

© 2023 Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.

Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 26: 1-9, 2023.

<https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2023.561>

Caracterización fisicoquímica y compuestos bioactivos en los frutos de pitaya (*Stenocereus thurberi*) de cuatro colores

Jeny Hinojosa-Gómez¹ y María D. Muy-Rangel^{1*}

¹Laboratorio de Tecnología de Alimentos. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. Coordinación Culiacán, Carretera El Dorado Km 5.5, Campo el Diez, Culiacán Rosales 80110, Sinaloa, México. E-mail: *mdmuy@ciad.mx

RESUMEN

En los frutos de pitaya silvestre (*Stenocereus thurberi*) se distinguen cuatro tipos diferentes de coloración (rojo, tinto, amarillo y anaranjado); el estudio se realizó en su estado de maduración y con base en los que presentaron estos colores, para a través de un análisis químico determinar su color, composición mineral, calidad química y nutracéutica. Los frutos tuvieron en promedio 83 % de humedad, 0.8 % de cenizas y 0.1 % de grasa. Los mayores contenidos de fibra total fueron de (38 g kg⁻¹), SST (13.5 °Brix), glucosa (12.6 g 100 g⁻¹), fructosa (6.1 g 100g⁻¹), fenoles totales (1.9 mg EAG g⁻¹) y capacidad antioxidante (ORAC, ABTS⁺) para el color anaranjado. Los valores altos de betacianinas (125.4 mg 100 g⁻¹) y betaxantinas (275.1 mg 100 g⁻¹) son valores reportados para el color tinto que también contiene un número mayor de minerales (K, Ca, Mg, Fe y Mn), seguidos de los frutos rojos con (N, Na y Cu), anaranjados (P, Zn) y amarillos (N, K). Los valores del ángulo de matiz para la pulpa en los cuatro colores de la pitaya se situaron en la región amarillenta-rojiza, revelando el color visual para cada fruto con el uso del software ColorHexa. La variabilidad en las características evaluadas estuvo influenciada por el color del fruto de pitaya.

Palabras clave: *Stenocereus thurberi*, betalainas, minerales, capacidad antioxidante, azúcares.

Physicochemical characterization and bioactive compounds in pitaya (*Stenocereus thurberi*) fruits of four colors

ABSTRACT

In the fruits of wild pitaya (*Stenocereus thurberi*) four different types of coloration are distinguished (red, red, yellow and orange); The study was carried out in its state of maturation and based on those that presented these colors, in order to determine its color, mineral composition, chemical and nutraceutical quality through a chemical analysis. The fruits had an average of 83 % humidity, 0.8 % ash and 0.1 % fat. The highest contents of total fiber were (38 g kg⁻¹), TSS (13.5 °Brix), glucose (12.6 g 100 g⁻¹), fructose (6.1 g 100g⁻¹), total phenols (1.9 mg EAG g⁻¹) and antioxidant capacity (ORAC, ABTS⁺) for the orange color. The high values of betacyanins (125.4 mg 100 g⁻¹) and betaxanthins (275.1 mg 100 g⁻¹) are values reported for the red color that also contains a greater number of minerals (K, Ca, Mg, Fe and Mn), followed by red fruits with (N, Na and Cu), orange (P, Zn) and yellow (N, K). The values of the hue angle for the pulp in the four colors of the pitaya were located in the yellowish-reddish region, revealing the visual color for each fruit with the use of the ColorHexa software. The variability in the evaluated characteristics was influenced by the color of the pitaya fruit.

Key words: *Stenocereus thurberi*, betalains, minerals, antioxidant capacity, sugars.

INTRODUCCIÓN

El fruto conocido como pitaya y con el nombre científico de *Stenocereus* crece en los climas áridos y semiáridos, su distribución inicia en el Sur de los Estados Unidos hasta Centroamérica (Quiroz-González, García-Mateos, Corrales-García & Colinas-León, 2018), dentro de éste género se encuentran 24 especies, de las cuales 21 son endémicas de México (Gibson & Horak, 1978). *S. stellatus*, *S. queretaroensis*, *S. griseus* y *S. pruinosus* son especies utilizadas en las plantaciones agrícolas comerciales (Santacruz Vázquez, Santacruz Vázquez & Huerta Espinosa, 2009); en este estudio la especie de interés *S. thurberi* variedad *thurberi*, conocido como “pitaya dulce” es un fruto silvestre recolectado y comercializado en los mercados locales (Bravo-Hollis, 1991) de la región de San José del Llano, Badiraguato, Sinaloa.

Los frutos de pitaya se nombran de acuerdo al color de la pulpa con tonalidades que varían desde rojas, moradas, amarillas, rosadas, hasta anaranjadas y blancas (Campos-Rojas, Pinedo-Espinoza, Campos-Montiel & Hernández-Fuentes, 2011), lo que les confiere potencial para el uso de colorantes naturales en la industria alimentaria, en sustitución de los colorantes comerciales (García-Cruz, Salinas-Moreno & Valle-Guadarrama, 2012; Vargas-Campos *et al.*, 2018). Su color se debe a los pigmentos conocidos como betalainas, compuestos hidrosolubles que forman betacianinas (compuestos rojo-púrpura) cuando se unen a una estructura del ciclo-Dopa y el ácido que contienen da lugar a las betaxantinas (compuestos amarillos) cuando se conectan a una amina primaria o secundaria (Gandía-Herrero & García-Carmona, 2013). Existen pocos estudios sobre el contenido de las betalainas en *S. thurberi*, y la mayoría de ellos se centran en las de color rojo, reportándose valores entre 2,430–2,540 $\mu\text{g g}^{-1}$ de la pulpa en peso seco (Pérez-Loredo, De Jesús & Barragán-Huerta, 2017; Rodríguez-Félix, Fortiz-Hernández & Tortoledo-Ortiz Orlando, 2019). Estos compuestos son utilizados para aumentar el potencial nutraceutico de los alimentos, debido a su poder antioxidante y antimicrobiano, además de estimular el sistema inmunológico, lo que reduce el riesgo de enfermedades cardiovasculares, trastornos degenerativos y cáncer (Song, Chu, Xu, Xu & Zheng, 2016; Choo, 2018). La capacidad antioxidante de los frutos de *S. thurberi* se ha determinado por medio de los radicales DDPH Y ABTS⁺ con valores entre 10.7 y 17.6 mM equivalentes de Trolox g^{-1} de peso seco, respectivamente (Castro-Enríquez *et al.*, 2020) y solo para los frutos rojos. Esta capacidad antioxidante puede ser el producto de la sinergia entre las betalainas y los compuestos fenólicos (García-Cruz, Dueñas, Santos-Buelgas, Valle-Guadarrama & Salinas-Moreno, 2017), motivo por el que los frutos de pitaya también han sido evaluados en términos de su contenido de compuestos fenólicos (1,131- 2,070 mg equivalentes de ácido gálico por 100 g de peso seco) (Rodríguez-Félix *et al.*, 2019; Castro-Enríquez *et al.*, 2020). Estas sustancias se consideran de gran importancia, ya

