

EFECTO DE LA PASTEURIZACIÓN Y ESTADO DE MADUREZ SOBRE LAS PROPIEDADES FISCOQUÍMICAS DEL GARAMBULLO (*Myrtillocactus geometrizans*) PARA SU VALORACIÓN COMO SUSTRATO FERMENTABLE

EFFECT OF PASTEURIZATION AND RIPENESS ON THE PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF GARAMBULLO (*Myrtillocactus geometrizans*) FOR ITS EVALUATION AS A FERMENTABLE SUBSTRATE

Hidalgo-Ortiz, Nadeshna Angeles^a, Meléndez-Arteaga, Betzabe Leilani^a, Ramírez-Gerardo, Marithza Guadalupe^a, Martínez-Ramírez, Edna Zaranné^a, Gómez-Hernández, Erik^a, Jimenez-Villela, Brenda Esmeralda^{a*}

^aTecnológico Nacional de México/ITSOEH, División de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Paseo del Agrarismo 2000, Carr. Mixquiahuala – Tula km2.5, Mixquiahuala de Juárez, C.P. 42700, Hidalgo, México. *bjimenez@itsoeh.edu.mx

RESUMEN. Los frutos de *Myrtillocactus geometrizans* en estado de madurez de consumo (fruta roja y púrpura) fueron caracterizados en términos de peso y tamaño. Estos frutos presentaron un peso promedio de 1.33 ± 0.24 g y dimensiones de 1.33 ± 0.25 cm en su eje polar y 1.12 ± 0.13 cm en su eje ecuatorial, con cáscara delgada y pulpa gelatinosa de color rojo vino que albergan semillas negras de menos de 1 mm. Para realizar las determinaciones de color, pH, acidez titulable y sólidos solubles totales ($^{\circ}$ Brix) las muestras se sometieron a un proceso de molienda hasta obtener una pasta homogénea, la cual se pasteurizó (85°C , 15 min). El color se evaluó mediante coordenadas cromáticas. Las coordenadas L^* (luminosidad) y a^* (tinte rojizo) fueron influenciadas por la pasteurización, lo que puede atribuirse a la degradación de pigmentos como las betalainas. Por otro eje, la coordenada b^* (tono amarillo) no mostró diferencias significativas entre estados de madurez ni por efecto de la pasteurización, lo que refleja la estabilidad de las betaninas, un tipo de betalainas. En cuanto al pH, la pasta obtenida de los frutos en estado de madurez de consumo futa roja presentaron valores más bajos (~ 3.9), con y sin pasteurización, mientras que la acidez titulable fue más alta ($10.72\text{--}11.16$ g/100 g), indicando una mayor concentración de ácidos orgánicos. En contraste, los frutos en estado de madurez púrpura mostraron menores niveles de acidez y mayor cantidad de sólidos solubles totales (21.27 ± 0.85 $^{\circ}$ Brix), esto debido a procesos metabólicos asociados a la maduración, como la degradación de pectinas y la hidrólisis de almidón. El alto contenido de sólidos solubles totales en los frutos maduros resalta su idoneidad para procesos fermentativos, ya que proveen azúcares fácilmente metabolizables por bacterias ácido lácticas.

Palabras clave: Caracterización morfológica, caracterización fisicoquímica, tratamiento térmico.

