



## Composición nutricional, contenido de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante hidrofílica de frutas costarricenses seleccionadas<sup>1</sup>

### Nutritional composition, content of bioactive compounds, and hydrophilic antioxidant capacity of selected Costa Rican fruits

María Laura Montero<sup>2</sup>, Carolina Rojas-Garbanzo<sup>2</sup><sup>1</sup>, Jessie Usaga<sup>2</sup>, Ana M. Pérez<sup>2</sup>

- <sup>1</sup> Recepción: 15 de marzo, 2021. Aceptación: 29 de septiembre, 2021. Este trabajo de investigación fue financiado por el Proyecto PAVUC de la Unión Europea, INCO no. 015279, el Consejo Nacional de Rectores (CONARE) y la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica a través de los proyectos número 735-A2-502, 735-A9-125 y 735-B9-036. Trabajo dedicado a la memoria de Carolina Rojas-Garbanzo.
- <sup>2</sup> Universidad de Costa Rica (UCR), Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA), Apartado postal 11501-2060 San José, Costa Rica. marialaura.montero@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0003-4318-9045>); <https://orcid.org/0000-0001-9238-4037>; jessie.usaga@ucr.ac.cr (autora para la correspondencia, <https://orcid.org/0000-0001-9445-2144>); ana.perez@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0003-0940-9796>).

## Resumen

**Introducción.** El consumo de frutas y vegetales correlaciona inversamente con la incidencia de enfermedades degenerativas como diabetes, enfermedades cardiovasculares, ciertos tipos de cáncer y cataratas asociadas al envejecimiento, dada la acción de compuestos bioactivos como vitamina C, polifenoles y carotenoides. **Objetivo.** Evaluar el perfil nutricional de once frutas cultivadas en Costa Rica. **Materiales y métodos.** Este estudio se realizó en el Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad de Costa Rica, en el 2010. Se determinó el contenido de fibra dietética, polifenoles totales, reportados como equivalentes de ácido gálico (EAG), carotenoides totales expresados como  $\mu\text{g}$   $\beta$ -caroteno y la capacidad hidrofílica de absorción de radicales de oxígeno (H-ORAC<sub>FL</sub>) de once frutas tradicionales o subutilizadas: banano (*Musa* AAA subgrupo Cavendish cv. 'Grand Naine'), mora tropical de altura (*Rubus adenotrichos* cv. 'vino con espinas rojas'), melón (*Cucumis melo* cv. 'Veracruz'), higo (*Ficus carica* cv. 'Brown-Turkey'), mango (*Mangifera indica* cv. 'Tommy Atkins'), papaya (*Carica papaya* híbrido 'Pococi'), pejibaye (*Bactris gasipaes* H.B.K), piña (*Ananas comosus* cv. híbrido MD-2 'Gold'), membrillo (*Cydonia oblonga*), jocote (*Spondias purpurea* cv. Tronador) y tomate de árbol rojo (*Solanum betaceum*). Las frutas fueron recolectadas en localidades de San José, Cartago, Alajuela, Guanacaste y Limón. **Resultados.** Seis de las frutas estudiadas presentaron contenidos de fibra dietética entre 4,2 y 6,6 g 100 g<sup>-1</sup>. La mora tropical de altura presentó el mayor contenido de compuestos fenólicos totales (538  $\pm$  97 mg EAG 100 g<sup>-1</sup>) y la mayor actividad antioxidante (62,1  $\pm$  4,0  $\mu\text{mol}$  equivalentes de Trolox g<sup>-1</sup>), y el pejibaye cocido presentó el mayor contenido de carotenoides (72  $\pm$  4  $\mu\text{g}$   $\beta$ -caroteno g<sup>-1</sup>). **Conclusión.** Se evidencia los altos contenidos de compuestos bioactivos en frutas comúnmente cultivadas en Costa Rica, características nutricionales asociadas a beneficios para la salud, respaldados por estudios clínicos y epidemiológicos.

**Palabras clave:** composición proximal, carotenoides, fibra dietética, polifenoles, antioxidantes.



## Abstract

**Introduction.** The consumption of fruits and vegetables inversely correlates with the incidence of degenerative diseases such as diabetes, cardiovascular diseases, certain types of cancer, and cataracts associated with aging, due to the action of bioactive compounds including vitamin C, polyphenols, and carotenoids. **Objective.** To evaluate the nutritional profile of eleven fruits grown in Costa Rica. **Materials and methods.** This study was carried out at the National Center for Food Science and Technology of the Universidad de Costa Rica, in 2010. The content of total dietary fiber, total polyphenols, reported as gallic acid equivalents (GAE), total carotenoids expressed as  $\mu\text{g}$   $\beta$ -carotene, and the hydrophilic capacity for oxygen radical absorbance (H-ORAC<sub>FL</sub>) of eleven traditional or underutilized fruits were determined: banana (*Musa* AAA subgroup Cavendish cv. 'Grand Naine'), high altitude tropical blackberry (*Rubus adenotrichos* cv. 'wine with red thorns'), melon (*Cucumis melo* cv. 'Veracruz'), fig (*Ficus carica* cv. 'Brown-Turkey'), mango (*Mangifera indica* cv. 'Tommy Atkins'), papaya (*Carica papaya* hybrid 'Pococi'), pejibaye (*Bactris gasipaes* HBK), pineapple (*Ananas comosus* cv hybrid MD-2 'Gold'), quince (*Cydonia oblonga*), jocote (*Spondias purpurea* cv. Tronador), and red tree tomato (*Solanum betaceum*). The fruits were collected in different locations in San Jose, Cartago, Alajuela, Guanacaste and Limon. **Results.** Six of the fruits studied presented dietary fiber contents between 4.2 and 6.6 g 100 g<sup>-1</sup>. The highland tropical blackberry presented the highest content of total phenolic compounds (538  $\pm$  97 mg GAE 100 g<sup>-1</sup>) and the highest antioxidant activity (62.1  $\pm$  4.0  $\mu\text{mol}$  Trolox equivalents g<sup>-1</sup>) and the cooked pejibaye presented the highest content of carotenoids (72  $\pm$  4  $\mu\text{g}$   $\beta$ -caroteno g<sup>-1</sup>). **Conclusion.** The values of dietary fiber and bioactive compounds in the eleven fruits grown in Costa Rica represent valuable nutritional characteristics given the associated health benefits supported by clinical and epidemiological studies.

**Keywords:** proximal composition, carotenoids, dietary fiber, polyphenols, antioxidants.

## Introducción

Debido al reconocimiento del valor nutricional de las frutas tropicales, su consumo ha aumentado tanto en mercados locales como internacionales. Las frutas juegan papeles importantes tanto a nivel nutricional, a través de su consumo, como a nivel económico, por la comercialización de productos derivados (Moo-Huchin et al., 2014).

La composición nutricional de frutas tropicales ha despertado particular interés en la comunidad científica. La caracterización fisicoquímica de frutas y la cuantificación de sus componentes bioactivos es información esencial para entender el valor nutricional de estos alimentos y generar valor agregado de los productos derivados. Dentro de los compuestos con propiedades funcionales presentes en frutas y vegetales, las sustancias con actividad antioxidante han recibido una atención importante, debido a su efecto protector en el cuerpo humano ante el estrés oxidativo y de prevención de algunas enfermedades crónicas degenerativas (de Souza et al., 2012).

Distintos estudios clínicos y epidemiológicos han evidenciado múltiples beneficios a la salud asociados al consumo de frutas y vegetales, además de la reducción del riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares, diabetes, degeneración macular, cataratas relacionadas con la edad y algunos tipos de cáncer (Afam et al., 2021; Mallawaarachchi et al., 2021; Swallah et al., 2020). Estos beneficios están ligados con algunos nutrientes como fibra dietética y sustancias bioactivas, además de las vitaminas A, B, C, y E, polifenoles como flavonoides, tocoferoles, tocotrienoles, alcaloides, saponinas, terpenoides, fitoesteroles, compuestos organosulfurados, lactonas sesquiterpénicas, carotenoides, tiocianato y selenio (Ganesan et al., 2018). Los compuestos bioactivos en frutas y vegetales han despertado, en consecuencia, un interés particular, debido a sus potenciales efectos beneficiosos en la salud humana (Moo-Huchin et al., 2014; Swallah et al., 2020).

Los compuestos bioactivos pueden reducir o prevenir la oxidación de moléculas orgánicas mediante la disminución de reacciones químicas que involucran oxígeno. Algunos de estos compuestos tienen además la

capacidad de neutralizar la acción oxidativa mediante el barrido de especies reactivas de oxígeno (ROS, por sus siglas en inglés) y especies reactivas de nitrógeno (NOS, por sus siglas en inglés), o previenen la generación de ambas especies (Nimse & Pal, 2015).

La fibra dietética juega un rol importante en la salud humana. Investigaciones previas han revelado el efecto bioprotector asociado con la ingesta de este componente al reducir la incidencia de constipación, diverticulosis, obesidad, enfermedades cardiovasculares, diabetes mellitus y cáncer de colon (Dai & Chau, 2017; Mei et al., 2010). El aumento en el consumo de fibra beneficia una serie de procesos gastrointestinales y fisiológicos, como por ejemplo, aumento en el tamaño y el peso de las heces, la estimulación de la fermentación colónica, la reducción del nivel de glucosa en sangre post-prandial y la reducción de los niveles de colesterol pre-prandial (Elleuch et al., 2011).