que pueden prevenir diferentes enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo (Macheix, Fleuriet & Billot, 2018).

La concentración de azúcares en *S. thurberi* supera lo publicado en las especies de *S. pruinosus*, *S. stellatus* y *S. queretaroensis*, y por esta característica se le conoce como pitaya dulce (García-Cruz, Valle-Guadarrama, Guerra-Ramírez, Martínez-Damián & Zuleta-Prada, 2022), en esos artículos solo se menciona el contenido de los azúcares reductores, y que además es mayor el contenido de glucosa que de fructosa (Rodríguez-Félix *et al.*, 2019).

Diversos estudios también han evaluado las características fisicoquímicas y/o nutraceuticas de la pitaya de *S. thurberi* (Muy, Campos & Siller, 1999; García-Cruz *et al.*, 2012; Rodríguez-Félix *et al.*, 2019; Castro-Enríquez *et al.*, 2020). Sin embargo, estos trabajos se concentran en la evaluación de los frutos rojos, sin información del contenido mineral de los mismos. El objetivo de este estudio fue determinar el color, la composición mineral, la calidad química y nutraceutica de los frutos de pitaya silvestre (*Stenocereus thurberi*) en sus cuatro colores (rojo, tinto, amarillo y anaranjado) provenientes de San José del Llano, Badiraguato, Sinaloa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

Se evaluaron cuatro colores de la pitaya (*Stenocereus thurberi*) (roja, amarilla, anaranjada y tinta) (Figura 1), endémicas de San José del Llano, Badiraguato, Sinaloa, México, situado a 620 metros de altitud, longitud: -107.338889 y latitud: 25.785556. Se recolectaron los frutos en la madurez comercial (apertura de pericarpio) durante el mes de junio de 2022. Los frutos se transportaron en hieleras hasta el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. Unidad Culiacán, se separó el epicarpio del endocarpio manualmente y la pulpa se congeló a -20 °C para su posterior análisis.

Composición química

Para la determinación de los parámetros de calidad se deshidrató la pulpa de la pitaya hasta peso seco constante en una estufa (NAHITA® 631, Francia) a 60 °C. Después del secado, estos se molieron en un molino de acero inoxidable (Mod. 3383-L10 Thomas Scientific®) y se cribaron en una malla del No. 40.

Los contenidos de humedad, cenizas, grasas, proteínas (Nitrógeno *6.25) y fibra total se determinaron con los métodos oficiales 920.39, 942.05, 920.39, 920.87 y 985.29 (AOAC, 1998), respectivamente.

El nitrógeno total se analizó por el método micro-Kjeldahl (Sparks, Page, Helmke, Loeppert & Bremner, 1996), el fósforo por espectrofotometría visible (Spectrophotometer UV/Vis 6705 Jenway®, UK) y la cuantificación de calcio, magnesio, potasio, sodio, hierro, zinc, manganeso y cobre por espectrometría de

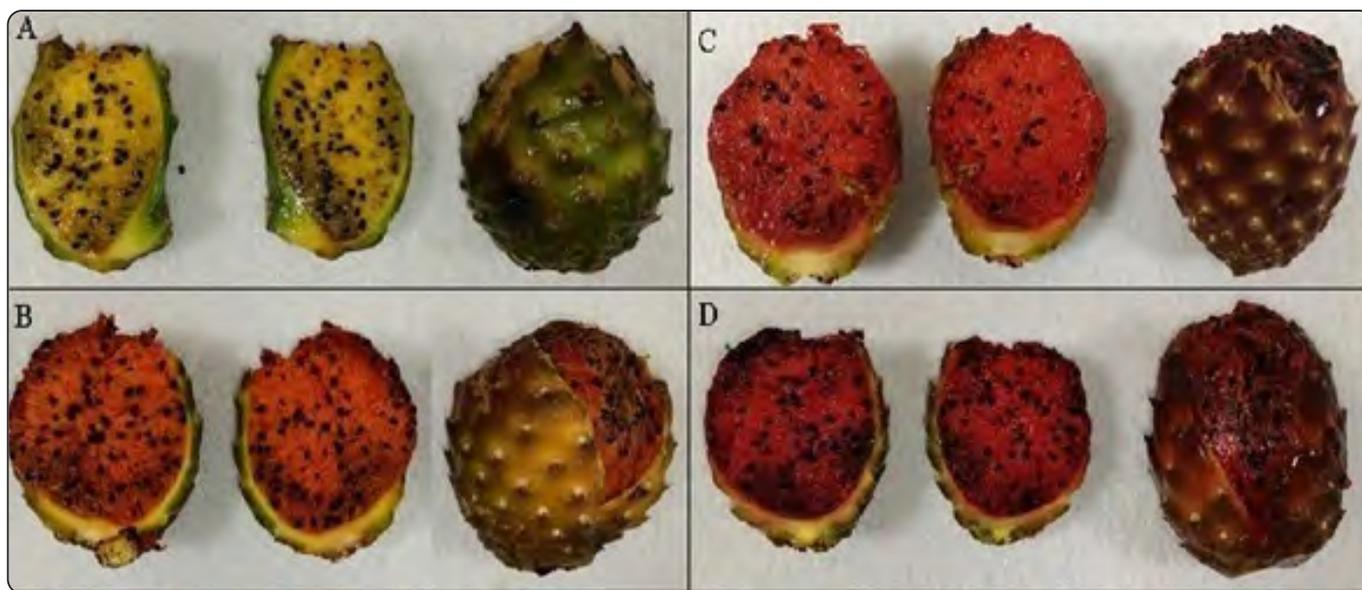


Figura 1. Frutos de pitaya de distintos colores (*Stenocereus thurberi*) (A: amarillos, B: anaranjados, C: rojos, D: tintos).

absorción atómica (AA FS de llama AA 280FS + SIPS 20, Agilent Technologies®, EE. UU.) (AOAC, 1998).

