

Aprovechamiento tecnológico del garambullo: innovación en bebidas carbonatadas aplicando tratamientos de ozonización y sonicación para potenciar sus propiedades y conservar su valor nutricional

Technological use of garambullo: innovation in carbonated beverages by applying ozonation and sonication treatments to enhance its properties and preserve its nutritional value

Araceli Capetillo Rubio¹

Universidad Nacional Autónoma de México, México

Selene Pascual Bustamante

Universidad Nacional Autónoma de México, México

Adela Lira Vargas³

Universidad Nacional Autónoma de México, México

Maria Eugenia Ramírez Ortiz⁴

Universidad Nacional Autónoma de México, México

Maria Andrea Trejo Márquez⁵

Universidad Nacional Autónoma de México, México

andreatrejo@unam.mx

Recepción: 20 Diciembre 2024

Aprobación: 27 Diciembre 2024

Publicación: 31 Diciembre 2024



Acceso abierto diamante

Resumen

La importancia de aprovechar los recursos naturales endémicos de México con potencial nutricional de especies poco conocidas como el garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*), un fruto de una cactácea rico en vitamina C, proteína, betalaínas, alto contenido en compuestos fenólicos y antioxidantes. A pesar de sus beneficios, el garambullo es subutilizado, lo que motiva la búsqueda de nuevas formas de consumo más accesibles, como las bebidas carbonatadas, populares entre los mexicanos. Por lo que el objetivo del presente trabajo fue desarrollar una bebida carbonatada de garambullo endulzada con azúcar de caña o miel de agave, empleando ozonización y sonicación como alternativas a la pasteurización. Para caracterizar el garambullo se realizaron análisis fisicoquímicos y químicos. La bebida se elaboró con un concentrado de garambullo (20 % pulpa y goma xantana 0.5 %) sometido a pasteurización (85

Notas de autor

¹ Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Laboratorio de Postcosecha de Productos Vegetales, Centro de Asimilación y Tecnología, Jiménez Cantú, San Juan Atlámica, C.P. 54729, Cuautitlán Izcalli, Edo. de México, México.

³ Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Laboratorio de Postcosecha de Productos Vegetales, Centro de Asimilación y Tecnología, Jiménez Cantú, San Juan Atlámica, C.P. 54729, Cuautitlán Izcalli, Edo. de México, México.

⁴ Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Laboratorio de Postcosecha de Productos Vegetales, Centro de Asimilación y Tecnología, Jiménez Cantú, San Juan Atlámica, C.P. 54729, Cuautitlán Izcalli, Edo. de México, México.

⁵ Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Laboratorio de Postcosecha de Productos Vegetales, Centro de Asimilación y Tecnología, Jiménez Cantú, San Juan Atlámica, C.P. 54729, Cuautitlán Izcalli, Edo. de México, México.

* Autora de correspondencia: María Andreina Trejo Márquez. E-mail: andreatrejo@unam.mx

°C por 5 min) y se comparó contra ozonización (3, 6 y 9 min) y sonicación (15, 25 y 35 min). Se realizaron pruebas sensoriales de aceptación y análisis microbiológicos. Los resultados mostraron que el garambullo contiene 18.66 % de carbohidratos, 2.02 % de cenizas, 3.77 % de fibra cruda, 72.39 % de humedad, 0.37 % de lípidos y 3.49 % de proteínas. Además, presentó baja acidez (0.036 %), un pH de 5.63, 3.32 °Brix de sólidos solubles totales, 25.12 mg/g de betalaínas, 42.43 µm Trolox/g pf de capacidad antioxidante, 45.8 mg ácido gálico/g en fenoles totales y 35.65 mg ácido ascórbico/g de vitamina C. La bebida de garambullo sometida a 25 min de sonicación, gasificada y endulzada con 40 % de azúcar de caña mostró una menor carga microbiológica y buena aceptación sensorial, aunque se redujo casi a la mitad la capacidad antioxidante (12.36 µm Trolox/g pf) y los fenoles totales (25.05 mg ácido gálico/g). Los resultados anteriores muestran el potencial tecnológico del garambullo para su aprovechamiento en la industria de bebidas carbonatadas.

Palabras clave: Garambullo, capacidad antioxidante, ozono, bebida, sonicación.

Abstract

The importance of taking advantage of Mexico's endemic natural resources with nutritional potential of little-known species such as garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*), a cactus fruit rich in vitamin C, protein, betalains, high in phenolic compounds and antioxidants. Despite its benefits, garambullo is underutilized, which motivates the search for new and more accessible forms of consumption, such as carbonated beverages, popular among Mexicans. Therefore, the objective of the present work was to develop a garambullo carbonated beverage sweetened with cane sugar or agave honey, using ozonation and sonication as alternatives to pasteurization. To characterize the garambullo, physicochemical and chemical analyses were carried out. The beverage was prepared with a garambullo concentrate (20 % pulp and 0.5 % xanthan gum) and subjected to pasteurization (85 °C for 5 min) and compared against ozonation (3, 6 and 9 min) and sonication (15, 25 and 35 min). Sensory acceptance tests and microbiological analyses were carried out. The results showed that garambullo contained 18.66 % carbohydrates, 2.02 % ash, 3.77 % crude fiber, 72.39 % moisture, 0.37 % lipids and 3.49 % proteins. It also showed low acidity (0.036 %), a pH of 5.63, 3.32 °Brix of total soluble solids, 25.12 mg/g of betalaínas, 42.43 µm Trolox/g pf of antioxidant capacity, 45.8 mg gallic acid/g of total phenols and 35.65 mg ascorbic acid/g of vitamin C. The garambullo beverage subjected to 25 min of sonication, carbonated and sweetened with 40 % sugar showed a lower microbiological load and good sensory acceptance, although the antioxidant capacity (12.36 µm Trolox/g pf) and total phenols (25.05 mg gallic acid/g) were almost halved. The above results show the technological potential of garambullo for use in the carbonated beverage industry.

Keywords: Garambullo, antioxidant capacity, ozone, carbonated beverage, sonication.

