

<http://dx.doi.org/10.5154/r.ctas.2021.06.17a>

Version en español

Calidad nutricional y antioxidante del fruto de Jaca (*Artocarpus heterophyllus*)

Juan Cristóbal Cantillo-Zacarías¹; Rosario García-Mateos^{1*}; Félix Esparza-Torres²; Teresa Martínez-Damián¹; Lyzbeth Hernández-Ramos¹

¹Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia, km 38.5 carretera México –Texcoco. Chapingo, Texcoco, Estado de México, C. P. 56230. México.

²Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Ingeniería Agroindustrial, km 38.5 carretera México – Texcoco. Chapingo, Texcoco, Estado de México, C. P. 56230. México.

Historial del artículo:

Recibido: 17 de junio de 2021

Aceptado: 15 de septiembre de 2021

*Autor de correspondencia:

rosgar08@hotmail.com

Resumen

El género *Artocarpus* comprende alrededor de 50 – 60 especies, distribuidas a través de la región indo-malaya y el sureste de China. La especie *Artocarpus heterophyllus*, conocida como jaca (Jack fruit), es ampliamente consumida en Asia. Actualmente, se cultiva en la República Mexicana en los estados de Nayarit y Michoacán. Sin embargo, es poco consumida en México probablemente por el poco conocimiento de sus propiedades nutricionales, nutraceuticas y medicinales. El objetivo del presente trabajo fue evaluar los componentes nutricionales, minerales y antioxidantes (fenoles totales, flavonoides, vitamina C, carotenos) de la pulpa de jaca. Los análisis químicos mostraron los contenidos de carbohidratos, fibra, lípidos y proteínas en la pulpa del fruto, así como de minerales (Ca, K, Mg y Fe) y compuestos antioxidantes. La actividad antioxidante del fruto se correlacionó positivamente con los contenidos de β -caroteno de 244.84 UI y vitamina C de 6.8 mg·100 g⁻¹ de peso fresco (p.f.). El contenido de flavonoides fue 9.86 mg equivalentes de quercetina·100 g⁻¹ p.f. El contenido de los compuestos fenólicos totales fue de 58.44 mg equivalentes de ácido gálico·100 g⁻¹ p.f.). El fruto de jaca podría considerarse un alimento con calidad nutricional, por los contenidos de carbohidratos y minerales, así como de calidad nutraceutica, por los niveles de sus compuestos antioxidantes.

► **Palabras clave:** Antioxidantes, β -caroteno, compuestos fenólicos totales, vitamina C

Introducción

El género *Artocarpus* (Moraceae) comprende aproximadamente 50 especies de árboles tropicales nativos del sursureste de Asia y la región del Pacífico; la mayoría de ellos produce frutos comestibles (Nelson, 2005). Las cuatro especies más importantes son *A. altilis* (Parkins) Fosb., *A. heterophyllus* Lam., *A. integer* (Thunb) Merr y *A. odoratissimus* Blanco (Love & Paull, 2011). La especie *Artocarpus heterophyllus*, conocida como jaca (Jackfruit) es la más consumida, principalmente en Asia. Vazhacharickal et al. (2015) reportan a Malasia y la India como centro de origen de la jaca, con una amplia distribución alrededor del mundo (Myanmar, Ceilán, China, Filipinas,

Australia, Kenia y Uganda). En América no es un cultivo ampliamente extendido, se limita principalmente a Brasil, a algunas islas caribeñas (Jamaica y Bahamas) y Florida (Vazhacharickal et al., 2015). Actualmente, se le cultiva también en América Central y recientemente en los estados de Nayarit y Michoacán en México, con fines de reproducción y producción de fruto.

La jaca fue introducida en la década de los años sesenta en México y su producción ha aumentado principalmente para exportación a Estados Unidos (Luna-Esquivel, G., Alejo-Santiago, G., Ramírez-Guerrero, L. G., & Arévalo-Galarza, L. (2013). En 2017, México tuvo una producción de 22 192 t de jaca, con un rendimiento de 17.85 t·ha⁻¹ y una superficie

total destinada al cultivo de 1 509.70 ha. La superficie destinada a este cultivo y su producción se han incrementado en los últimos 10 años, tanto a nivel nacional, como estatal, siendo Nayarit el principal productor (SIAP, 2017).

