

INFLUENCIA EN LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE LOS FENOLES TOTALES, VITAMINA C Y COLOR EN FRUTAS

INFLUENCE OF TOTAL PHENOLICS, VITAMIN C AND COLOR ON FRUITS ANTIOXIDANT CAPACITY

José Carranza-Téllez¹, Daniela Mariel Torres-Hernández², Cristina Sarai Contreras-Martínez², Juan Manuel García-González¹ y José Carranza-Concha*

¹Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ), Unidad Académica de Ciencias Químicas, Programa de Químico en Alimentos, Zacatecas, México. ²UAZ, Unidad Académica de Enfermería, Área de Ciencias de la Salud, Programa Académico de Nutrición, Zacatecas, México.

*Autor de correspondencia (jose.carranza@uaz.edu.mx)

RESUMEN

Las frutas constituyen uno de los pilares en la dieta, su consumo frecuente está asociado a un óptimo estado de salud. Su color es un indicador tanto de la calidad comercial como funcional. Son una excelente fuente de agua, de nutrientes como la vitamina C y de diversos compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes. La capacidad antioxidante, suele estar influenciada por la concentración global de compuestos como la vitamina C, tocoferoles, carotenoides y compuestos fenólicos, algunos de ellos incluso responsables a su vez del pigmento y coloración característica de las frutas. El objetivo de este estudio fue cuantificar el contenido en fenoles totales (método Folin-Ciocalteu) y vitamina C para determinar su influencia en la capacidad antioxidante (métodos ABTS⁺ y DPPH) en cuatro frutas con color (Coordenadas CIE L*a*b*) diferente [guayaba (*Psidium guajava*), fresa (*Fragaria × ananassa*), kiwi (*Actinidia deliciosa*) y papaya (*Carica papaya*)]. El diseño experimental fue completamente al azar de un solo factor, con cuatro niveles y tres repeticiones. Se observaron diferencias estadísticamente significativas en la acidez total, el pH y el contenido de ácido ascórbico, destacando la guayaba por su mayor concentración en este último parámetro (288.4 mg 100 g⁻¹), así como en el contenido fenólico total (199.2 mg de GAE 100 g⁻¹). Se observaron diferencias significativas en la capacidad antioxidante en función del método de análisis. La fresa (81.9 μmol TEAC 100 g⁻¹) destacó por la mayor capacidad antioxidante en el método DPPH. Se observó correlación positiva fuerte ($r = 0.9597$) entre el ácido ascórbico y el contenido fenólico total. La alta concentración de vitamina C en la guayaba no supuso una mayor capacidad antioxidante, lo que apunta a una mayor influencia del contenido fenólico total en esta propiedad.

Palabras clave: Color, fitoquímicos, frutas, vitamina C.

SUMMARY

Fruits are one of the pillars of the diet, their frequent consumption is associated with an optimal state of health. Its color is an indicator of both commercial and functional quality. They are an excellent source of water, nutrients such as vitamins and various bioactive compounds with antioxidant properties. The antioxidant capacity is usually influenced by the overall concentration of compounds such as vitamin C, tocopherols, carotenoids and phenolic compounds, some of them are even responsible in turn for the pigment and characteristic color of fruits. The aim of this study was to quantify the content of total phenols (Folin-Ciocalteu method) and vitamin C to determine their influence on antioxidant capacity (ABTS⁺ and DPPH methods) in four fruits with different color (CIE coordinates L*a*b*) [guava (*Psidium guajava*), strawberry (*Fragaria × ananassa*), kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) and papaya

(*Carica papaya*)]. The experimental design was completely randomized, single-factor, with four levels and three replicates. Statistically significant differences were observed in total acidity, pH and ascorbic acid content, with guava standing out for its higher concentration in the latter parameter (288.4 mg 100 g⁻¹), as well as in total phenolic content (199.2 mg of GAE 100 g⁻¹). Significant differences in the antioxidant capacity were observed depending on the analytical technique. Strawberry (81.9 μmol TEAC 100 g⁻¹) stood out for its increased antioxidant capacity with the DPPH method. Strong positive correlation ($r = 0.9597$) was observed between ascorbic acid and total phenolic content. The high concentration of vitamin C in guava did not lead to a higher antioxidant capacity, which points to a greater influence of the total phenolic content on this property.

Index words: Color, fruits, phytochemicals, vitamin C.

INTRODUCCIÓN

La ingesta de fruta se recomienda como parte de una dieta saludable (Aguilar *et al.*, 2017) debido al gran contenido de nutrientes que poseen, entre ellos la vitamina C, y de otros compuestos como los fitoquímicos. La vitamina C, hidrosoluble, la proporcionan muchas frutas bajo las formas de ácido L-ascórbico y L-dehidroascórbico oxidado. El ácido L-ascórbico se conoce como la principal forma biológicamente activa de vitamina C y es un potente antioxidante debido a su capacidad para atrapar los radicales hidroxilo y superóxido (Almeida *et al.*, 2011). Los fitoquímicos representan una amplia gama de compuestos producidos por las plantas o que se encuentran de forma natural en ellas, poseen propiedades beneficiosas para el organismo, estimulando el sistema inmunitario y modulando la función de otras reacciones metabólicas en el cuerpo; no obstante, pueden llegar a interferir en la absorción de nutrientes en el cuerpo si se consumen en exceso (Sharma *et al.*, 2021). Algunos de ellos, en particular los compuestos fenólicos (ácidos fenólicos, flavonoides, taninos y antocianinas), son capaces de retrasar o prevenir la oxidación de las principales moléculas (ADN, lípidos y proteínas) mediante la eliminación de radicales libres que provocan diversas enfermedades derivadas del

estrés oxidativo, aterosclerosis, cáncer, diabetes, cirrosis, reumatismo, inflamación intestinal y enfermedades coronarias (Farag *et al.*, 2020).