INTRODUCCIÓN

El garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*) es un cactus endémico de México que crece en zonas áridas y semiáridas, y se propaga fácilmente mediante semillas. Este cactus produce bayas redondas de color púrpura con un sabor dulce y agradable, lo que ha despertado un interés creciente en la comunidad científica debido a su valor nutricional y medicinal (Tilahun y Welegerima, 2018). El garambullo es reconocido por su rica composición en compuestos bioactivos, incluyendo polifenoles, flavonoides, polifenoles y fibra dietética, además de un alto contenido en proteínas, betalaínas y vitamina C. Estos componentes ofrecen protección del organismo contra el estrés oxidativo, inflamación y contribuyen a la regulación del metabolismo y la salud digestiva. Estudios recientes sugieren que el consumo regular de garambullo puede contribuir al control de enfermedades como la diabetes, la hipertensión y la obesidad; así como poseer propiedades antimicrobiano y antiinflamatorio que podrían ser útiles en el tratamiento de infecciones (Tilahun y Welegerima, 2018). A pesar de su abundancia en regiones áridas y semiáridas de México, la producción comercial de garambullo ha sido limitada en comparación con otras especies de cactus. Sin embargo, su cultivo está experimentando un resurgimiento debido al creciente interés en su valor nutricional y medicinal, así como en su potencial como cultivo alternativo en áreas marginadas. La producción se localiza principalmente en los estados de Guanajuato, Querétaro, Hidalgo y San Luis Potosí. (Yahia *et al.*, 2023). A pesar de sus beneficios, el garambullo sigue siendo poco conocido e industrializado. Aproximadamente el 70 % del consumo es en forma de alimento fresco, mientras que solo el 30 % se procesa de forma artesanal, lo que resulta en pérdidas considerables debido a la rápida fermentación del fruto en condiciones normales (Topete, 2006). Sin embargo, el garambullo ofrece oportunidades de aprovechamiento en la industria farmacéutica, cosmética y alimentaria, donde sus frutos, hojas y tallos pueden ser empleados en productos funcionales, suplementos dietéticos, o en productos tradicionales como mermeladas, refrescos y pasas. México destaca como líder latinoamericano en el consumo de refrescos, a pesar de los riesgos asociados con su ingesta, como el aumento de la probabilidad de desarrollar obesidad, diabetes mellitus, síndrome metabólico, ciertos tipos de cáncer y osteoporosis (Silva y Duran, 2014). Estas bebidas carbonatadas han sido durante mucho tiempo una parte integral de la cultura del consumo de líquidos en el mundo (Euromonitor International, 2021), lo que se refleja en su contribución a la economía nacional (0.5 % del Producto Interno Bruto nacional) y representa el 2.8 % del PIB manufacturero (Secretaría de Economía, 2014). En los últimos años ha surgido una mayor conciencia sobre los posibles impactos negativos para la salud asociados con el consumo excesivo de azúcares añadidos y edulcorantes artificiales presentes en estas bebidas (Fundación UNAM, 2017; Colchero *et al.*, 2016). Esto ha generado un cambio en las preferencias del consumidor y ha llevado a la implementación de políticas gubernamentales destinadas a reducir su consumo. Como resultado, se ha producido un impacto significativo en la industria alimentaria, que ha respondido introduciendo alternativas más saludables, como bebidas sin azúcar añadido, opciones bajas en calorías y productos con ingredientes naturales (Singh *et al.*, 2015). Por otra parte, para asegurar la inocuidad de las bebidas se utilizan tratamientos térmicos debido a su capacidad de destruir microorganismos e inactivar enzimas. Entre estos, la pasteurización destaca por su eficacia en este sentido, sin embargo, este método puede disminuir o eliminar algunos de los nutrientes presentes en el producto, además de afectar sus propiedades sensoriales (Villareal *et al.*, 2013). Para evitar este tipo de daños, se han desarrollado tecnologías emergentes, que emplean métodos no térmicos de conservación de alimentos, como el ozono (O_3) y la sonicación (Betaller-Venta *et al.*, 2010; Delgado, 2011; Kim *et al.*, 2011; Ashokkumar, 2015). Ante la problemática asociada al consumo de bebidas gaseosas se propone la elaboración de una bebida carbonatada a base de garambullo como una alternativa a las bebidas gaseosas tradicionales. Este enfoque busca no solo aprovechar las propiedades nutricionales del garambullo, sino también darle un uso tecnológico a este fruto. Además, se busca contribuir al aumento de la producción de plantas de esta especie, que enfrenta el riesgo de extinguirse debido a la tala indiscriminada. Con base en lo anterior, se plantea evaluar el efecto de dos métodos

alternativos a los tratamientos térmicos: la aplicación de tratamientos con ozono y sonicación en diferentes intervalos de tiempo. El objetivo es obtener un producto con mejores condiciones de calidad organoléptica, garantizando su inocuidad y, al mismo tiempo, lograr una mayor biodisponibilidad de los nutrientes en comparación con los métodos térmicos convencionales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material biológico

Se utilizaron frutos de garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*) en madurez fisiológica procedentes de la región de Tolimán, Querétaro. Los frutos fueron lavados, se colocaron en bolsas de polietileno y se almacenaron a -25°C hasta su utilización para los análisis químicos y el desarrollo de las bebidas.

Caracterización del fruto de garambullo Caracterización del fruto de garambullo

La cuantificación de las betalaínas se realizó siguiendo el método descrito por Castellanos y Yahia (2008). La acidez titulable, pH y sólidos solubles se determinaron de acuerdo con la norma NMX-FF-011-1982. La capacidad antioxidante se evaluó mediante el método de ABTS (Re *et al.*, 1999) y los fenoles totales por el método espectrofotométrico con Folin Ciocalteau. Otros análisis incluyeron: carbohidratos por el método de Lane & Eynon (NMX-F-312-1978), cenizas por incineración directa (NMX-F-066-1978); fibra cruda por el método de Kennedy-Wendy (NMX-F-090-S-1978); humedad por estufa (NMX-F-083-1986); extracto etéreo por el método de Soxhlet (NMX-F-089-S-1978); proteínas por Lowry (Lowry *et al.*, 1951); vitamina C por titulación (AOAC, 1999) y el color mediante un colorímetro (Konica Minolta CR-410C) con el sistema Hunter Lab (L*, a* y b*).