ABSTRACT. The fruits of *Myrtillocactus geometrizans* in a state of consumer maturity (red and purple fruit) were characterized in terms of weight and size. These fruits had an average weight of 1.33 ± 0.24 g and dimensions of 1.33 ± 0.25 cm on their polar side and 1.12 ± 0.13 cm on their equatorial side, with a thin skin and gelatinous pulp of wine-red color that contains black seeds less than 1 mm. To perform the determinations of color, pH, titratable acidity, and total soluble solids ($^{\circ}$ Brix), the samples were subjected to a grinding process until a homogeneous paste was obtained, which was then pasteurized (85°C , 15 min). The color was evaluated using chromatic coordinates. The L^* (lightness) and a^* (reddish tint) coordinates were influenced by pasteurization, which can be attributed to the degradation of pigments such as betalains. On the other hand, the b^* coordinate (yellow tone) did not show significant differences between maturity states or due to pasteurization, which reflects the stability of betanins, a type of betalain. Regarding the pH, the paste obtained from fruits in the red consumer maturity stage showed lower values (~ 3.9), with and without pasteurization, while the titratable acidity was higher ($10.72\text{--}11.16$ g/100 g), indicating a higher concentration of organic acids. In contrast, the fruits in the purple maturity stage showed lower acidity levels and a higher amount of total soluble solids (21.27 ± 0.85 $^{\circ}$ Brix), due to metabolic processes associated with ripening, such as pectin degradation and starch hydrolysis. The high total soluble solids content in ripe fruits highlights their suitability for fermentation processes, as they provide sugars that are easily metabolizable by lactic acid bacteria.

Key words: Morphological characterization, physicochemical characterization, thermal treatment

INTRODUCCIÓN

El garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*) es una cactácea endémica de México que crece en varios estados del país, la planta posee un fruto de baya redonda de color púrpura con un sabor dulce y agradable, su composición química, rica en azúcares, compuestos fenólicos y ácidos orgánicos, lo hace particularmente atractivo como sustrato para la fermentación por bacterias ácido lácticas. Dicho fruto tiene una corta duración postcosecha debido a que la fermentación comienza al par de días cuando se expone a una temperatura ambiente. Es un fruto poco conocido e industrializado, suele consumirse de forma directa, también es procesado de manera artesanal en mermeladas, refrescos, helados y deshidratado. Sin embargo, factores como el estado de madurez y los tratamientos térmicos pueden modificar significativamente sus propiedades fisicoquímicas, afectando su funcionalidad en procesos fermentativos¹. La pasteurización, como técnica de conservación, altera la composición bioquímica de los alimentos al modificar compuestos sensibles al calor, lo que puede influir en la disponibilidad de nutrientes esenciales. Por otro lado, el grado de madurez impacta directamente en el perfil de azúcares y ácidos, factores determinantes en la fermentación². Este estudio se enfoca en evaluar el efecto combinado de estos factores sobre las propiedades fisicoquímicas del garambullo, con el objetivo de establecer su idoneidad como sustrato fermentable. Los resultados obtenidos permitirán definir condiciones óptimas para su aprovechamiento, fomentando su valorización como materia prima.

METODOLOGÍA

Materia prima

Los frutos de *M. geometrizans* se obtuvieron del Municipio de Tula de Allende en el Estado de Hidalgo, México (20° 08' 09.241" N, 99° 28' 33.158" O, 2290 m sobre el nivel del mar) en julio de 2024. Los frutos fueron cosechados en dos estados de madurez de consumo, tomando como referencia el color: fruta roja (FR) y fruta púrpura (FP), sin daños físicos visibles, sin patógenos o daños relacionados con insectos. Los frutos seleccionados se lavaron con agua destilada para eliminar la tierra y cualquier materia extraña. Estos frutos fueron analizados de forma fresca y pasteurizada.

Descripción del peso y tamaño

En el muestreo se seleccionaron 30 frutas al azar. El peso (g) fue determinado usando una balanza digital. En cuanto al tamaño se determinó, la longitud polar y ecuatorial de los frutos con ayuda de un vernier (cm). Se registró el peso y el tamaño de cada fruta. Se calculó el promedio de los datos.

Pasteurización

Se colocó la fruta en la licuadora doméstica y se trituró hasta formar un puré, y se colocó en frascos de vidrio estériles. Los frascos que contenían el puré fueron pasteurizados a 85°C por 15 min. Concluido el tiempo los frascos fueron sometidos a choque térmico con ayuda de hielo. Posteriormente los frascos fueron reservados en refrigeración para su posterior uso. De tal forma que se obtuvieron los tratamientos descritos en la Tabla 1.

