

## Accepted Manuscript / Manuscrito Aceptado

Title Paper/Título del artículo:

**Susceptibilidad al daño por frío en cinco cultivares de mango y su relación con los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante**

**Susceptibility to chilling injury in five mango cultivars and its relationship with phenolics compounds and antioxidant capacity**

Authors/Autores: Vega García, M.O., Ayón Reyna, L.E., López Velázquez, J.G. López Angulo, G., Delgado Vargas, F., López López, M.E.

ID: e1905

DOI: <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e1905>

Received/Fecha de recepción: February 11<sup>th</sup> 2025

Accepted /Fecha de aceptación: November 14<sup>th</sup> 2025

Available online/Fecha de publicación: December 15<sup>th</sup> 2025

Please cite this article as/Como citar este artículo: Vega García, M.O., Ayón Reyna, L.E., López Velázquez, J.G. López Angulo, G., Delgado Vargas, F., López López, M.E. (2025). Susceptibility to chilling injury in five mango cultivars and its relationship with phenolics compounds and antioxidant capacity. *Revista Bio Ciencias*, 13, e1905. <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e1905>

This is a PDF file of an unedited manuscript that has been accepted for publication. As a service to our customers we are providing this early version of the manuscript. The manuscript will undergo copyediting, typesetting, and review of the resulting proof before it is published in its final form. Please note that during the production process errors may be discovered which could affect the content, and all legal disclaimers that apply to the journal pertain.

Este archivo PDF es un manuscrito no editado que ha sido aceptado para publicación. Esto es parte de un servicio de Revista Bio Ciencias para proveer a los autores de una versión rápida del manuscrito. Sin embargo, el manuscrito ingresará a proceso de edición y corrección de estilo antes de publicar la versión final. Por favor note que la versión actual puede contener errores de forma.

*Artículo original*

## Susceptibilidad al daño por frío en cinco cultivares de mango y su relación con los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante

### Susceptibility to chilling injury in five mango cultivars and its relationship with phenolics compounds and antioxidant capacity

**Daño por frío en diferentes cultivares de mango/**

**Chilling injury in different mango cultivars**

Vega García, M.O.<sup>1‡</sup>, Ayón Reyna, L.E.<sup>1‡</sup>, López Velázquez, J.G.<sup>2</sup>, López Angulo, G.<sup>1</sup>, Delgado Vargas, F.<sup>1</sup>, López López, M.E.<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Posgrado en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Facultad de Ciencias Químico Biológicas. Universidad Autónoma de Sinaloa. Cd. Universitaria. Av. de las Américas y Josefa Ortiz S/N. C.P. 80010, Culiacán. Sinaloa, México

<sup>2</sup>Universidad Tecnológica de Culiacán. Carretera Culiacán – Imala Km 2, C.P. 80014, Culiacán, Sinaloa, México

**\*Corresponding Author:**

Martha Edith López-López. Posgrado en Ciencia y Tecnología de Alimentos: Facultad de Ciencias Químico Biológicas. Universidad Autónoma de Sinaloa. Cd. Universitaria. Av. de las Américas y Josefa Ortiz S/N. C.P. 80010, Culiacán. Sinaloa, México. Teléfono: (667) 7136615. E-mail: [marthae.lopez@uas.edu.mx](mailto:marthae.lopez@uas.edu.mx)

**‡First author:**

Misael Odin Vega-García and Lidia Elena Ayón-Reyna, these authors participated at the same level in this article

## RESUMEN

Condiciones de almacenamiento inadecuadas ocasionan deterioro en los frutos de mango. Se evaluó la susceptibilidad al daño por frío y su relación con los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante en cinco cultivares comerciales de mango (Ataulfo, Haden, Keitt, Kent y Tommy Atkins). Durante 21 días se almacenaron los frutos a temperatura de daño por frío (5 °C) y temperatura sana (13 °C), posteriormente se maduraron durante 7 días a 21 °C. Se midió semanalmente la susceptibilidad al daño por frío, la calidad poscosecha, compuestos bioactivos y capacidad antioxidante. Ataulfo presentó mayor tolerancia al daño por frío, mejor conservación del color, mayor contenido de sólidos solubles totales, acumulación de compuestos fenólicos y flavonoides, pero menor firmeza durante el período de maduración en ambas temperaturas de almacenamiento. Keitt fue el más susceptible, con mayor firmeza y menor contenido de sólidos solubles totales. Kent mostró los valores más bajos de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante, mientras Tommy Atkins evidenció una disminución significativa en luminosidad y ángulo Hue. Los resultados en Ataulfo indican que la acumulación de compuestos bioactivos, especialmente flavonoides, mejora la capacidad antioxidante y tolerancia al daño por frío, favoreciendo su almacenamiento a temperaturas bajas, manteniendo la calidad poscosecha.

## PALABRAS CLAVE:

*Mangifera indica* L., Cultivares de mango, Estrés por frío, Compuestos bioactivos, Actividad antioxidante.

## ABSTRACT

Inadequate storage conditions lead to deterioration in mango fruit. The susceptibility to chilling injury and its relationship with phenolic compounds and antioxidant capacity were evaluated in five commercial mango cultivars (Ataulfo, Haden, Keitt, Kent, and Tommy Atkins). Fruits were stored for 21 days at chilling injury temperature (5 °C) and safe temperature (13 °C), then ripened for 7 days at 21 °C. Chilling injury susceptibility, postharvest quality, bioactive compounds, and antioxidant capacity were measured weekly. Ataulfo showed greater tolerance to chilling injury, better color retention, higher total soluble solids content, accumulation of phenolic compounds and flavonoids, but lower firmness during the ripening period at both storage temperatures. Keitt was the most susceptible, with higher firmness and lower total soluble solids content. Kent had the lowest values of bioactive compounds and antioxidant capacity, while Tommy Atkins exhibited a significant decrease in lightness and Hue angle. Results in Ataulfo indicate that the accumulation of bioactive compounds, especially flavonoids, enhances antioxidant capacity and tolerance to chilling injury, favoring its storage at low temperatures while maintaining postharvest quality.

## KEY WORDS

*Mangifera indica* L., Mango cultivars, Chilling stress, Bioactive compounds, Antioxidant activity.

## Introducción

El mango (*Mangifera indica* L.) es una fruta tropical de importancia económica que representa una buena fuente de compuestos bioactivos que desempeñan un papel significativo en la eliminación y neutralización de radicales libres, especialmente del ion superóxido (Rathod *et al.*, 2023). La pulpa de mango contiene altos niveles de flavonoides (quercetina, proantocianidinas, isoquercetina y fisetina), ácidos fenólicos (ácido gálico, ácido protocatecuico, ácido ferúlico, ácido tánico, ácido clorogénico y ácido cafeico) y catequinas (epicatequina, epigallocatequina y galato de epicatequina). Todos estos compuestos actúan como antioxidantes naturales con el potencial de proteger al cuerpo humano de diferentes enfermedades debido a sus actividades antiinflamatorias, antimutagénicas y anticancerígenas (Chagas *et al.*, 2022). Además, algunos de estos compuestos tienen propiedades antibacterianas y antifúngicas (Hichri *et al.*, 2011).

Sin embargo, el fruto de mango madura y se deteriora rápidamente durante el almacenamiento a temperatura ambiente, lo que reduce la cantidad de compuestos bioactivos y acorta su vida útil (Maldonado-Celis *et al.*, 2019). El almacenamiento bajo refrigeración permite extender la vida útil del mango, pero las bajas temperaturas lo hacen susceptible al daño por frío (CI, por sus siglas en inglés) cuando se expone a temperaturas inferiores a 13 °C. El estrés por frío altera las membranas celulares

debido a que induce cambios en la composición de los lípidos de membrana (conversión de la fase líquido-cristal a sólido-gel), lo que inhibe la actividad de enzimas o transportadores asociados a la membrana, aumenta la respiración, promueve la producción de etanol y acetaldehído y desencadena la acumulación de especies reactivas de oxígeno (ROS, por sus siglas en inglés) como peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ), ion superóxido ( $O_2^-$ ) e ion hidroxilo ( $OH^-$ ). Estas alteraciones producen síntomas como oscurecimiento de lenticelas, hendiduras superficiales, escaldado superficial, maduración irregular y áreas necróticas (Ghasemnezhad *et al.*, 2008). La intensidad y velocidad de este deterioro está asociada con el cultivar, el estado de madurez, la temperatura de almacenamiento, así como con la capacidad del fruto para activar el sistema de defensa antioxidante que puede reparar el daño oxidativo (López-López *et al.*, 2018).

