación diferente. Se utilizó una escala hedónica de siete puntos siendo 1; me desagrada bastante y 7 me gusta bastante.

Análisis microbiológico

Se realizó el análisis de los microorganismos indicadores de higiene; bacterias mesófilas aerobias (BMA) (Secretaría de Salud, 12 de diciembre de 1995), coliformes totales (Secretaría de Salud, 26 de junio de 2015), hongos y levaduras (Secretaría de Salud, 13 de septiembre de 1995). Estos análisis se realizaron tanto para el jugo pasteurizado (tratamiento térmico) como para el asistido de ultrasonido. Este análisis se realizó a los 30 días de almacenamiento después de aplicar el tratamiento de conservación y a los 15 días después de abierto.

Análisis estadístico

Los datos experimentales se analizaron utilizando el software estadístico SPSS 25 (IBM Inc., Chicago, EE. UU.). Las diferencias dentro de las medias de los tratamientos se consideraron significativas para $p \leq 0.05$ utilizando ANOVA y pruebas de Tukey.

RESULTADOS

Estandarización del jugo de granada por diferentes tratamientos

Extracción del jugo. Las granadas fueron recolectadas de árboles de granado en el municipio de Guanajuato, Guanajuato. Como resultado, se obtuvo un jugo de granada de color rojo intenso, característico del fruto. Posteriormente, el jugo fue pasteurizado utilizando las condiciones descritas en cada método de conservación. Los jugos se conservaron durante 30 días en refrigeración.

Variables fisicoquímicas del jugo de granada

La tabla 3 muestra los valores de estos parámetros del jugo de granada. Estos valores son importantes como indicadores de calidad del jugo previo a los tratamientos de conservación y después del almacenamiento de 30 días.

Tabla 3
Parámetros fisicoquímicos del jugo de granada con diferente método de conservación

Tratamiento	Día 0			Día 30		
	pH	Acidez	Brix	pH	Acidez	Brix
T1 LTLT	3.06 ± 0.02	2.66 ± 0.03	15 ± 1	3.14 ± 0.02	3.02 ± 0.02	14.8 ± 0.02
T2 LTLT		mg de				
T3 LTLT		ácido				
T4 LTLT		cítrico				
T1 Ultra	3.00 ± 0.03	2.56 ± 0.022	16 ± 1	3.30 ± 0.15	2.95 ± 0.03	15.4 ± 0.03
T2 Ultra		mg de				
T3 Ultra		ácido				
T4 Ultra		cítrico				
T5 Ultra						
T6 Ultra						

Nota: Los resultados se muestran en promedios y desviación estándar.
Elaboración propia.

La prueba objetiva de color, los valores de la luminosidad y de las coordenadas cromáticas se muestran en la tabla 5.

Los únicos tratamientos que mantuvieron las características de color durante los 30 días de almacenamiento a 4 °C fueron el T1 ultra y T3 LTLT. Indicando que las variables de tiempo y temperatura en el tratamiento con ultrasonido o pasteurización tradicional pueden inducir cambios en el color, y el ultrasonido no tiene un efecto protector sobre los pigmentos.

Evaluación sensorial

Se realizó una prueba subjetiva con jueces no entrenados del nivel de agrado de las muestras de jugo, utilizando una escala hedónica de 7 puntos para evaluar los atributos de sabor, olor, color y dulzor (tabla 4). Los resultados se presentan en un diagrama de araña en la figura 1.

Tabla 4
Resultados de la evaluación sensorial del nivel de agrado

Atributo	LTLT	Ultrasonido
Sabor	6.85	6.9
Olor	6.92	6.88
Color	6.75	6.73
Dulzor	6.7	6.78
Acidez	6.78	6.74

Nota: Elaboración propia.

Tabla 5
Coordenadas cromáticas del jugo de granada a los 30 días de almacenamiento 4 °C, posteriores a los tratamientos de conservación

Tratamiento	ΔL	Δa	Δb	Resultado
Control	2.55	14.60	4.39	P
T1 LTLT	8.53	4.00	2.87	NP
T2 LTLT	7.05	4.41	0.86	NP
T3 LTLT	2.70	10.92	4.67	P
T4 LTLT	10.22	6.08	3.16	NP
T1 ultra	0.07	-0.73	-0.11	P
T2 ultra	2.45	-13.60	-4.49	NP
T3 ultra	2.52	-14.39	-4.34	NP
T4 ultra	1.29	-7.24	-2.22	NP
T5 ultra	2.38	-13.43	-4.09	NP
T6 ultra	2.55	-14.60	-4.39	NP

Nota: NP= no conserva las coordenadas cromáticas y luminosidad de la escala de color.
Elaboración propia.