Desarrollo y selección de la bebida carbonatada

La formulación para la bebida carbonatada desarrollada incluyó los siguientes ingredientes: citrato de sodio (0.02 %), sorbato de potasio (0.02 %), ácido ascórbico (0.35 %), goma xantana (0.5 %) y pulpa de garambullo (20 %). Además, se elaboraron diferentes formulaciones variando los porcentajes de miel de agave (10, 20 y 30 %) o azúcar de caña (30, 40 y 50 %) para determinar la formulación más aceptada sensorialmente. Para el procesamiento de la pulpa de garambullo, el fruto sin el residuo floral fue lavado con agua a flujo medio para eliminar impurezas. Posteriormente, después de secados los garambullos se almacenaron en bolsas de polietileno a una temperatura de -25°C hasta su utilización. Todos los ingredientes se pesaron por separado de acuerdo con cada formulación y se mezclaron durante 3 minutos en un homogenizador. La mezcla resultante se calentó a 85 °C durante 5 minutos para obtener la bebida pasteurizada. La formulación se carbonató con un gasificador (marca SodaStream). En un segundo mezclado, se incorporó el jarabe y el agua previamente tratada y gasificada. Finalmente, la bebida carbonatada se envasó en botellas de vidrio previamente esterilizadas.

Métodos alternativos a la pasteurización

La pasteurización se realizó al concentrado y al agua en donde se disolvió el concentrado a 85 °C durante 5 minutos. Para aplicar los métodos alternativos se utilizó un baño sónico (Cole-Parmer, 8891) con una potencia de 42 kHz y una temperatura fija de 30 °C, en donde se colocó el concentrado a diferentes tiempos: 15, 25 y 35 minutos (lo mismo se hizo para el agua), mientras que el ozono se aplicó empleando un potabilizador de agua (Biozo3n, 2000) a 3, 6 y 9 minutos de exposición. Para llevar a cabo el monitoreo microbiológico de la bebida se realizaron pruebas de coliformes totales, mesófilos aerobios, mohos y levaduras

(NOM-113-SSA1-1994, NOM-092-SSA1-1994, NOM-111-SSA1-1994) de cada uno de los métodos alternativos a la pasteurización y los tiempos mencionados anteriormente.

Evaluación sensorial

Se emplearon pruebas sensoriales para la evaluación de las bebidas endulzadas con miel de agave y azúcar de caña, en una escala hedónica de 7 puntos (Hernández, 2005). La evaluación incluyó parámetros como color, olor, sabor, textura y evaluación general con la participación de 70 panelistas estudiantes de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán UNAM Campo 1.

Análisis estadístico

Se realizó un diseño completamente aleatorizado seguidos de un análisis estadístico ANOVA de un solo factor con pruebas de rango múltiple (Tukey y Duncan) utilizando el software IBM SPSS versión 24, con un nivel de significancia de 0.05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del fruto de garambullo

Se hace notar que estos resultados no fueron ampliamente comparados ya que este tipo de frutos es objeto de escasa atención en la investigación científica (Vázquez-Cruz *et al.*, 2018). En la Tabla 1 se evidencia que el porcentaje de carbohidratos en el fruto de garambullo es considerablemente elevado en comparación con la tuna roja, la cual registra un valor del 12.97 % (Zenteno-Ramírez *et al.*, 2015). En cuanto al contenido de cenizas, se observó un valor más alto que el reportado por Durán (2009), con un valor de 1.18 % para fruto de garambullo en estado de madurez similar al estudiado. Esto indica una concentración más elevada de minerales, coincidiendo con la literatura citada por Márquez (2014) donde se menciona que el porcentaje de cenizas en los alimentos es generalmente inferior al 5 %. El contenido de fibra cruda en este estudio fue más bajo que el reportado por Durán (2009) con 16.44 %, lo cual podría atribuirse a las diferencias en las regiones de México donde se recolectaron los frutos. Respecto al contenido de humedad, resultó semejante a lo reportado por Durán (2009) quien reportó un valor del 75 %. Asimismo, se observó semejanza con lo reportado por dicho autor en cuanto al contenido de lípidos, que registró un valor de 0.4507 %. Mientras que el valor de proteínas fue menor (1.3605 %). Topete (2006) resalta el alto contenido de proteínas en el garambullo, lo que le distingue de otros frutos en cuanto a esta característica.

Tabla 1
Parámetros químicos del fruto de garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*).

Componente	g/100 g de peso
	fresco (pf)
Carbohidratos	18.66 ± 0.64
Cenizas	2.02 ± 0.22
Fibra cruda	3.77 ± 0.37
Humedad	72.39 ± 0.76
Lípidos	0.37 ± 0.016
Proteínas	3.49 ± 0.054

Al analizar los parámetros fisicoquímicos del fruto (Tabla 2) se observa que el valor de la acidez es semejante al reportado para la tuna roja (0.036 ± 0.005 % de ácido cítrico) (Ochoa y Guerrero, 2012), con la cual se comparó debido a la escasa información bibliográfica en este fruto. El pH fue cercano a los valores ácidos, adecuado en algunos procesos ya que entre 2.5 y 5.5 prolonga la conservación de la fruta fresca e inhibe la reproducción de microorganismos (Odar, 2008). Por ejemplo, un pH 4.6 impide el crecimiento de *Clostridium botulinum*. Luminosidad de un color genera una escala cromática de valor que termina en el blanco. Cada color tiene una luminosidad propia, por ejemplo, el azul tiene una luminosidad más baja que el amarillo, el rojo tiene más luminosidad que el violeta, etc. (Cabrera, 2011). El color es uno de los principales parámetros de calidad de las frutas puesto que es la característica externa más importante en la determinación del punto de madurez y de la vida postcosecha (Torres *et al.*, 2013). El garambullo registró una luminosidad que tiende hacia la parte más oscura dentro de la escala de color, esto se genera debido a que el fruto de garambullo tiene una coloración purpura intensa una vez que alcanza su estado de madurez óptimo. En cuanto a los sólidos solubles, se encontró un contenido menor de sacarosa con respecto a otros frutos como la tuna roja (13.8 °Brix), lo que sugiere su idoneidad para la transformación en productos diversos. El análisis fisicoquímico proporciona una visión completa de la calidad del fruto de garambullo y su potencial uso en diferentes aplicaciones. Una apariencia natural es preferible, mientras que un color inusual puede interpretarse como deterioro o falta de madurez (Moreno-Arribas, 2019). Por lo tanto, se evaluó este parámetro en el fruto de garambullo.

Tabla 2Parámetros fisicoquímicos del fruto de garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*).

