

Cambios fisicoquímicos, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en frutos de nanche (*Byrsonima crassifolia* L. Kunth) durante el almacenamiento en refrigeración

Physicochemical changes, phenolic compounds and antioxidant capacity in nanche (*Byrsonima crassifolia* L. Kunth) fruits during refrigerated storage

Jiménez-Zurita, J.O.² , Rodríguez-Guzmán, C.A.^{1,3*} , Balois-Morales, R.² ,
Bautista-Rosales, P.U.¹ , López-Guzmán, G.G.² 

¹ Unidad de Tecnología de Alimentos. Secretaría de Investigación y Posgrado. Universidad Autónoma de Nayarit. Ciudad de la Cultura S/N, CP. 63000, Tepic, Nayarit.

² Unidad Académica de Agricultura, Universidad Autónoma de Nayarit. Xalisco, Nayarit. Carretera Tepic- Compostela Km 9.

³ Estancias Posdoctorales-Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología, Coordinación de Apoyos a Becarios e Investigadores. Dirección de Posgrado, Ciudad de México.



Please cite this article as/Como citar este artículo: Jiménez-Zurita, J.O., Rodríguez-Guzmán, C.A., Balois-Morales, R., Bautista-Rosales, P.U., López-Guzmán, G.G. (2025). Physicochemical changes, phenolic compounds and antioxidant capacity in nanche (*Byrsonima crassifolia* L. Kunth) fruits during refrigerated storage. *Revista Bio Ciencias*, 12, e1849. <https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1849>

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: December 10th 2024.

Accepted/Aceptado: August 28th 2025.

Available on line/Publicado: September 17th 2025.

RESUMEN

El nanche (*Byrsonima crassifolia* L. Kunth) es una fruta con potencial debido a su valor comercial y efecto benéfico para la salud. Sin embargo, los frutos después de cosechados presentan una vida de anaquel corta, limitando su comercialización y consumo. En ese contexto, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar los cambios fisicoquímicos, la concentración de fenoles totales y la capacidad antioxidante mediante el uso de sistemas refrigeración. Por lo que, se formaron dos tratamientos; frutos almacenados a 22 °C Tratamiento 1 (T1) y frutos almacenados en una cámara climática a 8 °C Tratamiento 2 (T2) por 12 días. Las evaluaciones se realizaron los días 0, 3, 6, 9, 12. El uso de la refrigeración fue efectiva, reduciendo parámetros fisiológicos y fisicoquímicos (pérdida de peso, firmeza, color, °Brix y % de ácido cítrico). Para el caso de los compuestos fenólicos totales T1 y T2 presentaron valores de 97.09 y 115.88 mg EAG/100 g.f.w., respectivamente. Además, se observó capacidad antioxidante en el fruto de nanche. En ese sentido, establecer un sistema de manejo poscosecha mediante la utilización de temperaturas de refrigeración puede incrementar la vida útil de este frutal, conservando su valor comercial y sus propiedades benéficas a la salud.

PALABRAS CLAVE: *Byrsonima crassifolia* L. Kunth, Malpighiaceae, almacenamiento, refrigeración, calidad del fruto

*Corresponding Author:

Rodríguez-Guzmán, C.A. Unidad de Tecnología de Alimentos. Secretaría de Investigación y Posgrado. Universidad Autónoma de Nayarit. Ciudad de la Cultura S/N, CP. 63000, Tepic, Nayarit, México. Teléfono: (311) 202 7676.

E-mail: azhael.rodriguez@uan.edu.mx

ABSTRACT

Nanche (*Byrsonima crassifolia* L. Kunth) is a fruit with significant potential due to its commercial value and health benefits. However, postharvest fruits exhibit a short shelf life, limiting their marketability and consumption. In this context, the present study aimed to evaluate physicochemical changes, total phenolic content, and antioxidant capacity using refrigeration systems. Two treatments were established: fruits stored at 22 °C (Treatment 1, T1) and fruits stored in a climate chamber at 8 °C (Treatment 2, T2) for 12 days. Evaluations were conducted on days 0, 3, 6, 9, and 12. Refrigeration was effective in reducing physiological and physicochemical parameters (weight loss, firmness, color, °Brix, and citric acid content). Regarding total phenolic compounds, T1 and T2 showed values of 97.09 and 115.88 mg GAE/100 g f. w., respectively. Moreover, antioxidant capacity was observed in nanche fruit. Therefore, implementing a postharvest management system using refrigeration temperatures may extend the shelf life of this fruit while preserving its commercial value and health-promoting properties.

KEY WORDS: *Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth, Malpigiaceae, storage, refrigeration, fruit quality.

Introducción

El nanche (*Byrsonima crassifolia* L. Kunth) es una fruta que pertenece a la familia Malpigiaceae y es una pequeña drupa, con un olor fuerte, agri dulce y ligeramente aceitoso. Durante su maduración muestra color verde y amarillo con tonalidades naranjas hasta la senescencia. Su consumo puede ser en fresco o procesado en forma de jugos, licores, helados, conservas, deshidratados, entre otras formas (de Araujo *et al.*, 2018; San-Martín-Hernández *et al.*, 2023). Atribuyéndosele varias características con potencial nutraceutico como la presencia de antioxidantes, vitamina C y fibra dietética. Por lo que, al ser una excelente fuente de vitaminas y minerales el fruto presenta beneficios a la salud del consumidor. Tales como la prevención de enfermedades crónico-degenerativas y cardiovasculares (Sousa & de Souza 2020; Santana *et al.*, 2023). Durante 2023, en México se establecieron 2,096 hectáreas de cultivo de árboles de nanche, alcanzando un rendimiento promedio de 10,284 t ha⁻¹. Del total producido, el estado de Nayarit aportó aproximadamente 1,153 toneladas, lo que equivale al 11.21 % de la producción nacional (SIAP 2024). Sin embargo, en Nayarit su manejo poscosecha no se encuentra del todo bien definido, derivado que, los frutos después de cosechados sufren un rápido deterioro (< 5 días a 20 °C), particularmente en los trópicos húmedos, donde las condiciones ambientales aceleran el proceso de descomposición, limitando su comercialización y consumo (Medina-