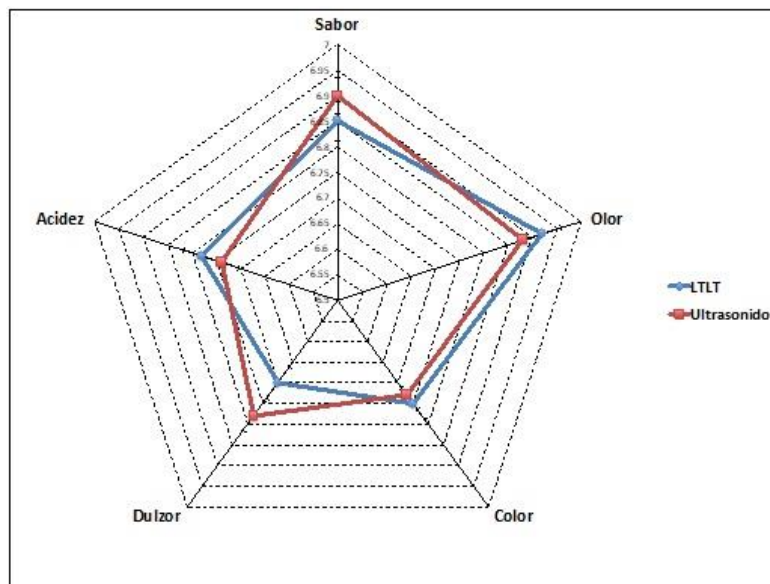


Figura 1. Diagrama de los descriptores analizados en la prueba de evaluación sensorial. Los cinco atributos evaluados en los jugos con diferentes tratamientos fueron similares.
Elaboración propia.

La aceptación de los jueces para los jugos con diferente tratamiento de conservación fue similar; por tanto, las muestras no presentaron cambios a simple vista o una modificación de color, olor o acidez perceptibles. Lo anterior concuerda con el análisis estadístico y no existe diferencia significativa entre los atributos según el método de conservación.

Determinación de la CAT en jugos de granada con diferentes tratamientos

Las características antioxidantes del jugo de granada se muestran en la figura 2. El análisis con las técnicas ABTS y el DPPH muestran en el día 30 de almacenamiento un aumento significativo ($p < 0.05$) en la CAT en el jugo con tratamiento T2 LTLT y T4 LTLT; mientras que el jugo asistido con ultrasonido aumentó significativamente en la CAT, pero no existe repetibilidad entre ambas técnicas. Contrastando los dos tratamientos de conservación, la pasteurización tradicional y el ultrasonido, se observó un aumento en la concentración de Trolox a los 30 días de almacenamiento de ambos; pero la concentración fue mayor en el jugo asistido con ultrasonido, posiblemente por ser un tratamiento menos agresivo con los pigmentos y compuestos bioactivos.

Análisis microbiológico

Se realizó el análisis de los microorganismos indicadores en las muestras con pasteurización LTLT y asistido con ultrasonido. En el jugo con tratamiento LTLT el análisis se realizó a los 30 días de aplicar el tratamiento y 15 días después de abierto. El crecimiento de los microorganismos analizados fue ausente en cada uno de las diferentes condiciones utilizadas en este tratamiento en los días correspondientes.

Por otro lado, en el jugo asistido con ultrasonido a los 30 días de aplicar el tratamiento, no hubo crecimiento de BMA y coliformes totales; pero los tratamientos T1 y T2 ultra presentaron crecimiento de levaduras (7.6 y 12 UFC/ml, respectivamente). Estos tratamientos fueron aplicados a 40 Hz a 20 °C durante 30 y 60 minutos, indicando que la temperatura no es suficiente para la inactivación de microorganismos. El análisis del jugo a los 15 días después de abierto presentó crecimiento de BMA, hongos y levaduras; en los mismos tratamientos y el T6 ultra solo presentó crecimiento de BMA.