Respecto a los polifenoles, numerosos estudios han demostrado la importancia de estos compuestos, como por ejemplo el resveratrol y el galato de epigallocatequina (EGCG, por sus siglas en inglés), los cuales promueven la salud cardiovascular y juegan un rol importante, dado los efectos positivos sobre el retardo del envejecimiento celular (Khurana et al., 2013). En el caso de los carotenoides, estos compuestos también han ganado atención por su actividad provitamina A. Estos se transforman en vitamina A, la cual previene enfermedades oculares, como por ejemplo, ceguera nocturna, susceptibilidad a infecciones, piel áspera y escamosa y retardo en el desarrollo de huesos y dientes (Fernández-García et al., 2012; Rojas-Garbanzo et al., 2017).

El contenido de carotenoides en las frutas es relevante, debido a que estos compuestos no solo presentan actividad antioxidante sino que además están involucrados en la biosíntesis de provitamina A (Rodríguez-Amaya, 1996). Los carotenoides presentes en pejibaye cocinado son en su mayoría *trans*- $\beta$ -carotenos (Rojas-Garbanzo et al., 2011), los cuales contribuyen al valor de provitamina A, es decir, que poseen una bioactividad relativa del 100 % (Rodríguez-Amaya, 1996). El contenido de carotenoides observados en el pejibaye cocinado representa casi el 50 % de la ingesta diaria recomendada para este componente según la Administración de Medicamentos y Alimentos de los Estados Unidos (FDA, por sus siglas en inglés) (Food and Drug Administration, 2013). El consumo de esta fruta, por tanto, puede ser muy beneficioso para la prevención de las enfermedades ligadas a las deficiencias de vitamina A.

Debido a los efectos positivos de los compuestos bioactivos en la salud humana antes mencionados, ha aumentado el interés de los consumidores por la ingesta de una mayor cantidad de frutas y verduras. Las elecciones de consumo de fruta de los consumidores ya no se basan de forma exclusiva en el gusto y la preferencia personal, sino que se fundamentan en la búsqueda de un estilo de vida más saludable (de Souza et al., 2012). Las empresas de alimentos y bebidas han respondido a esta tendencia al incorporar antioxidantes naturales y fibra en sus productos (Seeram et al., 2008).

Los antioxidantes naturales también son de interés en las industrias cosméticas, farmacéutica y alimentaria, ya que pueden utilizarse como sustitutos de antioxidantes sintéticos (Almeida et al., 2011) y proporcionan protección frente a la degradación oxidativa producto de radicales libres. No obstante, a pesar de esta tendencia, de los beneficios potenciales identificados y de la disponibilidad de numerosas frutas comestibles en regiones tropicales, su consumo aún es limitado. Los bajos niveles de producción, la falta de inversión o el poco conocimiento de los sistemas de producción o conservación, se relacionan con el uso limitado de algunas frutas tropicales para el consumo directo o bien la producción de alimentos industrializados (Leterme et al., 2006).

Existen una serie de parámetros que se utilizan como control de calidad previo a la comercialización de frutas y derivados y están relacionados con su composición nutricional. El contenido total de sólidos solubles es un parámetro de control de calidad que resulta importante, pues define en gran medida la aceptación por parte de los consumidores (de Souza et al., 2012). En el caso del mango, por ejemplo, la literatura indica que el contenido de sólidos solubles, que incluye sacarosa, glucosa y fructosa, es un atributo de calidad utilizado para evaluar el dulzor de la fruta (Delwiche et al., 2008).

Los contenidos de humedad, carbohidratos, proteína, grasa y ceniza, no se utilizan como parámetros para el control rutinario de la calidad de las frutas, pero el valor nutricional de un alimento depende en parte de estos componentes. El contenido de humedad de una fruta, por ejemplo, representa una medida indirecta para estimar algunas de sus propiedades beneficiosas como el potencial de hidratación durante el consumo. El agua juega un papel importante en diferentes procesos biológicos como la regulación de la temperatura corporal, la digestión de los alimentos y la eliminación de productos de desecho. Es por esto que el consumo de alimentos, incluidas las frutas, con alto contenido de humedad, puede contribuir en el desarrollo de estos procesos biológicos, además de ayudar a una rápida recuperación ante la deshidratación (Clerici & Carvalho-Silva, 2011).

Por su parte, la evaluación de la importancia nutricional y los beneficios para la salud de diferentes oligoelementos, no puede basarse en las concentraciones determinadas en una matriz alimentaria, dado que es importante tomar en consideración posibles efectos aditivos y sinérgicos de estos componentes con otros compuestos bioactivos presentes en los alimentos (Vaillant, 2020).

El contenido de carbohidratos a su vez, varía con base en el grado de maduración de la fruta, conforme la maduración avanza, el contenido de almidón disminuye, mientras que la concentración de glucosa y fructosa aumenta, lo que causa un incremento en el dulzor de la fruta. Los carbohidratos digeribles como almidón, glucosa y fructosa, son considerados fuentes primarias para la obtención de energía; sin embargo, es importante controlar las dosis diarias recomendadas para cada fruta, puesto que un consumo excesivo de estos macronutrientes podría desencadenar o complicar el manejo de enfermedades como la diabetes (Clerici & Carvalho-Silva, 2011). Las frutas no son consideradas como una buena fuente de proteína en la dieta.

Novedosas iniciativas agroforestales buscan reducir los niveles de pobreza, rehabilitar el ambiente y mejorar el bienestar de las personas, mediante la integración y el uso de cultivos autóctonos y subutilizados en los sistemas industriales. Esta integración tiene como objetivo satisfacer las necesidades de la población en materia de seguridad alimentaria y nutricional; sin embargo, este enfoque exige un mejor conocimiento de la calidad nutricional de estos alimentos. Las frutas tropicales subutilizadas representan una oportunidad para que los productores locales obtengan acceso a mercados más sofisticados. Los consumidores valoran el origen tropical de estos productos y la presencia de compuestos bioactivos capaces de prevenir algunas enfermedades (Moo-Huchin et al., 2014).

Costa Rica es un país reconocido a nivel mundial por ser un importante productor de piña y banano (Food and Agriculture Organization, 2014), pero como país tropical, en su territorio se cultivan muchas otras frutas. Aunque algunas de estas frutas son subutilizadas, presentan un interés potencial para los consumidores de frutas frescas y las industrias procesadoras de alimentos. No obstante, la información específica relacionada con el contenido de compuestos bioactivos en algunas frutas cultivadas en Costa Rica y su capacidad antioxidante aún es limitada. Dado que las frutas pueden ser una fuente importante de nutrientes y compuestos bioactivos en la dieta, el objetivo planteado del presente estudio fue evaluar el valor nutricional de once frutas tropicales cultivadas en Costa Rica.

## Materiales y métodos

### Muestras de alimentos

La presente investigación se realizó en el laboratorio de química del Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA) de la Universidad de Costa Rica durante el año 2010. Se cosecharon de forma aleatoria tres lotes independientes (con diferentes fechas de cultivo a lo largo del año 2010) de frutas cultivadas en Costa Rica, según el grado de madurez sugerido para su consumo: banano (*Musa* AAA subgrupo Cavendish cv. "Grand Naine"), mora tropical de altura (*Rubus adenotrichos* cv. 'vino con espinas rojas'), melón *Cantaloupe* (*Cucumis melo* cv. 'Veracruz'), higo (*Ficus carica* cv. 'Brown-Turkey'), mango (*Mangifera indica* cv. 'Tommy Atkins'), papaya (*Carica papaya* híbrido 'Pococí'), pejibaye (*Bactris gasipaes* H.B.K), piña (*Ananas comosus* cv. híbrido

MD-2 ‘Gold’), membrillo (*Cydonia oblonga*), jocote rojo (*Spondias purpurea* cv. Tronador) y tomate de árbol rojo (*Solanum betaceum*). Con base en el color de la superficie de las frutas, los bananos presentaban un grado de madurez de 6 (totalidad de la cáscara amarilla) (Ji et al., 2013), la mora de 3 (color morado azulado oscuro) (Acosta-Montoya et al., 2010), los higos de 7 (color morado en toda la superficie externa del fruto) (Freiman et al., 2012), el mango de 4 (100 % de la superficie de color amarilla) (Palafox-Carlos et al., 2012), la papaya de 5 (56-70 % de la superficie del fruto de color amarillento) (Soto et al., 2021), la piña de 4 (75-100 % de la cáscara de color amarillo) (Ikram et al., 2020) y el tomate de árbol de 89 u 809 según la escala numérica básica y extendida, respectivamente desarrollada por Acosta-Quezada et al. (2016), la cual describe a la fruta madura con una cáscara color rojo anaranjado en su totalidad. El melón se analizó en muestras con pulpa anaranjada en su totalidad, los jocotes con tonalidades amarillo y rojo en la cáscara, y el membrillo con una cáscara al 100 % amarilla y firme. La ausencia de daños físicos y deterioro microbiológico evidente fueron los principales parámetros para la selección de las frutas, cuyo origen específico se describe en el Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Frutas seleccionadas, nombre científico, cultivar y origen de las muestras. Laboratorio de química del Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, 2010.

**Table 1.** Selected fruits, scientific name, cultivar and samples origin. Chemistry Laboratory of the National Center for Food Science and Technology, Universidad de Costa Rica, San Jose, Costa Rica, 2010.