Parámetro	
Acidez (% Ac. Cítrico)	0.034 ± 0.013
pH	5.63 ± 0.028
Luminosidad	21.16 ± 0.50
Sólidos solubles totales (°Brix)	3.32 ± 0.14

El contenido de betalaínas es relativamente bajo (Tabla 3) aunque su concentración aumenta con el estado de madurez del fruto, lo que está vinculado a la intensidad de su coloración púrpura característica. Por otra parte, las betalaínas son compuestos inestables que se degradan en corto tiempo (García y Reynoso, 1998; Moreno *et al.*, 2002; González, 2010 y García-Cruz *et al.*, 2012). En cuanto a la capacidad antioxidante y contenido de fenoles totales, se encontraron valores muy cercanos entre sí, ya que guardan una relación directa. Herrera-Hernández *et al.*, (2011), mencionan que el contenido de polifenoles es afectado por los cambios internos del fruto durante el proceso de maduración por la polifenol oxidasa, entre otras enzimas catabólicas. Sin embargo, el garambullo es una excelente fuente de estos compuestos comparado con frutos como las fresas, frambuesas, ciruela, uva y arándanos. Para el caso de la vitamina C el contenido fue 1.56 veces mayor al de la tuna roja la cual se reporta con 22.75 % (Carrasco y Encina, 2008). Esto significa que el consumo de 100 g de frutos de garambullo en estado maduro puede contribuir con un 54.35 % de la ingesta diaria recomendada para un adulto (López-Palestina *et al.*, 2019).

Tabla 3
Parámetros nutrimientales del fruto de garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*).

Componente	Concentración
Betalaínas (mg/g de muestra)	25.12 ± 1.8
Capacidad antioxidante (μm Trolox/g fruto fresco)	42.43 ± 0.89
Fenoles totales (mg Ácido Gálico /g muestra)	45.8 ± 1.76
Vitamina C (mg Ácido Ascórbico/g muestra)	35.65 ± 0.29

Evaluación sensorial de la bebida carbonatada

Para la evaluación de la bebida (Figura 1) se usó una escala hedónica (Anzaldúa-Morales, 2005) lo que permitió optimizar la formulación del producto como lo menciona Hernández (2005) ya que esto puede afectar la percepción según el grupo social o país de consumo (Cordero, 2017).



Figura 1
Bebida carbonatada de garambullo.

Las diferentes pruebas sensoriales se presentan en la Figura 2. En color en la bebida endulzada con un 30 % de azúcar mostró una mayor aceptación (4 %) en comparación con la endulzada con miel de agave en la misma

proporción (Figura 2A). Esta diferencia fue estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$). La bebida endulzada con miel 20 % de miel de agave también mostró preferencia en las observaciones de los evaluadores, aunque no se observó diferencia estadística. El promedio de aceptación fue de 5, que en la escala representa a “me gusta”, por lo que esta variable no se afectó por la cantidad y tipo de edulcorante. Las preferencias en el olor fueron superiores en las bebidas con 40 y 50 % (2 %) de azúcar de caña (Figura 2B), aunque como lo menciona Anzaldúa-Morales (2005) al ser diferente este atributo para cada alimento en materia de calidad (Cordero, 2017), no es posible establecer clasificaciones y taxonomías completamente adecuadas para los olores. En cuanto al sabor, este atributo es una parte integral de la experiencia sensorial de un alimento y depende de la interacción entre varios factores sensoriales como la textura, el color y la temperatura (Cordero, 2017). En el sabor, la endulzada con 40 % azúcar de caña obtuvo la mayor preferencia, mientras que con miel de agave fue al 20 y 30 % (Figura 2C). Los panelistas mencionaron un sabor más “ligero” en la bebida con miel de agave. Respecto a la aceptación se registró un 16 % más preferencia para la bebida con 40 % azúcar de caña, seguida de la endulzada con 50 % y también con diferencias significativas, pero con menor preferencia (13 %) fue la endulzada con 30 % de miel de agave. Este resultado coincide con el estudio de Quetglas (2015) que resalta la importancia del sabor en la aceptación del producto por parte del consumidor.