La jaca, cuyo nombre es derivado de las palabras griegas *artos* (pan) y *carpos* (fruta) (Lum, T. F., Kothagoda, N., Rao, A. N., Goh, C. J., & Wee, Y. C., 2009), es una fruta altamente nutritiva. La porción comestible es rica en carbohidratos, proteínas, ácidos grasos (palmítico, oleico, esteárico, linoleico, láurico, ácido araquidónico), fibra, calcio, fósforo, hierro, vitamina A y tiamina (Adeleke & Abiodun, 2010; Swami & Kalse, 2018). Las brácteas de los frutos maduros tienen un alto valor nutritivo, ya que 100 g de ellas en estado maduro contienen 20.0–37.0 g·100 g⁻¹ de calcio y 191–407 g·100 g⁻¹ de potasio (Lengbiye et al., 2017). El fruto se consume fresco o cocinado, procesado (dulces, paletas, nieve, mermelada) (Ihediohanma, N. C., Okafor, D. C. & Adeboye, A. S., 2014; Luna-Esquivel, G., et al., 2013) y como botana (Molla, M., Nasrin, T., Islam, M., & Bhuyan, M. A. J., 2008). Las semillas se consumen cocidas o tostadas (Vazhacharickal et al., 2015), mientras que en forma seca se utilizan para la elaboración de dulces o se consumen hervidas como aperitivos (Love & Paull, 2011). Son fuente de almidón, proteína (jacalina combinada con lecitina) (Dasaesamoh & Seechamnaturakit, 2014), minerales y fibra. La corteza también contiene pigmentos (flavonas), compuestos triterpénicos y taninos; en las hojas y tallos se han reportado saponinas, cicloartenol, β-sitoesterol y taninos. Asimismo, la raíz contiene β-sitoesterol, ácido ursólico, ácido betulínico y algunas flavonas (Adeleke & Abiodun, 2010; Ranasinghe, R. A. S. N., Maduwanthi, S. D. T., & Marapana, R. A. U. J., 2019; Vazhacharickal et al., 2015), metabolitos que podrían explicar los diversos usos medicinales de las hojas y la corteza cuyo uso se ha reportado para el tratamiento auxiliar de anemia, asma, dermatosis, diarrea, catarro y como expectorante (Lengbiye et al., 2017; Vazhacharickal et al., 2015). Asimismo, tiene propiedades analgésicas e inmunomoduladoras (Prakash, O., Kumar, R., Mishra, A., & Gupta, R., 2009), y los efectos hipoglucémicos e hipolipidémicos se han probado en ratones (Omar, H. S., El-Beshbishy, H. A., Moussa, Z., Taha, K. F., & Singab, A. N., 2011). Las semillas también presentan algunas propiedades medicinales, tales como anticancerígenas, antihipertensivas, antioxidantes, antifúngicas y antimicrobianas (Gupta, D., Mann, S., Sood, A. & Gupta, R. K., 2011; Shanmugapriya, K., Saravana, P. S., Payal, H., Mohammed, S. P., & Binnie, W., 2011).

Se ha reportado que el fruto de jaca contiene diversos metabolitos antioxidantes (flavonoides, carotenos, entre otros). El común denominador de la mayoría de los nutraceuticos es su capacidad antioxidante, desarrollada con metabolitos que contrarrestan los radicales libres responsables de causar la oxidación de membranas y daño al ADN. Estos radicales promueven enfermedades como cáncer, problemas cardiovasculares y envejecimiento

(Pérez, 2006; Shahidi, 2012). Sin embargo, las concentraciones de estos metabolitos pueden verse modificadas por factores bióticos y abióticos. Por lo tanto, el estudio nutricional y nutraceutico de los frutos de jaca que se cultivan en México justifica la presente investigación. El objetivo fue evaluar los componentes nutricionales, minerales y antioxidantes, específicamente compuestos fenolicos totales, flavonoides, vitamina C y carotenos, en la pulpa de jaca.

Materiales y métodos

Recolecta del material vegetal

El fruto de jaca se recolectó aleatoriamente sin daño físico y libre de plagas, en madurez fisiológica, del “Rancho el Vergel”, situado cerca de la comunicad “Mesas de Enandio”, ubicado en el municipio de Heroica Zitácuaro, en el estado de Michoacán de Ocampo, México, con coordenadas geográficas 100° 27' 30" O y 19° 20' 20" N. Esta región se encuentra dentro del Eje Volcánico Transversal, con suelos profundos de origen volcánico y pH entre 5.6 a 6.7. El clima predominante es templado subhúmedo con lluvias en verano (Cw) (Marlés Magre et al., 2015).

Preparación de las muestras

El fruto se trasladó al Laboratorio de Bioquímica del Departamento de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Autónoma Chapingo, México. El fruto en madurez de consumo (consistencia blanda, olor característico de fuerte intensidad y poco contenido de látex), después de la cosecha, se lavó cuidadosamente para eliminar residuos de materia orgánica e impurezas. Con la ayuda de un cuchillo se cortó la fruta a la mitad, de modo longitudinal, para poder extraer la pulpa. Se separaron la cáscara y las semillas para la determinación del peso. Las muestras de la pulpa se congelaron por inmersión en nitrógeno líquido para realizar los análisis de compuestos fitoquímicos (variables químicas) y actividad antioxidante. Posteriormente, las muestras se almacenaron en bolsas de sello hermético Ziploc® en un congelador a -20 ± 2 °C.

Cuantificación de minerales

Para la determinación de Ca, Cu, Fe, K, Mg y Zn se siguió la metodología descrita por Alcántara & Sandoval (1999). Se pesaron por separado 0.5 g de muestras deshidratadas de jaca; se sometieron a una digestión húmeda con una mezcla diácida (H₂SO₄:HClO₄, 4:1 v/v) y peróxido de hidrógeno. La determinación se realizó en un espectrofotómetro de emisión atómica de plasma por inducción acoplada (ICP-AES, modelo Liberty II, Varian, USA). Se determinó contenido de nitrógeno con el método colorímetro mediante la digestión en micro-kjeldahl descrito por Pearson (1976).

Análisis proximal

Para la determinación de los contenidos de humedad, cenizas, proteínas, fibra cruda, grasa y carbohidratos se siguieron los métodos de la AOAC (2000).

Determinación de humedad y cenizas

El contenido de humedad se cuantificó mediante la diferencia del peso inicial y final de una muestra representativa sometida a una temperatura de 60 °C por 12 h en un horno con convección de aire caliente. Para la determinación del contenido de cenizas (%) se utilizó el método de quemado de la muestra y posteriormente una calcinación en la mufla a 60 °C durante 6 h.