Torres *et al.*, 2012; Rivas-Castro *et al.*, 2019). No obstante, Nayarit al ser uno de los principales productores de nanche a nivel nacional (SIAP, 2024), ha realizado estudios sobre este fruto enfocados en la selección y caracterización morfológica sobresaliente (Agredano-De la Garza *et al.*, 2021a; López-Guzmán *et al.*, 2023). Sin embargo, existen muy pocos estudios enfocados en la calidad poscosecha y presencia de metabolitos funcionales de este frutal (Medina Torres *et al.*, 2015; 2021), por lo que, el nanche podría considerarse como una planta desatendida y sin un enfoque comercial definido (Baldermann *et al.*, 2016; Porto *et al.*, 2020). Algunos reportes solo se mencionan que los frutos deben colocarse en envases de embalaje pequeños y que pueden almacenarse a temperaturas de entre 9 y 13 °C conservando las condiciones aceptables de calidad durante 10 a 12 días (Morton, 2004; Duarte, 2011). En ese sentido, en Brasil estudios realizados por Mata *et al.* (2016) y Neves *et al.* (2015) evaluaron frutos de nanche en almacenamiento a 12 °C y reportaron un incrementando en la vida de anaquel de 10 a 12 días respectivamente, coincidiendo con los anteriormente mencionado. Por lo tanto, el uso de la refrigeración durante el almacenamiento poscosecha del fruto de nanche es necesario para desarrollar una estrategia óptima de conservación en fresco y aumentar la accesibilidad del nanche en lugares donde la fruta fresca no está disponible (Rivera-Correa *et al.*, 2022a). Derivado de lo anterior, establecer un sistema de manejo poscosecha mediante la utilización de temperaturas de refrigeración servirá para incrementar la vida poscosecha de este frutal, el cual presenta potencial debido a su valor comercial y a sus propiedades nutricionales. En ese contexto, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar los cambios fisicoquímicos, la concentración de fenoles totales y la capacidad antioxidante 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH), 2,2'-azino-bis-3-etil benztiazolin-6-sulfonato de amonio (ABTS) y poder antioxidante reductor del hierro (FRAP) durante el almacenamiento poscosecha en refrigeración.

Material y Métodos

Sitio experimental y material vegetal

Para esta investigación se utilizaron frutos de nanche (*Byrsonima crassifolia* L. Kunth) cosechados en madurez fisiológica de acuerdo con Martínez-González *et al.* (2017), de una huerta comercial ubicada en el Ejido "El Rincón" municipio de Tepic, Nayarit (21° 34', 483" N, 104° 56', 215" O). Los frutos se colocaron en cajas de plástico y se trasladaron al laboratorio de análisis especiales de la Unidad de Tecnología de Alimentos de la Universidad Autónoma de Nayarit. Los frutos se seleccionaron para descartar aquellos con daños mecánicos, físicos y fitopatológicos. Posteriormente los frutos se lavaron con una solución de hipoclorito de sodio al 1 % para evitar proliferación de microorganismos.

Diseño experimental

Los frutos se agruparon en 2 lotes (90 frutos por lote) de los cuales se formaron dos tratamientos frutos almacenados a 22 °C (T1) y frutos almacenados a 8 °C (T2) y ambos a una humedad relativa (HR) del 90 %. Los frutos se almacenaron en una cámara de climatización (Climacell®). Las evaluaciones se realizaron los días 0, 3, 6, 9, 12. El diseño experimental fue

completamente al azar y la unidad experimental fue un fruto con 6 repeticiones. Con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza y de comparación de medias con la prueba de Tukey con un nivel de significancia $P \leq 0.05$ utilizando el software Statistical Analysis System (SAS® V. 9.2) (Castillo, 2011).

Variables evaluadas

Preparación de la muestra. Para la determinación de los sólidos solubles totales, compuestos fenólicos y de la actividad antioxidante (DPPH, ABTS y FRAP) se homogeneizó un 1 g de pulpa fresca de nache en un Ultraturrax T25 IKA® con 10 mL de agua destilada y posteriormente se centrifugó a 18,510 g a una temperatura de 4°C durante 30 minutos (Hermle Z326K), recuperando la fase acuosa.

Pérdida de peso acumulada. Se determinó registrando con una balanza digital (Scout Pro, OHAUS®) la masa de cada uno de los frutos. La pérdida de masa acumulada se reportó en porcentaje (%) con relación a la masa inicial de los frutos y aquellas registradas en cada evaluación.

Firmeza. Se utilizó un penetrómetro (Force Gauge modelo GY-4) con un puntal de 8 mm de diámetro, los resultados se expresaron Newtons (N).

Sólidos solubles totales. Se determinaron colocando unas gotas del jugo de la fruta en un refractómetro (HANNA HI 96801), previamente calibrado con agua destilada, los resultados se expresaron en grados Brix.

Acidez titulable. Se determinó por el método oficial AOAC (2005), mediante la titulación volumétrica con hidróxido de sodio (NaOH) y fenolftaleína como indicador, los resultados se expresaron en por ciento de ácido cítrico.

Color. Se determinaron los componentes de color de la cáscara, brillantez o luz reflejada (L) (0= negro puro, 100= blanco puro), ángulo matiz (h) (0= rojo purpura, 90= amarillo) y cromaticidad (C, intensidad desde el gris hacia el color cromático puro) (Neguerula, 2012), con un colorímetro CR-400 (Konica Minolta Sensing, Inc., Tokio, Japón).

Compuestos fenólicos totales. Se determinaron de acuerdo con el método de Stintzing *et al.* (2005) el cual consiste en tomar 0.5 mL de la muestra, adicionando 2.5 mL del reactivo Folin-Ciocalteu (diluidos 1:10 con agua destilada), se dejaron reposar por 5 min, y se le adicionaron 2 mL de carbonato de sodio 7.5 % (p/v) y se incubaron a temperatura ambiente durante 30 minutos. Al término del tiempo se midió la absorbancia en un lector de microplacas (Power Wave XS, Biotek) a una longitud de onda de 765 nm. Los resultados obtenidos se expresaron en mg equivalentes de ácido gálico (mg EAG/100 g.f.w.).

DPPH. Se determinó de acuerdo con la metodología reportada por Brand-Williams *et al.* (1995) la cual consiste en preparar una solución de DPPH• (7.4 mg/100 mL en etanol al 80 %), se

agitó durante 60 minutos, posteriormente se diluyó con metanol al 80 % hasta obtener un valor de absorbancia de entre 0.70 (± 0.02) a 520 nm. Se tomaron 50 μL de la muestra y se colocaron en tubos eppendorf (1.5 mL), agregando 250 μL de la solución de DPPH, ésta se dejó reposar en condiciones de obscuridad por un tiempo de 30 minutos, posterior se leyó la absorbancia a una longitud de onda de 520 nm (Power Wave XS, Biotek). La actividad antioxidante se expresó en mg equivalente de ácido ascórbico (mg EAA/100 g.f.w.).

ABTS. Se cuantificó de acuerdo con la metodología descrita por Re *et al.*, (1999), esta consiste en preparar dos soluciones (una de ABTS 7 mM y otra de persulfato potásico 2.45 mM) con agua destilada. Posteriormente se hizo una mezcla de ambas soluciones (v/v) relación 1:1, esta mezcla se incubó por 16 horas en condiciones de oscuridad, temperatura de $23 \pm 1^\circ\text{C}$, en agitación constante. Una vez formado el radical ABTS $\bullet+$ se diluyó con etanol (20 %) hasta obtener un valor de absorbancia comprendido entre 0.70 (± 0.02) a 754 nm. Para la determinación del ensayo se tomaron 10 μL de muestra y se le adicionaron 490 μL de ABTS y se dejó reaccionar durante 7 minutos, posteriormente se leyó la absorbancia a 734 nm. Los resultados fueron expresados en mg equivalentes de ácido ascórbico (mg EAA/100 g.f.w.).