Determinación de color

Los parámetros de color de la superficie L*, a* y b* de las diferentes pulpas se determinaron utilizando un colorímetro (Vinkolor, WN-1YIO-CX2Z). Los parámetros "a*" y "b*" se usaron para calcular el matiz (HUE = arctang (b*/a*)) y la cromaticidad (chroma = (a² + b²)^{1/2}).

Tabla1. Descripción de tratamientos

Tratamiento	Descripción
Mg-FR-Sin Pas	<i>M. geometrizans</i> fruta roja sin pasteurizar
Mg-FR-Sin Pas	<i>M. geometrizans</i> fruta roja pasteurizada
Mg-FP-Sin Pas	<i>M. geometrizans</i> fruta púrpura con madurez comercial sin pasteurizar
Mg-FP-Pas	<i>M. geometrizans</i> fruta púrpura con madurez comercial pasteurizada

pH

El pH fue medido en el sobrenadante de la extracción de sólidos solubles totales, en el estado de madurez respectivo utilizando un potenciómetro previamente calibrado (HANNA, HI2211), con soluciones buffer de pH 4 y 7.

Sólidos solubles totales

Se tomaron 5 g de cada una de las pulpas frescas tanto de los dos estados de madurez, ya sea pasteurizada o sin pasteurizar y fueron homogeneizadas con 10 mL de agua destilada. Posteriormente, la mezcla se centrifugó a 10,000 g por 10 min. Se tomaron unas gotas del sobrenadante para evaluar los sólidos totales (°Brix) mediante un refractómetro digital (escala de 0 - 53 %). Se realizó la lectura por triplicado. La determinación de sólidos totales (SST) se realizó bajo la siguiente ecuación:

$$SST = \frac{(SST \text{ de la muestra diluida})(10g + \text{peso muestra})}{(\text{peso muestra})} \quad \dots \text{Ec. 1}$$

Acidez titulable

Se midió de acuerdo con la metodología de la AOAC³, mediante cálculos con volumen de NaOH, incorporado en 5 g de pulpa del fruto, 3 gotas de fenoftaleina en una titulación potenciométrica hasta pH de 8.2, para ello se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Acidez (\%)} = \frac{(A)(B)(C) * 100}{D} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

A: Volumen de NaOH utilizado.

B: Normalidad del NaOH (0.097).

C: peso equivalente expresado en g de ácido predominante en el fruto (ácido málico 0.067 g/meq).

D: peso en gramos de la muestra utilizada.

Análisis estadístico

Todos los estudios se realizaron por triplicado. Los datos se analizaron estadísticamente utilizando el software Statistica v 7.0, StatSoft, (2009). Se utilizó el análisis de varianza a una vía (ANOVA), aplicando una prueba Tukey ($p < 0.05$). Los resultados se expresaron como la media \pm desviación estándar en tablas o en gráficas

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se aprecian algunos frutos de *M. geometrizans* con forma esférica de color rojo vino los cuales fueron pesados y medidos, obteniendo un peso de 1.33 ± 0.24 g con una longitud de 1.33 ± 0.25 cm en su eje polar mientras que ecuatorialmente midieron 1.12 ± 0.13 cm. Según Guzmán-Maldonado et al.⁴ la especie *M. geometrizans* recolectada en el

estado de Hidalgo presentó una longitud polar de 1.40 cm, con longitud ecuatorial de 1.2 cm. Por otro, lado, Ramírez-Rodríguez et al.⁵ las *M. geometrizans* presenta flores blancas y frutos globulares con un diámetro (medida ecuatorial) promedio de 1.5 cm, valores muy semejantes a los hallados en la presente investigación.