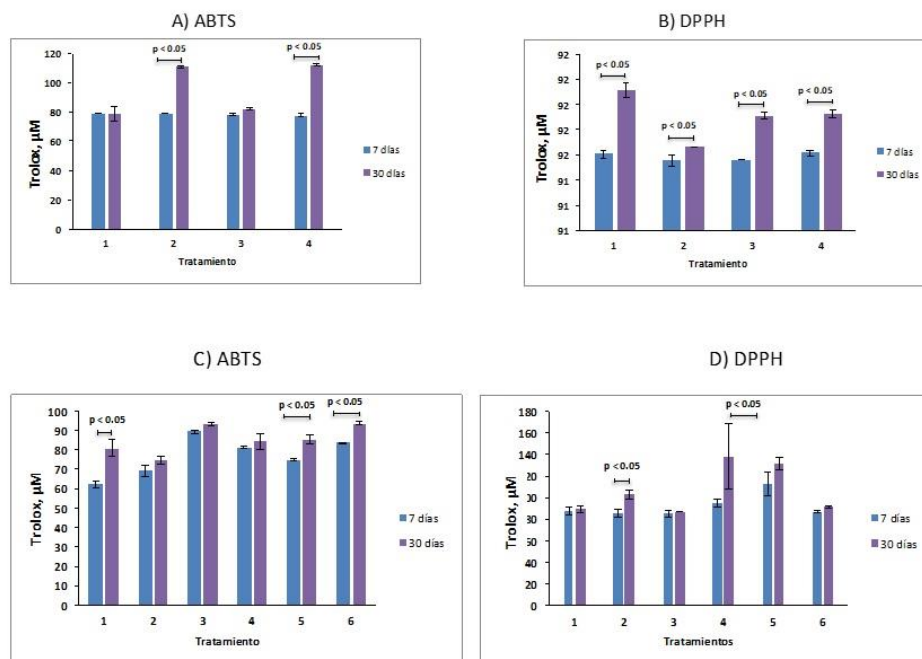


Figura 2. CAT del jugo de granada sometido a la pasteurización LTLT (2A y 2B) y asistida con ultrasonido (2C y 2D). En los tratamientos LTLT2 y LTLT4, la CAT es mayor significativamente a los 30 días de almacenamiento; mientras que en la pasteurización asistida con ultrasonido la CAT no muestra repetibilidad entre los métodos utilizados para la determinación de la CAT.

DISCUSIÓN

Características fisicoquímicas

El jugo de granada fresco presentó de 15 - 16 Brix y estudios previos han reportado los Brix en un rango de 9.56 – 15.07 Brix (Haridy, Al Thaiban, & Alsrwani, 2020; Zarei, Azizi, & Bashir-Sadr, 2011). Estos cambios se deben principalmente a la variedad, madurez y región de cultivo de la granada. Otra variable es el pH, factor importante en la vida de anaquel y en la fermentación, debido a su efecto en los atributos de calidad del producto como sabor, color y aroma. Tiene una variación en un rango de 2.0 a 3.68 según la variedad de la granada (Haridy et al., 2020; Valdés Miramontes et al., 2004).

La acidez titulable se expresa en mg de ácido cítrico, el cual estuvo en un rango de 2 – 3 mg, valor independiente al tratamiento de conservación. Sin embargo, se encuentran en el límite inferior de lo reportado por otros equipos de trabajo (Zarei et al., 2011); lo que podría deberse a la variedad, madurez de la fruta y origen. En granadas de cultivos iraníes se ha reportado la acidez titulable en un rango de 0.33% a 2.44% y hasta 8% de ácido cítrico (Haridy et al., 2020; Tehranifar, Zarei, Nemati, Esfandiyari, & Vazifeshenas, 2010).

Análisis de color

En el tratamiento con ultrasonido los valores de las coordenadas cromáticas fueron negativos (tabla 5). El valor L* indica un jugo de granada con tendencia a la oscuridad (siendo 0= blanco y 100= negro). El valor a* indica un color rojo (valores positivos) a verde (valores negativos) y b* del color amarillo al azul, el análisis señala un color en el cuadrante verde y azul. Sin embargo, se ha reportado el color del jugo de granada en el cuadrante rojo y amarillo, información importante sobre el contenido de pigmentos naturales rojos responsables del color típico (Baquero-Peña & Guerrero-Beltrán, 2017; Tzulker et al., 2007). Los valores negativos sugieren un cambio de color y posiblemente en los compuestos antioxidantes; mientras que los parámetros de color del jugo de granada con tratamiento LTLT fueron superiores en comparación con el jugo fresco y con el jugo asistido con ultrasonido, presentando valores de mayor luminosidad y en el cuadrante rojo a amarillo.