Nombre común	Nombre científico	Cultivar	Origen (Ciudad, provincia)
Banano	<i>Musa AAA</i>	Grupo Cavendish cv. Grand Naine	La Rita, Guápiles, Limón
Mora	<i>Rubus adenotrichos</i>	Vino, con espinas rojas	La Luchita del Guarco y La Trinidad, Cartago; San Martín, León Cortés, San José
Melón	<i>Cucumis melo</i>	Veracruz	Sardinal, Carrillo, Guanacaste
Higo	<i>Ficus carica</i>	Brown Turkey	Tierra Blanca, Cartago
Mango	<i>Mangifera indica</i>	Tommy Atkins	Atenas, Alajuela
Papaya	<i>Carica papaya</i>	Perfecta (híbrido Pococí)	Orotina, Alajuela
Pejibaye	<i>Bactris gasipaes</i>	No aplica	Tucurrique, Jiménez, Cartago
Piña	<i>Ananas comosus</i>	Gold (híbrido MD-2)	Siquirres, Limón
Membrillo	<i>Cydonia oblonga</i>	No aplica	Tierra Blanca, Cartago
Jocote rojo	<i>Spondias purpurea</i>	Tronador	Aserrí, San José
Tomate de árbol rojo	<i>Solanum betaceum</i>	No aplica	El Empalme y La Luchita del Guarco, Cartago

Los pejibayes se seleccionaron según su color (cáscara de color naranja a rojo). Por la presencia de sustancias antinutricionales en la fruta cruda y la forma tradicional de consumo, para todos los ensayos realizados en esta investigación, los pejibayes se cocinaron y se les eliminó la cáscara según el procedimiento descrito por Rojas-Garbanzo et al. (2011).

De cada una de las frutas seleccionadas se obtuvieron tres lotes, a excepción del caso de la mora, para la cual se analizaron nueve lotes distintos; por cada lote se analizaron 1,5 kg de las partes comestibles de las frutas. Cada lote se analizó en el laboratorio como una muestra independiente, no se mezclaron muestras de lotes distintos. Una porción de cada lote se utilizó para determinar la composición nutricional en la pulpa fresca, la parte restante del lote fue extraída y congelada por inmersión en nitrógeno líquido, liofilizada en un liofilizador de mesa modelo

FreeZone 6 (Labconco, Kansas City, MO, USA) a  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 48 h y 10 Pa, molida, hasta un tamaño de partícula de 2 mm, en un molino de cuchillas modelo GM200 (GRINDOMIX, Retsch GmbH, Haan, Alemania) y almacenada a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , en bolsas metalizadas laminadas selladas al vacío para prevenir su deterioro previo a la extracción de polifenoles y carotenoides, así como para el análisis de la capacidad antioxidante.

### Composición nutricional

Luego de eliminar la cáscara de las frutas de forma manual con un cuchillo y las semillas, se procesó y homogenizó la parte comestible de las muestras con un molino de cuchillas (GRINDOMIX). Luego se determinó el contenido de humedad, grasa, proteína, fibra dietética y cenizas, con base en los métodos estándar de la AOAC (920.151, 991.20, 920.152, 985.29, 940.26, 932.12) (Association of Official Analytical Chemists, 1999). Para la determinación de fibra, la muestra fue liofilizada a  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 48 h (modelo FreeZone 6, Labconco, Kansas City, MO, USA). El contenido total de sólidos solubles y el pH se determinaron a una temperatura de  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , mediante un refractómetro de ABBE (Atago 1T) y un pHmetro (Sartorius PB-11), respectivamente. Para el caso específico del pejibaye, previo a la medición del contenido de sólidos solubles se realizó una dilución de la muestra en agua destilada grado 3 a temperatura ambiente ( $20\text{-}23\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), luego se realizó el cálculo correspondiente con base en el factor de dilución. El contenido total de carbohidratos (CT) se obtuvo por diferencia ( $\text{CT} = 100 - \% \text{ humedad} - \% \text{ cenizas} - \% \text{ proteína} - \% \text{ grasa}$ ) (Moreno et al., 2019).

### Extracción de compuestos antioxidantes polares

La extracción de compuestos antioxidantes polares se realizó con base en la metodología de Georgé et al. (2005). Se homogenizaron muestras de 3 g de cada fruta liofilizada y se mezclaron con 20 mL de acetona/agua (70/30, v/v) en un matraz Erlenmeyer de 25 mL cubierto con papel de aluminio. La mezcla se agitó por 10 min en un agitador magnético (PMC Industries) con agitación constante a 250 rpm y luego por 10 min en un baño ultrasónico a 60 Hz a  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  (FS 60H Fisher Scientific, Dubuque, IA, USA). El sobrenadante se transfirió a un matraz volumétrico de 50 mL luego de ser filtrado con papel de filtro Whatman No. 41. Estos extractos se utilizaron para determinar el contenido de polifenoles totales y la capacidad hidrofílica de absorción de radicales de oxígeno.

### Contenido de polifenoles totales (CPT)

El contenido de polifenoles totales (CPT) se determinó con base en el método espectrofotométrico y el empleo del reactivo de Folin–Ciocalteu, según lo descrito por Georgé et al. (2005). Se utilizó ácido gálico como estándar para realizar la curva de calibración con cinco concentraciones entre 10 y 80  $\text{mg L}^{-1}$ . Las interferencias por ácido ascórbico y azúcares reductores se eliminaron por medio del uso de cartuchos OASIS® (Waters Corporation, Milford, MA, USA). Para cada una de las muestras, se buscó una dilución ideal para que el valor de absorbancia quedara dentro del ámbito lineal de la curva de ácido gálico. Una alícuota de 500  $\mu\text{L}$  de cada dilución preparada se colocó en un tubo de ensayo, para el blanco se utilizó 500  $\mu\text{L}$  de agua grado 3 y se preparó por duplicado para ajustar el cero del equipo. Se agregaron 2,50 mL de disolución de Folin–Ciocalteu a los tubos de ensayo que contienen los extractos diluidos y los blancos, los cuales se dejaron en reposo por 2 min. Se basificó cada tubo con 2,00 mL de una disolución de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  a  $75\text{ g L}^{-1}$  y se agitó en un *vortex*. Se colocaron los tubos en un baño de agua a  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 15 min, se enfriaron en baño de hielo y se midió la absorbancia de las muestras a temperatura ambiente con un espectrómetro de luz ultravioleta visible (Shimadzu UV-1700 PharmaSpec, Kyoto, Japón) a 760 nm contra un blanco. Para la cuantificación del CPT se utilizó una curva de calibración externa de ácido gálico en un rango

lineal de 10–80 mg EAG/L ( $r^2=0,9996$ ). Los resultados se expresaron en miligramos (mg) de equivalentes de ácido gálico (EAG) por 100 g en peso fresco (pf).

### **Contenido total de carotenoides (CTC)**

Los carotenoides se extrajeron y cuantificaron de acuerdo con los métodos descritos por Schiedt & Liaaen-Jensen (1995) y Rojas-Garbanzo et al. (2011). Después de la saponificación de 5 g de muestra, se realizó una extracción con 150 mL de acetona, luego con 30 mL de éter etílico y 30 mL de n-hexano. La capa superior se recolectó y la capa inferior se extrajo de nuevo hasta obtener una muestra libre de color. Se secó la fase orgánica disuelta en 50 mL de n-hexano, para lo cual se utilizó un evaporador rotatorio (Rotavapor RE 111, Büchi, Flawil, Suiza) con una temperatura del baño de 50 °C, 110 rpm y una presión de 335 mbar. Los extractos se analizaron con un espectrofotómetro de luz ultravioleta visible (Shimadzu UV-1700 PharmaSpec, Kyoto, Japan) a una longitud de onda de 450 nm. El contenido total de carotenoides se expresó como microgramos ( $\mu\text{g}$ ) de equivalentes de  $\beta$ -caroteno por gramo en peso fresco. Para el cálculo de las concentraciones, se construyó una curva de calibración con al menos siete concentraciones del patrón de carotenoides ( $r^2 \geq 0,995$ ) y la absorbancia de las muestras se ajustó con una celda que contenía los solventes utilizados.

### **Capacidad hidrofílica de absorción de radicales de oxígeno (H-ORAC)**

El valor de la capacidad hidrofílica de absorción de radicales de oxígeno (H-ORAC) se determinó de acuerdo con Huang et al. (2002). Luego de procesar la muestra y extraer los compuestos antioxidantes hidrofílicos, tal y como se señala en el apartado de “Extracción de compuestos antioxidantes polares”, se realiza la preparación de las diluciones de las muestras en las condiciones detalladas por Huang et al. (2002) y se procede a la medición. El ensayo se ejecutó en un espectrofluorómetro (Synergy HT, BioTek Instruments, Inc, Winooski, VT, USA) y se utilizó fluoresceína como un indicador del daño por radicales peroxilo. La longitud de onda de excitación se definió a 493 nm y la longitud de onda de emisión a 515 nm. El valor H-ORAC se obtuvo de una curva de calibración de Trolox en un rango de 4,0 a 32,3  $\mu\text{mol ET L}^{-1}$  y un  $r^2$  de 0,9993 y se expresó como micromoles ( $\mu\text{mol}$ ) de equivalentes de Trolox (ET) por gramo.

### **Diseño y análisis estadístico**

Se utilizó un diseño experimental irrestricto aleatorio unifactorial. El factor correspondió a la fruta, con once tratamientos (banano, mora, melón, higo, mango, papaya, pejíbaye, piña, membrillo, jocote y tomate de árbol). Todos los análisis se realizaron por triplicado y los datos se expresaron como el valor promedio  $\pm$  la desviación estándar. Las tres repeticiones ( $n=3$ ) del experimento correspondieron cada una a un lote independiente de fruta cosechado en una fecha distinta de muestreo, a excepción de la mora, dado que se analizaron nueve muestras distintas ( $n=9$ ), todas cosechadas en fechas diferentes de forma independiente. Para cada una de las determinaciones químicas se realizaron dos réplicas de los ensayos por lote de fruta.