Los colores brillantes de las frutas siempre han atraído a los consumidores como signo de gran calidad. Estos compuestos bioactivos pigmentados gestionan eficazmente nuestra salud (Sharma *et al.*, 2021), tomando mayor importancia cuando se tiene en cuenta su capacidad antioxidante; es decir, la relación entre la capacidad antioxidante de las frutas y su color (Cömert *et al.*, 2020). Por todo lo anterior, en el presente estudio se planteó como objetivo cuantificar el contenido fenólico total y de vitamina C, así como determinar su influencia en la capacidad antioxidante en cuatro especies de frutas de distinto color.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material biológico

Se utilizaron cuatro frutas de colores distintos, fresa Festival (*Fragaria × ananassa* Duch) (1 kg), guayaba China (*Psidium guajava* L.) (1 kg), kiwi Verde Haywarth (*Actinidia deliciosa*) (1kg) y papaya Maradol (*Carica papaya* L.) (tres piezas), conocidas por ser fuente de vitamina C, que estuvieran libres de golpes o signos de descomposición, adquiridas en un supermercado de la ciudad de Zacatecas, México.

Diseño y unidad experimental

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar de un solo factor (tipos de fruta), con cuatro niveles (cuatro especies de frutas empleadas) y tres repeticiones. La unidad experimental fue una porción de 250 g de fruta.

Parámetros fisicoquímicos

Los parámetros fisicoquímicos se determinaron exclusivamente en pulpa en el caso de papaya y kiwi, mientras que para fresa y guayaba se incluyó además la piel. A partir de 250 g de cada fruta (n = 3) se determinó el contenido de humedad por el método AOAC 934.06 (AOAC, 2000), el pH (ph-metro Ohaus, Schwerte, Alemania), así como los grados Brix (°Bx) con un refractómetro (Atago NAR-3T, Tokio, Japón) a 20 °C. La acidez total, mediante titulación con NaOH (0.1 N), la cual se expresó en mg de ácido cítrico (Act) 100 g⁻¹ de fruta fresca (Método AOAC 942.15; AOAC, 2000). El contenido de Vitamina C (mg de ácido ascórbico (AA) se determinó con el método de 2,6 diclorofenol-indofenol.

Determinación del contenido fenólico total (CFT)

Para la cuantificación de los fenoles totales y capacidad antioxidante se llevó a cabo la obtención del extracto de acuerdo con Tomás-Barberán *et al.* (2001). Por separado, se homogeneizaron 20 g de cada fruta (n = 3) con 25 mL de metanol acidificado (20 mL MeOH, 5 mL HCl 6N, 2 mg NaF) con un polykron (T-25, IKA, Staufen, Alemania) durante 10 min, a temperatura ambiente. A continuación, la mezcla se centrifugó (2701 × g, 4 °C) durante 10 min. El sobrenadante (extracto metanólico) se almacenó (24 h) en viales opacos a 4 °C hasta su análisis.

Posteriormente, se empleó la prueba de Folin-Ciocalteu (Li *et al.*, 2006) para su cuantificación. Se tomaron 250 mL del extracto previamente obtenido y se mezclaron con 15 mL de agua desionizada, enseguida se agregaron 1.25 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu (Sigma-Aldrich, St. Louis Missouri, EUA) y se dejó reposar por 5 min, a continuación, se agregaron 3.75 mL de Na₂CO₃ (7.5 %) y se aforó a 25 mL con agua desionizada. Las muestras se incubaron durante 2 h a temperatura ambiente (~ 20 °C) en oscuridad. La absorbancia se midió a 765 nm en un espectrofotómetro UV-Vis (Thermo Scientific 10S, Thermo Fisher Scientific Inc, Waltham, Massachusetts, EUA). Para la cuantificación de los fenoles totales se elaboró una curva patrón de ácido gálico a diferentes concentraciones (50, 100, 200, 300 y 500 ppm) que fueron analizadas bajo el mismo procedimiento que las muestras, empleando la ecuación de la pendiente para la realización de los cálculos correspondientes. Los resultados se expresaron en mg equivalentes de ácido gálico (GAE) 100 g⁻¹.

Determinación de la capacidad antioxidante (CA) por el método ABTS

Para la técnica del radical ABTS^{•+} [ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolin)-6-sulfónico], desarrollada por Re *et al.* (1999) se generó el reactivo ABTS^{•+} 7 mM con persulfato de potasio (K₂S₂O₈) 2.45 mM. La mezcla permaneció en la oscuridad a temperatura ambiente (~ 20 °C) durante 16 h; luego, se diluyó hasta obtener una absorbancia de 0.7 ± 0.1 a 734 nm. Posteriormente, se mezclaron 100 µL de extracto de cada fruta con 900 µL de la solución diluida ABTS^{•+}, y después de una reacción de 2.5 min a 20 °C, se midió la absorbancia a 734 nm en un espectrofotómetro UV-Vis (Thermo Scientific 10S, Thermo Fisher Scientific Inc, Waltham, Massachusetts, EUA). Los resultados se expresaron como µmol de equivalente Trolox (TEAC) 100 g⁻¹.

Capacidad antioxidante por el método DPPH

Se utilizó la metodología propuesta por Brand-Williams

et al. (1995); se mezclaron 100 µL de extracto obtenido previamente con 1 mL de 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH) (3 mg 100 mL⁻¹ en metanol) y se dejó reposar durante 2.5 min; enseguida, se midió la absorbancia a 515 nm en un espectrofotómetro UV-Vis (Thermo Scientific 10S, Thermo Fisher Scientific Inc, Waltham, Massachusetts, EUA). Los resultados fueron expresados en µmol equivalentes de Trolox (TEAC) 100 g⁻¹.