Se tomó una muestra de 10 g de pulpa fresca de cinco frutos y se licuaron, la mezcla se filtró en una tela de organza y se determinó el contenido de los sólidos solubles totales en un refractómetro Mettler Toledo Mod. RE40D®, los resultados se expresaron en °Brix.

Contenido de azúcares

Los azúcares solubles disponibles se midieron como glucosa, fructosa y sacarosa. La pulpa de pitaya (2 g) se sonicó con 20 mL de etanol-agua (80:20, v/v) durante 15 minutos y se centrifugó a 4,000 g durante 10 minutos. Se agruparon tres extracciones del sobrenadante, de los que se tomaron 0,5 mL para evaporarlos a sequedad y resuspenderlos con 5 mL de agua. Los azúcares se determinaron utilizando el kit de ensayo Megazyme® Sacarosa, D-Fructosa y D-Glucosa (Bray, Business Park, Bray, Co., Wicklow, Irlanda, 2018) de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

Extracción y cuantificación de las betalainas

La extracción de las betalainas se llevaron a cabo de acuerdo a lo descrito por (García-Cruz *et al.*, 2012). El contenido de betacianinas y betaxantinas se cuantificó mediante la medición de absorbancias de los extractos de betalainas a 538 y 483 nm en un espectrofotómetro Perkin Elmer Lambda 25® UV/Vis (USA) (Castellanos-Santiago & Yahia, 2008).

Fenoles totales y capacidad antioxidante

Los fenoles totales se cuantificaron por el método Folin-Ciocalteu (Swain & Hillis, 1959) usando una curva estándar de

ácido gálico (AG) (Sigma-Aldrich®) a concentraciones de 0 a 0.4 mg mL⁻¹ ($Y = 2.99x + 0.0245$, $R^2 = 0.99$) y los resultados se expresaron como miligramos equivalentes de ácido gálico por kilogramo de base húmeda (mg EAG kg⁻¹ bh). La capacidad antioxidante (CA) se determinó por dos métodos: 1) ABTS [ácido 2,2-azino-bis(3-etilbenzotiazolin)-6-sulfónico] (López-Contreras, Zaval-García, Urias-Orona, Martínez-Ávila & Rojas, 2015) y 2) ORAC (Capacidad de Absorción de los Radicales de Oxígeno) (Huang, Ou, Hampsch-Woodill, Flanagan & Prior, 2002), para ambos métodos se utilizó una curva estándar de Trolox (Sigma-Aldrich®) a concentraciones de 0 a 1 μmol para ABTS ($Y = 0.662x + 0.002$, $R^2 = 0.993$) y 0 a 140 μmol para ORAC ($Y = 0.303x + 0.978$, $R^2 = 0.998$). La CA de ambos métodos se convirtió en micro moles equivalentes de Trolox (ET) por gramo de base húmeda (μmol ET g⁻¹ bh). Las tres variables de respuesta se evaluaron en un lector de microplacas Sinergy HT (BioTek, Inc®, EE. UU.).

Análisis de color

Los atributos de color se obtuvieron en la escala CIELCH. Los frutos de pitaya recién cosechados fueron partidos por la mitad para realizar la medición de color en términos de L*, a*, b* utilizando un espectrofotómetro (Konica Minolta CM-700d®, EE. UU.). Para cada tratamiento se usaron tres muestras: se tomaron medidas en dos puntos del endocarpio y se calculó el valor promedio de cada muestra. La imagen en color se obtuvo con el software ColorHexa (ColorHexa, 2022) usando L*, a*, b* para cada medición de muestra.

Análisis estadístico

Todas las pruebas fueron realizadas por triplicado. El análisis, de los datos, se hizo mediante un análisis de varianza (ANOVA) de

una vía para cada una de las variables probadas en el software Minitab. La diferencia de medias se analizó con la prueba de Tukey al 95 % de nivel de significancia ($P \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis proximal y contenido mineral

El análisis proximal mostró ligeras diferencias en la humedad, la proteína, la fibra total y los sólidos solubles totales (SST) ($P \leq 0.05$) entre los colores de la pitaya (Tabla I). La humedad superó el 82 % para los frutos rojos, amarillos y anaranjados, sin embargo, en la pitaya tinta el valor fue menor (78.7 %) y estadísticamente diferente. Estos resultados están ligeramente por abajo de los reportados entre el 85 % y el 89 % para distintas especies de *Stenocereus* (Pérez-Loredo, García-Ochoa & Barragán-Huerta, 2016; García-Cruz *et al.*, 2022). El contenido de fibra total es el segundo componente más importante con valores entre 34 y 38 g kg⁻¹ (Tabla I), valores superiores a los publicados de 5.3 y 16.3 g kg⁻¹ para *S. pruinosus* y *S. stellatus* respectivamente (García-Cruz *et al.*, 2022). La pitaya de color rojo mostró el mayor contenido de proteína (1.5 %) superando

los valores mencionados por (Castro-Enríquez *et al.*, 2020) para la misma especie (0.86 %), sin embargo, el contenido concuerda con lo descrito para *Hylocereus* spp. (1.45 %) (Shrikant Sonawane, 2017).

El nivel de los sólidos solubles totales (SST) fue similar para los cuatro colores de la pitaya, con rangos entre 12.4 y 13.5 °Brix (Tabla I), valores que concuerdan con los de (Rodríguez-Félix *et al.*, 2019; Castro-Enríquez *et al.*, 2020) para *S. thurberi* color rojo de Sonora (12.8 °Brix). Distintas especies como *S. stellatus* y *S. queretaronensis* han mostrado contenidos menores de (9 y 11 °Brix respectivamente) (Pérez-Loredo *et al.*, 2016).