Algunos estudios sobre el fruto de mango coinciden en que el incremento de compuestos bioactivos como flavonoides y compuestos fenólicos aumenta la capacidad antioxidante del tejido. De acuerdo con Kim *et al.* (2009), el incremento de estos compuestos proporciona un efecto protector debido a la estabilización de las membranas celulares y la reducción del estrés oxidativo. En concordancia con esto, varias investigaciones indican que los cambios en estos parámetros durante el almacenamiento a temperaturas bajas están relacionados con la susceptibilidad al daño por frío en diferentes cultivares de mango (Kananke *et al.*, 2018). Sin embargo, no se ha investigado esta relación en cultivares de importancia económica para el estado de Sinaloa, México. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar la relación entre los compuestos fenólicos, la capacidad antioxidante y la tolerancia al daño por frío de cinco cultivares de mango que son de importancia comercial en Sinaloa, México.

## Material y Métodos

### Preparación de la muestra

Cinco cultivares de mango (Ataulfo, Haden, Keitt, Kent y Tommy Atkins) fueron obtenidos de un productor local en Culiacán, Sinaloa, México ( $24^{\circ} 46' 23''$  LN y  $107^{\circ} 32' 56''$  LO, a 26 msnm). Los frutos se cosecharon en el estado 2 (8 – 17 °Brix) y se seleccionaron con base en el tamaño (250 – 450 g, de acuerdo con el cultivar), uniformidad de color en la cáscara y ausencia de daño físico. Los frutos fueron transferidos inmediatamente al Laboratorio de Fisiología y Tecnología Poscosecha del Programa de Posgrado en Ciencia y Tecnología de Alimentos-UAS (Sinaloa, México), lavados y desinfectados con hipoclorito de sodio (300  $\mu$ L/L) durante 5 min. Los frutos se almacenaron a temperaturas de refrigeración de 13 °C (sin daño por frío) y 5 °C (con daño por frío), ambas al 90% de humedad relativa, por un total de 21 días. Durante este periodo, se tomaron muestras cada 7 días para evaluar el efecto del almacenamiento en frío. Al finalizar los 21 días de almacenamiento, el último lote de frutos se transfirió a 21 °C y se mantuvo durante 7 días para permitir la maduración y simular condiciones comerciales posteriores al almacenamiento.

### Índice de daño por frío (CII)

El CII se determinó de acuerdo con la metodología descrita por López-López *et al.* (2018). Se evaluó un total de 125 frutos por tratamiento (25 frutos por nivel de almacenamiento a 5 °C). Los criterios para evaluar los síntomas fueron A: oscurecimiento de las lenticelas, B: picaduras, C: escaldado superficial, D: maduración irregular, E: áreas necróticas. La severidad de los síntomas se midió visualmente como nivel de daño (IL, por sus siglas en inglés) utilizando una escala de cinco puntos basada en el porcentaje de tejido afectado para cada criterio (0 = sin tejido afectado, 1 = 1-25 % de tejido afectado, 2 = 26-50%, 3 = 51-75 % y 4 = ≥76 % de tejido afectado). El daño por frío (CI) en cada fruto se cuantificó mediante el CII de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$CII = \frac{(ILA + ILB + ILC + ILD + ILE)}{5}$$

## Calidad fisicoquímica

### Color

Para la evaluación de color en cáscara, las frutas fueron analizadas utilizando un colorímetro CR200 (Minolta Co. Ltd., Osaka, Japan). Se marcaron tres áreas en la circunferencia de cada fruto con el fin de evaluar el color siempre en los mismos sitios durante el almacenamiento a temperaturas bajas y el periodo de maduración. Se registraron los parámetros L\* (luminosidad), a\* (rojo-verde) y b\* (amarillo-azul) de la Comisión Internacional de Iluminación (CIE).

### Firmeza

La firmeza se evaluó siguiendo el método de López-López *et al.* (2018). En cada cachete de mango, se retiró la cáscara de la parte superior y se evaluaron tres puntos, obteniendo seis mediciones por fruto y 18 por cultivar. Se utilizó un penetrómetro Chatillon (DFE 100; AMETEK Inc., Largo, FL, EE. UU.) con una punta plana de 11 mm de diámetro, operando a una velocidad constante de 50 mm/min y una profundidad de penetración de 5 mm. Los resultados se expresaron en Newtons (N).

### Sólidos solubles totales

Los sólidos solubles totales (TSS) se cuantificaron siguiendo el método oficial de la AOAC 22.014 (2012) con un refractómetro manual (Atago, Fisher Scientific, GA, EE. UU.). Para cada muestra, se colocó directamente una gota de jugo de pulpa de mango en el refractómetro y se registraron al menos tres valores por fruto. Los TSS se expresaron como porcentaje de azúcares (°Brix).

## Análisis de compuestos bioactivos

### Extractos metanólicos (ME)

Un gramo de tejido de pulpa liofilizada se extrajo bajo agitación con 10 mL de metanol durante tres días (4 °C); el disolvente se reemplazó cada 24 h. El extracto fue posteriormente filtrado y centrifugado (12,000 g durante 15 min) para eliminar cualquier residuo de tejido. El disolvente se eliminó al vacío (40 °C) con un evaporador

rotatorio (BÜCHI Labortechnik AG, Suiza), y el residuo se resuspendió en 4 mL de metanol y se almacenó a -70 °C en oscuridad hasta su uso.

### Fenoles totales

La determinación del contenido total de fenoles se realizó utilizando el método colorimétrico de Folin–Ciocalteu descrito por López-López *et al.* (2018). La dilución del ME con metanol se efectuó considerando el cultivar de mango y la curva estándar (Ataulfo 1:4, Haden 1:2, Kent 1:2, Keitt 1:1 y Tommy Atkins 1:1). Una alícuota de 20 µL de la dilución se oxidó con 180 µL del reactivo de Folin–Ciocalteu (1:8, v/v) más 50 µL de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (7 %, p/v) durante 90 min, seguida de la medición de la absorbancia a 750 nm utilizando un lector de microplacas (Synergy TM HT Multi-Detection, Biotek, Inc., Winooski). Se preparó una curva estándar utilizando ácido gálico (50–500 µg/mL). La concentración total de fenoles se cuantificó en miligramos de equivalentes de ácido gálico (mg GAE) por 100 gramos de peso fresco (g FW).

### Flavonoides totales

Los flavonoides totales se obtuvieron tomando una alícuota de 0.5 mL del ME y mezclándola con 2 mL de agua desionizada; la mezcla se equilibró con 150 µL de NaNO<sub>2</sub> al 5 % durante 5 min. Después del equilibrio, se añadieron 150 µL de AlCl<sub>3</sub> al 10 % (solución metanólica); la mezcla se dejó reposar durante 1 min, y posteriormente se agregó 1 mL de NaOH 1 M. Finalmente, el volumen se ajustó a 5 mL con agua desionizada, se agitó y la absorbancia se leyó a 415 nm utilizando un espectrofotómetro UV-VIS (UNICO SQ 2800 NJ, EE. UU.). El contenido total de flavonoides se determinó utilizando una curva estándar de quercetina (10–120 mg/L) y se expresó como mg de equivalentes de quercetina (EQ)/100 g de peso fresco (FW), de acuerdo con Moo-Huchin *et al.* (2014), con algunas modificaciones.

### Capacidad antioxidante

#### Método DPPH (2,2'-difenil-1-picrilhidracilo)

El análisis de DPPH se realizó siguiendo la metodología de López-Angulo *et al.* (2019), con ligeras modificaciones. Una alícuota de 20 µL del ME (con diferente dilución para cada cultivar) se mezcló con 180 µL de una solución de DPPH 150 mM en metanol. La mezcla se incubó durante 30 min a 27 °C en oscuridad, antes de medir la absorbancia a 525 nm (Synergy™ HT Multi-Detection, Biotek, Inc., Winooski, VT). Se utilizó Trolox (Sigma-Aldrich-238813) como estándar para elaborar una curva en el rango de 0 a 225 µg/mL. La actividad se expresó como micromoles equivalentes de Trolox (TE) (µmol TE/100 g FW).