FRAP. Se determinó por el método de Benzie & Strain (1996), el cual evalúa la habilidad de los compuestos para reducir el hierro (III) a hierro (II). En un tubo eppendorf se agregaron 25 μL de muestra, 63 μL de buffer de fosfatos (PBS) a una concentración de 0.2 M, pH 6.6 y 63 μL de hexacianoferrato de potasio ($\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$) al 1 %, agitando con un vórtex, esta solución se incubó durante 30 minutos a 50°C , posteriormente se agregaron 63 μL de ácido tricloroacético al 10%, se agitó en un vórtex por 1 minuto y después se tomó una alícuota de 126 μL del sobrenadante y se colocó en tubo eppendorf y se le agregaron 126 μL de agua destilada y 25 μL de cloruro férrico (FeCl_3) al 0.1 %, se agitó y se leyó la absorbancia a 700 nm. Los resultados fueron expresados en mg equivalentes de ácido ascórbico (mg EAA/100 g.f.w.).

Resultados y Discusión

La pérdida de peso de ambos tratamientos (T1 y T2) disminuyó durante todo el periodo de almacenamiento. La pérdida de peso acumulada en los frutos de T2 fue significativamente menor que los de T1 (Figura 1A), el hecho de que las frutas almacenadas a 8°C presentaran una menor pérdida de peso, puede deberse a una menor pérdida de agua relacionado con la respiración del fruto siendo esta menor a 8°C en comparación a 22°C (Weber, 2020). Similares resultados se obtuvieron en varias investigaciones con distintos frutos como son mamey (Alia-Tejacal *et al.*, 2020), manzana (Ulloa *et al.*, 2015) y piña (Valero & Serrano, 2010) donde se observó que a una menor temperatura la pérdida de peso fue menor.

La firmeza de los frutos de T1 y T2 disminuyó de manera gradual durante todo el periodo de almacenamiento. Sin embargo, los frutos de T1 fueron significativamente diferentes a los frutos de T2, presentado una menor firmeza 4.3N al día 9 de almacenamiento (Figura 1B). Este comportamiento puede considerarse normal, debido a que el ablandamiento es un proceso que ocurre de manera natural en los tejidos vegetales durante su maduración o senescencia, por

la acción de enzimas pectolíticas, las cuales tienen como función la degradación de la pared celular (Wang *et al.*, 2018). En ese sentido, el uso de temperaturas refrigeración y tiempos de almacenamiento pueden provocar la disminución de la firmeza de los frutos, esto probablemente debido a una menor actividad de las enzimas que degradan la pared celular (Galvis *et al.*, 2002). Los resultados de esta investigación coinciden con lo reportado por dos Santos *et al.* (2018), donde reportaron valores de entre 3.09 y 4.76 N e indican que conforme el fruto de nanche madura tiende a volverse menos firme.

El comportamiento de los sólidos solubles de T1 y T2 fue similar, es decir se incrementó conforme transcurrió el periodo de almacenamiento. Estadísticamente la concentración de sólidos solubles en los frutos de T1 fue mayor registrando en promedio 15.66 °Brix durante todo el almacenamiento poscosecha, por su parte los sólidos solubles de los frutos de T2 fue menor, alcanzando valores promedio de 11.73 °Brix (Figura 1C). Jeronimo & Kaneseiro (2000), indican que el aumento de los sólidos solubles totales puede deberse a la transformación del contenido de las reservas acumuladas durante la formación y desarrollo de estos sólidos en azúcares. Rivera-Correa *et al.* (2022b) mencionan que los sólidos solubles en frutos de nache aumentan durante la maduración. Estos mismos autores también sugieren que el uso de temperaturas de refrigeración en los frutos de naches pueden influir en cambios fisicoquímicos como la concentración de sólidos solubles. Por su parte, Carvalho & do Nascimento (2016) reportaron concentraciones de 12.20 hasta 17.72 °Bx en frutos de nache, siendo similares a los obtenidos en esta investigación.

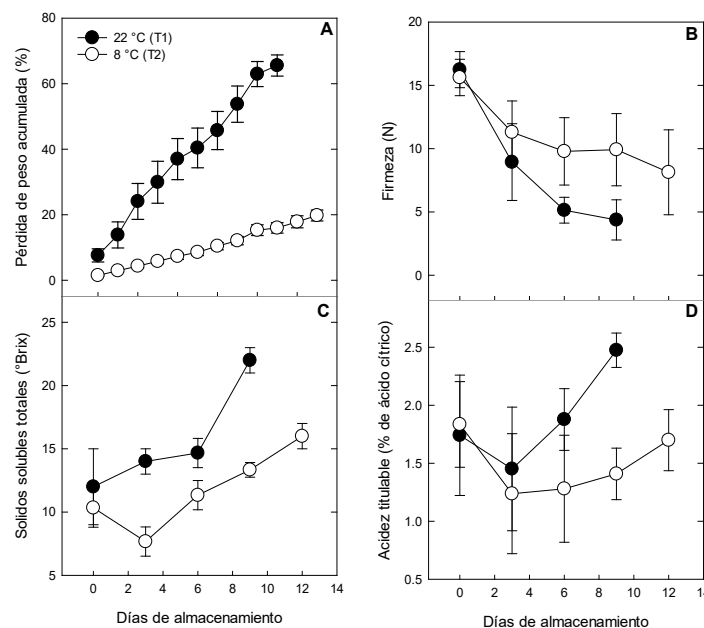


Figura 1. Pérdida de peso acumulada (A), firmeza (B), sólidos solubles totales (C) y acidez titulable (D), cada punto representa la media de seis observaciones y su error estándar.

La acidez titulable (% de ácido cítrico) de T1 y T2 disminuyó al día tres de almacenamiento, sin embargo, esta volvió a incrementarse a los días posteriores de almacenamiento, registrando así un comportamiento creciente de esta variable en ambos tratamientos. La acidez de los frutos de T1 fue estadísticamente mayor 1.88 % de ácido cítrico que la de los frutos de T2 los cuales alcanzaron valores promedio de 1.49 % de ácido cítrico (Figura 1D). La diferencia en el % de acidez entre los tratamientos puede deberse al almacenamiento a bajas temperaturas lo cual disminuye el metabolismo del fruto y la síntesis de algunos compuestos como los ácidos orgánicos (Valero & Serrano, 2010). Costa *et al.* (2012) encontraron valores de acidez en frutos de nanche de la costa de Maranhão que oscilan entre 0.95 % y 1.08 %. Por su parte, Carvalho *et al.* (2008) caracterizaron frutos de nanche de un banco de germoplasma localizado en Embrapa Amazônia Oriental, encontrando una acidez promedio de 2.36 % equivalente al ácido cítrico, siendo más altos que los reportados en este estudio. La diferencia de las concentraciones en acidez puede estar influenciada por algunos factores como: las características genéticas de la planta, clima predominante de la región y el estado de maduración del fruto, lo que puede explicar las diferencias observadas en esta investigación (Chitarra & Alves, 2001).