Determinación de carbohidratos

El contenido de carbohidratos totales se calculó por diferencia mediante la fórmula $\% CT = 100 - (\% P + \% L + \% C + \% F + \% H)$; donde CT = carbohidratos totales, P = proteína, L = lípidos, C = cenizas, F = fibra, H = humedad (Audu & Aremu, 2011). Los resultados se expresaron como porcentaje en peso fresco.

Determinación de lípidos

Se empleó el método de Soxhlet, utilizando éter de petróleo anhidro como disolvente. Se empleó la siguiente ecuación para el cálculo de lípidos: $[\% \text{grasa cruda} = (M_2 - M_1 / M) \cdot 100]$; donde: M_2 = peso (g) del cartucho más la muestra; M_1 = peso (g) del cartucho con muestra sin grasa; M = peso (g) de muestra.

Determinación de fibra cruda

Se determinó el contenido de fibra cruda basada en la pérdida de masa que correspondió a la incineración del residuo orgánico resultante de la digestión con soluciones de ácido sulfúrico e hidróxido de sodio en condiciones específicas. El contenido de fibra cruda se determinó mediante la fórmula: $[\% \text{fibra cruda (peso seco sin grasa)} = ((P_s - P_p) - (P_c - P_{cp})) / M \cdot 100]$; donde: P_s = g del residuo seco; P_p = g del papel filtro; P_{cp} = g cenizas del papel; M = g de muestra; P_c = g de cenizas.

Determinación de proteína total

Se determinó por el método Kjeldahl mediante la adición de ácido sulfúrico concentrado como catalizador para la digestión de la muestra, en donde el nitrógeno presente en el tejido vegetal se convirtió en sulfato de amonio. Se adicionó hidróxido de sodio concentrado para liberar el amoníaco, que se destiló en ácido clorhídrico valorado para su cuantificación por titulación. El contenido de proteínas se calculó de acuerdo con la siguiente ecuación: $[\% \text{proteína} = V_* N_* 0.014_* 100 / m]$, donde: V = volumen (mL) de ácido

clorhídrico empleado en la titulación; N = normalidad del ácido clorhídrico 0.1; m = peso (g) de muestra; 0.014 = miliequivalentes del nitrógeno.

Cuantificación de compuestos antioxidantes

Preparación del extracto metanólico

Se pesó 1 g de muestra (molida) fresca de jaca para cada repetición, diluyendo en 10 mL de metanol 80 % v/v. La mezcla se colocó por 20 min en un sonicador (Cole-Parmer, modelo 08892-21, USA). Posteriormente, cada una de las muestras se dejó reposar en oscuridad y a temperatura ambiente por 24 h; se centrifugó por 10 min a $1\ 409 \times g$ para usarse en la cuantificación de compuestos fitoquímicos (Wojdylo, A., Oszmianski, J., & Czemerz, R. (2007).

Cuantificación de compuestos fenólicos totales

Se tomaron 0.5 mL del extracto metanólico, el cual se preparó previamente, mediante la adición de 0.5 mL del reactivo Folin-Ciocalteu (0.2 N) y 4 mL de una solución 0.7 M de Na_2CO_3 . La mezcla se agitó en un vórtex y se incubó a temperatura ambiente y en oscuridad por 2 h. Finalmente, se tomó lectura de la absorbancia en un espectrofotómetro (Genesys 10s Thermoscientific, Florida, USA) a una longitud de onda de 765 nm. La concentración se calculó a partir de una curva estándar preparada a base de ácido gálico ($0 - 400 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; $y = 0.0068x + 0.0054$; $R^2 = 0.997$) como referencia. El contenido de compuestos fenólicos totales en el extracto metanólico se expresó en mg equivalentes de ácido gálico por 100 g de peso fresco ($\text{mg EAG} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ p.f.}$) de acuerdo con el método modificado de Waterman & Mole (1994).

Cuantificación de flavonoides

Se cuantificó el contenido de flavonoides de acuerdo con el método propuesto por Chang et al. (2002). A 0.5 mL del sobrenadante del extracto metanólico preparado previamente se le agregaron 1.5 mL de etanol a 95 % (v/v), 0.1 mL de solución de AlCl_3 a 10 % (p/v), 0.1 mL de solución 1 M de CH_3COOK y 2.8 mL de agua destilada. Se incubó la mezcla por 30 min. Se leyó la absorbancia en un espectrofotómetro Genesys 10s (Thermoscientific, Florida, USA) a una longitud de onda de 415 nm. Para la cuantificación de flavonoides se realizó una curva estándar ($y = 0.0057x - 0.0098$; $R^2 = 0.9978$) a base de la flavona quercetina como referencia. Los resultados se expresaron en mg equivalentes de quercetina por 100 g de peso fresco ($\text{mg EQ} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ p.f.}$).