#### Método ABTS (ácido 2,2'-azino-bis-3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico)

La solución madre de ABTS se preparó según López-Angulo *et al.* (2019), mezclando 5 mL de reactivo ABTS 7 mM con 88 µL de persulfato de potasio (140 mM) e incubando en oscuridad a 25 °C durante 12–16 h. La solución de ABTS se combinó



con una solución tampón fosfato (PBS) 7 mM (pH 7.4) hasta alcanzar una absorbancia de  $0.75 \pm 0.02$  a 734 nm. En tubos de ensayo, 0.1 mL del ME diluido en metanol se mezcló con 2 mL de solución de ABTS y se mantuvo en oscuridad durante 30 min a 27 °C antes de medir su absorbancia a 734 nm. Se preparó una curva de calibración con Trolox en el rango de 0–225 µg/mL, y la actividad se expresó como µmol equivalentes de Trolox (TE)/100 g de FW.

### Método ORAC (capacidad de absorción de radicales de oxígeno)

El análisis de ORAC se llevó a cabo según lo descrito previamente por López-Angulo *et al.* (2019), con algunas modificaciones. Una alícuota de 25 µL de cada ME diluido se colocó en una microplaca de 96 pozos (microplaca negra). La microplaca se posicionó en el soporte del lector (Synergy™ HT Multi-Detection, BioTek, Inc., Winooski, VT), donde se dispensaron 175 µL de fluoresceína (0.96 µM), se mezcló e incubó a 37 °C durante 30 min antes de añadir 50 µL de APPH (200 mM). La intensidad de fluorescencia (485 nm (ex)/525 nm (em)) se midió durante 60 min a 37 °C a intervalos de 2 min. El blanco y la curva estándar de Trolox (25–125 µM) se analizaron de la misma manera que la muestra. La capacidad antioxidante se determinó contrastando las áreas bajo la curva obtenidas con Trolox y las muestras. Los resultados se expresaron como µmol equivalentes de Trolox (TE)/g FW.

### Análisis estadístico

Los datos fueron analizados mediante un análisis de varianza de dos vías (ANOVA), considerando como factores principales el cultivar (Ataulfo, Haden, Keitt, Kent, Tommy Atkins) y el tiempo de almacenamiento a 5 ó 13 °C (0, 7, 14, 21, 21+7 días). Las diferencias significativas entre medias se determinaron con un nivel de confianza del 95% mediante la prueba de la diferencia mínima significativa de Fisher (LSD). Los coeficientes de correlación de Pearson (r) entre conjuntos de datos se evaluaron con un nivel de confianza del 90%. Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando Statgraphics Plus 5.1 (Statistical Graphics, Rockville, MD, EE. UU.).

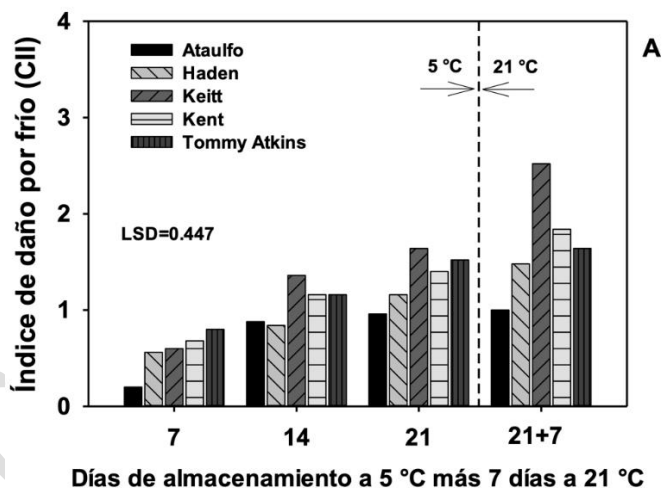
## Resultados y Discusión

### Índice de daño por frío (CII)

La Figura 1 muestra la susceptibilidad a las temperaturas bajas de diferentes cultivares de mango. El CII del cultivar Ataulfo aumentó durante los primeros 14 días de almacenamiento; después se mantuvo constante, incluso durante el almacenamiento en condiciones de maduración, siendo el cultivar con menor desarrollo de síntomas (Figura 1A). Por otro lado, el cultivar Keitt presentó el mayor CII, con síntomas como oscurecimiento de lenticelas, hundimientos y áreas necróticas, especialmente después de transferir los frutos a 21 °C (Figura 1B). Los cultivares Haden, Kent y Tommy Atkins exhibieron un comportamiento similar, sin diferencias entre ellos a ambas temperaturas (5 y 21 °C).

La difusión celular resultante de la desestabilización de membranas (incluyendo la oxidación lipídica, el aumento de la permeabilidad de la membrana y la elevada actividad de las enzimas lipoxigenasa y fosfolipasa), junto con la alteración del citoplasma y la hinchazón de los cloroplastos, explica la intensidad de los síntomas (Aghdam *et al.*, 2013). Además, se observan reducciones en la actividad de amilasas, supresión de la biosíntesis de etileno y degradación del almidón (Nair & Singh, 2003), así como disminuciones en compuestos bioactivos y capacidad antioxidante que limitan el mecanismo de defensa del fruto (Abidi *et al.*, 2014).

Ataulfo presenta varias características que lo diferencian de los otros cultivares, como altos niveles de azúcares solubles y compuestos fenólicos (Manthey & Perkins, 2009). Esta diferencia podría reflejar la mayor tolerancia al frío de este cultivar, ya que los azúcares solubles funcionan como osmoprotectores y proporcionan estabilidad a las proteínas de la membrana plasmática (Singh & Singh, 2012), mientras que los compuestos fenólicos disminuyen el estrés oxidativo al neutralizar los radicales libres producidos durante el almacenamiento a temperaturas bajas (Palafox-Carlos *et al.*, 2012). Investigaciones previas han observado susceptibilidad baja al daño por frío (<50% de la superficie afectada) en otros cultivares como Choke Anan almacenados a 6 °C (Kondo *et al.*, 2005) y Zill a 5 °C (Li *et al.*, 2012).



Almacenamiento / cultivar	Ataulfo	Haden	Keitt	Kent	Tommy Atkins
Día 7					
Día 14					
Día 21					
Día 21+7					



**Figura 1. Índice de daño por frío (CII) (A) y síntomas visibles de CI (B) de cinco cultivares de mango (Ataulfo, Haden, Keitt, Kent and Tommy Atkins) almacenados a 5 °C más 7 días a 21 °C. Barras verticales en las columnas representan la diferencia mínima significativa de la media de cinco réplicas.**

### Color

Ataulfo, Haden y Kent no presentaron cambios significativos en la luminosidad ( $L^*$ ) durante el almacenamiento a 5 °C, mientras que Keitt y Tommy Atkins mostraron una reducción de  $L^*$  (Figura 2A). Ataulfo y Tommy Atkins presentaron los valores de  $L^*$  más altos y bajos, respectivamente, con diferencias significativas entre ellos. Durante el almacenamiento a 13 °C, Ataulfo y Haden mostraron valores constantes de  $L^*$ , mientras que Keitt y Kent presentaron una ligera disminución y Tommy Atkins mostró una mayor reducción de este parámetro (Figura 2B). Durante la maduración (21+7 días, 5 y 13 °C), Keitt y Tommy Atkins no presentaron cambios en  $L^*$ , mientras que el resto de los cultivares mostraron un incremento. El cultivar Ataulfo mantuvo los valores de  $L^*$  más altos a lo largo del almacenamiento, debido a la degradación de clorofila y la síntesis de carotenoides. Por otro lado, la disminución de la luminosidad puede deberse a la pérdida de brillo y al oscurecimiento del tejido causado por los síntomas de daño por frío, como oscurecimiento de lenticelas, maduración irregular y, en algunos casos, áreas necróticas (Figura 1B).

Tommy Atkins presentó los valores de ángulo de matiz ( $Hue^\circ$ ) más bajos durante todo el almacenamiento, independientemente de la temperatura. Estos valores se correlacionaron con el tono rojo (presencia de antocianinas) y mostraron una diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) respecto a los demás cultivares (Figura 2C, 2D). Durante el almacenamiento a 5 °C, solo Haden mantuvo los mismos valores, mientras que el resto de los cultivares presentó una ligera reducción (Figura 2C) debido al estrés por frío. En el almacenamiento a 13 °C, Ataulfo, Haden, Kent y Tommy Atkins exhibieron una reducción en el ángulo de matiz (Figura 2D), y mostrando una mayor proporción de cáscara amarilla que durante la maduración normal (Figura 1B).