Color (L, C, h) y luminosidad (L) de ambos tratamientos disminuyó conforme transcurrieron los días de almacenamiento, sin embargo, la luminosidad de los frutos de T1 fue estadísticamente menor, es decir menos brillantes que los frutos de T2. El comportamiento de la cromaticidad (C) fue constante para ambos tratamientos, sin embargo, los frutos de T1 registraron una disminución al día 9 de almacenamiento, siendo así estadísticamente menor. Respecto al Angulo hue (h) (Figure 2), los frutos de T2 mantuvieron el color amarillo durante todo el periodo de evaluación siendo estadísticamente mayores, caso contrario de los frutos de T1 los cuales hacia el final del almacenamiento se fueron tornando a un color café. Por lo tanto, en promedio el color de los frutos de T1 y T2 fue amarillo opaco brillante ($h = 79.5$, $C = 45.92$, $L = 66.87$ y $h = 83.67$, $C = 49.53$, $L = 70.55$) respectivamente. Los frutos de nanche presentan generalmente una coloración cercana al amarillo, la cual se debe por la presencia de carotenoides. Aunque estos compuestos son relativamente estables durante el almacenamiento, pueden degradarse por deshidratación es decir son susceptibles a descomposición por oxidación (Rodríguez-Amaya, 1999; Rivas-Castro *et al.*, 2019), por lo que, se puede alterar la capacidad para reflejar o absorber la luz. Por otro lado, Rivera-Correa *et al.* (2022b), mencionan que el uso de bajas temperaturas modifica algunos cambios en los parámetros de color (LCh) reduciendo la velocidad de cambio en estos atributos, lo cual coincide con lo obtenido en esta investigación, ya que los frutos de T2 presentaron cambios en dichos parámetros.

La concentración de compuestos fenólicos totales de los frutos T1 presentaron una disminución en la concentración de fenoles del día cero al día dos, posteriormente esta concentración se incrementó a 97.09 mg EAG/100 g.f.w. para el día seis y nuevamente disminuyo a 80.86 mg EAG/100 g.f.w. para el día nueve de almacenamiento. En relación a los frutos de T2 incrementaron la concentración de fenoles los días tres y seis de almacenamiento. Sin embargo, esta concentración disminuyo para al día nueve 79.54 mg EAG/100 g.f.w. y volvió a incrementarse 115.88 mg EAG/100 g.f.w. para el día 12 de su almacenamiento. En resumen, los frutos de T2 registraron un comportamiento contrario a los frutos de T1, presentando la mayor concentración de fenoles al día doce de almacenamiento. Sin embargo, el contenido de fenoles

de ambos tratamientos no presentó diferencias significativas durante el almacenamiento al día 9 (Figura 3H). En ese sentido, las concentraciones de fenoles reportadas en este estudio fueron superiores a las obtenidas por Carvalho & do Nascimento (2016) en cuatro de los cinco genotipos de nanche evaluados y madurados a temperatura ambiente. Sin embargo, fueron menores a los presentados por Belisário *et al.* (2020) donde reportaron concentraciones de fenoles de 165.2 mg EAG g⁻¹ al día cero y 133.0 mg EAG g⁻¹ para el día dieciséis de almacenamiento a 12 ± 1 °C. Así como, a las reportadas por Torres *et al.*, (2024) de 2.73 a 3.64 mg EAG g⁻¹. La disminución observada en las concentraciones de fenoles totales durante el almacenamiento poscosecha podría atribuirse principalmente al proceso natural de maduración y senescencia de los frutos. Diversos estudios han documentado que la mayoría de los compuestos fenólicos se encuentran en forma de ácidos fenólicos, los cuales son susceptibles a procesos de oxidación y degradación enzimática conforme avanza el metabolismo celular (Belisário *et al.*, 2020). Sin embargo, como parte de los compuestos fenólicos se encuentran los carotenoides y flavonoides, los cuales pueden ser acumulados en el fruto de nanche como indicadores de madurez y como fuente para atraer dispersores de semillas. Mismos que pueden ser responsables del incremento de compuestos fenólicos del día 12 de almacenamiento del T1 (Irías-Mata *et al.* 2018; Agredano-de la Garza *et al.*, 2021b). Esta transformación no solo altera el perfil fitoquímico del fruto, sino que también puede comprometer su capacidad antioxidante y, por ende, su valor nutracéutico (López *et al.*, 2022). En este contexto, la implementación de estrategias de almacenamiento en frío se ha consolidado como una práctica clave para mitigar estos efectos. Al mantener los frutos a temperaturas controladas, en torno a los 12 ± 2 °C, se logra ralentizar significativamente la actividad metabólica, reduciendo así la degradación de compuestos bioactivos y minimizando las pérdidas nutricionales (Chitarra & Chitarra, 2005; Belisário & Coneglian, 2013). Por lo que, las condiciones de refrigeración de este trabajo contribuyen no solo a preservar la calidad funcional del fruto, sino también a prolongar su vida útil y viabilidad comercial.

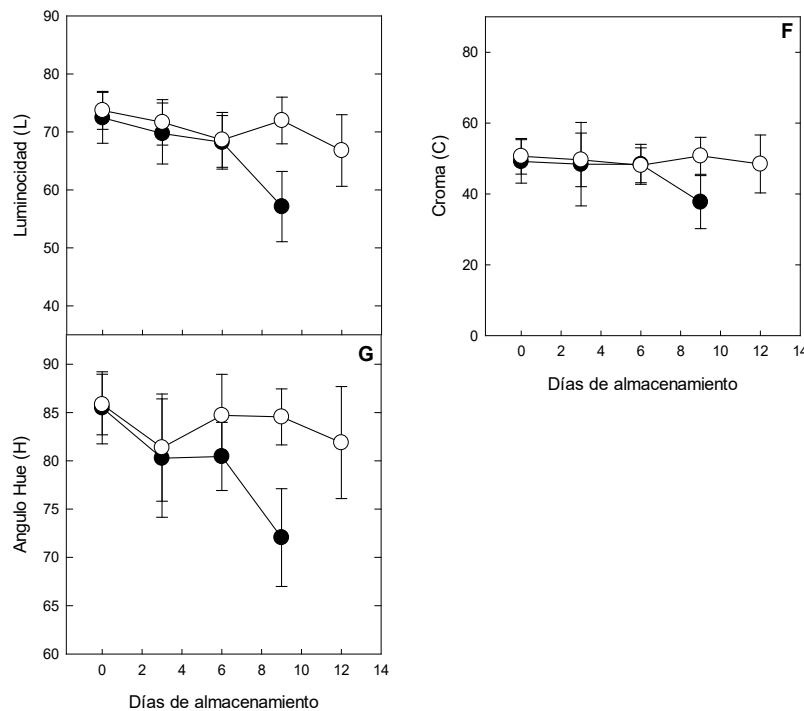


Figura 2. Luminosidad (E), cromaticidad (F), ángulo hue (G), cada punto representa la media de seis observaciones y su error estándar.