Cuantificación de ácido ascórbico

El contenido de ácido ascórbico se determinó mediante el método descrito por Dürüst et al. (1997). Los extractos se prepararon colocando 0.3 g de cada muestra en 10 mL de

ácido oxálico (0.4 % p/v de agua desionizada), la mezcla se sonicó por 20 min a temperatura ambiente y se filtró. Se utilizaron las siguientes soluciones stock: solución de ácido oxálico (0.4 p/v % en agua desionizada), solución de ácido ascórbico (1 000 ppm en solución de ácido oxálico); solución buffer de acetato (300 g de anhídrido acetato de sodio + 700 mL de agua desionizada + 1 000 mL de ácido acético glacial), y solución de DCIP (12 mg de sal disódica de 2,6-diclorofeno-indofenol en 1 000 mL de agua desionizada). El método consistió en ajustar el espectrofotómetro a cero, usando agua desionizada, posteriormente se mezclaron: 1 mL de la solución de ácido oxálico + 1 mL de solución buffer de acetato (acetato de sodio/ ácido acético) y 8 mL de solución DCIP y se midió la absorbancia a 520 nm a los 15 s; se registró este valor como L_1 para todas las mediciones. El instrumento se reajustó a cero para cada muestra mezclando 1 mL de solución de ácido ascórbico (diferentes concentraciones) o extracto de la solución con muestra con 1 mL de solución buffer de acetato y 8 mL de solución DCIP, con lo cual se obtuvo el valor L_2 . Se obtuvo la diferencia [$L_1 - L_2$] y se preparó una curva de calibración de ácido ascórbico ($y = 0.0042x + 0.0011$; $R^2 = 0.9971$). Los resultados se expresaron en miligramos equivalentes de ácido ascórbico (EA) por cada 100 g de muestra en peso fresco ($\text{mg EA} \cdot 100^{-1}$ p.f.).

Cuantificación de β -caroteno

Para la determinación de β -caroteno se siguió el método descrito por Nagata y Yamashita (1992). Se pesó 1 g de pulpa de jaca, el cual se agitó vigorosamente por 1 min con 10 mL de acetona-hexano mezclado en una relación (4:6). Posteriormente la mezcla se filtró con papel Whatman No. 4. La absorbancia del filtrado se midió a 453, 505, 645 y 663 nm. La cantidad de β -caroteno se calculó de acuerdo con la siguiente ecuación: [β - caroteno ($\text{mg} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$) = $0.216 A_{663} - 1.220 A_{645} - 0.304 A_{505} + 0.452 A_{453}$]. El ensayo se realizó por triplicado. Los resultados se evaluaron como el promedio (\pm desviación estándar) y se expresaron como mg de β -caroteno en 100 g de p.f.

Cuantificación de la capacidad antioxidante

Método ABTS

Se empleó la metodología descrita por Re et al. (1999). A una solución de 10 mL de concentración 7 mM del radical ABTS⁺ (ácido 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolin)-6-sulfónico) se le agregaron 6.61 mg de $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$; la mezcla se dejó reposar a temperatura ambiente y en oscuridad por 16 h. A 1 mL de la solución del radical ABTS⁺ se le agregó el volumen necesario de etanol anhídrido hasta lograr obtener absorbancia de 0.7 ± 0.1 a una longitud de onda medida en espectrofotómetro Genesys 10s (Thermoscientific, Florida, USA) a 734 nm (máxima concentración de radical ABTS⁺ formado). A 1 mL de la solución de ABTS⁺ se le adicionaron 10 μL de la solución a analizar; la mezcla se agitó en un vórtex y se incubó en baño maría a 30 °C en oscuridad

por 7 min. La absorbancia se midió en espectrofotómetro a una longitud de onda de 734 nm de forma continua al minuto uno y al minuto siete después de adicionar el extracto metanólico a la solución ABTS⁺. Se usó como referencia una curva estándar de Trolox ($y = -0.2885 x + 0.7483$; $R^2 = 0.9966$). Los resultados se expresaron en mg equivalentes de Trolox (ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico) por cada 100 g de peso fresco ($\text{mg ET} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ p.f.). Para calcular el porcentaje de inhibición del radical libre ABTS⁺ se empleó la fórmula: [% de inhibición = $[(A_0 - A_f)/A_0] \cdot 100$]; donde: A_0 es absorbancia inicial del radical libre a 734 nm y A_f es absorbancia final de la reacción con la muestra.

Análisis de datos

Se realizó un análisis de correlación de Pearson mediante el programa R (Project for Statistical Computing). Todos los resultados se expresaron como el valor promedio (\pm desviación estándar).

Resultados y discusión

Análisis mineral

Los contenidos de Mg, Cu y Zn fueron superiores a los reportados en pulpa de jaca cultivada en otros países (Cuadro 1). Los contenidos diferentes de algunos elementos reportados por otros autores, podrían deberse a factores edafoclimáticos y genéticos, como se han reportado en otros productos vegetales. Rodríguez (2019) destacó la importancia del consumo de alimentos ricos en minerales, imprescindibles para las reacciones metabólicas celulares en el organismo, los cuales controlan la composición de líquidos extra e intracelulares y forman parte de enzimas y hormonas, moléculas esenciales para la vida. El Mg es un activador de muchos sistemas enzimáticos y mantiene el potencial eléctrico en el sistema nervioso. El K se encuentra por lo regular junto con el Ca en el cuerpo y ambos contribuyen a la formación de sangre y proporcionan estructura de apoyo al cuerpo (Al Alawi, A. M., Majoni, S. W., & Falhammar, H., 2018). Por lo tanto, estos elementos, que fueron los más abundantes en el fruto de jaca, están implicados en varias funciones vitales del cuerpo humano.

Análisis proximal

El contenido proximal de la pulpa de jaca se muestra en el Cuadro 1 y se puede comparar con los resultados obtenidos en otros estudios realizados en la pulpa del fruto *A. heterophyllum* cultivada en Estados Unidos, Brasil, Bangladés, Pakistán e India: Sin embargo, son escasos los estudios que reporten el análisis proximal y mineral de la pulpa de jaca cultivada en el estado de Michoacán, México.