Para cada una de las variables de respuesta se realizó un análisis de variancia (ANDEVA) para comparar los valores obtenidos para cada fruta. Al encontrar diferencias significativas ( $P < 0,05$ ), se aplicó una comparación de medias con la prueba Tukey. Para todos los análisis se utilizó el programa JMP 9 y se estableció un nivel de confianza del 95 %.

## Resultados

### Composición nutricional

La composición nutricional de las once frutas analizadas se describe en el Cuadro 2. El banano presentó el mayor valor de sólidos solubles, mientras que el pejibaye fue la fruta que mostró el menor valor. La mora tropical de altura se asoció al valor más bajo de pH, seguida por el jocote y el tomate de árbol, mientras que el melón fue la muestra menos ácida de las analizadas. En términos generales, el contenido de humedad fue alto para todas las frutas y varió de 68,0 % a 93,0 %. El contenido de carbohidratos varió entre 5,6 % y 35,0 %. Para la mayoría de las frutas no se observó un contenido alto de proteína. Los resultados obtenidos no fueron significativamente diferentes entre sí ( $P=0,2416$ ) para una potencia de la prueba (valor  $\beta$ ) de 0,5183; aunque destaca el valor proteico del pejibaye, seguido del tomate de árbol. La mayoría de las once frutas seleccionadas no presentaron una cantidad importante de grasa, a excepción del pejibaye (4,9 %), que mostró un valor significativamente diferente ( $P<0,05$ ) a los obtenidos para las otras frutas estudiadas.

**Cuadro 2.** Composición nutricional de once frutas cultivadas en Costa Rica<sup>a</sup>. Laboratorio de química del Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, 2010.

**Table 2.** Nutritional composition of eleven fruits grown in Costa Rica<sup>a</sup>. Chemistry Laboratory of the National Center for Food Science and Technology, Universidad de Costa Rica, San Jose, Costa Rica, 2010.

Características nutricionales	Banano <i>Musa AAA</i>	Melón <i>Cucumis melo</i>	Higo <i>Ficus carica</i>	Mango <i>Mangifera indica</i>	Papaya <i>Carica papaya</i>	Pejibaye <sup>b</sup> <i>Bactris gasipaes</i>	Piña <i>Ananas comosus</i>	Membrillo <i>Cydonia oblonga</i>	Jocote rojo <i>Spondias purpurea</i>	Tomate de árbol rojo <i>Solanum betanaceum</i>	Mora tropical de altura <i>Rubus adenotrichus</i>
Sólidos solubles totales (°Brix)	22,4±0,1 <sup>A</sup>	8,8±1,0 <sup>CD</sup>	6,3±0,9 <sup>DE</sup>	14,8±0,3 <sup>B</sup>	14,5±1,4 <sup>B</sup>	4,4±0,2 <sup>E</sup>	15,4±0,3 <sup>B</sup>	8,6±1,8 <sup>CD</sup>	6,55 ± 0,09 <sup>DE</sup>	7,5±2,7 <sup>D</sup>	10,0±1,0 <sup>C</sup>
pH	4,93±0,03 <sup>ABCDE</sup>	6,6±0,3 <sup>A</sup>	5,9±0,3 <sup>AB</sup>	4,41±0,08 <sup>BCDEF</sup>	5,0±0,1 <sup>ABCD</sup>	5,5±0,6 <sup>ABC</sup>	3,80 ± 0,07 <sup>CDEF</sup>	5,3±1,8 <sup>ABCD</sup>	3,25 ± 0,08 <sup>EF</sup>	3,6±0,1 <sup>DEF</sup>	2,7±0,1 <sup>F</sup>
Humedad (g 100 g <sup>-1</sup> )	75,6±1,2 <sup>F</sup>	93,0±1,0 <sup>A</sup>	88,2 ± 0,6 <sup>B</sup>	84,0±1,0 <sup>CDE</sup>	86,3±0,5 <sup>BC</sup>	57,7±0,5 <sup>H</sup>	83,8 ± 0,1 <sup>CDE</sup>	82,3±0,7 <sup>E</sup>	68,0±1,3 <sup>G</sup>	85,5±0,9 <sup>BCD</sup>	83,2±1,7 <sup>DE</sup>
Carbohidratos (g 100 g <sup>-1</sup> )	22,2±0,4 <sup>ABC</sup>	5,6±0,1 <sup>C</sup>	9,6±0,5 <sup>BC</sup>	15,1±0,2 <sup>ABC</sup>	12,2±0,3 <sup>ABC</sup>	35,0±1,0 <sup>AB</sup>	14,5 ± 0,9 <sup>ABC</sup>	15,0±0,7 <sup>ABC</sup>	29,3 ± 1,0 <sup>A</sup>	9,8±0,8 <sup>BC</sup>	12,5±1,8 <sup>ABC</sup>
Proteína (N × 6,25) (g 100 g <sup>-1</sup> )	1,0±0,1	0,5±0,0	1,2±0,1	0,45±0,05	0,8±0,1	1,75±0,07	0,5±0,0	0,5±0,1	1,1±0,5	1,7±0,3	1,3±0,2
Grasa (g 100 g <sup>-1</sup> )	0,12±0,0 <sup>B</sup>	0±0,0 <sup>B</sup>	0,140 ± 0,002 <sup>B</sup>	0,05±0,05 <sup>B</sup>	0,00±0,01 <sup>B</sup>	4,9±0,6 <sup>A</sup>	NA	0,10 ± 0,02 <sup>B</sup>	0,0±0,0 <sup>B</sup>	0,5±0,2 <sup>AB</sup>	1,1±0,2 <sup>AB</sup>
Cenizas (g 100 g <sup>-1</sup> )	0,73±0,06 <sup>AB</sup>	0,6±0,1 <sup>BC</sup>	0,68 ± 0,03 <sup>BC</sup>	0,31±0,01 <sup>E</sup>	0,6±0,1 <sup>BC</sup>	0,77±0,06 <sup>AB</sup>	0,25 ± 0,01 <sup>E</sup>	0,40 ± 0,04 <sup>DE</sup>	0,9±0,0 <sup>A</sup>	0,9±0,1 <sup>A</sup>	0,5±0,1 <sup>CD</sup>

<sup>a</sup> Valores promedios ± desviación estándar en peso fresco; <sup>b</sup> frutos cocidos y pelados;  $n=3$  para todas las frutas excepto para la mora con  $n=9$ ; NA: no analizado. Letras diferentes en una misma fila, indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ( $P<0,05$ ). / <sup>a</sup> Mean value ± standard deviation in fresh weight; <sup>c</sup> cooked and peeled fruits;  $n=3$  for all fruits except for blackberry with  $n=9$ ; NA: not analyzed. Different letters in the same row indicate significant differences according to Tukey's test ( $P<0,05$ ).

El contenido de compuestos bioactivos y los valores de la capacidad antioxidante hidrofílica de las frutas estudiadas se presentan en el Cuadro 3.

**Cuadro 3.** Contenido de compuestos bioactivos y valor de la capacidad hidrofílica de absorción de radicales de oxígeno (H-ORAC) de once frutas tropicales producidas en Costa Rica<sup>a</sup>. Laboratorio de química del Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, 2010.

**Table 3.** Content of bioactive compounds and hydrophilic capacity for oxygen radical absorbance (H-ORAC) value of eleven tropical fruits produced in Costa Rica<sup>a</sup>. Chemistry Laboratory of the National Center for Food Science and Technology, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, 2010.

Fruta	Fibra dietética (g 100 g <sup>-1</sup> )	CPT (mg EAG 100 g <sup>-1</sup> ) <sup>b</sup>	CTC <sup>c</sup> (μg β-caroteno g <sup>-1</sup> )	Valor H-ORAC (μmol ET g <sup>-1</sup> ) <sup>d</sup>
Banano ( <i>Musa AAA</i> )	1,8±0,4 <sup>D</sup>	66±2 <sup>CD</sup>	NA	10,7±0,2 <sup>EF</sup>
Melón ( <i>Cucumis melo</i> )	NA	48,6±0,7 <sup>CD</sup>	3,1±0,1 <sup>CD</sup>	2,03±0,05 <sup>H</sup>
Higo ( <i>Ficus carica</i> )	4,9±0,4 <sup>BC</sup>	32,9±2,5 <sup>D</sup>	NA	8,6±1,9 <sup>FGH</sup>
Mango ( <i>Mangifera indica</i> )	NA	45±2 <sup>CD</sup>	7,4±0,1 <sup>C</sup>	6,96±0,03 <sup>FGH</sup>
Papaya ( <i>Carica papaya</i> )	2,0±0,1 <sup>D</sup>	19,1±2,7 <sup>D</sup>	60,6±3,0 <sup>B</sup>	4,8±1,2 <sup>GH</sup>
Pejibaye ( <i>Bactris gasipaes</i> )	5,0±0,6 <sup>BC</sup>	22±3 <sup>D</sup>	72±4 <sup>A</sup>	31,3±3,0 <sup>B</sup>
Piña ( <i>Ananas comosus</i> )	0,9±0,2 <sup>E</sup>	159±35 <sup>C</sup>	3,9±0,3 <sup>CD</sup>	13,3±0,5
Membrillo ( <i>Cydonia oblonga</i> )	5,7±0,9 <sup>AB</sup>	297±54 <sup>B</sup>	NA	19±6 <sup>CD</sup>
Jocote ( <i>Spondias purpurea</i> )	4,2±0,8 <sup>C</sup>	383±72 <sup>B</sup>	NA	24,6±3,1 <sup>BC</sup>
Tomate de árbol rojo ( <i>Solanum betaceum</i> )	4,2±0,5 <sup>C</sup>	82±28 <sup>CD</sup>	4±1 <sup>CD</sup>	17±6 <sup>CDE</sup>
Mora tropical de altura ( <i>Rubus adenotrichos</i> )	6,6±0,6 <sup>A</sup>	538±97 <sup>A</sup>	NA	62,1±4,0 <sup>A</sup>

<sup>a</sup> Valor promedio ± desviación estándar en peso fresco;  $n=3$  para todas las frutas excepto mora,  $n=9$ . Letras diferentes en una misma columna, indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ( $P<0,05$ ). / <sup>a</sup> Mean value ± standard deviation in fresh weight;  $n=3$  for all fruits except blackberry,  $n=9$ . Different letters in the same column indicate significant differences according to Tukey's test ( $P<0,05$ ).