La capacidad antioxidante del fruto de nanche está asociada a la presencia de vitaminas, compuestos fenólicos, carotenoides, entre otros (Almeida *et al.*, 2024). Por ello, su capacidad antioxidante debe medirse con varios métodos, dentro de los más utilizados DPPH, ABTS y FRAP. En ese sentido, no hay un método universal, ya que los reactivos responden de forma distinta según el tipo de antioxidante. Por ejemplo, ABTS detecta tanto compuestos hidrofílicos como lipofílicos, mientras que DPPH solo funciona en medios orgánicos y con compuestos poco polares (Ramful *et al.*, 2011; Almeida *et al.*, 2011). En la presente investigación los valores más altos se encontraron por el método DPPH (Figura 3I), donde los tratamientos T1 y T2 presentaron valores con un comportamiento decreciente en la capacidad antioxidante, de 282.65 a 249.06 y de 267.27 a 243.01 mg EAA/100 g.f.w., respectivamente; mostrando diferencias estadísticas significativas. En relación con el método por ABTS (Figura 3J), los frutos de T1 se mantuvieron constante durante todo el periodo de almacenamiento de 80.81 a 78.42 mg EAA/100 g.f.w., caso contrario de los frutos de T2, los cuales mostraron valores menores de 66.14 a 54.32 mg EAA/100 g.f.w., siendo estadísticamente diferentes con respecto al T1. Este comportamiento puede ser derivado de los procesos de maduración de los frutos, donde compuestos como fenoles, carotenoides y flavonoides son oxidados durante el almacenamiento (Belisário *et al.*, 2020). Además, debe

considerarse que los frutos contienen distintos tipos de antioxidantes, cada uno con mecanismos de acción diferentes. También, hay que tener en cuenta que existen factores que pueden influir en el contenido de antioxidantes en frutos frescos como el estado de madurez, las prácticas agrícolas, la temperatura y las condiciones ambientales (Souza *et al.* 2008; González-Aguilar *et al.* 2008; Agredano-De la Garza *et al.*, 2021a). En ese sentido, los resultados de capacidad antioxidantes por DPPH fueron menores a los reportados por Medina-Torres *et al.* (2021) en frutas de nanche de hasta 346.6 mg EAA/100 g⁻¹ y semejantes a valores de 295.12 mg EAA/100 g.f.w. en un grupo de selecciones de nanche de Brasil por Almeida *et al.* (2011). De igual forma, algunos estudios reportan actividades antioxidantes con diferencias determinadas por el método de ABTS, con valores mínimos de 27.65 y máximos de 331.29 mg EAA/100 g⁻¹ (Medina-Torres *et al.*, 2021). Asimismo, Moo-Huchin *et al.* (2014), reportaron actividades de 193.22 - 195.48 mg EAA/100 g.f.w., en frutos de Yucatán, México. Estos resultados indican que los tratamientos T1 y T2 evaluados en este estudio presentan una capacidad antioxidante promedio en comparación con lo reportado previamente por otros autores en diferentes variedades de nanche, lo cual es una característica que sin duda debe ser considerada. Por otro lado, el método FRAP mide la capacidad total antioxidante al reducir hierro férrico (Fe³⁺) a ferroso (Fe²⁺). Los resultados del método por FRAP (Figura 3K), los frutos de T1 fueron presentaron un valor máximo de 21.71 EAA/100 g.f.w., y los frutos de T2 de 24.18 EAA/100 g.f.w. durante el almacenamiento, mostrando diferencias estadísticas. Por su parte, Medina-Torres *et al.* (2021) reportó estudios de actividad antioxidante en frutos de nanche con valores mínimos de 28.81 y máximos de hasta 413.88 mg EAA/100 g⁻¹ utilizando el método FRAP, superando los resultados mencionados. En conclusión, los resultados obtenidos en este estudio demuestran que la pulpa de nanche posee capacidad antioxidante. Por la presencia compuestos fenólicos, flavonoides y carotenoides (Mariutti *et al.* 2014; Pires *et al.* 2021). Por lo tanto, el fruto de nanche puede considerarse un alimento con potencial nutraceutico por la presencia de compuestos bioactivos (Almeida *et al.*, 2024). No obstante, un alto contenido de compuestos bioactivos en los tejidos frescos (en este caso en la pulpa de nanche) no garantiza su biodisponibilidad tras el consumo. (González-Aguilar *et al.* 2008). Por ello, se recomienda realizar más estudios que permitan esclarecer las condiciones ideales de almacenamiento mediante sistemas de refrigeración, con el fin de conservar estos compuestos en el fruto. Dichos estudios deberán considerar factores como las condiciones ambientales, el estado de madurez, la especie y las prácticas agrícolas.