Estudios previos obtuvieron resultados similares en mango Kensington (Zaharah & Singh, 2011), Ataulfo (Robles-Sánchez *et al.*, 2009; Palafox-Carlos *et al.*, 2012) y Nam Dok Mai (Junmatong *et al.*, 2015) almacenados a temperaturas de daño por frío y durante la maduración. Estos cambios se relacionan con la degradación y síntesis de pigmentos, así como con variaciones en los parámetros  $a^*$  y  $b^*$ , que favorecen la coloración verde-amarilla al final del almacenamiento a temperaturas bajas y la coloración amarilla durante la maduración. Palafox-Carlos *et al.* (2012) observaron que un valor alto de  $Hue^\circ$  en el fruto de mango corresponde a una pequeña porción (<20% de la superficie del fruto) de color amarillo, mientras que un aumento de esta porción (>21% de la superficie del fruto) conduce a una disminución considerable del  $Hue^\circ$  y a un cambio en la coloración del fruto. Este comportamiento resulta de la biosíntesis de carotenoides desencadenada por el aumento del climatérico en el fruto, iniciado por la acción del etileno.

### Firmeza

Durante los primeros 7 días de almacenamiento a 5 °C, todos los cultivares de mango, excepto Tommy Atkins, presentaron una reducción de la firmeza (Figura 2E).

Durante el resto del almacenamiento, Ataulfo y Keitt permanecieron sin cambios, mientras que Kent y Haden mostraron una reducción y Tommy Atkins presentó un aumento, sin diferencias estadísticas significativas entre ellos. Durante la maduración (21 °C) después del almacenamiento por frío, todos los cultivares mostraron una reducción significativa de la firmeza, obteniendo valores similares ( $p > 0.05$ ). Durante el almacenamiento a 13 °C, todos los cultivares presentaron una reducción significativa de la firmeza al día 7, siendo Ataulfo y Kent los que mostraron la mayor pérdida de firmeza (76.89 % y 68.78 %, respectivamente) (Figura 2F). Del día 14 al 21, Haden, Kent y Tommy Atkins mostraron una reducción significativa, mientras que Ataulfo y Keitt no presentaron cambios significativos. El cultivar Keitt presentó los valores más altos al final del almacenamiento a 13 °C (96,04 N).

Después de 7 días de maduración a 21 °C (21+7 días), los diferentes cultivares exhibieron una pérdida significativa de firmeza; Ataulfo y Keitt presentaron la menor y mayor pérdida (15.72 % y 90.88 %, respectivamente) en comparación con el día 21 (13 °C). Es importante mencionar que los valores fueron inferiores al estándar comercial aceptado para mango fresco (20 N), según Romero-Gomezcaña *et al.* (2006). Dea *et al.* (2010) relacionaron la pérdida de firmeza en mango con una disminución de la fluidez de los microdominios de la membrana y daños en proteínas, lo que en conjunto conduce a la rigidez de la membrana celular durante el daño por frío, especialmente durante la transferencia del fruto a condiciones de maduración. Sayyari *et al.* (2011) asociaron esta reducción de firmeza con la pérdida de integridad de la pared celular, dado que ocurre la descomposición de sustancias pécticas y aumenta la solubilidad de la pectina. Por otro lado, la mayor retención de firmeza durante el almacenamiento a temperaturas de enfriamiento puede deberse a la pérdida de la capacidad del fruto para convertir ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) en etileno durante el almacenamiento, limitando la maduración normal del fruto (Lederman *et al.*, 1997).

Investigaciones previas reportaron resultados similares en Kensington (Nair & Singh, 2003) y Carabao (Cantre *et al.*, 2014) durante el almacenamiento a temperaturas de daño por frío, ya que el fruto mostró una reducción de firmeza durante los primeros días de almacenamiento. Por otro lado, en los cultivares Irwin (Shivashankara *et al.*, 2004) y Nam Dok Mai (Junmatong *et al.*, 2015) se retuvo la firmeza durante el almacenamiento a 5 °C y el posterior almacenamiento a temperatura ambiente. Esta retención se atribuyó a una maduración irregular del fruto, lo que aumentó la rigidez celular.

### **Sólidos solubles totales (TSS)**

Los TSS se relacionan con la madurez del fruto, y un aumento en este parámetro indica mayor dulzor. En este estudio, el cultivar Ataulfo presentó los valores más altos de TSS, independientemente de la temperatura de almacenamiento, mostrando una diferencia estadística ( $p < 0.05$ ) con respecto a los demás cultivares (Figuras 2G, 2H). Este comportamiento se explica por una mayor hidrólisis del almidón y síntesis de azúcares simples. Sin embargo, al comparar las temperaturas de almacenamiento, todos los cultivares mostraron un mayor contenido de TSS a 13 °C (Figuras 2G y 2H). Al día 21, el cultivar Keitt presentó el menor contenido de TSS a 5 °C (8.2 °Brix), pero un valor mayor (12.73 °Brix) a 13 °C. Una temperatura de almacenamiento más baja

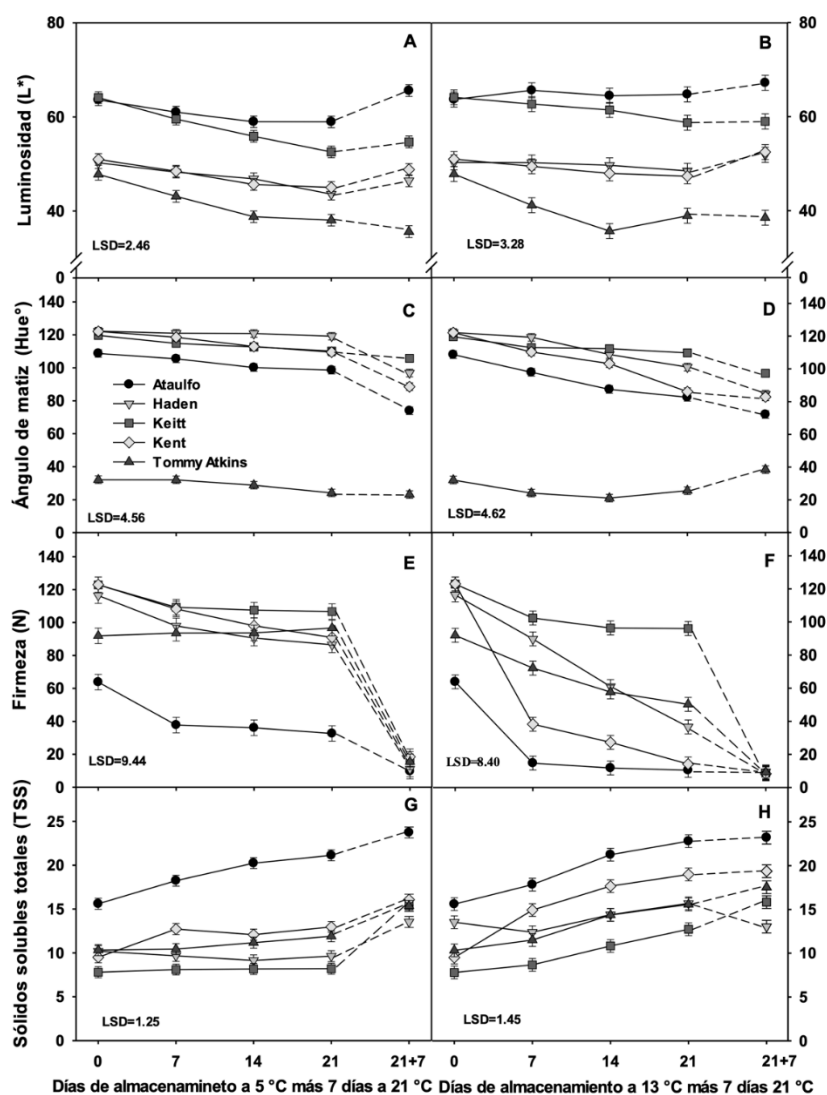
reduce la tasa de respiración y, por lo tanto, disminuye la conversión de almidón en azúcares (López-López *et al.*, 2018). Después del almacenamiento a 5 °C, todos los cultivares aumentaron sus TSS durante la maduración. A 13 °C, Keitt y Tommy Atkins incrementaron sus TSS debido a la degradación del almidón en azúcares simples, Ataulfo y Kent mantuvieron niveles constantes debido a un equilibrio entre consumo y producción de azúcares, y Haden presentó una reducción asociada con la senescencia del fruto y el consiguiente gasto energético. Montalvo *et al.* (2007) mencionaron que los frutos con mayores TSS acumulan más azúcares simples, que funcionan como osmorreguladores en la célula y reducen su permeabilidad, permitiendo una mayor tolerancia al almacenamiento a temperaturas bajas.