<sup>b</sup> EAG: equivalentes de ácido gálico; CPT: contenido de polifenoles totales. / <sup>b</sup> GAE: gallic acid equivalents; TPC: total polyphenols content.

<sup>c</sup> CTC: contenido de carotenoides totales. / <sup>c</sup> TCC: total carotenoid content.

<sup>d</sup> ET: equivalentes de Trolox. / <sup>d</sup> TE: Trolox equivalents.

NA: No analizado. / NA: Not analyzed.

Con respecto al contenido de fibra dietética, cuando el resultado se expresó en base húmeda o el equivalente al consumo de la fruta fresca, la mora tropical de altura presentó el valor más alto, valor significativamente diferente de los demás ( $P<0,05$ ), mientras que la piña presentó el valor más bajo de este componente. No obstante, cuando los valores se compararon en base seca, se reportó el valor más elevado para el higo. De las muestras seleccionadas, la mora sobresalió por su contenido de compuestos fenólicos con un resultado significativamente diferente de los valores obtenidos para las otras frutas ( $P<0,05$ ). La concentración de carotenoides se determinó para seis de las frutas, lo que estaría relacionado con la ausencia de un color rojo-anaranjado en algunas muestras tales como banano, mora, higo, jocote y membrillo, lo cual es un indicador de la carencia o del reducido contenido de carotenoides en estos alimentos. De las seis frutas analizadas y en cuanto al contenido total de carotenoides, sobresalieron el pejibaye cocido y la papaya (híbrido Pococí). Sobre la capacidad hidrofílica de absorción de radicales de oxígeno, se debe destacar la mora de altura con el valor máximo reportado y significativamente superior al de las demás muestras ( $P<0,05$ ). Es importante resaltar que, al comparar los resultados de las once frutas, pese a que el pejibaye mostró el valor más bajo de contenido de polifenoles, su valor H-ORAC resultó ser alrededor de la mitad del valor reportado para la mora.

## Discusión

Al analizar los valores de grados Brix obtenidos en el presente estudio, resalta que el banano muestreado presentó un contenido total de sólidos solubles similar a valores reportados para banano maduro, de acuerdo con los resultados obtenidos por Hernández et al. (2006) en el cultivar Gran enana ( $22,8 \pm 1,2$  °Brix) y con Yánez Bustamante et al. (2020), autores que determinaron un rango de 19,33 a 24,5 °Brix en banano maduro cultivado en Ecuador. El contenido de sólidos solubles es una característica que posiciona al banano como una fruta con un perfil muy favorable para procesos industriales, como por ejemplo la elaboración de bebidas fermentadas (Carvalho et al., 2009). En el caso de la piña, el contenido de sólidos solubles fue superior al reportado para fruta de la misma variedad Gold proveniente de Hawái ( $12,4$  °Brix) (Ramsaroop & Saulo, 2007). La concentración de azúcares en la piña determina sus características de sabor y la aceptación por parte de los consumidores, en particular destaca la variedad MD-2 o Gold, por su mayor contenido de grados Brix con respecto a otras variedades comercializadas como la Smooth Cayenne (Hounhouigan et al., 2014).

Al comparar el resultado obtenido para el contenido de sólidos solubles en mango con valores reportados por otros autores, se nota que el contenido resultó similar al reportado por Rocha Ribeiro et al. (2007), para mango de la misma variedad ( $14,4$  °Brix). En el mango, el dulzor es uno de los atributos más importantes y determina su calidad para consumo, en particular posterior a la maduración. Para el caso de la papaya Pococí, un híbrido desarrollado en Costa Rica, destaca que el contenido de sólidos solubles resultó mayor comparado con valores reportados para otras variedades como la Maradol en México ( $10,96 \pm 1,30$  °Brix) (Corral-Aguayo et al., 2008) y variedades como Khaek Dam Sisaket y Plak Mai Lai provenientes de Tailandia ( $12,1$  y  $13,0$  °Brix, respectivamente) (Sangsoy et al., 2017). En un estudio previo, los contenidos de sólidos solubles para tres variedades de papaya de la Islas Canarias Sweet Mary, Alicia y Eksotika fueron de  $12,2 \pm 0,2$ ;  $11,2 \pm 0,2$  y  $12,1 \pm 0,2$  °Brix, respectivamente (Lara-Abia et al., 2021), los cuales son valores menores que los reportados para la papaya Pococí. Para efectos de procesamiento, es importante determinar el grado de madurez más adecuado, como lo indicaron Soto et al. (2021) en el caso de frutos de este híbrido de la misma procedencia que los evaluados en el presente estudio. Estos autores seleccionaron frutos de papaya con un menor grado de madurez y de contenido de sólidos solubles ( $11,75$  °Brix), con miras a preservar la textura y aumentar el rendimiento para la obtención de *chips* de papaya por fritura al vacío.

En relación con la acidez de las frutas, como se mencionó en el apartado de resultados, la mora sobresalió por su bajo valor de pH. Moras tropicales cultivadas en tierras altas como *Rubus adenotrichos* Schldl., exhiben una acidez más alta que cultivares de mora de climas templados (Acosta-Montoya et al., 2010). Se ha reportado, para diferentes variedades de moras de Brasil, valores de pH que variaron entre 3,23 y 3,42 (Hassimotto et al., 2008). A pesar de que estos valores de pH son bajos, sobresale que la mora de Costa Rica, presentó un valor aún más bajo, resultado que concuerda con reportes realizados en otra investigación para la variedad *R. adenotrichos* de mora cultivada en Costa Rica con tres estados de madurez (Acosta-Montoya et al., 2010). Esta característica es esperada en las variedades de mora silvestres como la analizada y explica por qué esta mora, caracterizada por una mayor acidez y un sabor distintivo, se prefiere destinar para la elaboración de productos procesados como por ejemplo mezclas de jugos (Acosta-Montoya et al., 2010). En el caso del jocote, en una investigación previa, los valores de pH variaron entre 2,5 y 6,0 al analizar muestras de distintas variedades y cultivadas en diferentes regiones de México (Maldonado-Astudillo et al., 2014), mientras que en muestras de jocotes provenientes de Brasil se determinaron valores de pH entre 3,1 y 3,4, los cuales son muy cercanos a los reportados en este estudio. Un valor de pH ligeramente más alto (3,5) para tomate de árbol proveniente de Venezuela ha sido reportado (Torres, 2012), mientras que un valor publicado de 6,5 de pH para melón (Luna-Guzmán & Barrett, 2000) es muy cercano al dato encontrado en esta investigación.

En los resultados obtenidos sobresalió el perfil nutricional del pejibaye, dada la concentración de proteína. Debido al contenido de este macronutriente, esta fruta podría contribuir a la ingesta de las dosis diarias

recomendadas de proteínas provenientes de una fuente de origen vegetal (Rojas-Garbanzo et al., 2012). Desde una perspectiva nutricional, el pejibaye es atractivo por ser una fuente de ácidos grasos monoinsaturados. Este tipo de ácidos grasos representa del 53 al 70 % del contenido total de grasa en la fruta y se ha encontrado que el ácido oleico se presenta en mayor proporción (Fernández-Piedra et al., 1995).

Los valores de cenizas reportados resultan de interés, pues estos pueden ser considerados como un indicador indirecto del contenido de minerales en las frutas. El contenido de minerales varía con base en las interacciones entre el genotipo, las condiciones ambientales y los sistemas de manejo, por tanto, no hay un patrón único que describe la composición mineral de diferentes frutas. En un estudio sobre diferentes variedades de moras cultivadas en Brasil, el potasio fue el mineral más abundante encontrado, seguido por calcio y magnesio. También se han reportado otros oligoelementos en esta fruta, como selenio, manganeso, hierro y zinc (Vaillant, 2020). No obstante, dado que no se puede realizar una extrapolación a otras condiciones de crecimiento, estas observaciones solo resultan descriptivas.