Para la cuantificación de la capacidad antioxidante se elaboró una curva patrón del antioxidante sintético Trolox a diferentes concentraciones (5, 10, 20, 30, 50 y 70 ppm), que fueron analizadas bajo el mismo procedimiento que las muestras en función del método de análisis, empleando la ecuación de la pendiente para realizar los cálculos correspondientes.

Determinación de parámetros de color (Coordenadas CIE L*a*b*)

A partir de las coordenadas CIE L*a*b* se determinó el color con un colorímetro (AMT506, SMI, México) con observador 10° e iluminante D65. Se calculó el croma (C*) y el tono (h*). Las mediciones se realizaron en la capa externa de las frutas (en la pulpa en el caso de la papaya y el kiwi, debido a que sus cáscaras son porciones no comestibles). El intervalo de valores L* (luminosidad) va de 0 (negro) a 100 (blanco), el intervalo a* es negativo para el verde y positivo para el rojo, y los valores b* son negativos para el azul y positivos para el amarillo. Se calculó el croma (C*) (Ec.1) y el matiz o ángulo de tono (H) (Ec. 2) (Wrolstad *et al.*, 2005).

$$\text{Croma} = (a^2 + b^2)^{0.5} \quad \text{Ec. 1}$$

$$H = \arctan b/a \quad \text{Ec. 2}$$

Análisis estadístico

Con los datos obtenidos se calculó el valor medio y desviación estándar. Para determinar diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía, y en caso de ser significativo, se aplicó la prueba de Tukey HSD ($P \leq 0.05$). Se utilizó la correlación de Pearson para establecer la relación entre el ácido ascórbico y el contenido fenólico total con la capacidad antioxidante. Para las pruebas estadísticas se utilizó el software Statgraphics® Centurion XV (Statpoint Technologies Inc., Warrenton, Virginia, EUA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Cuadro 1 muestra los resultados de los parámetros fisicoquímicos de las frutas. En el caso de la humedad, se

encontraron diferencias estadísticamente significativas según el ANOVA ($P \leq 0.05$). Dias *et al.* (2020) reportaron valores similares en kiwi (83.8 %), así como Andarwulan *et al.* (2012) y Udomkun *et al.* (2015) de 88.91 y 85.2 % en papaya respectivamente. El contenido de humedad en los alimentos repercute en factores como la textura, forma, sabor, apariencia y peso, también se relaciona con el etiquetado, la calidad, vida útil de los alimentos y sus subproductos, así como en los procesos de transformación de los alimentos (Oloruntola y Ayodele, 2022).

Con respecto al pH, la fresa tuvo el registro más ácido (3.53), seguido de la guayaba (3.54) y el kiwi (3.55), mientras que la papaya tuvo un valor de 5.87, siendo esta última estadísticamente diferente a las demás. Fajardo-Ortiz *et al.* (2019) reportaron valores más altos de pH (4.2 a 4.68) en seis genotipos colombianos. Liang *et al.* (2021) y Turmanidze *et al.* (2017) presentaron valores similares de pH, 3.13 a 3.61 en 15 cultivares de kiwi y 3.4 a 3.5 en dos variedades de fresa, respectivamente. Udomkun *et al.* (2015) obtuvieron 5.1 de pH en papaya tailandesa.

En cuanto a los °Bx, la guayaba presentó la concentración más alta, aunque estadísticamente igual a lo encontrado en kiwi, mientras que los valores de sólidos solubles más bajos se obtuvieron en las muestras de papaya y fresa. Fajardo-Ortiz *et al.* (2019) reportaron valores menores, de 6.46 a 9.43 °Bx, en seis genotipos de guayaba colombiana. En fresa, Lester *et al.* (2012) presentaron de 8 a 11 °Bx, mientras que Turmanidze *et al.* (2017) presentaron valores de 7.5 a 8.55. Con respecto al kiwi, Liang *et al.* (2021) reportaron valores de 12 a 18.75 en 15 cultivares. Udomkun *et al.* (2015) reportaron 10 °Bx en papaya tailandesa. Los °Bx proporcionan información aproximada sobre el dulzor en las frutas, además de que en algunas de ellas son criterio importante de calidad y utilizados para conocer la madurez. Los cambios en el contenido de °Bx pueden deberse a la temporada, al suelo, a las condiciones climáticas, a la constitución fenotípica y genética de los cultivares, que, en algún momento de su desarrollo pudieron haber necesitado consumir nutrientes provocando reducción en la concentración de carbohidratos en el fruto, obteniendo así frutos más grandes y con mayor valor en °Bx (Kumari *et al.*, 2020).

Acidez total (ACT) y vitamina C

En relación con la acidez total (Cuadro 1) el kiwi destacó por su alto valor seguido por la guayaba, la fresa y la papaya. Wang *et al.* (2022) mostraron valores de 357 mg de ACT 100 g⁻¹ en fresa de origen chino, mientras que Dias *et al.* (2020) reportaron valores de 1560 mg de ACT 100 g⁻¹ en kiwi. Por su parte, Udomkun *et al.* (2015) obtuvieron valores de 100 mg de ácido cítrico 100 g⁻¹ de papaya tailandesa,

mientras que Kumari *et al.* (2020) registraron un intervalo de 420 a 770 g 100 g⁻¹ en cuatro variedades de guayaba, siendo todas estas cifras más altas que las obtenidas en el presente estudio. La acidez de las frutas está directamente relacionada con el crecimiento y desarrollo del fruto, que tiende a alterarse durante el crecimiento y desarrollo (Kumari *et al.*, 2020). A partir de los datos obtenidos en °Bx y de la ACT de las muestras se calculó el índice de madurez, situando a la fresa en 36.4, la guayaba en 62.3, el kiwi en 47.7 y la papaya en 479.4, esta última mostrando una alta madurez. La relación azúcar/ácido en las frutas afecta en gran medida a sus cualidades organolépticas (Liang *et al.*, 2021).