El contenido de TSS en el cultivar Ataulfo podría contribuir a la tolerancia al CI, consistente con los resultados del CII, donde Ataulfo desarrolló menos síntomas. Los cambios mínimos en TSS indican que las temperaturas bajas afectan el metabolismo al limitar la actividad de las enzimas hidrolíticas necesarias para producir azúcares simples (Siddiq *et al.*, 2013; Junmatong *et al.*, 2015). Ding *et al.* (2007) mencionaron que los frutos de mango almacenados a 5 °C sintetizaron menos TSS que los almacenados a 14 °C.

### Compuestos bioactivos

Los cultivares Haden, Keitt, Kent y Tommy Atkins mostraron valores similares durante todo el almacenamiento a 5 °C, con un promedio de 25 mg de ácido gálico/100 g FW (Figura 3A). Por otro lado, Ataulfo presentó el mayor contenido fenólico al inicio del almacenamiento con 52.5 mg de ácido gálico/100 g FW, y al final del almacenamiento a 21 °C, el fruto alcanzó un contenido fenólico de 109.9 mg de ácido gálico/100 g FW. Los frutos transferidos a 21 °C mostraron una reducción en los fenoles totales, siendo más significativa en Ataulfo. No obstante, este cultivar todavía conservó el mayor contenido fenólico. Los cinco cultivares almacenados a 13 °C mostraron resultados similares, excepto Kent, que incrementó sus fenoles en un 33.6 % al día 21+7 (Figura 3B).

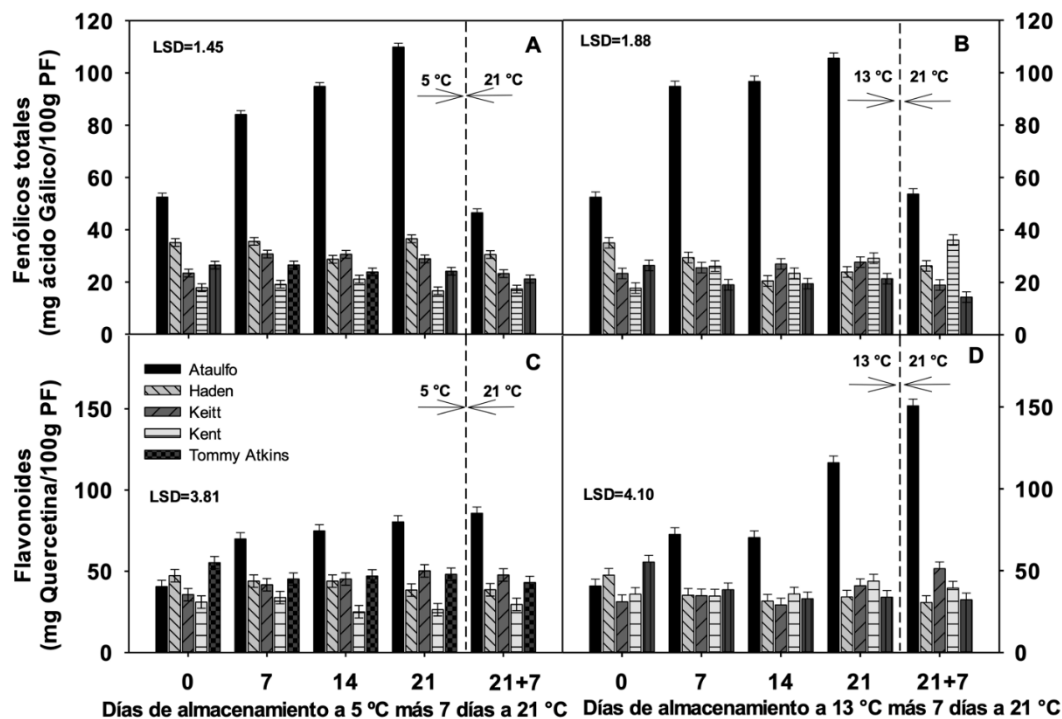
Al día 0, Tommy Atkins presentó el mayor contenido de flavonoides (Figura 3C). Sin embargo, solo Ataulfo mostró un aumento significativo durante el almacenamiento a 5 °C. Los otros cultivares no mostraron cambios significativos en flavonoides totales, excepto Kent, que disminuyó después de 14 días de almacenamiento. Ninguno de los cultivares presentó cambios significativos durante el período de maduración. Durante el almacenamiento a 13 °C, Ataulfo aumentó significativamente la síntesis de flavonoides, alcanzando 116.0 mg de quercetina/100 g FW al día 21, un 30.7 % más que el valor obtenido a 5 °C (Figura 3D). El resto de los cultivares mantuvieron su contenido de flavonoides cercano a 37.0 mg de quercetina/100 g FW. Durante el almacenamiento a 21 °C, Ataulfo aumentó significativamente su contenido de flavonoides, alcanzando un valor promedio 3.93 veces superior al de los otros cultivares.



**Figure 2. Parameters of Lightness (A, B), Hue angle (C, D), Firmness (E, F) and Total soluble solids (G, H) of five mango cultivars (Ataulfo, Haden, Keitt, Kent, and Tommy Atkins) stored at 5 °C and 13 °C plus 7 days at 21 °C.** Data are the mean of nine replicates, vertical bars represent significant differences among treatments ( $p < 0.05$ ) based on the least significant differences by Fisher's test.

Los mecanismos celulares que previenen los síntomas de estrés por frío generalmente mantienen la integridad de membranas y pared celular, sostienen un estado energético más alto y mejoran el sistema antioxidante (Gao *et al.*, 2016), lo que induce la acumulación de compuestos bioactivos. Esto coincide con la mayor acumulación de flavonoides y fenoles totales en Ataulfo durante el almacenamiento a 5 y 13 °C. El aumento de compuestos bioactivos en este cultivar probablemente estabiliza las membranas internas, las paredes celulares y el espacio extracelular, limitando la difusión de radicales libres y reduciendo la susceptibilidad a temperaturas bajas. Los frutos biosintetizan estos compuestos a través de la vía del ácido shikímico

a partir de precursores derivados del metabolismo de carbohidratos, como la glucólisis (Tomás-Barberán & Espín, 2001). Los azúcares se convierten en acetil-CoA y luego en malonil-CoA (vía poliacetato), que, combinado con *p*-cumaril-CoA (vía del ácido shikímico y tirosina) (Hichri *et al.*, 2011) y la enzima clave fenilalanina amonio-liasas (PAL), favorece la síntesis y acumulación de compuestos fenólicos, flavonoides y quinonas (Tomás-Barberán & Espín, 2001). La mayor acumulación de compuestos bioactivos y azúcares solubles en Ataulfo durante la maduración contribuyó a reducir su CII.



**Figura 3. Contenido de fenoles totales (A, B) y flavonoides (C, D) en cinco cultivares de mango (Ataulfo, Haden, Keitt, Kent y Tommy Atkins) almacenados a 5 °C y 13 °C más 7 días a 21 °C.** Los datos representan la media de nueve réplicas y las barras verticales indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0.05$ ), según las diferencias mínimas significativas determinadas por la prueba de Fisher.