El contenido de carbohidratos encontrado en jaca superó a lo reportado en manzana ($10.4 \text{ g} \cdot 100^{-1} \text{ g p.f.}$) (US-Agriculture Department [USDA] (2002), variable importante

Cuadro 1. Análisis proximal y mineral de la pulpa del fruto de jaca (*A. heterophyllum*) del presente estudio y el reportado por otros autores.

Composición mineral*						
K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Referencia
120.04 ± 2.27	21.98 ± 1.09	42.82 ± 1.56	0.767 ± 0.02	0.219 ± 0.00	0.287 ± 0.01	Presente publicación
191 - 407	20.0 - 37.0	27.0	0.5 - 1.1	ND	ND	Haq, 2006 ^a
287-323	30.0 - 73.2	ND	0.4 - 1.9	ND	ND	Swami & Kalse, 2018 ^b
234.0	11.0	40.0	0.4	0.09	0.2	Taco, 2011
Análisis proximal **						
Humedad	Cenizas	Fibra cruda	Proteína	Carbohidratos	Lípidos	Referencia
75.07 ± 0.11	1.17 ± 0.17	1.45 ± 0.15	0.25 ± 0.02	20.51 ± 0.18	1.61 ± 0.10	Presente publicación
73.0	ND	1.6	1.5	24.0	0.3	Crane & Balerdi (2000)
72 - 94.0	0.87 - 0.9	1.0 - 1.5	1.2 - 1.9	16.0 - 25.4	0.1 - 0.4	Haq (2006) ^a
76.2 - 85.2	0.9	2.6 - 3.6	2.0 - 2.6	9.4 - 11.5	0.1 - 0.6	Swami & Kalse (2018) ^b
79.62 - 84.44	0.7 - 1.11	0.51 - 0.90	0.57 - 0.97	18.36 - 25.18 ^c	ND	Goswami et al. (2011)
62.39 - 76.62	0.13 - 1.97	ND	ND	ND	ND	Ibrahim et al. (2014)
75.10	0.80	2.40	1.40	22.5	0.3	Mendonça et al. (2011)

ND: no determinado. ^aFruta en madurez de consumo, ^bfruto joven y ^cCorresponde a la suma del total de azúcares simples y almidón. Los valores expresados son la media de cinco repeticiones ± desviación estándar. *mg·100 g⁻¹ p.f.; **g·100 g⁻¹ de p.f.

que influye en las preferencias por el consumidor. En la presente investigación no se cuantificaron los contenidos de azúcares reductores y no reductores presentes en la pulpa, los cuales son importantes, pues definen el dulzor del fruto como un atributo de calidad. En contraste, el fruto de jaca mostró concentraciones inferiores (1.4 g·100 g⁻¹ p.f.) de fibra cruda, en relación con lo documentado en manzana (2.4 g·100 g⁻¹ p.f.) por la USDA (2002), metabolito abundante y característico de la manzana. Al respecto, entre los carbohidratos no digeribles se encuentra la fibra insoluble y otros (almidón resistente y oligosacáridos no digeribles), aunque estos se fermentan durante la digestión y se asocian con una respuesta glucémica baja, con niveles bajos de colesterol y una disminución de factores de riesgo de padecer cáncer de colon (Reynoso-Camacho, R., Ramos-Gómez, M., & Loarca-Pina, G., 2006).

El contenido de proteína obtenido en jaca fue bajo, similar a otros frutos como manzana (0.26 g·100 g⁻¹ p.f.) (USDA, 2002) y el de lípidos en la pulpa de jaca fue superior (1.61 g·100 g⁻¹ p.f.) a lo reportado por Crane y Balerdi (2000). Se desconoce el contenido del perfil de ácidos grasos presentes en jaca, los cuales son precursores de ácidos grasos poliinsaturados tales como ácido linoleico, ácido eicosapentaenoico, ácido docosahexaenoico, los cuales

son importantes metabolitos de las plantas para el consumo humano y se pueden encontrar principalmente en las semillas de lino, oleaginosas (nueces y avellanas) y en algunos frutos.

Compuestos antioxidantes

Contenido de compuestos fenólicos

La concentración de los compuestos fenólicos totales en la jaca (58.44 mg EAG·100 g⁻¹ p.f.) fue similar (46 mg EAG·100 g⁻¹ de pulpa en p.f.) a lo reportado por Jagtap, U. B., Panaskar, S. N., & Bapat, V. A. (2010). Se consideró a la uva como referente en la comparación del contenido de compuestos fenólicos, por su elevado contenido de estos metabolitos. Al respecto, los encontrados en el presente trabajo permitieron comparar que la pulpa de jaca presentó una concentración dentro de los límites a los que reportaron Yilmaz et al. (2015) en la pulpa de distintas variedades de uva (*Vitis vinifera*) blancas y rojas (10 - 60 y 17 - 75 mg EAG·100 g⁻¹ p.f., respectivamente). Los compuestos fenólicos son compuestos bioactivos que se encuentran en los alimentos de origen vegetal, con diversos efectos benéficos para la salud. Estos metabolitos constituyen uno de los mayores grupos fitoquímicos presentes en las

Cuadro 2. Concentración de compuestos antioxidantes en la pulpa de jaca (*A. heterophyllum*)