Con respecto al contenido de vitamina C (Cuadro 1), se obtuvieron valores estadísticamente diferentes (Tukey, P ≤ 0.05), siendo la guayaba significativamente mayor a las demás. En papaya, se encontraron discrepancias en este contenido en relación con los resultados de Almeida *et al.* (2011) (8.6 mg de ácido ascórbico 100 g⁻¹) y Andarwulan *et al.* (2012) (117.15 mg de AA 100 g⁻¹), pero parecidos a los de Septiembre-Malaterre *et al.* (2016) (51.5 mg de AA 100 g⁻¹). En kiwi se encontraron coincidencias en los resultados con Liang *et al.* (2021) de 47.2 a 171.6 mg de AA 100 g⁻¹ en 15 cultivares, y valores cercanos a los reportados por Dias *et al.* (2020) de 62 mg de AA 100 g⁻¹; no obstante, Cömert *et al.* (2020), así como Zhang *et al.* (2020) reportaron valores superiores, de 92.7 mg de AA 100 g⁻¹ y un intervalo de 92.7 a 165.2 mg de AA 100 g⁻¹, respectivamente. En cuanto a la fresa, Cömert *et al.* (2020) cuantificaron cantidades similares, 58.8 mg de AA 100 g⁻¹ y Turmanidze *et al.* (2017) de 42.1 a 52.8 mg de AA 100 g⁻¹, mientras que Lester *et al.* (2012) con 114 a 182 mg de AA 100 g⁻¹, Fajardo-Ortíz *et al.* (2019) de 124.63 a 201.61 mg de AA 100 g⁻¹, y Olaya y Restrepo (2012) 277 mg de GAE 100 g⁻¹ reportaron mayores concentraciones.

El contenido de vitamina C, además de ser un indicador del valor nutritivo es, en el caso de las frutas (sobre todo congeladas), un índice fiable para estimar el deterioro de la calidad en cualquier punto de la ruta de comercialización de un producto hasta su destino final, el consumidor

(Aguilar *et al.*, 2017). Su destrucción puede producirse tanto por procesos térmicos o por acción de la enzima ascorbato oxidasa (Turmanidze *et al.*, 2017). En plantas, este contenido cambia en función de la intensidad de la luz, la hora del día, la edad, el tipo de tejido vegetal y compartimento celular (Orsavová *et al.*, 2019); además, otros factores se asocian con la variabilidad del contenido, como el genotipo que lo afecta en un 50 %, la zona geográfica en un 17.1 % y las diferentes condiciones de crecimiento en varios años de cosecha en un 9.3 % (Vagiri *et al.*, 2013).

Determinación del contenido fenólico total (CFT) y capacidad antioxidante (CA)

El Cuadro 2 muestra las concentraciones en compuestos fenólicos de las frutas. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas, destacando la guayaba por su mayor contenido. En guayaba, Olaya y Restrepo (2012) encontraron valores superiores a los del presente trabajo, 248 a 332 mg de GAE 100 g⁻¹. En fresa, los datos obtenidos en el presente estudio fueron menores en comparación con los encontrados por Cömert *et al.* (2020) (332 en mg de GAE 100 g⁻¹), Guevara-Terán *et al.* (2022) (2.56 mg de GAE g⁻¹), Dzhanfezova *et al.* (2020) (190 hasta 540 mg de GAE 100 g⁻¹), Cervantes *et al.* (2020) (190 mg de GAE 100 g⁻¹), Lester *et al.* (2012) (200 a 580 mg de GAE 100 g⁻¹), así como Turmanidze *et al.* (2017) (150 a 160 mg de GAE 100 g⁻¹) en distintas variedades de fresa.

En relación con el kiwi, Cömert *et al.* (2020) reportaron 211 mg de GAE 100 g⁻¹, Liang *et al.* (2021) de 75.4 a 206.1 mg de GAE 100 g⁻¹ en 15 cultivares, mientras que Zhang *et al.* (2020) de 78 a 133.9 mg de GAE 100 g⁻¹ en cinco cultivares de kiwi, siendo todos estos valores más altos en relación con los obtenidos en el presente estudio. Con respecto a papaya, Septiembre-Malaterre *et al.* (2016) reportaron 33.4 y 41.13 mg de GAE 100 g⁻¹ en dos variedades de papaya, Andarwulan *et al.* (2012) obtuvieron valores de 66.75 mg de GAE 100 g⁻¹ en fruta fresca, mientras que Almeida *et al.* (2011) reportaron valores de 53 mg de GAE 100 g⁻¹ en papaya, todos ellos con cifras más altas en comparación

Cuadro 1. % Humedad (% Xw), pH, °Bx, acidez total (mg 100 g⁻¹) y ácido ascórbico (mg 100 g⁻¹).