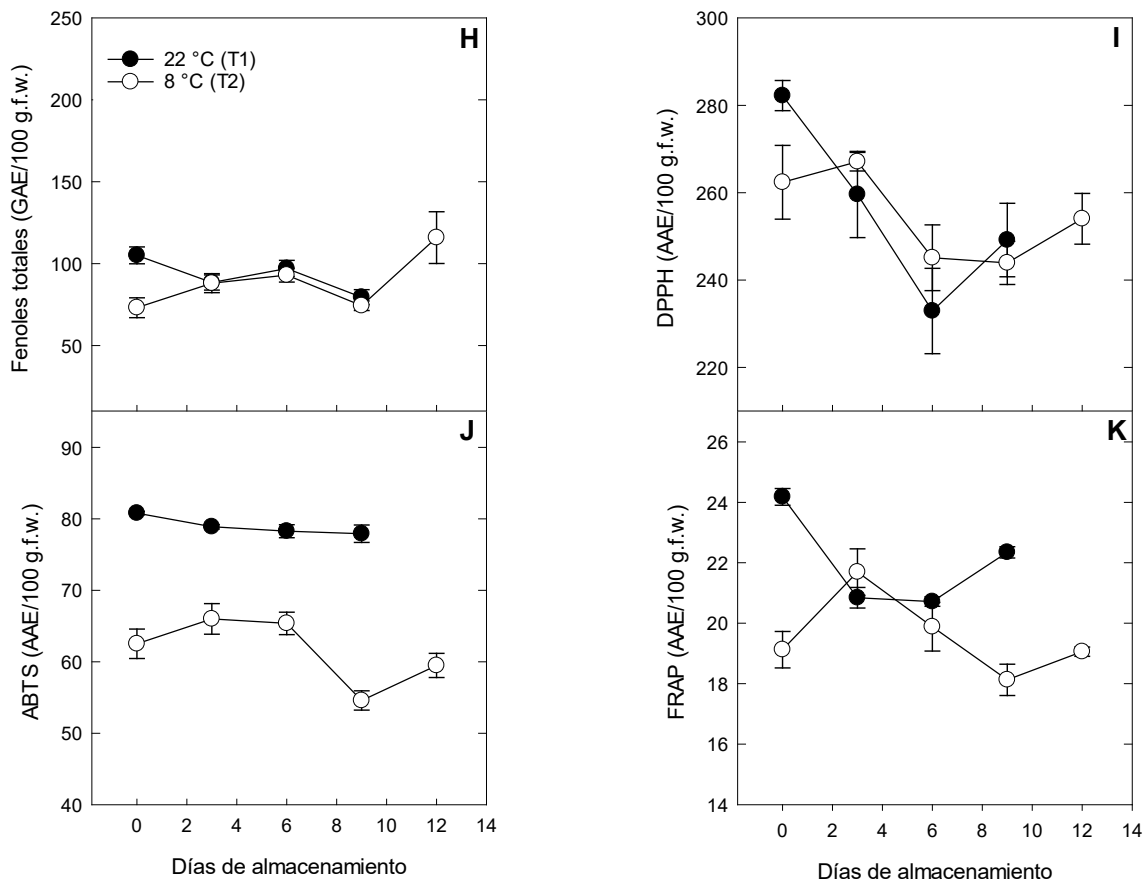


Figura 3. Fenoles totales (H), DPPH (I), ABTS (J) y FRAP (K), cada punto representa la media de seis observaciones y su error estándar.

Conclusiones

El uso de sistemas de almacenamiento bajo temperaturas de refrigeración en frutos de nanche permitió reducir la pérdida de peso y la firmeza. Además, sin modificar los componentes de color con respecto al manejo en condiciones ambientales normales. Así mismo, los sólidos solubles totales (°Brix) fueron menores en los frutos almacenados a 8 °C respecto a los de 22 °C y la acidez titulable (% de ácido cítrico) se mantuvo en niveles bajos cuando los frutos se almacenaron a 8 °C. Por otro lado, los compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante presentaron valores por encima del promedio, lo cual nos indica que el uso de sistemas de refrigeración puede ser factible para el control poscosecha de los frutos, reduciendo los cambios fisicoquímicos y conservando su capacidad antioxidante.

Contribución de los autores

“Conceptualización del trabajo, JOJZ; CARG.; desarrollo de la metodología, JOJZ, RBM.; manejo de software, PUBR.; validación experimental, CARG, PUBR.; análisis de resultados, JOJZ, CARG, PUBR, RBM.; Manejo de datos, JOJZ, RBM.; escritura y preparación del manuscrito, JOJZ, GGLG.CARG; redacción, revisión y edición, JOJZ, CARG.; administrador de proyectos, RBM, GGLG.; adquisición de fondos, RBM, PUBR.

Todos los autores de este manuscrito han leído y aceptado la versión publicada del mismo.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Referencias

- Agredano-De la Garza, C. S., Balois-Morales, R., Berumen-Varela, G., León-Fernández, A. E., Bautista-Rosales, P. U., López-Guzmán, G. G., & Pérez-Ramírez, I. F. (2021a). Physicochemical characterization and dietary fiber of 15 Nance (*Byrsonima crassifolia* L.) fruits selections from Nayarit. *Scientia Horticulturae*, 289, 110460 <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110460>
- Agredano-de la Garza, C. S., López-Guzmán, G. G., Balois-Morales, R., León-Fernández, A. E., Bautista-Rosales, P. U., Palomino-Hermosillo, Y. A., & Juárez-López, P. (2021b). Compuestos de interés funcional del nanche (*Byrsonima crassifolia* (L.) HBK). *Acta Agrícola y Pecuaria*, 7(1). <https://doi.org/10.30973/aap/2021.7.0071013>
- Alia-Tejacal, I., Sánchez, D. G., Lopez, P. J., Rodríguez, M. A., & Torres, O. G. V. (2020). Efecto de la baja temperatura en el metabolismo de carbohidratos y calidad de frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) HE Moore & Stearn). *Acta Agrícola y Pecuaria*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6201356>
- Almeida, C. O., Martinez, R. M., Figueiredo, M. S., & Teodoro, A. J. (2024). Botanical, nutritional, phytochemical characteristics, and potential health benefits of murici (*Byrsonima crassifolia*) and taperebá (*Spondias mombin*): insights from animal and cell culture models. *Nutrition Reviews*, 82(3), 407-424. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuad065>
- Almeida, M. M. B., de Sousa, P. H. M., Arriaga, Â. M. C., do Prado, G. M., de Carvalho Magalhães, C. E., Maia, G. A., & de Lemos, T. L. G. (2011). Bioactive compounds and antioxidant activity of fresh exotic fruits from northeastern Brazil. *Food Research International*, 44(7), 2155-2159. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.03.051>
- AOAC Official Method 942.15. (2005). Acidity (titrable) of fruit products. Official method of Analysis of AOAC International. 18(37), 10.
- Baldermann, S., Blagojević, L., Frede, K., Klopsch, R., Neugart, S., Neumann, A., Ngwene, B., Norkewit, J., Schöter, D., Schöter, A., Schweigert, F. J., Wiesner, M., & Schreiner, M.