Compuestos fenólicos totales EAG	Flavonoides EG	β - Caroteno*	β -Caroteno UI	Vitamina C EAA	Actividad antioxidante**	Actividad antioxidante % inhibición
58.44 \pm 4.23	9.86 \pm 1.24	1.47 \pm 0.07	244.84 \pm 12.0	6.8 \pm 0.5	55.61 \pm 5.22	8.16 \pm 0.81

* EAG = Equivalentes de ácido gálico-100 g⁻¹ p.f.; EQ = Equivalentes de quercetina-100 g⁻¹ p.f.; **mg-100 g⁻¹ p.f.; UI = Unidades internacionales de retinol; EAA = equivalentes de ácido ascórbico-100 g⁻¹ en p.f.; *mg equivalentes de Trolox-100⁻¹ p.f. Los valores expresados son la media de cinco repeticiones \pm desviación estándar.

plantas, destacando por sus propiedades antioxidantes y terapéuticas (Chew et al., 2011; Soto-Hernández, M., Palma-Tenango, M., & Garcia-Mateos, M. del R., 2017). Existe una enorme variedad estructural de compuestos fenólicos con actividad biológica, que contienen uno o más anillos aromáticos y que son componentes naturales de los alimentos vegetales, y proporcionan, en gran medida, el sabor, color y textura de estos alimentos (Soto-Hernández et al., 2017).

Cuantificación de flavonoides

La pulpa de jaca presentó bajo contenido de flavonoides (Cuadro 2) comparados con frutos de mayor contenido. Al respecto, Marinova, D., Ribarova, F. y Atanassova, M. (2005), realizaron un estudio en donde analizaron un total de 20 frutas para la determinación de estos metabolitos, entre ellos ciruela (*Prunus domestica*) y arándano (*Vaccinium myrtillus*), que son frutos con mayor contenido de estos compuestos antioxidantes (136.2 y 190.3 mg EQ·100 g⁻¹ en p.f., respectivamente), en comparación a los niveles encontrados en la pulpa de jaca del presente estudio. Jagtap et al. (2010) reportaron una concentración de 120 mg equivalentes del flavonoide rutina en 100 g de pulpa en p.f. en fruto de jaca, el cual no se cuantificó en este estudio. Las variaciones en los niveles y perfil de algunos metabolitos entre variedades se deben a condiciones edafoclimáticas, manejo agronómico y métodos de análisis, como se ha reportado en otras frutas y hortalizas (Reynoso-Camacho et al., 2006). Asimismo, la variación se ha atribuido a la manipulación del material vegetal, que puede

generar situación de estrés en algunas especies, lo que altera la fisiología del vegetal y estimula respuestas que provocan la acumulación, principalmente de compuestos fenólicos (Pirovani et al., 2009).

Cuantificación de vitamina C

Crane & Balerdi (2000) reportaron un valor aproximado de 6.7 mg de vitamina C·100 g⁻¹ de la pulpa en p.f. El contenido de vitamina C en la pulpa determinado por el método de Dürüst, N., Sümengen, D., y Dürüst, Y. (1997) fue 6.8 \pm 0.5 mg equivalentes de ácido ascórbico·100 g⁻¹ p.f., lo cual fue similar a los valores encontrados en el presente estudio (Cuadro 2). El USDA (2002) reportó que por cada 100 g⁻¹ p.f. de jugo de limón (*Citrus lemon*) se aportan 53 mg de vitamina C, siendo ocho veces mayor su contenido en el limón que en el fruto de jaca.

Cuantificación de β -Caroteno

La pulpa de jaca en el estado de madurez comestible presenta una coloración que varía desde amarillo claro hasta un color anaranjado intenso, dependiendo de la variedad de la fruta (Punan et al., 2000) y esa tonalidad en coloración es debida principalmente a la presencia de carotenoides (Ranasinghe et al., 2019). En los resultados obtenidos por Crane & Balerdi (2000) y Chandrika, U. G., Jansz, E. R., y Warnasuriya, N. D. (2005), el contenido de carotenoides encontrado fue 297 y 470 UI (Unidad Internacional de Retinol), respectivamente, que fueron mayores a los del presente estudio. Chandrika, U. G., et al. (2005),

Cuadro 3. Correlación de Pearson de las componentes antioxidantes y de la actividad antioxidante de la pulpa de jaca.

	CFT	Flavonoides	β -Caroteno	Vitamina C	AA*	% de Inh.
CFT	1.000	0.2037	-0.6123	-0.2873	-0.0363	-0.0363
Flavonoids		1.000	-0.7397	-0.8512	-0.45465	-0.45461
β -Carotene			1.000	0.9195	0.55993	0.55997
Vitamin C				1.000	0.7432	0.7433
AA					1.000	1.000
% Inhibition						1.000

CFT = compuestos fenólicos totales; AA = Actividad antioxidante; % de Inh. = % de inhibición de radicales libres (*actividad antioxidante).

en la cuantificación de estos pigmentos en equivalentes de retinol (ER) por 100 g de pulpa en p.f., encontraron niveles menores en jaca cultivada en Sir Lanka (141.6 ER·100 g p.f.), que en papaya (152 – 280 ER·100 g p.f.). Sin embargo, los niveles de estos valores fueron menores a los de la jaca cultivada en Michoacán observados en el presente estudio (Cuadro 2). A pesar de las menores concentraciones de este fruto en comparación a las de papaya, el fruto de jaca se podría considerar una fuente alterna de estos pigmentos. Las diferencias observadas de los valores encontrados de carotenos en jaca, no solamente se podría explicar por el lugar de origen, sino también por el grado de maduración del fruto. Ong et al. (2006) reportaron que el valor en el ángulo de matiz de la pulpa de jaca aumentó significativamente con la maduración, atribuyéndose a un aumento del contenido de carotenos en la pulpa de la fruta madura, lo cual fue mencionado también por Selvaraj y Pal (1989), quienes reportaron un incremento de 200 % en la concentración de estos pigmentos, dependiendo del estado de madurez de la fruta.