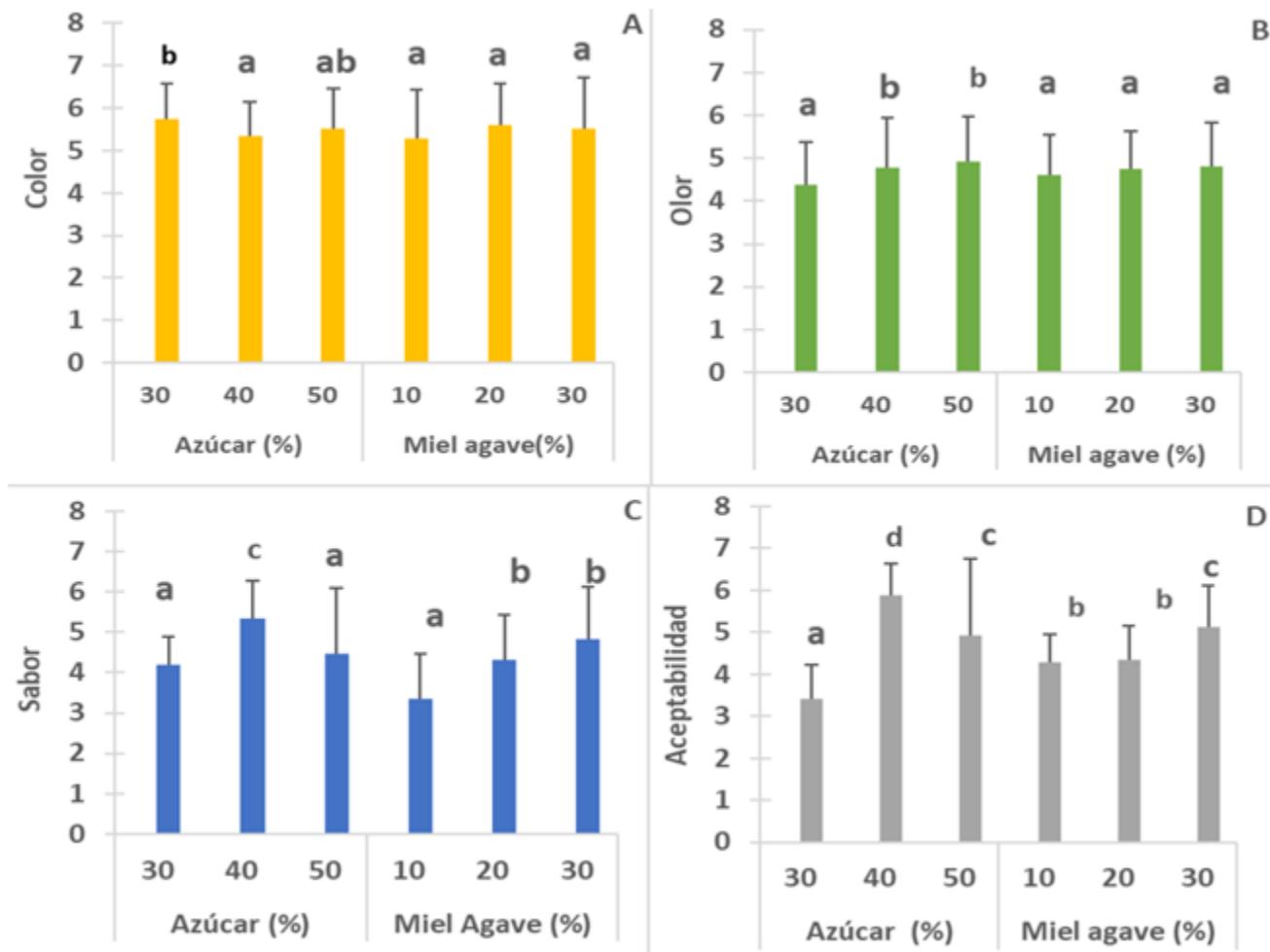


Figura 2

Evaluación sensorial de olor (A), color (B), sabor (C) y aceptabilidad (D) de la bebida carbonatada de garambullo con diferentes concentraciones de azúcar de caña y miel de agave.

Efecto de los tratamientos de conservación

Carga microbiológica

En la Tabla 4 se muestra que todas las bebidas sometidas a los diferentes tratamientos de desinfección presentaron valores menores a 10 UFC/mL para el caso de los coliformes totales. La pasteurización tradicional redujo de manera eficiente tanto las bacterias mesófilas aerobias como los hongos y levaduras en comparación de los tratamientos de ozonización y sonicación. Entre estos dos últimos, el de sonicación a 25 y 35 minutos fue el mejor, logrando reducir la misma cantidad de estos microorganismos.

Tabla 4

Parámetros microbiológicos de la bebida carbonatada de garambullo con distintos tratamientos.

Tratamiento	Coliformes totales (UFC/mL)	Mesófilos aerobios (UFC/mL)	Mohos y levaduras (UFC/mL)
Control	<10	-	-
Pasteurizado	<10	<10	<10
Ozono 3 min	<10	90	149
6 min	<10	56	140
9 min	<10	32	37
Sonicación 15 min	<10	60	113
25 min	<10	30	68
35 min	<10	30	43

A pesar de la presencia de estos microorganismos, los límites permitidos en bebidas de frutas pueden variar según las normativas nacionales e internacionales. En México están reguladas por la Norma Oficial Mexicana NOM-218-SSA1-2011, la cual establece los límites microbiológicos permitidos para diferentes tipos de bebidas no alcohólicas. Aunque no especifica límite para hongos y levaduras, ni bacterias mesófilas, sí establece que en 50 mL no deben detectarse los coliformes. Es importante tener en cuenta que estos límites pueden variar dependiendo del tipo específico de bebida de frutas.

Capacidad antioxidante

En las Figuras 3 se presentan los resultados en relación con la capacidad antioxidante de las distintas bebidas carbonatadas. La capacidad antioxidante no se vio afectada ($p \geq 0.05$) en la bebida pasteurizada ni en la tratada con ozono por 3 min con respecto a la bebida control que no fue sometida a ningún proceso. La bebida

ozonizada por 6 min incrementó 39 % la capacidad antioxidante en comparación con la bebida control, pero la afectó adversamente en la bebida ozonizada durante 3 min con una disminución de esta.

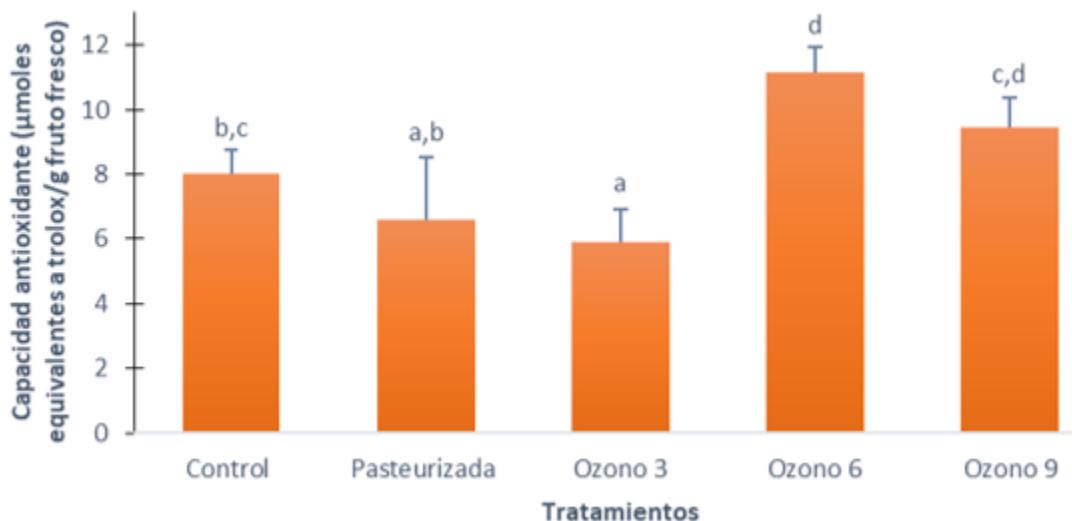
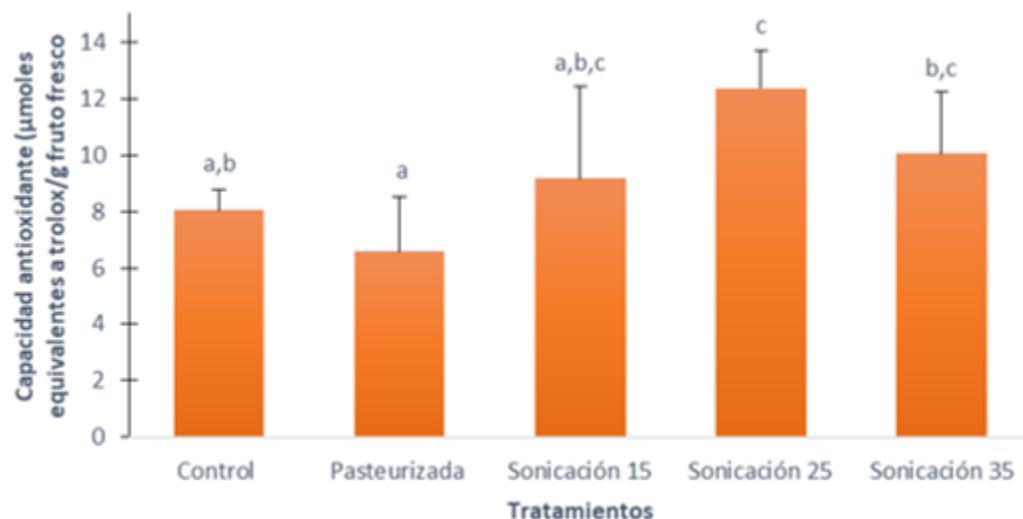