Robles-Sánchez *et al.* (2009) encontraron que los fenoles y flavonoides reducen las reacciones de deterioro mediante sus propiedades redox, actuando como donadores de hidrógeno, eliminadores de oxígeno singulete y descomponedores de peróxidos. Nuestros resultados concuerdan con hallazgos previos en aguacate (Sivankalyani *et al.*, 2015) almacenado a temperaturas bajas, donde el fruto aumentó compuestos bioactivos, lo que se asoció con menor susceptibilidad al CI. Sin embargo, otros estudios en cultivares de mango como Wacheng (Zhao *et al.*, 2006), Ataulfo (Robles-Sánchez *et al.*, 2009) y Choke Anan (Kondo *et al.*, 2005) mostraron disminuciones en fenoles totales y oscurecimiento de pulpa, atribuyendo estos cambios a la oxidación de compuestos fenólicos por la actividad de la enzima polifenol oxidasa (Robles-Sánchez *et al.*, 2009). Además, Siddiq *et al.* (2013) y Cantre *et al.*



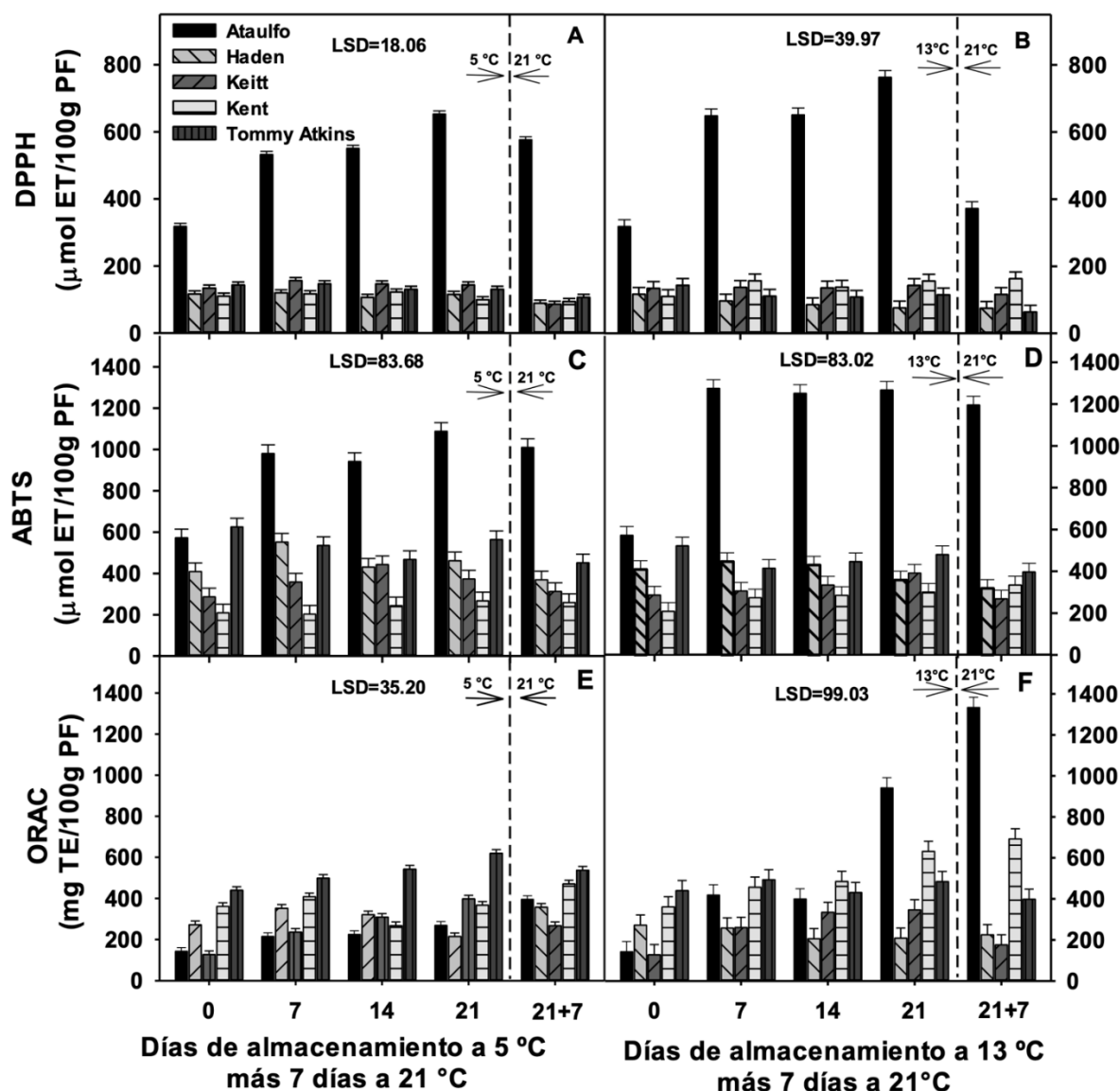
(2014) encontraron que los cultivares Tommy Atkins y Carabao incrementaron el contenido fenólico durante el primer día de almacenamiento a temperatura baja, mejorando su capacidad antioxidante; sin embargo, nuestros resultados muestran que Tommy Atkins disminuyó los fenoles totales. Estos hallazgos sugieren que la síntesis y acumulación de fenoles y flavonoides mejora la tolerancia del tejido del fruto al estrés por frío.

### Capacidad antioxidante

Durante el almacenamiento a 5 °C, Ataulfo presentó la mayor capacidad antioxidante medida mediante el método DPPH, mostrando 6.1 veces más capacidad antioxidante que los demás cultivares al día 21 (Figura 4A). A 21 °C, todos los cultivares disminuyeron su capacidad antioxidante; Ataulfo mantuvo los valores más altos, mientras que los demás cultivares no mostraron diferencias significativas. Ataulfo incrementó su capacidad antioxidante durante el almacenamiento a 13 °C en comparación con 5 °C, alcanzando los valores más altos después de 21 días (Figura 4B). Por otro lado, Haden presentó el valor más bajo, 10 veces inferior al de Ataulfo. Los cultivares restantes no mostraron diferencias significativas en capacidad antioxidante. El almacenamiento a 21 °C redujo la capacidad antioxidante de Ataulfo por un factor de 2.06, mientras que Haden, Keitt y Kent mantuvieron niveles constantes.

En el análisis de ABTS, la capacidad antioxidante varió de 203.3 a 1088.6  $\mu\text{mol TE}/100\text{ g FW}$  durante el almacenamiento a 5 °C (Figura 4C). Ataulfo alcanzó los valores más altos después de 21 días, seguido por Tommy Atkins, Haden, Keitt y Kent. Durante el almacenamiento a 21 °C, Haden y Tommy Atkins exhibieron la mayor actividad, alcanzando un valor 3.31 veces superior al de los otros cultivares (Figura 4D). A 21 °C, los cultivares no mostraron cambios significativos, excepto Keitt, que redujo significativamente su capacidad antioxidante.

Durante el almacenamiento a 5 °C, Tommy Atkins mostró la mayor capacidad antioxidante medida mediante el ensayo ORAC, con valores que oscilaron entre 439.9 y 619.9  $\mu\text{mol TE}/100\text{ g FW}$  (Figura 4E); Haden presentó el valor más bajo. Después de 7 días a 21 °C, Ataulfo, Haden y Kent incrementaron su actividad, y Tommy Atkins mantuvo la mayor capacidad antioxidante. Cuando se almacenaron a 13 °C, todos los cultivares aumentaron su capacidad antioxidante (Figura 4F); Ataulfo alcanzó la mayor actividad al día 21, un valor 2.26 veces superior al de los otros cultivares. De manera similar, Haden presentó el valor más bajo, significativamente diferente ( $p < 0.05$ ) de los demás cultivares. Tras el almacenamiento durante la maduración, Ataulfo aumentó su capacidad antioxidante 1.42 veces en comparación con el punto de almacenamiento previo, mientras que Keitt la redujo significativamente; los demás cultivares no mostraron cambios significativos.



**Figura 4. Capacidad antioxidante medida mediante DPPH (A, B), ABTS (C, D) y ORAC (E, F) en cinco cultivares de mango (Ataulfo, Haden, Keitt, Kent y Tommy Atkins) durante el almacenamiento a 5 °C y 13 °C. Los datos representan la media de nueve réplicas y las barras verticales indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0.05$ ), según las diferencias mínimas significativas determinadas por la prueba de Fisher.**

La capacidad antioxidante mostró diferentes correlaciones con fenoles y flavonoides totales según el cultivar, el tiempo y la temperatura de almacenamiento. La acumulación de fenoles o flavonoides totales parece aumentar la capacidad antioxidante y reducir la susceptibilidad del mango a temperaturas bajas. Robles-Sánchez *et al.* (2009) asociaron la capacidad antioxidante con la acumulación de compuestos fenólicos como ácido gálico, protocatecuico, clorogénico, ferúlico y

cafeico, que presentan un poder reductor alto. Noratto *et al.* (2010) estudiaron diferentes cultivares de mango y encontraron que Ataulfo presentó la mayor capacidad antioxidante (ORAC) con un valor de 327  $\mu\text{mol TE}/100\text{g}$ , inferior a los valores obtenidos en el presente estudio. Atribuyeron esta diferencia al método de extracción, que producía extractos fenólicos carentes de ácido ascórbico, proteínas solubles y azúcares reductores, los cuales pueden aumentar la capacidad antioxidante del fruto.