Fruta	% Xw	pH	°Bx	Acidez total	Ácido ascórbico
Fresa	91.9 ± 0.7 c	3.52 ± 0.02 a	6 ± 0.5 a	163.4 ± 1.40 b	52.65 ± 0.80 a
Guayaba	81.7 ± 0.5 a	3.54 ± 0.02 a	11.76 ± 0.4 c	176.51 ± 2.03 c	288.4 ± 4.4 c
Kiwi	86.3 ± 0.2 b	3.55 ± 0.01 a	11.33 ± 0.06 c	237.5 ± 1.00 d	47.9 ± 0.6 a
Papaya	91.6 ± 0.1 c	5.86 ± 0.02 b	7.2 ± 0.5 b	15.02 ± 0.22 a	62.1 ± 2.6 b

Letras diferentes dentro de una misma columna indican diferencias significativas (Tukey, P ≤ 0.05).

con las de la presente investigación.

La concentración diferente de fenoles en las frutas puede ser debida a factores abióticos y bióticos, incluyendo las condiciones climáticas durante la temporada, la localidad, los métodos de cultivo (Septembre-Malaterre *et al.*, 2016), el grado de maduración, el procesamiento tecnológico, las condiciones de almacenamiento y el genotipo particular. Esta variabilidad de los datos publicados también podría ser causada por los diferentes métodos extractivos y analíticos aplicados (Koraqi *et al.*, 2023; Orsavová *et al.*, 2019). El estrés también es un factor causante del aumento de las concentraciones fenólicas totales en los tejidos de las plantas (Lester *et al.*, 2012); no obstante, el contenido en fenoles totales en las frutas ricas naturalmente en vitamina C y azúcares (fructosa, glucosa y sacarosa), probablemente se subestime cuando se analizan mediante el método Folin-Ciocalteu, debido a las altas concentraciones de estos compuestos biológicos que interfieren, particularmente la vitamina C (Lester *et al.*, 2012). Los frutos inmaduros de bajo contenido en azúcar poseen una alta acidez, asociada con altas concentraciones de ácidos orgánicos, así como un alto contenido fenólico, mientras que los frutos semi-maduros o maduros poseen un alto contenido de SST, que correlaciona con los azúcares (glucosa y fructosa), con impacto en la intensidad del color de la fruta (Fawole y Opara, 2013).

Capacidad antioxidante (CA) por el método ABTS⁺ y DPPH

Se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las muestras, independientemente del método de análisis (Cuadro 2). La mayor capacidad antioxidante se registró en fresa (81.9 μmol de TEAC 100g^{-1}) cuando se aplicó la prueba del DPPH. Almeida *et al.* (2011) encontraron 760 y 224 μmol de TEAC 100g^{-1} en papaya para los métodos ABTS⁺ y DPPH, respectivamente, valores mucho más altos que los encontrados en el presente estudio, mientras que Cervantes *et al.* (2020), utilizando el método ABTS⁺ reportaron 1.3 μmol de TEAC

100g^{-1} en fresa. Olaya y Restrepo (2012) reportaron un intervalo de 1570 a 4857 de μmol de TEAC 100g^{-1} con el método ABTS⁺ y de 593 a 2020 μmol de TEAC 100g^{-1} con el método del DPPH en cuatro variedades de guayaba madura de origen colombiano. Zhang *et al.* (2020) reportaron de 411 a 788 μmol de TEAC 100g^{-1} empleando el método DPPH en cinco cultivares de kiwi. La CA de una fruta está relacionada con los efectos sinérgicos o un efecto antagónico entre sus compuestos fenólicos (Rojas-Ocampo *et al.*, 2021), o bien, al paso de fruto inmaduro a maduro, provocado por la disminución de los compuestos fenólicos totales a cambio de incrementar los carotenoides con altas propiedades antioxidantes (Zhou *et al.*, 2023). En otros estudios han considerado a la vitamina C como el principal responsable de la capacidad antioxidante en fresa (Guevara-Terán *et al.*, 2022). La proporción pulpa/piel de las frutas empleadas podría influir también en los valores de capacidad antioxidante (Cömert *et al.*, 2020).

Correlación

Se determinó la asociación entre el contenido fenólico total, la vitamina C y la capacidad antioxidante a través de la correlación de Pearson (r). Se observó una relación fuerte entre vitamina C y fenoles totales ($r = 0.9597$), ambos conocidos por sus propiedades antioxidantes. Por otro lado, los valores de r mostraron una alta correlación entre la vitamina C y la capacidad antioxidante en ambos métodos, DPPH ($r = 0.8748$) y ABTS⁺ ($r = 0.8542$), mientras que entre el CFT y la capacidad antioxidante hubo una menor correlación, DPPH con $r = 0.7096$ y ABTS⁺ con $r = 0.7653$, con comportamientos distintos, una pendiente ascendente con el método DPPH y descendente con el ABTS⁺. La CA depende tanto de factores estructurales de los compuestos fenólicos (número y posición de los grupos hidroxilo o metoxilo en el anillo fenólico), del tipo de disolvente utilizado en la extracción, de factores intrínsecos (genética y madurez del fruto) o extrínsecos de las plantas (condiciones ambientales y climáticas que incluyen la exposición a diferentes niveles de radiación y viento, temperatura, disponibilidad de agua, composición

Cuadro 2. Contenido en polifenoles totales (CFT) y capacidad antioxidante (ABTS y DPPH) de las frutas analizadas.