Figura 3

Capacidad antioxidante en la bebida carbonatada de garambullo control, pasteurizada y con ozono. Las letras diferentes en cada barra indican diferencia significativa entre los tratamientos.

En efecto similar se observó en la comparación de las bebidas control, pasteurizadas o tratadas con ozono (Figura 4). La bebida sonicada durante 25 min presentó un incremento del 35 % en su capacidad antioxidante en comparación con la bebida control. Además, se observó que la bebida pasteurizada exhibió un 37 % menos capacidad antioxidante en comparación con la bebida sonicada durante 25 min, lo que sugiere que la pasteurización tradicional puede afectar negativamente a los compuestos bioactivos presentes en la bebida.

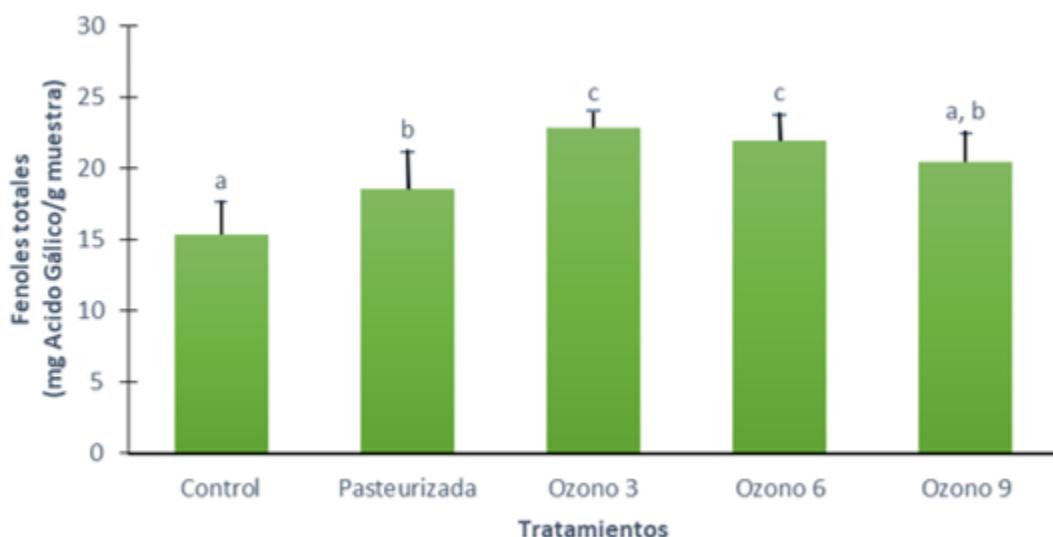
Este aumento en la capacidad antioxidante observado en las bebidas sonicadas puede atribuirse al fenómeno de cavitación ultrasónica, el cual favorece la ruptura de la pared celular, la permeabilidad del tejido, la abertura de los poros, por lo que las sustancias que se encuentren en las células internas o externas del tejido son extraídas con mayor rapidez, aumentando así la disponibilidad de antioxidantes en la bebida. Estos hallazgos son consistentes con estudios previos que han demostrado los beneficios de la sonicación en la mejora de la calidad y contenido de compuestos bioactivos en alimentos (Rodríguez-Riera *et al.*, 2014).

**Figura 4**

Capacidad antioxidant en la bebida carbonatada de garambullo control, pasteurizada y por sonicación. Las letras diferentes en cada barra indican diferencia significativa entre los tratamientos.

Fenoles totales

El tratamiento con ozono durante 3 y 5 min presentó la mayor cantidad de fenoles con diferencias significativas (Figura 5). Aun así, la pasteurización presentó valores mayores de fenoles comparados con la bebida control y el tratamiento con ozono durante 9 min.

**Figura 5**

Fenoles totales en la bebida carbonatada de garambullo control, pasteurizada y con ozono. Las letras diferentes en cada barra indican diferencia significativa entre los tratamientos.

Respecto a la bebida sonicada, el tiempo de exposición de la muestra de garambullo de 25 min fue la que estadísticamente presentó un valor mayor de fenoles totales. El aumento fue del 39 % en comparación con la bebida control y un 26 % más que la bebida pasteurizada.

**Figura 6**

Fenoles totales en la bebida carbonatada de garambullo control, pasteurizada y por sonicación. Las letras diferentes en cada barra indican diferencia significativa entre los tratamientos.

Estos resultados indican que la sonicación durante 25 minutos fue el tratamiento que mejor preservó los compuestos bioactivos, tanto en términos de fenoles totales como de capacidad antioxidante. Esto concuerda con la literatura que sugiere que la sonicación es una tecnología eficaz para mejorar los atributos de calidad en los alimentos. Awad *et al.*, (2012) destacan la capacidad de la sonicación para facilitar la extracción de diversos compuestos bioactivos de alimentos, mientras Chandrapala *et al.*, (2012) señalan que los alimentos con alta tensión superficial, como los zumos de frutas, son excelentes candidatos para ser procesados por la tecnología ultrasónica.