En este estudio se encontró una fuerte correlación entre la presencia de síntomas de CI y la disminución de la capacidad antioxidante; ambos vinculados a la reducción de fenoles y flavonoides totales. El análisis de Pearson mostró que los fenoles totales se correlacionaron con ABTS en Keitt ( $r = 0.846$ ,  $p < 0.071$ ) y con DPPH en Kent y Tommy Atkins ( $r = 0.894$ ,  $p < 0.041$ ;  $r = 0.989$ ,  $p < 0.001$ ). Los tres métodos se correlacionaron con flavonoides en Ataulfo ( $r = 0.946$ ,  $0.952$ ,  $0.839$ ;  $p < 0.015$ ,  $0.013$ ,  $0.075$ , respectivamente), con ORAC en Keitt ( $r = 0.934$ ,  $p < 0.020$ ) y con ABTS en Tommy Atkins ( $r = 0.852$ ,  $p < 0.067$ ) (Tabla 1). Asimismo, Razzaq *et al.* (2014) describieron una reducción significativa de la capacidad antioxidante durante la maduración del mango, ya que la senescencia y el estrés oxidativo generan un exceso de radicales libres y disminuyen los compuestos antioxidantes. Palafox-Carlos *et al.* (2012) sugirieron que la maduración del fruto aumenta la actividad celular y la respiración, promoviendo la reducción de compuestos bioactivos utilizados para neutralizar los radicales libres generados al final de la cadena de transporte de electrones. Por otro lado, Shivashankara *et al.* (2004) indicaron que la capacidad antioxidante no tenía relación con el contenido total de fenoles, quercetina o  $\beta$ -caroteno en el mango Irwin. La reducción de estos compuestos y de la actividad antioxidante podría aumentar la susceptibilidad al daño por frío.

## Conclusiones

Los cinco cultivares de mango mostraron diferente susceptibilidad al daño por frío (CI), siendo Keitt el más susceptible y Ataulfo el menos. La mayor acumulación de flavonoides y la elevada capacidad antioxidante contribuyeron a la resistencia de Ataulfo al CI. Estos resultados sugieren que los productores pueden almacenar Ataulfo a  $5^{\circ}\text{C}$  para extender su vida útil durante la comercialización. Este cultivar goza de gran aceptación en México y constituye una fuente valiosa de compuestos bioactivos en la dieta.

**Tabla 1. Correlación de Pearson entre compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de cinco cultivares de mango almacenados a 5 °C más 7 días a 21 °C.**

Cultivar	Compuestos	ABTS	DPPH	ORAC
	Bioactivos			
Ataulfo	Fenólicos	0.603	0.555	-0.182
	Flavonoides	0.946**	0.952**	0.839*
Haden	Fenólicos	0.739	0.534	-0.56
	Flavonoides	0.524	0.185	0.111
Keitt	Fenólicos	0.788	0.846*	0.52
	Flavonoides	-0.254	0.455	0.934**
Kent	Fenólicos	0.894**	-0.341	-0.666
	Flavonoides	0.033	-0.758	0.599
Tommy Atkins	Fenólicos	0.989**	0.772	-0.531
	Flavonoides	0.561	0.852*	-0.496

Nota. Los valores  $p$  son presentados con símbolo \*. (sin símbolo) Correlación no-significativa; (\*) correlación significativa con  $p < 0.10$ ; (\*\*) correlación significativa con  $p < 0.05$ .

## Contribuciones de los autores

Conceptualización del trabajo, MOVG, MELL; desarrollo de la metodología, MOVG, LEAR, JGLV; manejo de software, MELL; validación experimental, MELL, MOVG; análisis de resultados, MOVG, LEAR, MELL; manejo de datos, MOVG, LEAR, MELL; escritura y preparación del manuscrito, MOVG, LEAR, MELL; redacción, revisión y edición, MELL, JGLV, GLA, FDV, administrador de proyecto, MELL. Todos los autores de este manuscrito han leído y aceptado la versión publicada del mismo.

## Financiamiento

Esta investigación no recibió financiamiento externo

## Declaraciones éticas

No aplica

## Declaración de consentimiento informado

No aplica

## Agradecimientos

Agradecemos el invaluable apoyo brindado por los laboratorios de Fisiología y Tecnología Poscosecha del Posgrado en Ciencia y Tecnología de Alimentos de la

FCQB-UAS y el laboratorio de Productos Naturales de la FCQB-UAS, cuyo respaldo fue fundamental para la realización de este proyecto de investigación.

## Conflicto de intereses

“Los autores declaran no tener conflicto de interés”

## Referencias

- Abidi, W., Cantín, C. M., Jiménez, S., Giménez, R., Moreno, M. A., & Gogorcena, Y. (2014). Influence of antioxidant compounds, total sugars and genetic background on the chilling injury susceptibility of a non-melting peach (*Prunus persica* (L.) Batsch) progeny. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(2), 351–8. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6727>
- Aghdam, M. S., Sevillano, L., Flores, F. B., & Bodbodak, S. (2013). Heat shock proteins as biochemical markers for postharvest chilling stress in fruits and vegetables. *Scientia Horticulturae*, 160, 54–64. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.05.020>
- AOAC [Association of Official Analytical Chemists]. (2012) Official Methods of Analysis. 16th ed. S William (ed). Published by the Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C. USA. CD-Rom. <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/aoac.methods.1.1990.pdf>
- Cantre, D., Herremans, E., Verboven, P., & Nicolaï, B. M. (2014). Characterization of the 3-D cellular structure of mango (*Mangifera indica* L. cv. Carabao) during chilling injury development using X-ray computed microtomography. *Inside Food Symposium*, 9–12. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.12.008>
- Chagas, M. S. Behrens, M. D. Moragas-Tellis, C. J., Penedo, X. M, Silva, A. R., & Gonçalves-de-Albuquerque, G. F. (2022). Flavonols and Flavones as Potential anti-Inflammatory, Antioxidant, and Antibacterial Compounds. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2022 (1), 9966750 <https://doi.org/10.1155/2022/9966750>
- Dea, S., Brecht, J. K., Nunes, M. C., & Baldwin, E. A. (2010). Occurrence of Chilling Injury in Fresh-Cut 'Kent' Mangoes. *Postharvest Biology and Technology*, 57(1), 61–71. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.02.005>
- Ding, Z. S., Tian, S. P., Zheng, X. L., Zhou, Z. W., & Xu, Y. (2007). Responses of reactive oxygen metabolism and quality in mango fruit to exogenous oxalic acid or salicylic acid under chilling temperature stress. *Physiologia Plantarum*, 130(2), 112–121. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2007.00893.x>
- Gao, H. Zhang, Z., Lv, X., Cheng, N., Peng, B. X., & Cao, W. (2016). Effect of 24-epibrassinolide on chilling injury of peach fruit in relation to phenolic and proline metabolisms. *Postharvest Biology and Technology*, 111, 390–397. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.07.031>
- Ghasemnezhad, M., Marsh, K., Shilton, R., Babalar, M., & Woolf, A. (2008). Effect of hot water treatments on chilling injury and heat damage in "satsuma" mandarins: Antioxidant enzymes and vacuolar ATPase, and pyrophosphatase. *Postharvest Biology and Technology*, 48(3), 364–371. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.09.014>
- Hichri, I., Barrieu, F., Bogs, J., Kappel, C., Delrot, S., & Lauvergeat, V. (2011). Recent advances in the transcriptional regulation of the flavonoid biosynthetic pathway. *Journal of Experimental Botany*, 62(8), 2465–2483. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq442>
- Junmatong, C., Faiyue, B., Rotarayanont, S., Uthaibutra, J., Boonyakiatt D., & Saengnil K. (2015). Cold storage in salicylic acid increases enzymatic and non-enzymatic antioxidants of Nam Dok Mai No. 4 mango fruit, *ScienceAsia*, 41, 12–21. doi: <https://doi.org/10.2306/scienceasia1513-1874.2015.41.012>
- Kananke, M. D., Singh, Z., & Johnson, S. K. (2018). Cold storage temperatures and durations affect the concentrations of lupeol, mangiferin, phenolic acids and other health-promoting compounds in the pulp and peel of ripe mango fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 139, 91-98. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.12.003>