El contenido mineral para macro y micronutrientes mostró una gran variabilidad dependiendo del color del fruto de pitaya ($P \leq 0.05$). Los frutos de color rojo tienen los contenidos más altos en nitrógeno, sodio y cobre, los frutos naranjas en fósforo, manganeso y zinc, a diferencia de los de color tinta que mostraron los valores más altos en potasio, calcio, magnesio, hierro y manganeso, (Tabla II). Hasta el momento se

Tabla I. Composición química proximal en los distintos colores de los frutos de pitaya (*Stenocereus thurberi*).

	Humedad	Cenizas	Grasa	Proteína	Fibra total	SST
	------%-----				g kg ⁻¹	°Brix
Roja	82.4 ± 0.9 ^a	0.8 ± 0.1 ^a	0.1 ± 0.01 ^a	1.5 ± 0.04 ^a	34.4 ± 0.2 ^b	12.4 ± 0.04 ^c
Amarilla	83.9 ± 0.4 ^a	0.7 ± 0.02 ^a	0.1 ± 0.01 ^a	0.5 ± 0.04 ^b	37.7 ± 0.7 ^a	12.7 ± 0.04 ^b
Anaranjada	82.7 ± 1.5 ^a	0.9 ± 0.1 ^a	0.1 ± 0.001 ^a	0.3 ± 0.01 ^c	38.0 ± 1 ^a	13.5 ± 0.06 ^a
Tinta	78.7 ± 0.6 ^b	0.8 ± 0.01 ^a	0.1 ± 0.01 ^a	0.5 ± 0.02 ^b	36.5 ± 1.1 ^{ab}	13.3 ± 0.1 ^a

Todos los valores corresponden al peso seco. Los valores son la media ± desviación estándar (n = 3), letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre muestras usando la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Tabla II. Contenido mineral (peso seco) en los distintos colores de los frutos de pitaya (*Stenocereus thurberi*).

	Roja	Amarilla	Anaranjada	Tinta
	----- mg kg ⁻¹ -----			
N	2318.3 ± 10.27 ^a	815.9 ± 10.4 ^b	545.5 ± 9.9 ^c	802.2 ± 7.6 ^b
P	268.8 ± 1.2 ^c	266.3 ± 2.6 ^c	346.0 ± 5.2 ^a	310.9 ± 5.8 ^b
K	2174.0 ± 18.4 ^d	2386.5 ± 12.6 ^b	2328.5 ± 9.5 ^c	2636.1 ± 9.44 ^a
Ca	8.6 ± 0.1 ^c	9.5 ± 0.1 ^b	9.6 ± 0.2 ^b	14.1 ± 0.4 ^a
Mg	496.0 ± 5.1 ^b	508.6 ± 3.1 ^b	232.7 ± 4.9 ^c	583.2 ± 7.5 ^a
Na	79.4 ± 1 ^a	40.6 ± 0.7 ^c	35.1 ± 0.5 ^d	72.5 ± 0.4 ^b
Fe	8.9 ± 0.1 ^b	6.3 ± 0.2 ^c	6.6 ± 0.1 ^c	10.8 ± 0.2 ^a
Mn	2.3 ± 0.2 ^c	3.5 ± 0.1 ^b	3.9 ± 0.1 ^a	4.1 ± 0.1 ^a
Zn	3.8 ± 0.2 ^b	2.9 ± 0.1 ^c	4.5 ± 0.1 ^a	3.1 ± 0.1 ^c
Cu	1.0 ± 0.2 ^a	0.5 ± 0.03 ^{bc}	0.7 ± 0.1 ^b	0.5 ± 0.1 ^c

Los valores corresponden a la media ± desviación estándar (n = 3), letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas entre muestras usando la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

desconoce el contenido mineral para *S. thurberi*, sin embargo, son conocidos los componentes (mg kg^{-1}) de P (3.6, 3.4), K (1.1, 1.2), Ca (0.9, 0.95) y Mg (2.3, 2.1) de *S. pruinosus* del color rojo y naranja respectivamente (García-Cruz *et al.*, 2022) con valores muy por debajo a los citados en esta investigación. Estas diferencias se atribuyen, posiblemente, a las distintas regiones de crecimiento, ya que al ser cultivos silvestres se desarrollan en suelos pedregosos o poco profundos, donde el ambiente puede ser una causa de estrés debido a la baja disponibilidad de agua y minerales (Pimienta-Barrios, Pimienta-Barrios & Nobel, 2004). *Hylocereus polyrhizus* mejor conocida como pitahaya o fruta dragón es un cultivo agrícola explotado comercialmente, distribuido principalmente en Malasia y Australia, y para el que se mencionan contenidos de (mg kg^{-1}) de P (300), K (1,580) y Mg (280) (Khalili *et al.*, 2006; Nurul & Asmah, 2014), menores a los aquí presentados, sin embargo, a pesar de ser un cultivo silvestre, se recomienda la inclusión de *S. thurberi* en la ingesta diaria de la dieta humana (García-Gabarra, 2006).

Azúcares solubles

Los principales azúcares que se encontraron en los cuatro colores de la pitaya fueron glucosa y fructosa, con un contenido de glucosa dos veces mayor que la fructosa en todos los frutos. No se detectó sacarosa (Tabla III). En Rodríguez-Félix *et al.* (2019) el contenido de glucosa y fructosa es de (35.6 y 17.4 $\text{g } 100\text{g}^{-1}$ respectivamente) en los frutos rojos de *S. thurberi* de Sonora, éstos valores son mayores a los generados en este trabajo, sin embargo, se conserva la relación de una proporción. El contenido de los azúcares totales fue mayor para la pitaya de color naranja (18.7 $\text{g } 100\text{g}^{-1}$), valor que supera a lo previamente publicado para otras especies (*S. pruinosus*, *S. stellatus* y *S. queretaroensis*) (Pimienta-Barrios *et al.*, 1997; García-Cruz, Valle-Guadarrama, Salinas-Moreno & Joaquín-Cruz, 2013; Pérez-Loredo *et al.*, 2016).