Fruta	CFT (mg GAE 100g^{-1})	ABTS (μmol TEAC 100g^{-1})	DPPH (μmol TEAC 100g^{-1})
Fresa	64.03 \pm 1.79 b	34.35 \pm 0.02 c	81.9 \pm 24.2 d
Guayaba	199.21 \pm 4.26 c	32.21 \pm 0.28 a	26.2 \pm 1.4 b
Kiwi	16.81 \pm 0.99 a	34.80 \pm 0.05 d	8.27 \pm 0.35 a
Papaya	14.60 \pm 0.27 a	33.29 \pm 0.11b	14.62 \pm 0.79 c

Letras diferentes dentro de una misma columna indican diferencias significativas (Tukey, $P \leq 0.05$).

del suelo y otros factores agronómicos), que finalmente influyen en la cantidad y tipo de compuesto fenólico (Rojas-Ocampo *et al.*, 2021). Además de los fenoles, otros compuestos como la vitamina C o los carotenoides podrían estar implicados en la capacidad antioxidante (Zhou *et al.*, 2023). En el presente estudio, la gran diferencia en concentración de vitamina C de la guayaba no supuso una mayor capacidad antioxidante con respecto a las otras frutas.

Olaya y Restrepo (2012) observaron una alta correlación entre el contenido de fenoles y los ensayos de CA, DPPH y ABTS⁺, pero una baja correlación con el contenido de vitamina C. También se observó una baja correlación entre el contenido de vitamina C y la capacidad antioxidante de DPPH y ABTS⁺. En otras frutas, también se encontraron relaciones positivas entre el contenido fenólico total y la capacidad antioxidante, ya sea con el método DPPH ($r = 0.961$ y $r = 0.895$) (Fawole y Opara, 2013, y Koraqi *et al.*, 2023, respectivamente) o con el ABTS⁺ ($r = 0.96$) en Rojas-Ocampo *et al.* (2021) y $r = 0.696$ con Zhou *et al.* (2023).

Propiedades de color

Se observaron diferencias significativas entre las muestras en todos los parámetros determinados (Cuadro 3). Se observó una mayor luminosidad en guayaba. En la coordenada a* (negativo para el verde y positivo para el rojo) la fresa y papaya fueron significativamente diferentes a la guayaba y kiwi, estas últimas frutas con valores más inclinados hacia la gama del verde. Con respecto a la coordenada b* (negativo para el azul y positivo para el amarillo) la guayaba mostró el valor más alto, que la ubicaría en la gama del amarillo. Con respecto al croma (intensidad del color, indica cuán puro, intenso o vivo es un color), los valores más altos se obtuvieron en guayaba, papaya y fresa, en ese orden. El ángulo de matiz o tono se deriva de las dos coordenadas, a* y b*, y se determina como $\arctan b^*/a^*$, en la que $0^\circ =$ rojo azulado, $90^\circ =$ amarillo, $180^\circ =$ verde y $270^\circ =$ azul (Wrolstad *et al.*, 2005), representa el color de la parte comestible y descriptiva de frutas, pudiendo ser más indicativo sobre el color que

solamente un atributo, como el L* (Cömert *et al.*, 2020). Para el caso de papaya, que mostró un alto índice de madurez bajo el cálculo de la relación $^\circ Bx/\%$ acidez, Sañudo *et al.* (2008) mencionaron que un ángulo de tono de 37° indica una madurez comestible, valor cercano a lo obtenido en el presente estudio. Durante su vida, las frutas presentan cambios metabólicos que se dividen en tres etapas fisiológicas: crecimiento, maduración y senescencia (García *et al.*, 2011); debido a esto, los valores de las coordenadas CIE L*a*b* podrían variar dependiendo de la fruta e incluso entre variedades de éstas, ya que están expuestas tanto a diversas condiciones ambientales, formas de conservación o almacenamiento. Cualquiera de las características sensoriales puede ser un factor determinante en la compra o rechazo del consumidor; no obstante, en la mayoría de los casos, las personas establecen el primer contacto sensorial con los alimentos de forma visual, siendo la apariencia un factor importante en la selección de alimentos (Ammann *et al.*, 2020).

Los diferentes pigmentos presentes en las frutas generan una amplia gama de colores que están relacionados con la presencia de compuestos como los carotenoides (colores naranja y amarillo) como el caso de la papaya (Zhou *et al.*, 2023); las antocianinas (colores azul, rojo, blanco/marrón/crema) en el caso de la fresa (Guevara-Terán *et al.*, 2022), las clorofilas (tonos verdes), entre otros. Cada color lleva pigmentos específicos con propiedades de prevención y gestión de enfermedades por su consumo regular, íntimamente relacionadas con sus propiedades antioxidantes. Cömert *et al.* (2020) encontraron que frutas con valores de tono entre 20° y 180° , que indican colores naranja, amarillo y verde, tienen una capacidad antioxidante menor que aquellas con valores de tonalidad superiores a 180° , que tienen una elevada capacidad antioxidante. Los colores de las frutas describen en gran medida su riqueza en uno o varios antioxidantes, en comparación con aquellas de color más apagado (Sharma *et al.*, 2021). Frutas ricas en antocianinas tienen mayor capacidad antioxidante que las de color amarillo o verde. Por otro lado, frutas de color naranja y amarillo, ricas en ácido ascórbico, poseen más capacidad antioxidante que

Cuadro 3. Coordenadas CIE L*a*b*, croma y tono (h*) de las diferentes frutas analizadas.

Fruta	L*	a*	b*	Croma	Tono (h*)
Fresa	15.7 (4.1) a	23 (5) b	14.5 (3.3) a	27.2 (6.1) b	32.2° (2.9) a
Guayaba	53.5 (5.3) c	1.1 (6.2) a	30.8 (4.6) c	31.4 (4.7) b	88.2° (11.2) b
Kiwi	32.1 (2.6) b	-1.8 (3.2) a	18.0 (1.5) ab	18.3 (1.5) a	95.5° (10.1) b
Papaya	35.3 (2.4) b	22.3 (4.5) b	20.3 (1.9) b	30.3 (4.2) b	42.6° (3.1) a

Letras diferentes dentro de una misma columna indican diferencias significativas (Tukey, $P \leq 0.05$).

las ricas en clorofila y carotenoides (Cömert *et al.*, 2020).