- (2016). Are neglected plants the food for the future? *Critical Reviews in Plant Sciences*, 35(2), 106–119, <https://doi.org/10.1080/07352689.2016.1201399>
- Belisário, C. M., & Coneglian, R. C. C. (2013). Qualidade de Frutos de Murici (*Byrsonima crassifolia*, *Malpighiaceae*) Armazenados sob Refrigeração. *Global Science and Technology*, 6, (2), 95-101. https://www.researchgate.net/publication/269525865_Qualidade_de_Frutos_de_Murici_Byrsonima_crassifolia_Malpighiaceae_Armazenados_sob_Refrigeracao
- Belisário, C. M., Soares, A. G., Coneglian, R. C. C., Plácido, G. R., Castro, C. F. D. S., & Rodrigues, L. A. N. (2020). Carotenoids, sugars, ascorbic acid, total phenolics, and antioxidant activity of murici from Brazilian Cerrado during refrigerated storage. *Ciencia rural*, 50, e20180620. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20180620>
- Benzie, I.F., & Strain, J.J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "Antioxidant Power": The FRAP assay. *Anal. Biochem.* 239, 70–76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>
- Brand-Williams, W., Culivier, M.E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Food Sci. Technol.* 28, 25–30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Carvalho, A. V. & do Nascimento, W. M. O. (2016). Caracterização físico-química e química da polpa de frutos de muruci. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, 108, 1-17. <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1054673>
- Carvalho, J. E. U., Vasconcelos, M. A. M., Nascimento, W. M. O. & Gonçalves, A. C. S. (2008). Caracterização dos cachos e dos frutos de dois acessos promissores de muricizeiro. In: II Simpósio Brasileiro de Recursos Genéticos, Águas Claras – DF, 1 p. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/409827>
- Castillo L. E. M. (2011). *Introducción al SAS para Windows*, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 295 p.
- Chitarra, A. B., & Alves, R. E. (2001). *Tecnologia Pós-colheita para Frutas Tropicais*. Fortaleza: Instituto de Desenvolvimento da Fruticultura e Agroindústria – FRUTAL/ Sindicato dos Produtores de Frutas do Estado do Ceará, 436 p.
- Chitarra, M.I.F., & Chitarra, A.B. (2005). *Póscolheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio*. Lavras: UFLA, 785p
- Costa, T. F., Mendes-Filho, N. E., Teles, A. M., Marinho, S. C., Mouchreck – Filho, V. E., & Nascimento A. R. (2012). Composição Nutricional do Murici Espécie *Crassifolia* Originária do Litoral Maranhense. In: 64ª Reunião Anual da SBPC, São Luís – MA, 1 p. <https://www.sbpnet.org.br/livro/64ra/resumos/resumos/1403.htm>
- de Araujo, R. R., Santos, E. D., Farias, D. B. S., de Lemos, E. E. P., & Alves, R. E. (2018). *Byrsonima crassifolia* e *B. verbascifolia*: murici. <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1104683>
- dos Santos, E. F., De Oliveira, J. D. S., Da Silva, I. C., Gallo, C. M., De Lemos, E. E. P., & Rezende, L. D. P. (2018). Caracterização física e físico-química em frutos de murici (*Byrsonima crassifolia* (L.) Rich.) de ocorrência nos tabuleiros costeiros de alagoas. *Revista Ciência Agrícola*, 16(3), 11. <https://www.seer.ufal.br/index.php/revistacienciaagricola/article/view/5479>
- Duarte, O. (2011). Nance (*Byrsonima crassifolia* (L.) kunth). In *Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits* (pp. 44-52e). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-052111-1.00011-1>

- [org/10.1533/9780857092618.44](https://doi.org/10.1533/9780857092618.44)
- Galvis, J. A., Arjona, H., Landwehr, T., Martínez, R., & Fischer, G. (2002). Influencia de la temperatura y el tiempo de almacenamiento en la conservación del fruto de mango (*Mangifera indica* L.) variedad Van Dyke. *Agronomía Colombiana* 19(1-2): 23-35. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/21876>
- González-Aguilar, G., Robles-Sánchez, R. M., Martínez-Téllez, M. A., Olivas, G. I., Alvarez-Parrilla, E., & De La Rosa, L. A. (2008). Bioactive compounds in fruits: health benefits and effect of storage conditions. *Stewart Postharvest Review*, 4(3), 1-10. <http://doi.org/10.2212/spr.2008.3.8>
- Irías-Mata, A., Jiménez, V. M., Steingass, C. B., Schweiggert, R. M., Carle, R., & Esquivel, P. (2018). Carotenoids and xanthophyll esters of yellow and red nance fruits (*Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth) from Costa Rica. *Food Research International*, 111, 708-714. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.05.063>
- Jeronimo, E. M., & Kanesiro, M. A. B. (2000). Effect of storage of mangoes cv. Palmer under refrigeration and controlled atmosphere on quality'. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20003000634>
- López, A. H., Sabino, C. R., Reyes, A. P., & Alexandre, A. X. Á. (2022). Revisión del estudio etnobotánico, fitoquímico y farmacológico de *Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth (malphigeaceae): *Acta Agrícola y Pecuaria*, 8(1). <https://doi.org/10.30973/aap/2022.8.0081010>
- López-Guzmán, G. G., Balois-Morales, R., Bautista-Rosales, P. U., & Jiménez-Zurita, J. O. (2023). Morphological and molecular characterization of nanche (*Byrsonima crassifolia* L.) native of Nayarit, Mexico. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 10(3). <https://doi.org/10.19136/era.a10n3.3714>
- Martínez-González, M. E., Balois-Morales, R., Alia-Tejagal, I., Cortes-Cruz, M. A., Palomino-Hermosillo, Y. A., & López-Guzmán, G. G. (2017). Poscosecha de frutos: maduración y cambios bioquímicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(SPE19), 4075-4087 <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i19.674>
- Mariutti, L. R., Rodrigues, E., Chisté, R. C., Fernandes, E., & Mercadante, A. Z. (2014). The Amazonian fruit *Byrsonima crassifolia* effectively scavenges reactive oxygen and nitrogen species and protects human erythrocytes against oxidative damage. *Food research international*, 64, 618-625. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.07.032>
- Mata, V. A., Castro, J. C., Vagula, J. M., da Costa, J. M. C., & Clemente, E. (2016) Physicochemical quality of Murici covered with starchbased coverings and stored at different temperatures. *African Journal of Agricultural Research* 11:1344-1352, <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.9723>
- Medina-Torres, R., Alia-Tejagal, I., Saucedo-Hernández, R., Juárez-López, P., Pérez-Arias, G. A., Rivera-Cabrera, F., Suárez-Vargas, A., Palacios-Sosa, A.M., Núñez-Colin C.A. & Pelayo-Zaldívar, C. (2021). Characterization of fruit quality, functional metabolites, and antioxidant activity in 22 selections of nanche (*Byrsonima crassifolia* L.) HBK from Nayarit, Mexico. *Fruits*, 76(4), 159-168. <https://doi.org/10.17660/th2021/76.4.1>
- Medina-Torres, R., Juárez-López, P., Salazar-García, S., López-Guzmán, G. G., Ibarra-Sánchez, L. S., Arrieta-Ramos, B. G., & Martínez-Moreno, E. (2015). Evaluación de calidad en frutos de 41 genotipos de nanche (*Byrsonima crassifolia* L. HBK) de Nayarit, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(2), 253-264. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v6n2/>

[v6n2a3.pdf](#)