Análisis de la CAT en el jugo de granada con diferentes métodos de conservación

Se ha reportado que la CAT en jugos durante el almacenamiento disminuye debido a la degradación de compuestos bioactivos ocasionada por el tiempo y temperatura (Lin et al., 2020). Por otro lado, los compuestos químicos de la granada pueden interactuar entre sí y oxidarse, disminuyendo la actividad antioxidante. Cada compuesto fenólico y su interacción en bebidas de granada pueden contribuir de manera diferente al cambio en la actividad antioxidante en el rango de 16% a 39% en las bebidas de granada (Zhuang, Du, & Wang, 2011).

Nuestros resultados muestran un aumento significativo en la CAT del jugo de granada en algunos tratamientos de ambos métodos de conservación. Siendo los tratamientos en el método LTLT los más consistentes entre las técnicas utilizadas para la cuantificación de la CAT. Estas técnicas de detección; DPPH y ABTS, tienen un mecanismo antioxidante de radicales libres similar y pueden tener variación respecto a la CAT del jugo de granada en ambos métodos (Esposto et al., 2021). Además, los métodos no pueden cuantificar la totalidad de los compuestos antioxidantes debido a la naturaleza de los mismos y pueden tener diferencias entre ellas (Elfalleh et al., 2009).

El aumento en la CAT se puede atribuir al comienzo de procesos fermentativos. Al inicio de la fermentación de jugos de frutas, el contenido de CAT aumenta en 24 o 48 horas

(Dikmetas et al., 2025), es posible que el jugo de granada presente condiciones fermentativas adecuadas, aunque en el análisis microbiológico sólo algunos tratamientos con ultrasonido presentaron crecimiento de hongos y levaduras.

Evaluación sensorial del jugo de granada con métodos de conservación diferentes

El diagrama de araña indica un nivel de aceptación similar en los jugos de granada con diferentes métodos de conservación, indicando que no hay modificación en el color, sabor, olor, dulzor y acidez en el jugo asistido con ultrasonido en comparación al jugo con el método tradicional. Estos resultados son favorables y muestran aceptación del jugo de granada entre los consumidores, ya que se ha reportado que en algunas bebidas con potencial funcional son rechazadas por su calidad sensorial (Basurto, Ochoa, González-Herrera, & Gallegos-Infante, 2023).

Crecimiento microbiológico en jugo de granada con diferente método de conservación

El análisis microbiológico es de suma importancia para determinar la calidad higiénica del jugo de granada. Los resultados fueron los esperados al no presentar crecimiento microbiológico en todos los tratamientos LTLT.

Por otro lado, la temperatura de 60 °C y un corto tiempo de ultrasonido fue suficiente para inhibir el crecimiento de microorganismos durante los 30 días de almacenamiento en los tratamientos T3, T4, T5 y T6 ultra; pero sorprendentemente los tratamientos T1 y T2 ultra presentaron crecimiento de levaduras. Es posible que por las características de jugo haya comenzado una fermentación, debido a la baja temperatura (20 °C) empleada en combinación con el ultrasonido.

El tratamiento con ultrasonido tiene múltiples efectos sobre los microorganismos y su efecto letal depende de la composición de la membrana, la frecuencia y el tiempo (Lauteri, Ferri, Piccinini, Pennisi, & Vergara, 2023); incluso se ha reportado que la frecuencia de 43Hz no disminuye la fase de crecimiento de levaduras (Soro, Oliveira, O'Donnell, & Tiwari, 2021); mientras que en el tratamiento térmico la temperatura desnaturaliza proteínas comenzando por la membrana (Ok et al., 2025) y por consecuencia la inactivación de microorganismos patógenos desde 45 °C (Noor, Islam, Munshi, & Rahman, 2013). La fermentación del jugo de granada requiere un pH inicial en un rango de 2.8–4.0 (Berenguer et al., 2016; Zhuang et al., 2011). Todos los valores de pH en ambos métodos de conservación estuvieron dentro de los rangos mencionados; por tanto, el jugo presentaba las características necesarias para el inicio de una fermentación, sobre todo en los tratamientos con ultrasonido.