Contenido de betalaínas

La diversidad de los colores que exhiben los frutos de *Stenocereus* es por la proporción en la que se combinan las betacianinas y las betaxantinas, lo que da lugar a que la tonalidad varíe de amarillo a morado, pasando por naranja y diferentes tonalidades de rojo (Gandía-Herrero, Cabanes,

Escribano, García-Carmona & Jiménez-Atiéndzar, 2013). El contenido de betacianinas y betaxantinas y principalmente de betalaínas fue mayor para los frutos de pitaya color tinta, seguido de los rojos, anaranjados y el contenido más bajo fue para los frutos amarillos ($P \leq 0.05$) (Figura 2), este comportamiento esta correlacionado con el color de la fruta, a mayor intensidad de color es mayor el contenido de estos compuestos (Sandate-Flores *et al.*, 2016). Para los frutos de color rojo de *S. thurberi* se indican contenidos de 97 $\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ base húmeda de betacianinas (Rodríguez-Félix *et al.*, 2019), un valor superior a lo expuesto en este trabajo y para este color (56.6 $\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ base húmeda) (Figura 2). Sin embargo, el contenido de betaxantinas en la pitaya de color roja es de (189.9 $\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ base húmeda) y por consiguiente mayor a lo señalado por otros autores para la misma variedad (146 $\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ base húmeda) (Rodríguez-Félix *et al.*, 2019).

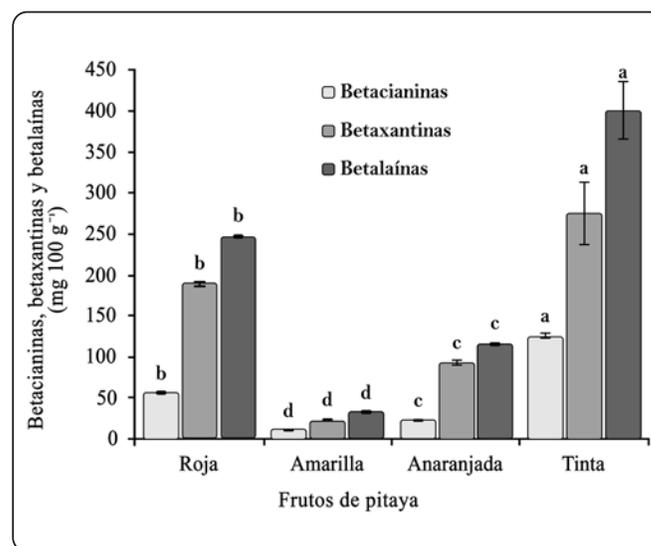


Figura 2. Contenido de Betalaínas (betacianinas y betaxantinas) en los distintos colores de los frutos de pitaya (*Stenocereus thurberi*). Los valores corresponden al peso húmedo. Letras diferentes sobre la barra indican diferencia estadística significativa usando la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Barras verticales corresponden a la desviación estándar.

Tabla III. Contenido de azúcares en los distintos colores de los frutos de pitaya (*Stenocereus thurberi*).

	D-Glucosa	D-Fructosa	Sacarosa	Azúcares Totales
	----- g 100g ⁻¹ -----			
Roja	10.2 ± 0.7 ^b	5.3 ± 0.6 ^a	ND	15.5 ± 1.3 ^b
Amarilla	6.3 ± 0.3 ^c	1.8 ± 0.6 ^b	ND	8.1 ± 0.8 ^c
Anaranjada	12.6 ± 1.1 ^a	6.1 ± 0.4 ^a	ND	18.7 ± 0.7 ^a
Tinta	9.6 ± 0.5 ^b	4.9 ± 0.6 ^a	ND	14.5 ± 1.1 ^b

Los valores corresponden al peso húmedo. Los valores corresponden a la media ± desviación estándar (n = 3), letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre muestras usando la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). ND: no detectado.

La mayor concentración de betalaínas se ha encontrado en las variantes rojas de *S. pruinus* y *S. queretaroensis*, con contenidos totales de 2,313 y 2,299 mg 100g⁻¹ de muestra seca, respectivamente (García-Cruz *et al.*, 2017; Soto Castro *et al.*, 2019), valores mayores a los resultados obtenidos en este estudio, sin embargo, es importante considerar que se utilizaron distintas técnicas de extracción y que nuestros resultados son en peso fresco.

Fenoles totales y capacidad antioxidante

El contenido total de fenoles para los frutos de pitaya fue mayor para el color anaranjado (1.9 mg EAG g⁻¹ peso fresco), para los tres colores restantes no hubo diferencia estadística significativa (Figura 3). El máximo valor que resultó en este trabajo es inferior a lo publicado para frutos rojos de pitaya *S. thurberi* (11.3 mg EAG g⁻¹ peso fresco) (Rodríguez-Félix *et al.*, 2019), sin embargo, se conoce que hay contenidos menores en el género *S. pruinus* para frutos rojos y anaranjados (0.07 y 0.05 mg EAG g⁻¹ peso seco respectivamente) (García-Cruz *et al.*, 2017). La especie *S. stellatus* es la más estudiada en cuanto a éste parámetro por mostrar gran variabilidad en el contenido de fenoles en pitaya de color rojo (mg EAG g⁻¹ peso fresco) (0.1 a 13.8), amarillo (3.7 a 21.2), blanco (0.1 a 23.9), anaranjado (0.15) y morado (15.5) (Beltrán-Orozco, Oliva-Coba, Gallardo-Velázquez & Osorio-Revilla, 2009; Pérez-Loredo *et al.*, 2016, 2017; Cervantes Arista *et al.*, 2020). Estas diferencias pueden atribuirse a las especies, al ecotipo y a las distintas formas de extracción (Agati, Azzarello, Pollastri & Tattini, 2012).