Según los resultados obtenidos, la mora, el membrillo, el pejibaye, el higo, el jocote y el tomate de árbol rojo, pueden ser considerados fuente de fibra dietética, ya que contienen más de 3 g 100 g<sup>-1</sup> de este componente, el cual contribuye, por lo tanto, a la ingesta diaria recomendada por *Codex Alimentarius Commission* (2013). Al comparar los datos obtenidos con estudios disponibles en la literatura, sobresale el contenido de fibra de la mora costarricense de la variedad vino con espinas rojas, el cual resultó superior al valor reportado por Clerici & Carvalho-Silva (2011) y de Souza et al. (2014) (5,0 % m m<sup>-1</sup> y 4,47 % m m<sup>-1</sup>, respectivamente). Esta variedad de mora es la más cultivada en Costa Rica (Soto et al., 2019). El jocote y la papaya, por su parte, también presentaron mayor contenido de fibra dietética que el reportado para el jocote cultivado en México (2,8 % m m<sup>-1</sup>) y la papaya proveniente de India (1,5 % m m<sup>-1</sup>) (Moo-Huchin et al., 2014; Ramulu & Udayasekhara Rao, 2003). En el caso del higo y el banano, el valor de fibra dietética no difirió del reportado por Ramulu & Udayasekhara Rao (2003) para higo y por Li et al. (2002) en banano. La piña no solo mostró el menor contenido de fibra, sino que además el valor obtenido resultó inferior al que se indica en la literatura para piña cultivada en la India (2,8 % m m<sup>-1</sup>) (Ramulu & Udayasekhara Rao, 2003).

Las diferencias observadas en el contenido de fibra dietética podrían explicarse por las variaciones normales esperadas, producto de las diferencias en variedad, condiciones climáticas y prácticas de cultivo (Clerici & Carvalho-Silva, 2011; Mahattanatawee et al., 2006). No obstante, el consumo de las frutas analizadas contribuiría a la ingesta diaria recomendada de fibra en la dieta. Al respecto, la Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomiendan la ingesta de un mínimo de 400 g de frutas y verduras por día para prevenir enfermedades crónicas, reducir deficiencias de micronutrientes y asegurar una adecuada ingesta diaria de fibra dietética (World Health Organization, 2020). La inclusión de alimentos que contienen fibra en la dieta es relevante, pues se ha relacionado con la reducción de lipoproteínas de baja densidad y colesterol, prevención de la constipación, así como con un menor riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares, diabetes y obesidad (Anderson et al., 2009; Manach et al., 2004; Mudgil & Barack, 2013).

Al comparar los datos obtenidos, el valor de H-ORAC de la mora fue el más elevado entre las frutas estudiadas, pero además fue superior al reportado para mora andina de Ecuador (42,6 μmol ET g<sup>-1</sup> peso fresco) (Mertz et al., 2009), y para moras en estado maduro cultivadas en el Estado de Maryland (USA) (de 20,3±0,4 a 24,6±1,0 μmol de ET/g peso fresco) (Wang & Lin, 2000). Además, el contenido de polifenoles totales de esta fruta fue el más elevado entre las once frutas estudiadas; su valor fue superior al de mora proveniente de Brasil (289,3 mg EAG 100 g<sup>-1</sup>) (Clerici & Carvalho-Silva, 2011). La variedad de mora vino con espinas rojas junto con la vino con espinas blancas, presentaron los mayores contenidos de polifenoles totales entre los nueve genotipos cultivados en Costa Rica que fueron analizados por Soto et al. (2019). Los resultados obtenidos para la mora coincidieron con reportes previos en la literatura que destacan el contenido de compuestos bioactivos en mora costarricense, en particular la concentración de antocianinas y elagitaninos (Acosta-Montoya et al., 2010). El jocote sobresalió por presentar más

del doble del contenido de polifenoles totales que el reportado por Moo-Huchin et al. (2014) (115,53 mg EAG 100 g<sup>-1</sup>). El membrillo también mostró un mayor valor que el asociado a la misma fruta proveniente de Japón (196,17 mg EAG 100 g<sup>-1</sup>) (Hamauzu et al., 2005) y que membrillo proveniente de India y Paquistán (68,13 mg EAG 100 g<sup>-1</sup>) (Rasheed et al., 2018). En el caso de la piña, valores inferiores de contenido de polifenoles totales (38,1 mg EAG 100 g<sup>-1</sup> peso fresco) se reportaron para piñas cultivadas en el noroeste de Brasil (Almeida et al., 2011). Aunque el pejibaye presentó el valor más bajo de polifenoles totales de las once frutas analizadas, esta fruta también puede ser considerada una fuente adicional para el consumo de estos compuestos. Los valores obtenidos resultaron ser 50 % más altos de los reportados por Jatunov et al. (2010) para un pejibaye de variedad no determinada pero también cultivado en Costa Rica.

Respecto al contenido de carotenoides, la papaya del híbrido Pococí presentó un contenido mayor al reportado por Yahia et al. (2009), para papaya originaria de México; pero el mango, por el contrario, mostró resultados inferiores a los publicados para otras cuatro variedades de la misma fruta estudiadas por Almeida et al. (2011) y Rocha Ribeiro et al. (2007).

Si se comparan las once frutas, el pejibaye resultó la muestra con el contenido de polifenoles más bajo pero su valor en la capacidad hidrofílica de absorción de radicales de oxígeno (H-ORAC) equivale a un 50 % de la actividad antioxidante encontrada para la mora, este resultado posiciona al pejibaye cocinado como la segunda fruta con mayor valor H-ORAC entre las analizadas. Este resultado se puede deber a la presencia de vitamina C y minerales como selenio y zinc (Blanco Metzler et al., 1992; Yuyama et al., 2003), componentes que se caracterizan por su capacidad antioxidante. La capacidad antioxidante del pejibaye podría estar subestimada, dado que el análisis H-ORAC solo incluye compuestos de naturaleza hidrofílica como por ejemplo polifenoles, vitamina C y minerales como selenio y zinc (Kaur & Kapoor, 2001), lo que deja de lado la actividad antioxidante que proviene de compuestos lipofílicos como los carotenoides. Es por esto que para poder determinar el potencial antioxidante total de esta fruta sería necesario conocer además la capacidad antioxidante aportada por los componentes de naturaleza lipídica.

El aporte nutricional de un alimento depende en gran medida de la absorción de los nutrientes en el organismo y esto puede determinarse con estudios de biodisponibilidad *in vitro* e *in vivo* (Carbonell-Capella et al., 2014; Cilla et al., 2018). Por tanto, conocer la concentración de compuestos bioactivos que llegan a la fracción bioaccesible es información de extremo valor (Rodríguez-Roque et al., 2020), que complementaría el esfuerzo realizado en el presente estudio. Aplicar algunos métodos *in vitro*, para simular la digestión y determinar la bioaccesibilidad de los compuestos bioactivos, representa el paso a seguir para el desarrollo de alimentos funcionales a partir de las materias primas estudiadas.

## Conclusiones

Este estudio evidenció los altos contenidos de fibra dietética y compuestos bioactivos en frutas cultivadas en Costa Rica. De las once frutas analizadas, sobresalieron la mora tropical de altura, el membrillo, el pejibaye, el higo, el jocote y el tomate de árbol rojo, dados sus altos contenidos de polifenoles y carotenoides, además de representar una buena fuente de fibra dietética. Destacaron en particular la mora con el mayor contenido de compuestos fenólicos totales y la mayor actividad antioxidante, así como el pejibaye cocido con el mayor contenido de carotenoides.

Esta evaluación permite concluir que el consumo de los alimentos analizados puede contribuir de forma importante en una dieta saludable, al aportar compuestos bioactivos con potenciales efectos fisiológicos beneficiosos, que podrían ser además de valor e interés para la industria alimentaria y nutracéutica.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a María Torres del Laboratorio de Química del Centro Nacional de Ciencia y Tecnología (CITA) por su asistencia técnica, a la Corporación Bananera Nacional (CORBANA), Export Pack S.A., Finca Gamboa Víquez y a la Asociación de Productores de Jocote de Aserrí por proveer el banano, melón, papaya y jocote, respectivamente. Este estudio fue financiado gracias al Proyecto PAVUC de la Unión Europea, INCO no. 015279, el Consejo Nacional de Rectores (CONARE) y la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica a través de los proyectos número 735-A2-502, 735-A9-125 y 735-B9-036.

## Referencias

- Acosta-Montoya, Ó., Vaillant, F., Cozzano, S., Mertz, C., Pérez, A. M., & Castro, M. V. (2010). Phenolic content and antioxidant capacity of tropical highland blackberry (*Rubus adenotrichus* Schldl.) during three edible maturity stages. *Food Chemistry*, *119*(4), 1497–1501. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.09.032>
- Acosta-Quezada, P. G., Riofrío-Cuenca, T., Rojas, J., Vilanova, S., Plazas, M., & Prohens, J. (2016). Phenological growth stages of tree tomato (*Solanum betaceum* Cav.), an emerging fruit crop, according to the basic and extended BBCH scales. *Scientia Horticulturae*, *199*, 216–223. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.12.045>
- Afam, I. O. J., Henry, S., Thakhani, T., Adewale, O. O., Henry, O. U., & Tonna, A. A. (2021). Antioxidant-rich natural fruit and vegetable products and human health. *International Journal of Food Properties*, *24*(1), 41–67. <https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1866597>
- Almeida, M. M. B., de Sousa, P. H. M., Arriaga, Â. M. C., do Prado, G. M., Magalhães, C. E. de C., Maia, G. A., & de Lemos, T. L. G. (2011). Bioactive compounds and antioxidant activity of fresh exotic fruits from northeastern Brazil. *Food Research International*, *44*(7), 2155–2159. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.03.051>
- Anderson, J. W., Baird, P., Davis Richard H. J., Ferreri, S., Knudtson, M., Koraym, A., Waters, V., & Williams, C. L. (2009). Health benefits of dietary fiber. *Nutrition Reviews*, *67*(4), 188–205. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2009.00189.x>
- Association of Official Analytical Chemists. (1999). *Official methods of analysis of AOAC International* (16<sup>th</sup> ed.). Association of Official Analytical Chemists.
- Blanco Metzler, A., Montero Campos, M., Fernández Piedra, M., & Mora-Uripí, J. (1992). Pejibaye palm fruit contribution to human nutrition. *Principes*, *36*(2), 66–69.
- Carvalho, G. B. M., Silva, D. P., Santos, J. C., Izário Filho, H. J., Vicente, A. A., Teixeira, J. A., Felipe, M. das G., & Almeida e Silva, J. B. (2009). Total soluble solids from banana: evaluation and optimization of extraction parameters. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, *153*(1-3), 34–43. <https://doi.org/10.1007/s12010-008-8462-2>
- Carbonell-Capella, J. M., Buniowska, M., Barba, F. J., Esteve, M. J., & Frígola, A. (2014). Analytical methods for determining bioavailability and bioaccessibility of bioactive compounds from fruits and vegetables: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *13*(2), 155–171. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12049>
- Cilla, A., Bosch, L., Barberá, R., & Alegría, A. (2018). Effect of processing on the bioaccessibility of bioactive compounds – a review focusing on carotenoids, minerals, ascorbic acid, tocopherols and polyphenols. *Journal of Food Composition and Analysis*, *68*, 3–15. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.01.009>