CONCLUSIONES

En la composición fisicoquímica y fitoquímica de las frutas influyen factores ambientales, prácticas agrícolas, la variedad, estado de madurez, manejo postcosecha, etc. El contenido en ácido ascórbico y fenoles totales resultó significativamente mayor en la guayaba; sin embargo, la presencia de las antocianinas influyó en la mayor capacidad antioxidante (DPPH) de la fresa. Las diferencias en las características fisicoquímicas, vitamina C, contenido fenólico y capacidad antioxidante de estas frutas, resaltan la importancia de diversificar su consumo, optando por elegir pigmentos o coloraciones distintas, que permitan adquirir la mayoría de las vitaminas y una mayor gama de compuestos bioactivos con distinta capacidad antioxidante.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar K., A. Garvín, A. Ibarz and P. E. D. Augusto (2017) Ascorbic acid stability in fruit juices during thermosonication. *Ultrasonics Sonochemistry* 37:375-381, <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.01.029>
- Almeida M. M. B., P. H. M. de Sousa, Â. M. C. Arriaga, G. M. do Prado, C. E. C. Magalhães, G. A. Maia and T. L. G. de Lemos (2011) Bioactive compounds and antioxidant activity of fresh exotic fruits from Northeastern Brazil. *Food Research International* 44:2155-2159, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.03.051>
- Ammann J., M. Stucki and M. Siegrist (2020) True colours: advantages and challenges of virtual reality in a sensory science experiment on the influence of colour on flavour identification. *Food Quality and Preference* 86:103998, <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2020.103998>
- Andarwulan N., D. Kurniasih, R. A. Apriady, H. Rahmat, A. V. Roto and B. W. Bolling (2012) Polyphenols, carotenoids, and ascorbic acid in underutilized medicinal vegetables. *Journal of Functional Foods* 4:339-347, <https://doi.org/10.1016/j.jff.2012.01.003>
- AOAC, Association of Official Analytical Chemists (2000) Official Methods of Analysis of AOAC international. 17th edition. Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, Maryland, USA. 2200 p.
- Brand-Williams W., M. E. Cuvelier and C. Berset (1995) Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology* 28:25-30, [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Cervantes L., E. Martínez-Ferri, C. Soria and M. T. Ariza (2020) Bioavailability of phenolic compounds in strawberry, raspberry and blueberry: insights for breeding programs. *Food Bioscience* 37:100680, <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100680>
- Cömert E. D., B. A. Mogol and V. Gökmen (2020) Relationship between color and antioxidant capacity of fruits and vegetables. *Current Research in Food Science* 2:1-10, <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2019.11.001>
- Dias M., C. Caleja, C. Pereira, R. C. Calhela, M. Kostic, M. Sokovic, ... and I. C. F. R. Ferreira (2020) Chemical composition and bioactive properties of byproducts from two different kiwi varieties. *Food Research International* 127:108753, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108753>
- Dzhanfezova T., G. Barba-Espín, R. Müller, B. Joernsgaard, J. N. Hegelund, B. Madsen, ... and T. B. Toldam-Andersen (2020) Anthocyanin profile, antioxidant activity and total phenolic content of a strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch) genetic resource collection. *Food Bioscience* 36:100620, <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100620>
- Fajardo-Ortiz A. G., J. P. Legaria-Solano, J. E. Granados-Moreno, J. Martínez-Solís y Á. Celis-Forero (2019) Caracterización morfológica y bioquímica de tipos de guayaba (*Psidium guajava* L.) colectados en Sumapaz, Colombia. *Revista Fitotecnia Mexicana* 42:289-299, <https://doi.org/10.35196/rfm.2019.3.289-299>
- Farag R. S., M. S. Abdel-Latif, H. H. A. El Baky and L. S. Tawfeek (2020) Phytochemical screening and antioxidant activity of some medicinal plants' crude juices. *Biotechnology Reports* 28:e00536, <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00536>
- Fawole O. A. and U. L. Opara (2013) Effects of maturity status on biochemical content, polyphenol composition and antioxidant capacity of pomegranate fruit arils (cv. 'Bhagwa'). *South African Journal of Botany* 85:23-31, <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2012.11.010>
- García T. Y., A. García P., A. Hernández G. y J. Pérez P. (2011) Estudio de la variación del índice de color durante la conservación de la piña variedad Cayena Lisa a temperatura ambiente. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 20:12-16.
- Guevara-Terán M., A. M. Gonzalez-Paramás, A. Beltrán-Noboa, F. Giampieri, M. Battino, E. Tejera and J. M. Alvarez-Suarez (2022) Influence of altitude on the physicochemical composition and antioxidant capacity of strawberry: a preliminary systematic review and meta-analysis. *Phytochemistry Reviews* 22:1567-1584, <https://doi.org/10.1007/s11101-022-09834-z>
- Koraqi H., A. T. Petkoska, W. Khalid, A. Sehrish, S. Ambreen and J. M. Lorenzo (2023) Optimization of the extraction conditions of antioxidant phenolic compounds from strawberry fruits (*Fragaria × ananassa* Duch.) using response surface methodology. *Food Analytical Methods* 16:1030-1042, <https://doi.org/10.1007/s12161-023-02469-6>
- Kumari P., A. Mankar, K. Karuna, F. Homa, K. Meiramkulova and M. W. Siddiqui (2020) Mineral composition, pigments, and postharvest quality of guava cultivars commercially grown in India. *Journal of Agriculture and Food Research* 2:100061, <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2020.100061>
- Lester G. E., K. S. Lewers, M. B. Medina and R. A. Saftner (2012) Comparative analysis of strawberry total phenolics via Fast Blue BB vs. Folin-Ciocalteu: assay interference by ascorbic acid. *Journal of Food Composition and Analysis* 27:102-107, <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2012.05.003>
- Li B. B., B. Smith and M. M. Hossain (2006) Extraction of phenolics from citrus peels: II. Enzyme-assisted extraction method. *Separation and Purification Technology* 48:189-196, <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2005.07.019>
- Liang J., Y. Ren, Y. Wang, M. Han, T. Yue, Z. Wang and Z. Gao (2021) Physicochemical, nutritional, and bioactive properties of pulp and peel from 15 kiwifruit cultivars. *Food Bioscience* 42:101157, <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101157>
- Olaya Z. J. A. y L. P. Restrepo S. (2012) Estudio del contenido de fenoles y actividad antioxidante de guayaba en diferentes estados de madurez. *Acta Biológica Colombiana* 17:611-624.
- Oloruntola O. D. and S. O. Ayodele (2022) Phytochemical, proximate and mineral composition, antioxidant and antidiabetic properties evaluation and comparison of mistletoe leaves from moringa and kolanut trees. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology* 10:1524-1531, <https://doi.org/10.24925/turjaf.v10i8.1524-1531.5134>
- Orsavová J., I. Hlaváčová, J. Mlček, L. Snopek and L. Mišurcová (2019) Contribution of phenolic compounds, ascorbic acid and vitamin E to antioxidant activity of currant (*Ribes* L.) and gooseberry (*Ribes uva-crispa* L.) fruits. *Food Chemistry* 284:323-333, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.072>
- Re R., N. Pellegrini, A. Proteggente, A. Pannala, M. Yang and C. Rice-Evans (1999) Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine* 26:1231-1237, [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Rojas-Ocampo E., L. Torrejon-Valqui, L. D. Muñóz-Astecker, M. Medina-Mendoza, D. Mori-Mestanza and E. M. Castro-Alayo (2021) Antioxidant capacity, total phenolic content and phenolic compounds of pulp and bagasse of four Peruvian berries. *Heliyon* 7:e07787, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07787>
- Sañudo B. J. A., J. Siller C., T. Osuna E., D. Muiy R., G. López Á. y J. Labavitch