Cuantificación inhibidora de radicales libres ABTS

La actividad antioxidante, determinada por el método de ABTS en el extracto de pulpa de jaca fresca, presentó un porcentaje bajo en la inhibición de los radicales libres, en comparación con otros frutos (Cuadro 2) de mayor calidad antioxidante. Prior et al. (1998) reportaron en arándano (*Vaccinium myrtillus*) una concentración aproximada de 1149 mg ET·100 g⁻¹ p.f. Al respecto, Wang, H., Cao, G. y Prior, R. L. (1996) señalaron alta capacidad inhibidora de radicales libres en fresa (375.5 mg ET·100 g⁻¹ en p.f.), que son frutas también con alto potencial antioxidante. Actualmente, no se han reportado estudios de la capacidad antioxidante en jaca con la metodología de ABTS. Los resultados obtenidos muestran una baja actividad antioxidante, a pesar de su contenido moderado de carotenos, vitamina C y flavonoides. Por otro lado, el coeficiente de correlación de Pearson permitió asociar la actividad antioxidante con los componentes antioxidantes evaluados en el fruto. El Cuadro 3 muestra una elevada correlación positiva de la actividad antioxidante con los contenidos de vitamina C y de β-caroteno. Los resultados coinciden con lo reportado por Gardner, White, McPail, Duthie (2000), quienes observaron una alta correlación entre la actividad antioxidante por la vitamina C. Se ha reportado la actividad antioxidante de los carotenos en relación con sus características lipofílicas, lo que podría explicar el papel antioxidante en la protección de las membranas celulares y en lipoproteínas contra el daño oxidativo (Sies & Stahl, 1995).

Conclusiones

El análisis proximal de la pulpa mostró altos niveles de carbohidratos, bajos en lípidos y un contenido moderado de fibra. La pulpa de jaca mostró tener altas concentraciones de potasio, calcio, magnesio, hierro y zinc. También

se encontró que el fruto es una buena fuente de vitamina C. Asimismo, presentó un contenido alto de β-caroteno. La actividad antioxidante, de acuerdo a la correlación de Pearson, se asocia de manera sinérgica a los contenidos de β-caroteno y vitamina C. Se recomienda realizar más estudios en relación con la vida de anaquel, perfil de metabolitos presentes y vida postcosecha, principalmente del fruto cultivado en México.

Referencias

- Adeleke, R., & Abiodun, O. (2010). Nutritional composition of breadnut seeds (*Artocarpus camansi*). *African Journal of Agricultural Research*, 5(11), 1273–1276. <https://doi.org/10.5897/AJAR10.319>
- Al Alawi, A. M., Majoni, S. W., & Falhammar, H. (2018). Magnesium and Human Health: Perspectives and Research Directions. *International Journal of Endocrinology*, 2018, 1–17. <https://doi.org/10.1155/2018/9041694>
- Alcántara, G. M., & Sandoval, V. (1999). *Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal*. SMCS. Chapingo, México.
- AOAC. (2000). *Methods of Analysis*. 17va. Edición. Association of Official Analytical Chemists. Washington, USA.
- Audu, S. S., & Aremu, M. O. (2011). Effect of Processing on Chemical Composition of Red Kidney Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Flour. *Pakistan Journal of Nutrition*, 10(11), 1069–1075. <https://doi.org/10.3923/pjn.2011.1069.1075>
- Chandrika, U. G., Jansz, E. R., & Warnasuriya, N. D. (2005). Analysis of carotenoids in ripe jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) kernel and study of their bioconversion in rats. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(2), 186–190. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1918>
- Chang, C. C., Yang, M. H., Wen, H. M., & Chern, J. C. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colometric methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, 10(3), 176–182. <https://doi.org/10.38212/2224-6614.2748>
- Chew, Y. L., Chan, E. W., Tan, P. L., Lim, Y. Y., Stanslas, J., & Goh, J. K. (2011). Assessment of phytochemical content, polyphenolic composition, antioxidant and antibacterial activities of Leguminosae medicinal plants in Peninsular Malaysia. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 11(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/1472-6882-11-12>
- Crane, J. H., & Balerdi, C. F. (2000). *La jaca (Artocarpus heterophyllus) en Florida*. University of Florida, USA.
- Dasaesamoh, R., & Seechamnaturakit, V. (2014). Extraction and enzymatic depolymerization of gum from *Artocarpus heterophyllus* Lam. seeds. *International Food Research Journal*, 21, 2245–2251.
- Dürüst, N., Sümengen, D., & Dürüst, Y. (1997). Ascorbic acid and element contents of foods of Trabzon (Turkey). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(6), 2085–2087. <https://doi.org/10.1021/jf9606159>
- Gardner, P. T., White, T. A. C., McPhail, D. B., & Duthie, G. G. (2000). The relative contributions of vitamin