CONCLUSIONES

Los dos tratamientos de pasteurización modificaron la composición fisicoquímica del jugo de granada, contribuyendo a la modificación de sus propiedades fisicoquímicas y antioxidantes. Los análisis indicaron que el jugo de granada es un producto rico en antioxidantes y la CAT aumentó significativamente en algunas condiciones de los dos métodos de pasteurización. El jugo de granada asistido con ultrasonido presentó mayor CAT en comparación al pasteurizado LTLT; mientras que la temperatura de 20 °C, 40 Hz, tiempo de 30 y 60 minutos fue insuficiente para la inactivación de levaduras en el jugo de granada, indicando una corta vida de anaquel. Independientemente de los métodos de conservación todas las bebidas de granada fueron aceptadas sensorialmente.

Estos resultados nos llevan a las siguientes perspectivas del proyecto, evaluar sinergias entre ultrasonido y otros métodos no térmicos (altas presiones hidrostáticas, pulsos eléctricos, plasma frío) para incrementar la vida útil sin afectar las propiedades funcionales o sensoriales. Además, profundizar en estudios de estabilidad de antioxidantes durante el almacenamiento en condiciones reales de mercado (temperatura ambiente, refrigeración, luz).

Agradecimientos

Los autores desean agradecer profundamente al Tecnológico Nacional de México por su invaluable apoyo y financiamiento para la realización de este proyecto.

REFERENCIAS

- Azam, S. M. R., Ma, H., Xu, B., Devi, S., Stanley, S. L., Siddique, M. A. B., ... Zhu, J. (2021). Multi-frequency multi-mode ultrasound treatment for removing pesticides from lettuce (*Lactuca sativa* L.) and effects on product quality. *LWT*, 143, 111147. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111147>
- Azmat, F., Safdar, M., Ahmad, H., Khan, M. R. J., Abid, J., Naseer, M. S., ... Suleria, H. A. R. (2024). Phytochemical profile, nutritional composition of pomegranate peel and peel extract as a potential source of nutraceutical: A comprehensive review. *Food Science & Nutrition*, 12(2), 661–674. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3777>
- Baqueiro-Peña, I., & Guerrero-Beltrán, J. Á. (2017). Physicochemical and antioxidant characterization of *Justicia spicigera*. *Food Chemistry*, 218, 305–312. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.078>
- Barba Evia, J. R. (2018). México y el reto de las enfermedades crónicas no transmisibles. El laboratorio también juega un papel importante. *Revista Mexicana de Patología Clínica y Medicina de Laboratorio*, 65(1), 4-17. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=79689>
- Basurto, E., Ochoa, A., González-Herrera, S., & Gallegos-Infante, J. (2023). Características fisicoquímicas y evaluación sensorial de bebidas mixtas camote-manzana y camote-piña: Physico-chemical parameters and sensory evaluation of sweet potato-apple and sweet potato-pineapple blended beverages. *TECNOCIENCIA Chihuahua*, 17, e1137. <https://doi.org/10.54167/tch.v17i1.1137>
- Berenguer, M., Vegara, S., Barrajón, E., Saura, D., Valero, M., & Martí, N. (2016). Physicochemical characterization of pomegranate wines fermented with three different *Saccharomyces cerevisiae* yeast strains. *Food Chemistry*, 190, 848–855. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.06.027>
- Bhargava, N., Mor, R. S., Kumar, K., & Sharanagat, V. S. (2021). Advances in application of ultrasound in food processing: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 70, 105293. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105293>
- Dasenaki, M. E., Drakopoulou, S. K., Aalizadeh, R., & Thomaidis, N. S. (2019). Targeted and Untargeted Metabolomics as an Enhanced Tool for the Detection of Pomegranate Juice Adulteration. *Foods (Basel, Switzerland)*, 8(6). <https://doi.org/10.3390/foods8060212>
- Dikmetas, D. N., Acar, E. G., Ceylan, F. D., İlkadim, F., Özer, H., & Karbancioglu-Guler, F. (2025). Functional fermented fruit juice production and characterization by using water