- (2008) Control de la maduración en frutos de papaya (*Carica papaya* L.) con 1-metilciclopropeno y ácido 2-cloroetil fosfónico. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31:141-147, <https://doi.org/10.35196/rfm.2008.2.141>
- Septembre-Malaterre A., G. Stanislas, E. Douraguia and M.-P. Gonthier (2016) Evaluation of nutritional and antioxidant properties of the tropical fruits banana, litchi, mango, papaya, passion fruit and pineapple cultivated in Réunion French Island. *Food Chemistry* 212:225-233, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.147>
- Sharma S., V. Katoch, S. Kumar and S. Chatterjee (2021) Functional relationship of vegetable colors and bioactive compounds: implications in human health. *The Journal of Nutritional Biochemistry* 92:108615, <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2021.108615>
- Tomás-Barberán F. A., M. I. Gil, P. Cremin, A. L. Waterhouse, B. Hess-Pierce and A. A. Kader (2001) HPLC-DAD-ESIMS analysis of phenolic compounds in nectarines, peaches, and plums. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49:4748-4760, <https://doi.org/10.1021/jf0104681>
- Turmanidze T., M. Jgenti, L. Gulua and V. Shaiashvili (2017) Effect of ascorbic acid treatment on some quality parameters of frozen strawberry and raspberry fruits. *Annals of Agrarian Science* 15:370-374, <https://doi.org/10.1016/j.aasci.2017.02.017>
- Udomkun P., M. Nagle, B. Mahayothee, D. Nohr, A. Koza and J. Müller (2015) Influence of air drying properties on non-enzymatic browning, major bio-active compounds and antioxidant capacity of osmotically pretreated papaya. *LWT - Food Science and Technology* 60:914-922, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.10.036>
- Vagiri M., A. Ekholm, E. Öberg, S. C. Andersson and K. Rumpunen (2013) Phenol and ascorbic acid in black currants (*Ribes nigrum* L.): variation due to genotype, location, and year. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 61:9298-9306, <https://doi.org/10.1021/jf402891s>
- Wang C., L. Zhang, Y. Qiao, L. Liao, D. Shi, J. Wang and L. Shi (2022) Effects of ultrasound and ultra-high pressure pretreatments on volatile and taste compounds of vacuum-freeze dried strawberry slice. *LWT - Food Science and Technology* 160:113232, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113232>
- Wrolstad R. E., R. W. Durst and J. Lee (2005) Tracking color and pigment changes in anthocyanin products. *Trends in Food Science & Technology* 16:423-428, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.03.019>
- Zhang H., Q. Zhao, T. Lan, T. Geng, C. Gao, Q. Yuan, ... and T. Ma (2020) Comparative analysis of physicochemical characteristics, nutritional and functional components and antioxidant capacity of fifteen kiwifruit (*Actinidia*) cultivars—Comparative analysis of fifteen kiwifruit (*Actinidia*) cultivars. *Foods* 9:1267, <https://doi.org/10.3390/foods9091267>
- Zhou Y., Y. Cao, J. Li, O. T. Agar, C. Barrow, F. Dunshea and H. A. R. Suleria (2023) Screening and characterization of phenolic compounds by LC-ESI-QTOF-MS/MS and their antioxidant potentials in papaya fruit and their by-products activities. *Food Bioscience* 52:102480, <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102480>