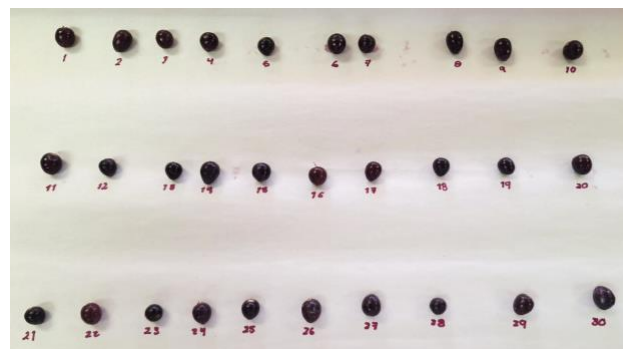


Figura 1. *M. geometrizans* pesados (g) y medidos (cm) en estado de madurez fisiológica: fruta púrpura (madurez comercial).

Al alcanzar la madurez de consumo, suelen presentar tonalidades que van del púrpura oscuro al azul. Su cáscara es fina, mientras que la pulpa, de un color rojo vino, posee una textura gelatinosa. Dentro del fruto se encuentran numerosas semillas pequeñas y negras, de menos de 1 mm, distribuidas uniformemente en su interior⁶.

Las coordenadas cromáticas L^* (luminosidad) y a^* (tinte rojizo) presentaron variaciones significativas en los tratamientos Mg-FR-Sin Pas y Mg-FR-Pas debido al efecto de la pasteurización (Tabla 1). En estudios previos han demostrado que el tratamiento térmico disminuye los valores de a^* (indicativo de un menor tono rojizo) y puede aumentar o disminuir L^* dependiendo de la matriz alimenticia, debido a la interacción entre la degradación de pigmentos y la formación de compuestos secundarios⁷.

La coordenada b^* , que mide la tonalidad amarilla no mostró diferencias significativas entre los diferentes estados de madurez del fruto, ni por efecto de la pasteurización (Tabla 2). Este comportamiento podría estar relacionado con la estabilidad de los compuestos responsables del color, como las betaninas, que contribuyen al tono amarillo

característico de los frutos del garambullo (*M. geometrizans*), tal como lo señala Otálora et al.⁷.

Las betaninas, una clase de betalainas, son los pigmentos predominantes en algunos frutos y se caracterizan por aportar tonos amarillos, rojizos y púrpuras. Aunque estas moléculas son sensibles a la temperatura y al pH, pueden mantenerse relativamente estables bajo ciertas condiciones, lo que explica la ausencia de cambios en la coordenada b* observada en este estudio^{8,9}.

El pH de los frutos de *M. geometrizans* (Tabla 2) presentó variaciones significativas, siendo más bajo en el estado de madurez de consumo correspondiente a la fruta roja, tanto con y sin pasteurización. Estos resultados coinciden con lo reportado por Guzmán-Maldonado et al.⁴, quienes encontraron valores de pH cercanos a 3.9 en frutos similares. Por otro lado, en la Tabla 2 se aprecia que los frutos en madurez de consumo fruta roja mostraron una mayor acidez titulable (10.72–11.16 g /100 g de peso fresco), superando los valores obtenidos para frutos en madurez de consumo fruta púrpura, lo que sugiere una mayor concentración de ácidos orgánicos en estas etapas iniciales de desarrollo. Resultados similares se han observado en estudios recientes sobre frutos con características similares como el *M. geometrizans*, donde se destaca su riqueza en compuestos bioactivos y su relación con parámetros fisicoquímicos clave como el pH y la acidez titulable^{10,11}.

El pH de los frutos de *M. geometrizans* (Tabla 2) mostró variaciones y fue más bajo en el estado de madurez fisiológico fruta roja con pasteurización y sin pasteurización. Resultados similares obtuvieron Guzmán-Maldonado et al.⁴ quienes reportaron valores de pH 3.9. Por otro lado, los frutos de *M. geometrizans* en estado de madurez de consumo fruta roja mostraron una mayor cantidad de acidez titulable (10.72 –11.16 g /100 g, peso fresco) en comparación con los reportados en los frutos de *M. geometrizans* en estado de madurez fisiológico fruta púrpura.