- kefir grains. *Journal of Food Science and Technology*, 63, 378-391. <https://doi.org/10.1007/s13197-025-06209-y>
- Elfalleh, W., Nasri, N., Marzougui, N., Thabti, I., M'rabet, A., Yahya, Y., ... Ferchichi, A. (2009). Physico-chemical properties and DPPH-ABTS scavenging activity of some local pomegranate (*Punica granatum*) ecotypes. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60 (Suppl 2), 197–210. <https://doi.org/10.1080/09637480903067037>
 - Esposto, S., Veneziani, G., Taticchi, A., Urbani, S., Selvaggini, R., Sordini, B., ... Servili, M. (2021). Chemical Composition, Antioxidant Activity, and Sensory Characterization of Commercial Pomegranate Juices. *Antioxidants*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/antiox10091381>
 - Haridy, L., Al Thaiban, M., & Alsrwani, A. (2020). Physio-chemical Properties of Fresh, Clarified and Commercial Brands Pomegranate Juice. *IJPRAS*, 9(1). <https://ijpras.com/article/physio-chemical-properties-of-fresh-clarified-and-commercial-brands-pomegranate-juice>
 - INSP (Instituto Nacional de Salud Pública). (2021). Enfermedades no transmisibles en México. *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición*. Autor.
 - Kedare, S. B., & Singh, R. P. (2011). Genesis and development of DPPH method of antioxidant assay. *Journal of Food Science and Technology*, 48(4), 412–422. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0251-1>
 - Knorr, D., Froehling, A., Jaeger, H., Reineke, K., Schlueter, O., & Schoessler, K. (2011). Emerging technologies in food processing. *Annual Review of Food Science and Technology*, 2, 203–235. <https://doi.org/10.1146/annurev.food.102308.124129>
 - Lauteri, C., Ferri, G., Piccinini, A., Pennisi, L., & Vergara, A. (2023). Ultrasound Technology as Inactivation Method for Foodborne Pathogens: A Review. *Foods* 12(6). <https://doi.org/10.3390/foods12061212>
 - Lin, Y.-S., Huang, W.-Y., Ho, P.-Y., Hu, S.-Y., Lin, Y.-Y., Chen, C.-Y., ... Huang, S.-L. (2020). Effects of Storage Time and Temperature on Antioxidants in Juice from *Momordica charantia* L. and *Momordica charantia* L. var. *abbreviata* Ser. *Molecules* (Basel, Switzerland), 25(16). <https://doi.org/10.3390/molecules25163614>
 - López, P. (1995). Peroxidase Stability and Reactivation after Heat Treatment and Manothermosonication. *Journal of Food Science*. https://www.academia.edu/8309733/Peroxidase_Stability_and_Reactivation_after_Heat_Treatment_and_Manothermosonication
 - Lv, R., Zou, M., Chantapakul, T., Chen, W., Muhammad, A. I., Zhou, J., ... Liu, D. (2019). Effect of ultrasonication and thermal and pressure treatments, individually and combined, on inactivation of *Bacillus cereus* spores. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103(5), 2329–2338. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9559-3>
 - Majid, I., Nayik, G., & Nanda, V. (2015). Ultrasonication and food technology: A review. *Cogent Food & Agriculture*, 1(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2015.1071022>
 - Marcus, R. (1998). The measurement of color. En K. Nassau (Ed.), *Color for science, art and technology* (chapter 2, pp. 31-96). Elsevier.
 - Menelli, G. S., Fracalossi, K. L., Lepaus, B. M., & De São José, J. F. B. (2021). Effects of high-intensity ultrasonic bath on the quality of strawberry juice. *CyTA - Journal of Food*, 19(1), 501–510. <https://doi.org/10.1080/19476337.2021.1918768>
 - Noor, R., Islam, Z., Munshi, S., & Rahman, F. (2013). Influence of Temperature on *Escherichia coli* Growth in Different Culture Media. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 7(2), 899-904. <https://microbiologyjournal.org/influence-of-temperature-on-escherichia-coli-growth-in-different-culture-media/>
 - Ok, E., Aria, J., Jose, D., & Diego, C. (2025). Impact of Heat Processing (Boiling, Roasting, Frying) on Nutrient Retention.
 - Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free*