Los frutos de *Stenocereus* tienen un alto potencial antioxidante por la presencia de sustancias con la capacidad para ceder un electrón o un átomo de hidrógeno y capturar compuestos oxidantes, como el ácido ascórbico, las betalaínas y diferentes compuestos fenólicos (Beltrán-Orozco *et al.*, 2009; García-Cruz *et al.*, 2013). Las pruebas de capacidad antioxidante (ORAC y ABTS⁺) mostraron los mayores valores para el cultivar anaranjado (Figura 3). El valor relativo de la capacidad de absorción de los radicales de oxígeno (ORAC) osciló entre 51.4 y 67.3 μM ET g⁻¹ base húmeda (Figura 3), con una mayor actividad antioxidante, a 10 veces, que lo citado (García-Cruz *et al.*, 2013) para frutos anaranjados y rojos (5.1 y 7.8 μM ET g⁻¹ base húmeda) de *S. pruinus*, esto es quizá por la diferencia entre variedades y condiciones edafoclimáticas del lugar de producción.

La capacidad antioxidante que se determinó con el radical ABTS⁺ (Figura 3) es menor a lo descrito para *S. thurberi* (17,600 μM ET g⁻¹ base seca), *S. pruinus* (740-1090 μM ET g⁻¹ base seca) y *S. stellatus* (57.2 a 128.6 μM ET g⁻¹ base seca) en (Beltrán-Orozco *et al.*, 2009; García-Cruz *et al.*, 2013; Castro-Enríquez *et al.*, 2020).

Propiedades del color

Los parámetros cromáticos L*, a*, b* de la pulpa de los frutos de pitaya mostraron diferencias estadísticas significativas (P ≤ 0.05) entre los distintos colores (Tabla IV). Las pitayas tintas fueron las más oscuras (menor valor L*) que el resto. Los valores del ángulo de matiz para la pulpa de la pitaya estaban

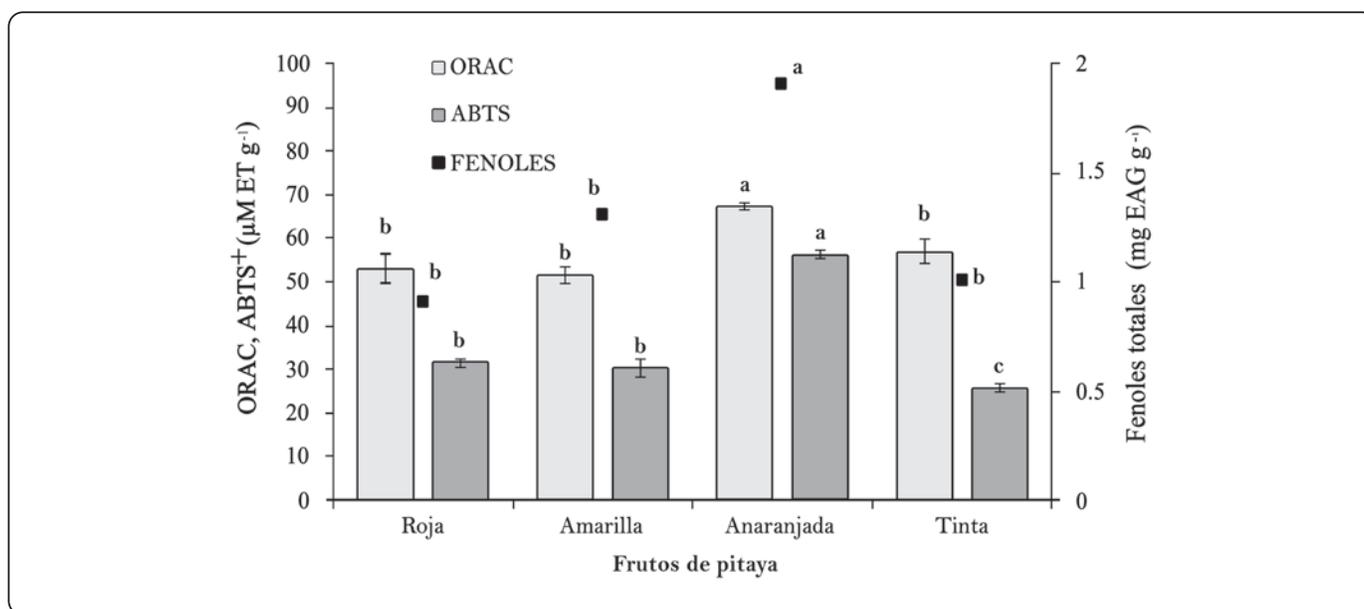
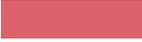


Figura 3. Capacidad antioxidante (ORAC y ABTS⁺) y contenido de fenoles totales en los distintos colores de los frutos de pitaya (*Stenocereus thurberi*). Los valores corresponden al peso húmedo. Letras diferentes sobre la barra indican diferencia estadística significativa usando la prueba de Tukey (P ≤ 0.05). Barras verticales corresponden a la desviación estándar.

Tabla IV. Características cromáticas en los distintos colores de los frutos de pitaya (*Stenocereus thurberi*).

	----- Parámetro cromático -----			
	L*	a*	b*	Vista de color
Roja	57.2 ± 1.1 ^b	47.6 ± 2.2 ^a	18.5 ± 1.5 ^c	
Amarilla	83.5 ± 1.2 ^a	2.2 ± 1.3 ^d	55 ± 1.4 ^a	
Anaranjada	55.2 ± 1 ^b	32.5 ± 1.4 ^b	41.9 ± 0.9 ^b	
Tinta	28.4 ± 0.4 ^c	26.3 ± 2.2 ^c	3.4 ± 0.4 ^d	

Los valores corresponden a la media ± desviación estándar (n = 10), letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre muestras usando la prueba de Tukey (P ≤ 0.05).

ubicados en la región amarillenta-rojiza, pero la pitaya color tinta tenía un valor H° más bajo lo que indica una coloración más fuerte (Pérez-Loredo *et al.*, 2016). El uso de las coordenadas L*, a*, b* en el software ColorHexa reveló el color visual obtenido en la pulpa de los frutos de pitaya (Tabla IV).

CONCLUSIONES

Los frutos de *S. thurberi* de Badiraguato, Sinaloa, contienen compuestos químico-proximales y bioactivos con propiedades nutricionales y antioxidantes, que son importantes en la dieta para la nutrición humana, además de combatir el estrés oxidativo y enfermedades relacionadas a carencias alimentarias.