- Kim, Y., Lounds-Singleton, A. J., & Talcott, S. T. (2009). Antioxidant phytochemical and quality changes associated with hot water immersion treatment of mangoes (*Mangifera indica* L.). *Food Chemistry*, 115(3), 989–993. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.01.019>
- Kondo, S., Kittikorn, M., & Kanlayanarat, S. (2005). Preharvest antioxidant activities of tropical fruit and the effect of low temperature storage on antioxidants and jasmonates. *Postharvest Biology and Technology*, 36(3), 309–318. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2005.02.003>
- Lederman, I. E., Zauberman, G., Weksler, A., Ilana, R., & Fuchs, Y. (1997). Ethylene-forming capacity during cold storage and chilling injury development in “Keitt” mango fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 10 (1), 107–112. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(96\)00060-9](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(96)00060-9)
- Li, B., Zhang, C., Cao, B., Qin, G., Wang, W., & Tian, S. (2012). Brassinolide enhances cold stress tolerance of fruit by regulating plasma membrane proteins and lipids. *Amino Acids*, 43(6), 2469–2480. <https://doi.org/10.1007/s00726-012-1327-6>
- López-Angulo, G., Montes-Avila, J., Díaz-Camacho, S. P., Vega-Aviña, R., Ahumada-Santos, Y. P., & Delgado-Vargas, F. (2019). Chemical composition and antioxidant,  $\alpha$ -glucosidase inhibitory and antibacterial activities of three *Echeveria* D C. species from Mexico. *Arabian Journal of Chemistry*, 12(8), 1964–1973. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2014.11.050>
- López-López, M. E., López-Valenzuela, J. A., Delgado-Vargas, F., López-Angulo, G., Carrillo-López, A., Ayón-Reyna, L. E., & Vega-García, M. O. (2018). A treatment combining hot water with calcium lactate improves the chilling injury tolerance of mango fruit. *HortScience*, 53(2), 217–223. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI12575-17>
- Maldonado-Celis, M. E., Yahia, E. M., Bedoya, R., Landázuri, P., Loango, N., Aguillón, J., Restrepo, B., & Guerrero-Ospina, J. C. (2019). Chemical composition of mango (*Mangifera indica* L.) fruit: nutritional and phytochemical compounds. *Frontiers in Plant Science*, 10(1073) <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01073>
- Manthey, J. A., & Perkinsveazie, P. (2009). Levels of  $\beta$ -carotene, ascorbic acid, and total phenols in the pulp of five commercial varieties of mango (*Mangifera indica* L.). *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 122, 303–307. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20183248110#core-collateral-purchase-access>
- Moo-Huchin, V. M., Estrada-Mota, I., Estrada-León, R., Cuevas-Glory, L., Ortiz-Vázquez, E., Vargas y Vargas, M. D., & 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>
- Montalvo, E., García, H. S., Tovar, B., & Mata, M. (2007). Application of exogenous ethylene on postharvest ripening of refrigerated ‘Ataulfo’ mangoes. *LWT - Food Science and Technology*, 40(8), 1466–1472. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.03.014>
- Nair, S., & Singh, Z. (2003). Pre-storage ethrel dip reduces chilling injury , enhances respiration rate , ethylene production and improves fruit quality of “Kensington” mango, *Journal of Food Agriculture and Environment*, 1(2), 93–97. <https://hdl.handle.net/20.500.11937/38466>
- Noratto, G. D., Bertoldi, M. C., Krenek, K., Talcott, S. T., Stringheta, P. C., & Mertens-Talcott, S. U. (2010). Anticarcinogenic effects of polyphenolics from mango (*Mangifera indica*) varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(7), 4104–4112. <https://doi.org/10.1021/jf903161g>
- Palafox-Carlos, H., Yahia, E., Islas-osuna, M. A., Gutierrez-Martinez, P., Robles-Sánchez, M., & González, E.A. (2012). Effect of ripeness stage of mango fruit (*Mangifera indica* L., cv. Ataulfo) on physiological parameters and antioxidant activity. *Scientia Horticulturae*, 135, 7–13.
- Rathod, N. B., Elabed, N., Punia, S., Ozogul, F., Kim, S. K., & Rocha, J. M. (2023). Recent developments in polyphenol applications on human health: A review with current knowledge. *Plants*, 12(16), 1217. <https://doi.org/10.3390/plants12061217>
- Razzaq, K., Khan, A. S., Malik, A. U., Shahid, M., & Ullah, S. (2014). Role of putrescine in regulating fruit softening and antioxidative enzyme systems in “Samar Bahisht Chaunsa” mango. *Postharvest Biology and Technology*, 96, 23–32. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.05.003>

- Robles-Sánchez, R. M., Islas-Osuna, M., Astiazarán-García, H., Vázquez-Ortiz, F., Martín-Belloso, O., Gorinstein, S., & González-Aguilar, G. (2009). Quality index, consumer acceptability, bioactive compounds, and antioxidant activity of fresh-cut "ataulfo" mangoes (*Mangifera indica* L.) as affected by low-temperature storage. *Journal of Food Science*, 74(3), S126-S134. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01104.x>
- Romero-Gomezcaña, N.R., Sánchez-García, P., Rodríguez-Alcázar, J. and Saucedo-Veloz, C. (2006). Aplicación foliar de calcio y su relación con la calidad en frutos de mango cv. Haden. Calcium foliar sprinkling and its relation with fruit quality of mangoes cv. *Haden. Agricultura Técnica en México*, 32(1), 5-15. <https://www.scielo.org.mx/pdf/agritm/v32n1/v32n1a1.pdf>
- Sayyari, M., Castillo, S., Valero, D., Díaz-Mula, H. M. & Serrano, M. (2011). Acetyl salicylic acid alleviates chilling injury and maintains nutritive and bioactive compounds and antioxidant activity during postharvest storage of pomegranates. *Postharvest Biology and Technology*, 60(2), 136–142. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.12.012>
- Shivashankara, K.S., Isobe, S., Al-Haq, M.I., Takenaka, M., & Shiina, T. (2004). Fruit antioxidant activity, ascorbic acid, total phenol, quercetin, and carotene of Irwin mango fruits stored at low temperature after high electric field pretreatment. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(5), 1281–1286. <https://doi.org/10.1021/jf030243i>
- Siddiq, M., Sogi, D. S., & Dolan, K. D. (2013). Antioxidant properties, total phenolics, and quality of fresh-cut "Tommy Atkins" mangoes as affected by different pre-treatments. *Food Science and Technology*, 53(1), 156–162. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.01.017>
- Singh S. P. & Singh Z. (2012). Role of membrane lipid peroxidation, enzymatic and non-enzymatic antioxidative systems in the development of chilling injury in japanese plums. *Journal of American Society for Horticultural Science*, 136(6), 473-481. <https://doi.org/10.21273/JASHS.137.6.473>
- Sivankalyani, V., Feygenberg, O., Maorer, D., Zaaroor, M., Fallik, E., & Alkan, N. (2015). Combined treatments reduce chilling injury and maintain fruit quality in avocado fruit during cold quarantine. *Plos One*, 10(10), 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0140522>
- Tomás-Barberán, F. A. & Espín, J. C. (2001). Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food Agriculture*, 81(9), 853-876. <https://doi.org/10.1002/jsfa.885>
- Zaharah, S. S., & Singh, Z. (2011). Postharvest nitric oxide fumigation alleviates chilling injury, delays fruit ripening and maintains quality in cold-stored 'Kensington Pride' mango. *Postharvest Biology and Technology*, 60(3), 202-210. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.01.011>
- Zhao, Z., Jiang, W., Cao, J., Zhao, Y., & Gu, Y. (2006). Effect of cold-shock treatment on chilling injury in mango (*Mangifera indica* L. cv. "Wacheng") fruit. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(14), 2458–2462. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2640>