Los sólidos solubles totales fueron medidos en los dos estados de madurez analizados (fruta roja y fruta púrpura) con y sin pasteurización (Figura 2). *M. geometrizans* con estado de madurez fruta roja, presentó el valor más bajo de sólidos solubles totales con y sin pasteurización. Mientras que el *M. geometrizans* con estado de madurez fruta púrpura mostró los valores más altos de sólidos solubles totales con valores de 21.27 ± 0.85 y 21.07 ± 0.20 °Brix con y sin pasteurización, respectivamente. Esto puede deberse a que durante la maduración de los frutos ocurren procesos metabólicos como la degradación de la pectina y la hidrólisis del almidón como en los frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus*)⁸.

Tabla 2. Características fisicoquímicas de los diferentes tratamientos de *M. geometrizans*

Parámetro	Mg-FR-Sin Pas	Mg-FR- Pas	Mg-FP- Sin Pas	Mg-FP- Pas
L* (negro–blanco)	17.04 ± 0.14 ^a	9.02 ± 1.32 ^b	7.52 ± 0.27 ^{ab}	7.17 ± 0.13 ^a
a* (rojo–verde)	-1.51 ± 0.09 ^a	-1.32 ± 0.10 ^a	-1.56 ± 0.27 ^a	-1.47 ± 0.04 ^a
b* (azul–amarillo)	-0.43 ± 0.49 ^a	-0.29 ± 0.16 ^a	-0.13 ± 0.06 ^a	-0.01 ± 0.02 ^a
pH	3.99 ± 0.01 ^a	3.99 ± 0.02 ^a	4.06 ± 0.50 ^b	4.14 ± 0.01 ^b
Acidez titulable	11.16 ± 2.04 ^a	10.72 ± 0.02 ^a	9.38 ± 0.00 ^b	8.93 ± 0.77 ^b

¹Promedio de tres repeticiones ± desviación estándar, ^{a, b} Valores con letras minúsculas diferentes en la misma columna expresan diferencia estadísticamente significativa (p < 0.05), prueba de Tukey. Mg-FR-Sin Pas: *M. geometrizans* con estado de madurez fisiológico fruta foja sin pasteurizar, Mg-FR-Pas: *M. geometrizans* con estado de madurez fisiológico fruta foja pasteurizado, Mg-FP- Pas: *M. geometrizans* con estado de madurez fisiológico fruta purpura pasteurizado, Mg-FP- Sin Pas: *M. geometrizans* con estado de madurez fisiológico fruta purpura sin pasteurizar

El aumento en los sólidos solubles totales (°Brix) en frutos de *M. geometrizans* está estrechamente relacionado con la acumulación de azúcares durante el proceso de maduración, especialmente en su etapa de madurez fisiológica púrpura. Esta etapa es particularmente adecuada para el crecimiento y actividad metabólica de microorganismos, como las bacterias ácido lácticas (BAL), que utilizan estos azúcares como fuente de energía en procesos fermentativos.

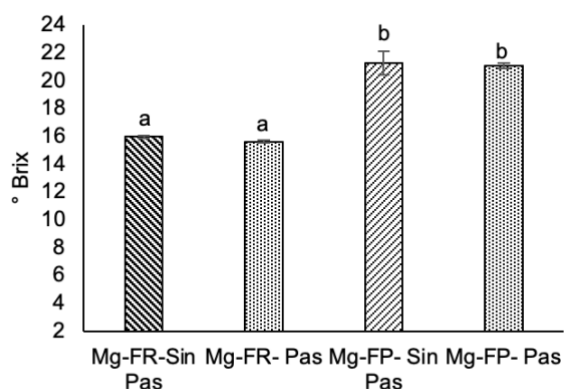


Figura 2. Contenido de sólidos solubles totales (°Brix) en *M. geometrizans* en los diferentes estados de madurez y con y sin pasteurización

Estudios recientes destacan que los frutos de *M. geometrizans* contienen altos niveles de compuestos bioactivos, incluyendo azúcares, betalainas y otros antioxidantes, que facilitan su uso en fermentaciones y aplicaciones funcionales^{4,6,10}. En condiciones controladas, las BAL pueden transformar estos azúcares en ácido láctico y otros compuestos beneficiosos, preservando los nutrientes del fruto y mejorando sus propiedades funcionales. Además, se ha observado que la etapa de maduración afecta la disponibilidad de estos azúcares, siendo mayor en la etapa de madurez avanzada^{11,12}.