Aunque los cuatro colores de los frutos analizados son del mismo género, especie y lugar de producción, cada color tiene características específicas, los frutos de color rojo se caracterizan por tener los mayores contenidos de proteínas y los elementos Na y Cu. Los anaranjados son ricos en fibra, azúcares, fenoles totales, capacidad antioxidante, P, Mn y Zn. Los frutos tintos tienen alto contenido de fibra, betalainas, K, Ca, Mg, Fe y Mn. Estas características permiten definir el uso comercial para cada uno de los colores de la pitaya.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. (CIAD, A. C.) unidad Culiacán, Sinaloa, México, por permitirnos usar sus instalaciones y al Consejo Nacional de Humanidades Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) por el apoyo financiero (beca posdoctoral, #CVU: 507154) para la realización de este artículo.

REFERENCIAS

Agati, G., Azzarello, E., Pollastri, S. & Tattini, M. (2012). Flavonoids as antioxidants in plants: location and functional significance. *Plant Sci.*, **196**, 67–76. DOI: 10.1016/J.PLANTSCI.2012.07.014.
 AOAC (1998). Official methods of analysis. In: Association

of Official Analytical Chemists (AOAC), editor. 16th ed. Washington, D.C., USA
 Beltrán-Orozco, M. C., Oliva-Coba, T. G., Gallardo-Velázquez, T. & Osorio-Revilla, G. (2009). Ascorbic acid, phenolic content, and antioxidant capacity of red, cherry, yellow and white types of pitaya cactus fruit (*Stenocereus stellatus* Riccobono). *Agrociencia*, **43(2)**, 153–161.
 Bravo-Hollis, H. (1991). Las Cactaceas de México. *Universidad Nacional Autónoma de México*, 3, 404. <https://cir.nii.ac.jp/crid/1573950398844061440> (accessed 17 October 2022).
 Campos-Rojas, E., Pinedo-Espinoza, J. M., Campos-Montiel, R. G. & Hernández-Fuentes, A. D. (2011). Evaluación de plantas de pitaya (*Stenocereus* spp.) de poblaciones naturales de monte escobedo, Zacatecas Eduardo. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.*, **17(3)**, 173–181.
 Castellanos-Santiago, E. & Yahia, E. M. (2008). Identification and quantification of betalains from the fruits of 10 Mexican prickly pear cultivars by high-performance liquid chromatography and electrospray ionization mass spectrometry. *J. Agric. Food Chem.*, **56(14)**, 7. DOI: 10.1021/jf800362t.
 Castro-Enríquez, D. D., Montañón-Leyva, B., Del Toro-Sánchez, C. L., Juárez-Onofre, J. E., Carvajal-Millán, E., López-Ahumada, G. A., Barreras-Urbina, C. G., Tapia-Hernández, J. A. & Rodríguez-Félix, F. (2020). Effect of ultrafiltration of pitaya extract (*Stenocereus thurberi*) on its phytochemical content, antioxidant capacity, and UPLC-DAD-MS Profile. *Mol.*, **25(2)**, 281. DOI: 10.3390/MOLECULES25020281.
 Cervantes Arista, C., Roman Guerrero, A., Oidor Chan, V. H., Díaz de León-Sánchez, F., E. L. Álvarez Ramírez, E. L. Pelayo-Zaldívar, C., Sierra-Palacios, E. & Mendoza-Espinoza, J. A. (2020). Chemical characterization, antioxidant capacity, and anti-hyperglycemic effect of *Stenocereus stellatus* fruits from the arid mixteca baja region of Mexico. *Food Chem.*, **328 (May)**, 127076. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127076.
 Choo, W. S. (2018). Betalains: Application in Functional Foods: 1–28. DOI: 10.1007/978-3-319-54528-8_38-2.