CONCLUSIONES

En conclusión, este estudio demuestra el gran potencial tecnológico del garambullo debido a su alta calidad nutricional y propiedades sensoriales; así como la viabilidad de utilizar tratamientos alternativos a la pasteurización para mejorar la calidad microbiológica y conservar las propiedades nutricionales de la bebida carbonatada de garambullo. La sonicación durante 25 min emerge como una opción tecnológicamente prometedora que merece una mayor atención en futuras investigaciones y aplicaciones industriales.

Agradecimientos

El presente trabajo fue financiado por el proyecto (PAPIIT IT202124) de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la UNAM.

REFERENCIAS

- Ashokkumar, M. 2015. The ultrasonic processing of foods. *Food Engineering Reviews*, 7(1), 37-64. <https://doi.org/10.1016/j.ultronch.2012.01.010>
- Anzaldúa-Morales, A. 2005. La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. (p. 18-19). Zaragoza: Acribia, S. A.
- AOAC. 1990. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 15th ed., Association of Official Analytical Chemists, Arlington VA, pp. 1058-1059.
- Awad T.S., Moharram H.A., Shaltout O.E., Preguntador D., Youssef M.M. 2012. Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. *Food Research International*. 48(2) 410-427. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.05.004>
- Betaller-Venta, M., Santa-Cruz, S., García, M. 2010. El ozono: una alternativa sustentable en el tratamiento poscosecha de frutas y hortalizas. *CENIC, Ciencias Biológicas*. 41(3). 155-164.
- Cabrera, J. A. 2011. El color: Tono, saturación, brillo e iluminación. Disponible en: <http://tonosatubrilloilu.blogspot.com>
- Carrasco, R. R., Encina, Z. C. 2008. Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas. *Revista de la Sociedad Química de Perú*, 74(2), 108-124.
- Castellanos, S.E. & Yahia, E. 2008. Identification and quantification of betalains from the fruits of 10 Mexican prickly pear cultivars by high-performance liquid chromatography and electrospray ionization mass spectrometry. *J. Agric. Food Chem*, 56(1), 5758-5764. <https://doi.org/10.1021/jf800362t>
- Chandrapala, J., Oliver, C., Kentish, S., Ashokkumar, M. 2012. Ultrasonics in food processing. Food quality assurance and food safety. *Trends in Food Science and Technology* 26(2), 88-98. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.01.010>
- Colchero, M. A., Popkin, B. M., Rivera, J. A., & Ng, S. W. 2016. Beverage purchases from stores in Mexico under the excise tax on sugar sweetened beverages: observational study. *BMJ*, 352, h6704. <https://doi.org/10.1136/bmj.h6704>
- Cordero, B. G. A. 2017. Análisis Sensorial de los Alimentos. (p. 129, 139). Madrid: AMV Ediciones.
- Delgado, O. 2011. Aplicación del ultrasonido en la industria de alimentos. *Revista especializada en ingeniería de procesos en alimentos y biomateriales*, 6(1), 141-152. <https://doi.org/10.22490/25394088.1098>
- Durán, R. P. 2009. Posibles beneficios del consumo de garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*) sobre la gastritis tomando como referencia las propiedades curativas del nopal y la sábila. Tesis de ingeniería en ciencia y tecnología de alimentos. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila.
- Euromonitor International. 2021. Soft drinks in the world. Euromonitor Passport Database
- Folin, C., & Ciocalteau, V. 1927. Tyrosine and tryptophan determination in proteins. *J. Biol. Chem.* 73, 627-650.
- Franco-Vega, A. & López-Malo, P. 2012. Combinación de ultrasonido de baja frecuencia con factores convencionales y/o emergentes como métodos de inactivación de microorganismos en alimentos. *Temas selectos de ingeniería en Alimentos*, 6(1), 73-83.

Fundación UNAM. 2017. Bebidas carbonatadas. Recuperado de <http://www.fundacionunam.org.mx/unam-al-dia/en-mexico-se-consume-163-litros-de-bebidas-carbonatadas-por-persona-al-ano/>. Fecha de consulta: 12/02/2019

García, B.F.A & Reynoso, C.R. 1998. Estabilidad de las betalaínas extraídas del garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*). Stability of betalains extracted from garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*). SAGE journals, 4(2), 115-120. <https://doi.org/10.1177/1082013298004002>

García-Cruz, L., Salinas-Moreno, y . S. Valle-Guadarrama. 2012. Betalaínas, compuestos fenólicos y actividad antioxidante en Pitaya de mayo (*Stenocereus griseus* H.). Nota científica, 35(5), 1-5

Gonzales, C. 2010. Caracterización fisicoquímica del fruto de garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*). Maestro en ciencias-recursos bióticos. Universidad Autónoma de Querétaro. Santiago.

Hernández, A. E. 2005. Evaluación sensorial. Bogotá: UNAD.

Herrera-Hernández, M. G., Guevara-Lara, F., Reynoso-Camacho, R., Guzmán-Maldonado, S. H. 2011. Effects of maturity stage and storage on cactus berr(*Myrtillocactus geometrizans*) phenolics, vitamin C, betalains and their antioxidant properties. Food Chemistry, 129(4), 1744–1750. doi: 10.1016/j.foodchem.2011.06.042

Kim, K. J., Eves, J. L., & Thompson, R. L. 2011. The use of ozone to inactivate microorganisms on produce. Journal of Food Protection, 74 (6), 1006-1015. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4565.1999.tb00231.x>

Konica Minolta. 2019. Como el color afecta su percepción en la comida. Disponible en: <http://sensing.konicaminolta.com.mx/2013/08/como-el-color-afecta-su-percepcion-en-la-comida/>

López-Palestina, C. U., Aguirre-Mancilla, C. L., Ramírez-Pimentel, J. G., Raya-Pérez, J. R., Santiago-Saenz, Y. O., Gutiérrez-Tlahque, J., Hernández-Fuentes, A. D. 2019. Compuestos bioactivos y actividad antioxidante en tres estados de madurez de *Myrtillocactus geometrizans* provenientes del Valle del Mezquital, Hidalgo. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos, 4(1), 317-322.