- Medina-Torres, R. & Ortiz, M. (2012). Propiedades Medicinales y otros usos del Nanche (*Byrsonima crassifolia* (L.) HBK). Nueva época. 11, 16-22. <http://dspace.uan.mx:8080/jspui/handle/123456789/900>
- Moo-Huchin, V.M., Estrada-Mota, I., Estrada-Le'ón, R., Cuevas-Glory, L., Ortiz-Vázquez, E., De Lourdes, Vargas Y., Vargas, M., & Sauri-Duch, E., 2014. Determination of some physicochemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant activity of tropical fruits from Yucatan, Mexico. Food chemistry, 152, 508-515. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.12.013>
- Morton, J. F. 2004. Fruits of Warm Climate. Echo Points & Media Books. USA. p. 505.
- Neguerula, I.A. (2012). Is the color measured in food the color that we see? In Color in Food. Technological and Psychophysical Aspects, J.L. Caivano, and M. del P. Buera, eds. (Florida, U.S.A.: CRC Press, Taylor & Francis Group), p. 81–91. <https://doi.org/10.1201/b11878>
- Neves, L. C., Tosin, J. M., Benedette, R. M., & Cisneros-Zevallos, L. (2015). Postharvest nutraceutical behaviour during ripening and senescence of 8 highly perishable fruit species from the Northern Brazilian Amazon region. Food Chemistry 174:188-196, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.111>
- Pires, F. C. S., Oliveira, J. C. D., Menezes, E. G. O., Silva, A. P. D. S. E., Ferreira, M. C. R., Siqueira, L. M. M., Pieczarka J. C., Nagamachi, C. Y. & Carvalho Junior, R. N. D. (2021). Bioactive compounds and evaluation of antioxidant, cytotoxic and cytoprotective effects of murici pulp extracts (*Byrsonima crassifolia*) obtained by supercritical extraction in HepG2 cells treated with H2O2. Foods, 10(4), 737.. <https://doi.org/10.3390/foods10040737>
- Porto, R. G., De Almeida, R. F., Cruz-Neto, O., Tabarelli, M., Felipe Viana, B., Peres, C. A., & Lopes, A. V. (2020). Pollination ecosystem services: A comprehensive review of economic values, research funding and policy actions. Food Security, 12, 1425–1442 <https://doi.org/10.1007/s12571-020-01043-w>
- Ramful, D, Tarnus, E, Aruoma, OI, Bourdon, E, & Baborun, T. (2011). Polyphenol composition, vitamin C content and antioxidant capacity of Mauritian citrus fruit pulps. Food Research International 44: 2088-2099. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.03.056>
- 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 Biol. Med. 26, 1231–1337. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Rivas-Castro, S. F., Martínez-Moreno, E., Alia-Tejagal, I. & Pérez-López, A. (2019). Physical and physiological changes in phenotypes of nance (*Byrsonima crassifolia* (L.) H.B.K.) with different harvest maturity. Scientia Horticulturae, 256, 108620. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108620>
- Rivera-Correa, K. A., Valle-Guadarrama, S., Alia-Tejagal, I., Arévalo-Galarza, M. D. L. C., Pérez-López, A. (2022a). Comportamiento poscosecha de frutos de nanche (*Byrsonima crassifolia*) en condiciones de refrigeración. Revista Fitotecnia Mexicana, 45(1), 91. <https://doi.org/10.35196/rfm.2022.1.91>
- Rivera-Correa, K. A., Valle-Guadarrama, S., Alia-Tejagal, I., Arévalo-Galarza, M. L. C., Pérez-López, A., & Guerra-Ramírez, D. (2022b). Quality attributes of nance (*Byrsonima crassifolia*) fruits as affected by storage temperature and maturity at harvest. International Food Research Journal, 29(1), 160–172. <https://www.proquest.com/openview/afa85d469dc1bf04abc88f1b8>

- [eec76db/1?cbl=816390&pq-origsite=gscholar#](#)
- Rodríguez-Amaya, D.B. (1999). Changes in carotenoids during processing and storage of foods. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*. Sep;49(3 Suppl 1):38S-47S. PMID: 10971842. <https://europepmc.org/article/med/10971842>
- San-Martín-Hernández, C., Martínez-Téllez, M. Á., Valenzuela-Amavizca, O. N., Aispuro-Hernández, E., Sánchez-Sánchez, M., Hernández-Camarillo, E., López-Martínez, L.X. & Quintana-Obregón, E. A. (2023). *Byrsonima crassifolia* L. Kunth a bio-resource with potential: Overview and opportunities. *Folia Horticulturae*, 35(1), 61-75. <https://doi.org/10.2478/fhort-2023-0005>
- Santana, M. G., Martinez, R. M., & Teodoro, A. J. (2023). Biological Effects of Muri (*Byrsonima* spp.). In *Plant Specialized Metabolites: Phytochemistry, Ecology and Biotechnology* (pp. 1-31). Cham: Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-30037-0_20-1
- SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2024). Fecha de revisión: 05/08/2024. https://nube.agricultura.gob.mx/avance_agricola/
- Sousa, M. S. B., & de Souza Buarque, D. (2020). Murici (*Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth): Antioxidant effects and application to aging. In *Aging* (pp. 259-265). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818698-5.00025-0>
- Souza, J. N., Silva, E. M., Loir, A., Rees, J. F., Rogez, H., & Larondelle, Y. (2008). Antioxidant capacity of four polyphenol-rich Amazonian plant extracts: A correlation study using chemical and biological in vitro assays. *Food Chemistry*, 106(1), 331-339. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2007.05.011>
- Stintzing, F. C., Herbach, K.M., Mosshammer, M. R., Carle, R., Yi, W., Sellappan, S., Akoh, C. C., Bunch, R., & Felker, P. (2005). Color, betalain pattern, and antioxidant properties of cactus pear (*Opuntia* spp.) clones. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(2), 442-451. <https://doi.org/10.1021/jf048751y>
- Torres, C. B. D. S., Mourão Gonçalves, L. R., Ramos Azevedo, M. M., Lara, T. S., Santana, M. D., Bressan, C. R., & Taube, P. S. (2024). Physicochemical Characteristics and Antioxidant Activity of Murici Pulps (*Byrsonima* spp., Malpighiaceae) Sold in the Municipality of Santarém-PA, Brazil. *Current Functional Foods*. <https://doi.org/10.2174/0126668629319879240918103950>
- Ulloa, L., Sáenz, M. V., & Castro, J. (2015). Efecto del almacenamiento a diferentes temperaturas sobre el desarrollo de color externo y la calidad de frutos de piña cv. Dorada Extra Dulce. *Agronomía Costarricense*. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0377-94242015000300009
- Valero, D., & Serrano, M. (2010). *Postharvest biology and technology for preserving fruit quality* (1st edition). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781439802670>
- Wang, D., T. H. Yeats, S. Uluisik, J. K. C. Rose & G. B. Seymour (2018). Fruit softening: revisiting the role of pectin. *Trends in Plant Science* 23:302-310, <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.01.006>
- Weber, N. C. (2020). Field and post-harvest factors affecting the quality and shelf life of soft fruits. *Modern Concepts & Developments in Agronomy*, 6(2), 631-634. <https://doi.org/10.31031/mcda.2020.06.000634>