CONCLUSIONES

Los frutos de tonalidades rojas y púrpuras presentan diferencias notables en su composición, resaltando la mayor acidez y la menor cantidad de sólidos solubles totales en los frutos rojos, en contraste con los frutos púrpuras, que muestran un contenido superior de carbohidratos. La pasteurización afecta la

luminosidad y la coloración roja de los frutos, posiblemente a causa de la degradación de pigmentos, pero no altera de forma notable la estabilidad de las betalainas, lo que evidencia la resistencia de estos compuestos a los tratamientos térmicos. Estos hallazgos indican que los frutos maduros (de color púrpura) tienen características fisicoquímicas beneficiosas para procedimientos.

REFERENCIAS

- Sánchez I. (2024). Compuestos del garmabullo (*Myrtillocactus geometrizans*) y su efecto terapéutico sobre el cáncer de hígado. *Vida Científica Boletín Científico la Esc Prep No 4.12(23):1-7*.
- Barrera FAG, Reynoso CR, González de Mejía E. (1998). Estabilidad de las betalainas extraídas del garmabullo (*Myrtillocactus geometrizans*) / Stability of betalains extracted from garmabullo (*Myrtillocactus geometrizans*). *Food Sci Technol Int.* 4(2):115-20.
- AOAC. (2020). Official methods. Arlington, VA: Association of Official Analytical. Vol. 1. p. 69-87.
- Guzmán-Maldonado SH, Herrera-Hernández G, Hernández-López D, Reynoso-Camacho R, Guzmán-Tovar A, Vaillant F & Pierre B. (2010). Physicochemical, nutritional and functional characteristics of two underutilised fruit cactus species (*Myrtillocactus*) produced in central Mexico. *Food Chem.* 121(2):381-6.
- Ramírez-Rodríguez Y, Martínez-Huélamo M, Pedraza-Chaverri J, Ramírez V, Martínez-Tagüña N & Trujillo J. (2020). Ethnobotanical, nutritional and medicinal properties of Mexican drylands Cactaceae Fruits: Recent findings and research opportunities. *Food Chem.* 312(December 2019):126073.
- Hernández-López D, Vaillant F, Reynoso-Camacho R & Guzmán-Maldonado SH. (2008). *Myrtillocactus* (cactaceae): Botanical, agronomic, physicochemical and chemical characteristics of fruits. *Fruits.* 63(5):269-276.
- Otálora CM, Bonifazi EL, Fissore EN, Basanta MF & Gerschenson LN. (2020). Thermal stability of betalains in by-products of the blanching and cutting of beta vulgaris L. var conditiva. *Polish J Food Nutr Sci.* 70(1):15-24.
- Azeredo HMC. (2009). Betalains: Properties, sources, applications, and stability - A review. *Int J Food Sci Technol.* 44(12):2365-2376.
- Gandía-Herrero F, Escribano J & García-Carmona F. (2016). Biological activities of plant pigments betalains. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 56(6):937-945.
- López-Palestina CU, Aguirre-Mancilla CL, Raya-Pérez JC, Ramírez-Pimentel JG, Gutiérrez-Tlahque J, & Hernández-Fuentes AD. (2018). The effect of an edible coating with tomato oily extract on the physicochemical and antioxidant properties of garmabullo (*Myrtillocactus geometrizans*) fruits. *Agronomy.* 8(11):1-14.
- Domenico Prisa. (2021). *Myrtillocactus geometrizans* fruit plant stimulated with Effective microorganisms. *Open Access Res J Biol Pharm.* 1(1):025-32.
- Sánchez Recillas E. (2021). Digestion, bioaccesibilidad gastrointestinal y fermentación colonica in vitro de garmabullo (*Myrtillocactus geometrizans*). p. 1-92.