Lowry, O., Rosebrough, N., Farr, A. & Randall. J. 1951. Protein measurement with the folin phenol reagent. Biol. Chem. 193, 265-275

Márquez, B. M. 2014. Refrigeración y congelación de alimentos: terminología, definiciones y explicaciones. Tesis de ingeniería en industrias alimentarias. Universidad de San Agustín. Arequipa.

Moreno-Arribas. M. V. 2019. La importancia del color en los alimentos. Revista alimentaria. Disponible en: https://www.revistaalimentaria.es/fotos_noticias/PDF4752.pdf

Moreno, A. M. J., Camacho, B., Douglas, R., Viloria, M. A. 2002. Degradación de betalaínas en remolacha (*Beta vulgaris* L.) estudio cinético. Científica, 12(2), 2-10. Disponible en: <https://produccioncientificaluz.org/index.php/cientifica/article/view/14834>

NOM-092-SSA1-1994. Bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa.

NOM-111-SSA1-1994. Bienes y servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos.

NOM-113-SSA1-1995. Bienes y servicios. Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa.

NOM-218-SSA1-2011, Productos y servicios. Bebidas saborizadas no alcohólicas, sus congelados, productos concentrados para prepararlas y bebidas adicionadas con cafeína. Especificaciones y disposiciones sanitarias. Métodos de prueba.

NMX-F-066-1978. Determinación de cenizas en alimentos.

NMX-F-083-1986. Determinación de humedad en productos alimenticios.

NMX-F-089-S-1978. Determinación de extracto etéreo (método Soxhlet) en alimentos.

NMX-F-090-S-1978. Determinación de fibra cruda en alimentos.

NMX-FF-011-1982. Productos alimenticios no industrializados, para uso humano. Fruta fresca. Método de titulación.

NMX-F-312-1978. Determinación de reductores directos y totales en alimentos.

Ochoa, C. E., Guerrero, J. A. 2012. Efecto del Almacenamiento a Diferentes Temperaturas sobre la Calidad de Tuna Roja (*Opuntia ficus indica* L.) Miller). Información tecnológica, 23 (1), 117-128. doi: 10.4067/S0718-07642012000100013

Odar, R. 2008. La importancia del pH en los alimentos. Disponible en: <http://industrias-alimentarias.blogspot.com/2008/03/la-importancia-del-ph-en-los-alimentos.html>

Quetglas, M. 2015. El sabor es más importante que el precio en un alimento. La Rioja. Disponible en: <https://www.degustalarioja.com/noticias/201510/03/sabor-importante-precio-alimento-20151003004935-v.html>

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pan-Nala, A., Yang, M., Rice-Evans, C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. Free Radic. Biol. Med. 26(9), 1231-1237. doi: 10.1016/s0891-5849(98)00315-3.

Rodriguez-Riera, Z., Robaina-Mesa, M., Jáuregui-Haza, U., Blanco-Gonzalez, A., Rodriguez-Chanfrau, J. E. 2014. Empleo de la radiación ultrasónica para la extracción de compuestos bioactivos provenientes de fuentes naturales. Estado actual y perspectivas. Revista CENIC Ciencias Químicas. 45(1). 139-147.

Secretaría de Economía. 2014. Industria refresquera en México. Recuperado de <https://www.gob.mx/se/articulos/industria-refresquera-en-mexico>

Silva P., & Duran S. 2014. Bebidas azucaradas, más que un simple refresco. Revista chilena de nutrición, 41(1). <https://doi.org/10.4067/S0717-75182014000100013>.

Singh GM, Micha R, Khatibzadeh S, Shi P, Lim S, Andrews KG. 2015. Global, Regional, and National Consumption of Sugar-Sweetened Beverages, Fruit Juices, and Milk: A Systematic Assessment of Beverage Intake in 187 Countries. PLoS ONE 10(8):e0124845. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0124845>

Tilahun Y. & Welegerima G. 2018. Pharmacological potential of cactus pear (*Opuntia Ficus Indica*): A Review. Journal Pharmacognosy and Phytochemistry. 7(3) 1360-1363

Torres, R., Montes, E. J., Pérez, O. A., Andrade, R. E. 2013. Relación del color y del estado de madurez con las propiedades fisicoquímicas de frutas tropicales. Información Tecnológica, 24(3), 51-56, doi: S0718-0764201300030000

Topete, R. 2006. Caracterización química y evaluación del efecto hipoglucemiante y antioxidante del fruto de garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*). Maestro en ciencia y tecnología de los alimentos. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro.

Villareal, Y., Mejia, D., Osorio, O., & Ceron, A. 2013. Efecto de pasteurización sobre características sensoriales y contenido de vitamina C en jugos de frutas. Ciencia y tecnología de alimentos. 11(2), 66-75. Recuperado a partir de <https://revistas.unicauc.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/302>

Vázquez-Cruz, M. A., Jiménez-García, S. N., Miranda-López, R., Guzmán-Maldonado, S. H. 2018. Caracterización de los compuestos responsables del aroma del garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*). Disponible en: <https://studylib.es/doc/6507533/caracterizaci%C3%B3n-de-los-compuestos-responsables-del-aroma-de>

Yahia E.M., Victoria-Campos C.I., Gonzalez-Nava C. 2023. Bioactive compounds and antioxidant activity in garambullo fruit (*Myrtillocactus geometrizans*) at different ripening stages. Journal Food Science. 88(8) 3422-3434. Doi: 10.1111/1750-3841.16663

Información adicional

redalyc-journal-id: 813

**Disponible en:**

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81381932006>

Cómo citar el artículo

Número completo

Más información del artículo

Página de la revista en redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de revistas científicas de Acceso Abierto diamante
Infraestructura abierta no comercial propiedad de la
academia

Araceli Capetillo Rubio, Selene Pascual Bustamante,
Adela Lira Vargas, María Eugenia Ramírez Ortiz,
María Andrea Trejo Márquez

**Aprovechamiento tecnológico del garambullo:
innovación en bebidas carbonatadas aplicando
tratamientos de ozonización y sonicación para potenciar
sus propiedades y conservar su valor nutricional
Technological use of garambullo: innovation in
carbonated beverages by applying ozonation and
sonication treatments to enhance its properties and
preserve its nutritional value**

Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha
vol. 25, núm. 2, p. 159 - 173, 2024
Asociación Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, S.C.,
México
rebasa@hmo.megared.net.mx

ISSN: 1665-0204