- ColorHexa. (2022). Color Hex - ColorHexa.com. <https://www.colorhexa.com/> (accessed 10 October 2022).
- Gandía-Herrero, F. & García-Carmona, F. (2013). Biosynthesis of betalains: yellow and violet plant pigments. *Trends Plant Sci.*, **18(6)**, 334–343. DOI: 10.1016/J.TPLANTS.2013.01.003.
- Gandía-Herrero, F., Cabanes, J., Escribano, J., García-Carmona, F. & Jiménez-Atiénzar, M. (2013). Encapsulation of the most potent antioxidant betalains in edible matrixes as powders of different colors. *J. Agric. Food Chem.*, **61(18)**, 4294–4302. DOI: 10.1021/jf400337g.
- García-Cruz, L., Dueñas, M., Santos-Buelgas, C., Valle-Guadarrama, S. & Salinas-Moreno, Y. (2017). Betalains and phenolic compounds profiling and antioxidant capacity of pitaya (*Stenocereus* spp.) fruit from two species (*S. pruinosus* and *S. stellatus*). *Food Chem.*, **234**, 111–118. DOI: 10.1016/J.FOODCHEM.2017.04.174.
- García-Cruz, L., Salinas-Moreno, Y. & Valle-Guadarrama, S. (2012). Betaínas, compuestos fenólicos y actividad antioxidante en pitaya de mayo (*Stenocereus griseus* H.). *Rev. Fitotec. Mex.*, **35(especial 5)**, 1–5. DOI: 10.35196/rfm.2012.especial_5.1.
- García-Cruz, L., Valle-Guadarrama, S., Guerra-Ramírez, D., Martínez-Damián, M. T. & Zuleta-Prada, H. (2022). Cultivation, quality attributes, postharvest behavior, bioactive compounds, and uses of *Stenocereus*: A review. *Sci. Hortic.*, **304(July)**. DOI: 10.1016/j.scienta.2022.111336.
- García-Cruz, L., Valle-Guadarrama, S., Salinas-Moreno, Y. & Joaquín-Cruz, E. (2013). Physical, chemical, and antioxidant activity characterization of pitaya (*Stenocereus pruinosus*) fruits. *Plant Foods Hum. Nutr.*, **68(4)**, 403–410. DOI: 10.1007/s11130-013-0391-8.
- García-Gabarra, A. (2006). Ingesta de nutrientes: Conceptos y recomendaciones internacionales. *Nutritional Hospitalaria.*, p. 437–447.
- Gibson, A. C. & Horak, K. E. (1978). Systematic anatomy and phylogeny of Mexican Columnar Cacti. *Ann. Missouri Bot. Gard.*, **65(4)**, 999–1057. DOI: 10.2307/2398781.
- 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. *J. Agric. Food Chem.*, **50**, 7. DOI: 10.1021/jf0201529.
- Khalili, R. M. A., Norhayati, A. H., Rokiah, M. Y., Asmah, R., Nasir, M. T. M. & Siti Muskinah, M. (2006). Proximate composition and selected mineral determination in organically grown red pitaya (*Hylocereus* sp.). *J. Trop. Agric. Foods Sci.*, **34(2)**, 269–275.
- López-Contreras, J. J., Zavala-García, F., Urías-Orona, V., Martínez-Ávila, G. C. G., Rojas, R. & Niño-Medina, G. (2015). Chromatic, phenolic and antioxidant properties of Sorghum bicolor genotypes. *Not. Bot. Horti Agrobot. Cluj-Napoca*, **43(2)**, 366–370. DOI: 10.15835/nbha4329949.
- Macheix, J. J., Fleuriet, A. & Billot, J. (2018). Fruit phenolics. *Fruit Phenolics*, 1–378. DOI: 10.1201/9781351072175/FRUIT-PHENOLICS-JEAN-JACQUES-MACHEIX.
- Muy, M. D., Campos, J. P. & Siller, J. H. (1999). El pitayo dulce (*Stenocereus thurberi*) del Desierto de Sonora. E. Piment. Guadalajara, Jalisco, México. p. 115–126.
- Nurul, S. R., & Asmah, R. (2014). Variability in nutritional composition and phytochemical properties of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) from Malaysia and Australia. *Int. Food Res. J.*, **21(4)**, 1689–1697.
- Pérez-Loredo, M. G., García-Ochoa, F. & Barragán-Huerta, B. E. (2016). Comparative analysis of betalain content in *Stenocereus stellatus* fruits and other cactus fruits using principal component analysis. *Int. J. Food Prop.*, **19(2)**, 326–338. DOI: 10.1080/10942912.2015.1022259.
- Pérez-Loredo, M. G., De Jesús, L. H. & Barragán-Huerta, B. E. (2017). Extracción de compuestos bioactivos de pitaya roja (*Stenocereus stellatus*) aplicando pretratamientos con microondas, ultrasonido y enzimáticos. *Agrociencia*, **51(2)**, 135–151.
- Pimienta-Barrios, E., Nobel, P. S., Robles-Murguía, C., Méndez-Moran, L., Pimienta-Barrios, E. & Yezpez-Gonzalez, E. (1997). Ethnobotany, productivity, and ecophysiology of pitaya (*Stenocereus queretaroensis*). *J. Prof. Assoc. Cactus Dev.*, **2**, 29–47.
- Pimienta-Barrios, E., Pimienta-Barrios, E. & Nobel, P. S. (2004). Ecophysiology of the pitayo de Queretaro (*Stenocereus queretaroensis*). *J. Arid Environ.*, **59(1)**, 1–17. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2004.01.005.
- Quiroz-González, B., García-Mateos, R., Corrales-García, J. J. E. & Colinas-León, M. T. (2018). Pitaya (*Stenocereus* spp.): An under-utilized fruit. *J. Prof. Assoc. Cactus Dev.*, **20**, 82–100. DOI: 10.56890/jpacd.v20i.30.
- Rodríguez-Félix, A., Fortiz-Hernández, J. & Tortoledo-Ortiz, O. (2019). Physico-chemical characteristics, and bioactive compounds of red fruits of sweet pitaya (*Stenocereus thurberi*). *Jpacd*, **21**, 87–100.
- Sandate-Flores, L., Rodríguez-Rodríguez, J., Calvo-Segura, S., Mayorga-Martínez, A., Parra-Saldívar, R. & Chuck-Hernandez, C. (2016). Evaluation of different methods for betanin quantification in pitaya (*Stenocereus* spp.). *Agro Food Ind. Hi. Tech.*, **27**, 20–25.
- Santacruz Vázquez, C., Santacruz Vázquez, V. & Huerta Espinosa, V. M. (2009). Agroindustrialización de Pitaya. Editorial. Editorial Universitaria, La Habana.
- Shrikant Sonawane, M. (2017). Nutritive and medicinal value of dragon fruit. *Asian J. Hortic.*, **12(2)**, 267–271.
- Song, H., Chu, Q., Xu, D., Xu, Y. & Zheng, X. (2016). Purified betacyanins from *Hylocereus undatus* peel ameliorate obesity and insulin resistance in high-fat-diet-fed mice. *J. Agric. Food Chem.*, **64(1)**, 236–244. DOI: 10.1021/ACS.JAFC.5B05177/ASSET/IMAGES/LARGE/JF-2015-05177G_0005.JPEG.
- Soto Castro, D., Chávez Gutiérrez, M., León-Martínez, M., Santiago García, P. A., Aragón Lucero, I. & Antonio-

- Antonio, F. (2019). Spray drying microencapsulation of betalain rich extracts from *Escontria chiotilla* and *Stenocereus queretaroensis* fruits using cactus mucilage. *Food Chem.*, **272**, 715–722. DOI: 10.1016/J.FOODCHEM.2018.08.069.
- Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., Loeppert, R. H. & Bremner, J. M. (1996). Nitrogen-Total. In: Series, S. B., editor, *Methods of Soil Analysis Part 3—Chemical Methods*. Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA. p. 1085–1121
- Swain, T. & Hillis, W. E. (1959). The phenolic constituents of *Prunus domestica*. I.—The quantitative analysis of phenolic constituents. *J. Sci. Food Agric.*, **10(1)**, 63–68. DOI: 10.1002/jsfa.2740100110.
- Vargas-Campos, L., Valle-Guadarrama, S., Martínez-Bustos, F., Salinas-Moreno, Y., Lobato-Calleros, C. & Calvo-López, A. D. (2018). Encapsulation and pigmentation potential of betalains of pitaya (*Stenocereus pruinosus*) fruit. *J. Food Sci. Technol.*, **55(7)**, 2436–2445. DOI: 10.1007/s13197-018-3161-7.