- Radical Biology and Medicine*, 26(9), 1231–1237.
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Rojas, M. L., Miano, A. C., Aguilar, K., & Augusto, P. E. D. (2020). Chapter 8 - Emerging Technologies for Noncarbonated Beverages Processing. En C. M. Galanakis (Ed.), *Trends in Non Alcoholic Beverages* (pp. 233–261). Academic Press.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816938-4.00008-2>
 - Secretaría de Economía (5 de julio de 2010). DECLARATORIA de vigencia de la Norma Mexicana NMX-F-102-NORMEX-. ALIMENTOS-DETERMINACION DE ACIDEZ TITULABLE EN ALIMENTOS-METODO DE ENSAYO (PRUEBA) (ESTA NORMA CANCELA A LA NMX-F-102-S-1978). *Diario Oficial de la Federación*,
https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5150634&fecha=05/07/2010#gsc.tab=0
 - _____ (28 de febrero de 2022). NOM-173-SE-2021, Jugos, agua de coco, néctares, bebidas no alcohólicas con contenido de vegetal o fruta u hortaliza y bebidas saborizadas no alcohólicas preenvasadas-Denominaciones-Especificaciones- Información comercial y métodos de prueba. *Diario Oficial de la Federación*.
https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5643986&fecha=28/02/2022#gsc.tab=0
 - Secretaría de Salud. (13 de septiembre de 1995). NOM-111-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos. *Diario Oficial de la Federación*.
https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4881226&fecha=13/09/1995#gsc.tab=0
 - _____ (12 de diciembre de 1995). NOM-092_SSA1-1994. Bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa. *Diario Oficial de la Federación*.
https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4886029&fecha=12/12/1995#gsc.tab=0
 - _____ (26 de junio de 2015). NOM-210-SSA1-2014, Productos y servicios. Métodos de prueba microbiológicos. Determinación de microorganismos indicadores. Determinación de microorganismos patógenos. *Diario Oficial de la Federación*.
https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5398468&fecha=26%2F06%2F2015#gsc.tab=0
 - Soro, A. B., Oliveira, M., O'Donnell, C. P., & Tiwari, B. K. (2021). Ultrasound assisted modulation of yeast growth and inactivation kinetics. *Ultrasonics Sonochemistry*, 80, 105819. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105819>
 - Tehranifar, A., Zarei, M., Nemati, Z., Esfandiyari, B., & Vazifeshenas, M. R. (2010). Investigation of physico-chemical properties and antioxidant activity of twenty Iranian pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars. *Scientia Horticulturae*, 126(2), 180–185. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.07.001>
 - Tzulker, R., Glazer, I., Bar-Ilan, I., Holland, D., Aviram, M., & Amir, R. (2007). Antioxidant activity, polyphenol content, and related compounds in different fruit juices and homogenates prepared from 29 different pomegranate accessions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(23), 9559–9570. <https://doi.org/10.1021/jf071413n>
 - Valdés Miramontes, E., Castaneda-Saucedo, M., Campos, E., Castillo, Z., Anaya, J., Sánchez-Caballero, B., & Luján, M. (2004). Potencial antioxidante de tres subproductos de granada (*Punica granatum* L.). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 74, 155–164. <https://doi.org/10.37527/2024.74.3.001>
 - Wu, H., Hulbert, G. J., & Mount, J. R. (2000). Effects of ultrasound on milk homogenization and fermentation with yogurt starter. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 1(3), 211–218. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1466-8564\(00\)00020-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1466-8564(00)00020-5)
 - Xiang, Y., Liu, Z., Liu, Y., Dong, B., Yang, C., & Li, H. (2024). Ultrasound-assisted extraction, optimization, and purification of total flavonoids from *Daphnegenkwa* and analysis of

their antioxidant, anti-inflammatory, and analgesic activities. *Ultrasonics Sonochemistry*, 111. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2024.107079>

- Zarei, M., Azizi, M., & Bashir-Sadr, Z. (2011). Évaluation des caractéristiques physico-chimiques des fruits de *Punica granatum* L. pendant la maturation. *Fruits*, 66(2), 121–129. <https://doi.org/10.1051/fruits/2011021>
- Zhuang, H., Du, J., & Wang, Y. (2011). Antioxidant capacity changes of 3 cultivar Chinese pomegranate (*Punica granatum* L.) juices and corresponding wines. *Journal of Food Science*, 76(4), C606-C611. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02149.x>



Esta obra está bajo una licencia internacional [Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Usted es libre de Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Atribución — Usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.

NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con propósitos comerciales.

CompartirIgual — Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original.