- Clerici, M. T. P. S., & Carvalho-Silva, L. B. (2011). Nutritional bioactive compounds and technological aspects of minor fruits grown in Brazil. *Food Research International*, 44(7), 1658–1670. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.04.020>
- Codex Alimentarius Commission. (2013). *Guidelines for use of nutrition and health claims. Cac/GI 23-1997*. Food and Agriculture Organization. Retrieved September, 2020, from <https://www.fao.org/ag/humannutrition/32444-09f5545b8abe9a0c3baf01a4502ac36e4.pdf>
- Corral-Aguayo, R. D., Yahia, E. M., Carrillo-Lopez, A., & González-Aguilar, G. (2008). Correlation between some nutritional components and the total antioxidant capacity measured with six different assays in eight horticultural crops. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(22), 10498–10504. <https://doi.org/10.1021/jf801983r>
- Dai, F. J., & Chau, C. F. (2017). Classification and regulatory perspectives of dietary fiber. *Journal of Food and Drug Analysis*, 25(1), 37–42. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.09.006>
- de Souza, V. R., Pereira, P. A. P., da Silva, T. L. T., de Oliveira Lima, L. C., Pio, R., & Queiroz, F. (2014). Determination of the bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Brazilian blackberry, red raspberry, strawberry, blueberry and sweet cherry fruits. *Food Chemistry*, 156(1), 362–368. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.01.125>
- de Souza, V. R., Pereira, P. A. P., Queiroz, F., Borges, S. V., & de Deus Souza Carneiro, J. (2012). Determination of bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Cerrado Brazilian fruits. *Food Chemistry*, 134(1), 381–386. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.191>
- Delwiche, S. R., Mekwatanakarn, W., & Wang, C. Y. (2008). Soluble solids and simple sugars measurement in intact mango using near infrared spectroscopy. *HortTechnology*, 18(3), 410–416. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.18.3.410>
- Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C., & Attia, H. (2011). Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food Chemistry*, 124(2), 411–421. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.06.077>
- Fernández-García, E., Carvajal-Lérida, I., Jarén-Galán, M., Garrido-Fernández, J., Pérez-Gálvez, A., & Hornero-Méndez, D. (2012). Carotenoids bioavailability from foods: from plant pigments to efficient biological activities. *Food Research International*, 46(2), 438–450. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.06.007>
- Fernández-Piedra, M., Blanco-Metzler, A., & Mora-Urpí, J. (1995). Contenido de ácidos grasos en cuatro poblaciones de pejobaye, *Bactris gasipaes* (Palmae). *Revista de Biología Tropical*, 43(1-3), 61–66.
- Food and Agriculture Organization. (2014). *Banana market review and banana statistics 2012-2013*. Retrieved September, 2020, from <http://www.fao.org/3/i3627e/i3627e.pdf>
- Food and Drug Administration. (2013). *Guidance for industry: Food labeling guide*. Retrieved September, 2020, from <https://www.fda.gov/regulatory-information/search-fda-guidance-documents/guidance-industry-food-labeling-guide>
- Freiman, Z. E., Rodov, V., Yablovitz, Z., Horev, B., & Flaishman, M. A. (2012). Preharvest application of 1-methylcyclopropene inhibits ripening and improves keeping quality of ‘Brown Turkey’ figs (*Ficus carica* L.). *Scientia Horticulturae*, 138, 266–272. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.01.007>
- Ganesan, K., Jayachandran, M., & Xu, B. (2018). A critical review on hepatoprotective effects of bioactive food components. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(7), 1165–1229. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1244154>
- Georgé, S., Brat, P., Alter, P., & Amiot, M. J. (2005). Rapid determination of polyphenols and vitamin C in plant-derived products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(5), 1370–1373. <https://doi.org/10.1021/jf048396b>

- Hamauzu, Y., Yasui, H., Inno, T., Kume, C., & Omanyuda, M. (2005). Phenolic profile, antioxidant property, and anti-influenza viral activity of chinese quince (*Pseudocarya sinensis* Schneid.), quince (*Cydonia oblonga* Mill.), and apple (*Malus domestica* Mill.) fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(4), 928–934. <https://doi.org/10.1021/jf0494635>
- Hassimotto, N. M. A., Da Mota, R. V., Cordenunsi, B. R., & Lajolo, F. M. (2008). Physico-chemical characterization and bioactive compounds of blackberry fruits (*Rubus* sp.) grown in Brazil. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 28(3), 702–708. <http://doi.org/10.1590/S0101-20612008000300029>
- Hernández, Y., Lobo, M. G., & González, M. (2006). Determination of vitamin C in tropical fruits: A comparative evaluation of methods. *Food Chemistry*, 96(4), 654–664. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.04.012>
- Hounhouigan, M. H., Linnemann, A. R., Soumanou, M. M., & Van Boekel, M. A. J. S. (2014). Effect of processing on the quality of pineapple juice. *Food Reviews International*, 30(2), 112–133. <https://doi.org/10.1080/87559129.2014.883632>
- Huang, D., Ou, B., Hampsch-Woodill, M., Flanagan, J. A., & Prior, R. L. (2002). High-throughput assay of oxygen radical absorbance capacity (ORAC) using a multichannel liquid handling system coupled with a microplate fluorescence reader in 96-well format. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(16), 4437–4444. <https://doi.org/10.1021/jf0201529>
- Ikram, M. M. M., Ridwani, S., Putri, S. P., & Fukusaki, E. (2020). GC-MS based metabolite profiling to monitor ripening-specific metabolites in pineapple (*Ananas comosus*). *Metabolites*, 10(4), Article 134. <https://doi.org/10.3390/metabo10040134>
- Jatunov, S., Quesada, S., & Díaz, C. (2010). Carotenoid composition and antioxidant activity of the raw and boiled fruit mesocarp of six varieties of *Bactris gasipaes*. Carotenoid composition and antioxidant activity of the raw and boiled fruit mesocarp of six varieties of *Bactris gasipaes*. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 60(1), 99–104.
- Ji, W., Koutsidis, G., Luo, R., Hutchings, J., Akhtar, M., Megias, F., & Butterworth, M. (2013). A digital imaging method for measuring banana ripeness. *Color Research and Application*, 38, 364–374. <https://doi.org/10.1002/col.21741>
- Kaur, C., & Kapoor, H. C. (2001). Antioxidants in fruits and vegetables - the millennium's health. *International Journal of Food Science and Technology*, 36(7), 703–725. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2001.00513.x>
- Khurana, S., Venkataraman, K., Hollingsworth, A., Piche, M., & Tai, T. C. (2013). Polyphenols: benefits to the cardiovascular system in health and in aging. *Nutrients*, 5(10), 3779–3827. <https://doi.org/10.3390/nu5103779>
- Lara-Abia, S., Lobo-Rodrigo, G., Welti-Chanes, J., & Cano, M.P. (2021). Carotenoid and carotenoid ester profile and their deposition in plastids in fruits of new papaya (*Carica papaya* L.) varieties from the Canary Islands. *Foods*, 10(2), Article 434. <https://doi.org/10.3390/foods10020434>
- Leterme, P., Buldgen, A., Estrada, F., & Londoño, A. M. (2006). Mineral content of tropical fruits and unconventional foods of the Andes and the rainforest of Colombia. *Food Chemistry*, 95(4), 644–652. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.02.003>
- Li, B. W., Andrews, K. W., & Pehrsson, P. R. (2002). Individual sugars, soluble, and insoluble dietary fiber contents of 70 high consumption foods. *Journal of Food Composition and Analysis*, 15(6), 715–723. <https://doi.org/10.1006/jfca.2002.1096>
- Luna-Guzmán, I., & Barrett, D. M. (2000). Comparison of calcium chloride and calcium lactate effectiveness in maintaining shelf stability and quality of fresh-cut cantaloupes. *Postharvest Biology and Technology*, 19(1), 61–72. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(00\)00079-X](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(00)00079-X)

- Mahattanatawee, K., Manthey, J. A., Luzio, G., Talcott, S. T., Goodner, K., & Baldwin, E. A. (2006). Total antioxidant activity and fiber content of select Florida-grown tropical fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *54*(19), 7355–7363. <https://doi.org/10.1021/jf060566s>
- Mallawaarachchi, M. A. L. N., Madhujith, T., Suriyagoda, L. D. B., & Pushpakumara, D. K. N. G. (2021). Antioxidant efficacy of selected underutilized fruit species grown in Sri Lanka. *Tropical Agricultural Research*, *32*(1), 68–80. <http://doi.org/10.4038/tar.v32i1.8443>
- Maldonado-Astudillo, Y. I., Alia-Tejacal, I., Núñez-Colín, C. A., Jiménez-Hernández, J., Pelayo-Zaldívar, C., López-Martínez, V., Andrade-Rodríguez, M., Bautista-Baños, S., and Valle-Guadarrama, S. (2014). Postharvest physiology and technology of *Spondias purpurea* L. and *S. mombin* L. *Scientia Horticulturae*, *174*(1), 193–206. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.05.016>
- Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Rémésy, C., & Jiménez, L. (2004). Polyphenols: food sources and bioavailability. *The American Journal of Clinical Nutrition*, *79*(5), 727–747. <https://doi.org/10.1093/ajcn/79.5.727>
- Mei, X., Mu, T. H., & Han, J. J. (2010). Composition and physicochemical properties of dietary fiber extracted from residues of 10 varieties of sweet potato by a sieving method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *58*(12), 7305–7310. <https://doi.org/10.1021/jf101021s>
- Mertz, C., Gancel, A. L., Gunata, Z., Alter, P., Dhuique-Mayer, C., Vaillant, F., Perez, A. M., Ruales, J., & Brat, P. (2009). Phenolic compounds, carotenoids and antioxidant activity of three tropical fruits. *Journal of Food Composition and Analysis*, *22*(5), 381–387. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2008.06.008>
- Moo-Huchin, V. M., Estrada-Mota, I., Estrada-León, R., Cuevas-Glory, L., Ortiz-Vázquez, E., Vargas, M. de L. V., Betancur-Ancona, D., & Sauri-Duch, E. (2014). Determination of some physicochemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant activity of tropical fruits from Yucatan, Mexico. *Food Chemistry*, *152*(1), 508–515. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.12.013>
- Moreno, J., Cozzano, S., Pérez, A. M., Arcia, P., & Curutchet, A. (2019). Coffee pulp waste as a functional ingredient: effect on salty cookies quality. *Journal of Food and Nutrition Research*, *7*(9), 632–638. <https://doi.org/10.12691/jfnr-7-9-2>
- Mudgil, D., & Barak, S. (2013). Composition, properties and health benefits of indigestible carbohydrate polymers as dietary fiber: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, *61*, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2013.06.044>
- Nimse, S. B., & Pal, D. (2015). Free radicals, natural antioxidants, and their reaction mechanisms. *RSC Advances*, *35*, 27986–28006. <https://doi.org/10.1039/C4RA13315C>
- Palafox-Carlos, H., Yahia, E., Islas-Osuna, M. A., Gutierrez-Martinez P., Robles-Sánchez, M., González-Aguilar, G. 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. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.11.027>
- Ramsaroop, R. E. S., & Saulo, A. A. (2007). Comparative consumer and physicochemical analysis of del monte hawai'i gold and smooth cayenne pineapple cultivars. *Journal of Food Quality*, *30*, 135–159. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2007.00111.x>
- Ramulu, P., & Udayasekhara Rao, P. (2003). Total, insoluble and soluble dietary fiber contents of Indian fruits. *Journal of Food Composition and Analysis*, *16*(6), 677–685. [https://doi.org/10.1016/S0889-1575\(03\)00095-4](https://doi.org/10.1016/S0889-1575(03)00095-4)

- Rasheed, M., Hussain, I., Rafiq, S., Hayat, I., Qayyum, A., Ishaq, S., & Awan, M. S. (2018). Chemical composition and antioxidant activity of quince fruit pulp collected from different locations. *International Journal of Food Properties*, 21(1), 2320–2327. <https://doi.org/10.1080/10942912.2018.1514631>
- Rocha Ribeiro, S. M., Queiroz, J. H., de Queiroz, M. E., Campos, F. M., & Pinheiro Sant’Ana, H. M. (2007). Antioxidant in mango (*Mangifera indica* L.) pulp. *Plant Foods for Human Nutrition*, 62, 13–17. <https://doi.org/10.1007/s11130-006-0035-3>
- Rodriguez-Amaya, D. B. (1996). Assessment of the provitamin A contents of foods— The Brazilian experience. *Journal of Food Composition and Analysis*, 9(3), 196–230. <https://doi.org/10.1006/jfca.1996.0028>
- Rodríguez-Roque, M. J., De Ancos, B., Sánchez-Vega, R., Sánchez-Moreno, C., Elez-Martínez, P., & Martín-Belloso, O. (2020). *In vitro* bioaccessibility of isoflavones from a soymilk-based beverage as affected by thermal and non-thermal processing. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 66, Article 102504. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102504>
- Rojas-Garbanzo, C., Gleichenhagen, M., Heller, A., Esquivel, P., Schulze-Kaysers, N., & Schieber, A. (2017). Carotenoid profile, antioxidant capacity, and chromoplasts of pink guava (*Psidium guajava* L. cv. “Criolla”) during fruit ripening. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(18), 3737–3747. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b04560>
- Rojas-Garbanzo, C., Pérez, A. M., Bustos-Carmona, J., & Vaillant, F. (2011). Identification and quantification of carotenoids by HPLC-DAD during the process of peach palm (*Bactris gasipaes* H.B.K.) flour. *Food Research International*, 44(7), 2377–2384. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.045>
- Rojas-Garbanzo, C., Pérez, A. M., Pineda Castro, M. L., & Vaillant, F. (2012). Major physicochemical and antioxidant changes during peach-palm (*Bactris gasipaes* H.B.K.) flour processing. *Fruits*, 67(6), 415–427. <https://doi.org/10.1051/fruits/2012035>
- Sangsoy, K., Mongkolporn, O., Imsabai, W., & Luengwilai, K. (2017). Papaya carotenoids increased in Oxisols soils. *Agriculture and Natural Resources*, 51(4), 253–261. <https://doi.org/10.1016/j.anres.2017.10.003>
- Schiedt, K., & Liaaen-Jensen, S. (1995). Isolation and analysis. In G. Britton, S. Liaaen-Jensen, & H. Pfander (Eds.), *Basel: Carotenoids, Volume 1A: Isolation and Analysis* (pp. 81-108). Birkhäuser Verlag.
- Seeram, N. P., Aviram, M., Zhang, Y., Henning, S. M., Feng, L., Dreher, M., & Heber, D. (2008). Comparison of antioxidant potency of commonly consumed polyphenol-rich beverages in the United States. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(4), 1415–1422. <https://doi.org/10.1021/jf073035s>
- Soto, M., Pérez, A. M., Cerdas, M. M., Vaillant, F., & Acosta, O. (2019). Physicochemical characteristics and polyphenolic compounds of cultivated blackberries in Costa Rica. *Journal of Berry Research*, 9(2), 283–296. <https://doi.org/10.3233/JBR-180353>
- Soto, M., Brenes, M., Jiménez, N., Cortés, C., Umaña, G., & Pérez, A.M. (2021). Selection of optimal ripening stage of papaya fruit (*Carica papaya* L.) and vacuum frying conditions for chips making. *CyTA - Journal of Food*, 19(1), 273–286. <https://doi.org/10.1080/19476337.2021.1893823>
- Swallah, M.S., Sun, H., Affoh, R., Fu, H., & Yu, H. (2020). Antioxidant potential overviews of secondary metabolites (polyphenols) in fruits. *International Journal of Food Science*, 2020, Article 9081686. <https://doi.org/10.1155/2020/9081686>
- Torres, A. (2012). Physical, chemical and bioactive compounds of tree tomato (*Cyphomandra betacea*). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 62(4), 381–388.

- Vaillant, F. (2020). Chapter 25 – Blackberries. In A. K. Jaiswal (Ed.), *Nutritional composition and antioxidant properties of fruits and vegetables* (pp. 407–422). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812780-3.00025-8>
- Wang, S. Y., & Lin, H. S. (2000). Antioxidant activity in fruits and leaves of blackberry, raspberry, and strawberry varies with cultivar and developmental stage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *48*(2), 140–146. <https://doi.org/10.1021/jf9908345>
- World Health Organization. (2020). *Promoting fruit and vegetable consumption*. Retrieved September, 2020, from <https://www.euro.who.int/en/health-topics/disease-prevention/nutrition/activities/technical-support-to-member-states/promoting-fruit-and-vegetable-consumption>
- Yahia, E. M., Ramirez-Padilla, G., & Carrillo-Lopez, A. (2009). Carotenoid content of five fruits and vegetables and their bioconversion to vitamin A measured by retinol accumulation in rat livers. *ISHS Acta Horticulture*, *841*, 619–624. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.841.97>
- Yáñez Bustamante, W. D., Quevedo Guerrero, J. N., García Batista, R. M., Herrera Reyes, S. N., & Luna Romero, Á.E. (2020). Determinación de la relación carga química grados brix en hojas y frutos de banano clon williams (*Musa x paradisiaca*). *Universidad y Sociedad*, *12*(5), 421–430.
- Yuyama, L. K., Aguiar, J. P., Yuyama, K., Clement, C., Macedo, S. H., Fávoro, D. I., Afonso, C., Vasconcellos, M. B., Pimentel, S. A., Badolato E. S. G., & Vannucchi, H. (2003). Chemical composition of the fruit mesocarp of three peach palm (*Bactris gasipaes*) populations grown in Central Amazonia, Brazil. *International Journal of Food Science and Nutrition*, *54*(1), 49–56. <https://doi.org/10.1080/096374803/000061994>