- C, carotenoids and phenolics to the antioxidant potential of fruit juices. *Food Chemistry*, 68(4), 471–474. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(99\)00225-3](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00225-3)
- Goswami, C., Hossain, M., Kader, H. Al, & Islam, R. (2011). Assessment of Physicochemical Properties of Jackfruits' (*Artocarpus heterophyllus* Lam) Pulp. *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology*, 15, 26–31.
- Gupta, D., Mann, S., Sood, A., & Gupta, R. K. (2011). Phytochemical, nutritional and antioxidant activity evaluation of seeds of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.). *International Journal of Pharma and Bio Sciences*, 2, 336–345.
- Haq, N. (2006). *Jackfruit, Artocarpus heterophyllus*. Southampton Centre for Underutilised Crops, University of Southampton, Southampton, UK.
- Ibrahim, M., Islam, M., Helali, M., Alam, A., & Shafique, M. (2014). Morphological fruit characters and nutritional food value of different jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) cultivars in Rajshahi region of Bangladesh. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*, 48(4), 287–292. <https://doi.org/10.3329/bjsir.v48i4.18280>
- Ihediohanma, N. C., Okafor, D. C., & Adebayo, A. S. (2014). Sensory evaluation of jam produced from jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*). *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 7, 41–43.
- Jagtap, U. B., Panaskar, S. N., & Bapat, V. A. (2010). Evaluation of antioxidant capacity and phenol content in Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) fruit pulp. *Plant Foods for Human Nutrition*, 65(2), 99–104. <https://doi.org/10.1007/s11130-010-0155-7>
- Lengbiye, E. M., Koto-te-Nyiwa, N., Gédéon, N. B., Lin, M. M., Olivier, P. N.,..., Pius, T. M. (2017). *Artocarpus heterophyllus* Lam. (Moraceae): phytochemistry, pharmacology and future directions, a mini-review. *Journal of Advanced Botany and Zoology*, 5(3), 1–8.
- Love, K., & Paull, E. R. (2011). *Jackfruit. Fruits and Nuts*. University of Hawaii at Manoa, University of Hawaii at Manoa, USA.
- Lum, T. F., Kothagoda, N., Rao, A. N., Goh, C. J., & Wee, Y. C. (2009). Morphology anatomy and in vitro culture studies on *Artocarpus heterophyllus*. *Journal of Tropical Medicinal Plants*, 10(1), 39–53.
- Luna-Esquivel, G., Alejo-Santiago, G., Ramírez-Guerrero, L. G., & Arévalo-Galarza, L. (2013). La yaca, un fruto de exportación. *Agroproductividad*, 6, 65–70.
- Marinova, D., Ribarova, F., & Atanassova, M. (2005). Total phenolics and flavonoids in Bulgarian fruits and vegetables. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*, 40(3), 255–260.
- Marlés Magre, J., Valor Ivars, T., Claramunt López, B., Maneja Zaragoza, R., Pérez Salicrup, D.,..., Boada Juncà, M. (2015). Análisis dendroclimático de *Pinus pseudostrobus* y *Pinus devoniana* en los municipios de Áporo y Zitácuaro (Michoacán), Reserva de la Biósfera de la Mariposa Monarca. *Investigaciones Geográficas*, 88, 19–32. <https://doi.org/10.14350/ig.43338>
- Mendonça, L. D., Padovani, R. M., Rodriguez-Amaya, D. B., Amaya Farfán, J., Tavares Nonato, C.,..., Martins Galeazzi, M. A. (2011). *Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – TACO* (N. de E. e P. em A. – NEPA (Ed.)). Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP.
- Molla, M., Nasrin, T., Islam, M., & Bhuyan, M. A. J. (2008). Preparation and packaging of Jackfruit chips. *International Journal of Sustainable Crop Production*, 3, 39–47.
- Nagata, M., & Yamashita, I. (1992). Simple Method for Simultaneous Determination of Chlorophyll and Carotenoids in Tomato Fruit. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, 39(10), 925–928. <https://doi.org/10.3136/nskkk1962.39.925>
- Nelson, S. (2005). Rhizopus rot of Jackfruit. *Plant Disease, PD-29*, 1–2.
- Omar, H. S., El-Beshbishy, H. A., Moussa, Z., Taha, K. F., & Singab, A. N. (2011). Antioxidant activity of *Artocarpus heterophyllus* Lam. (Jack Fruit) leaf extracts: remarkable attenuations of hyperglycemia and hyperlipidemia in streptozotocin-diabetic rats. *The Scientific World Journal*, 11, 788–800. <https://doi.org/10.1100/tsw.2011.71>
- Ong, B. T., Nazimah, S. A. ., Osman, A., Quek, S. Y., Voon, Y. Y.,..., Kong, Y. W. (2006). Chemical and flavour changes in jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) cultivar J3 during ripening. *Postharvest Biology and Technology*, 40(3), 279–286. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.01.015>
- Pearson, D. (1976). *Chemical Analysis of Foods*. Livingstone, London, UK: Church Hill.
- Pérez, L. H. (2006). Nutracéuticos: componente emergente para el beneficio de la salud. *ICIDCA. Sobre Los Derivados de La Caña de Azúcar*, XL(3), 20–28.
- Pirovani, M. E., Piagentini, A. M., Güemes, D. R., Rodríguez, M. C., Qüesta, A. G., & Casóliba, R. M. (2009). Calidad sensorial y nutricional de vegetales de hojas frescos y cortados. In CIAD/UACJ (Ed.), *Aspectos Nutricionales y Sensoriales de Vegetales Frescos Cortados* (pp. 64–97). México: Editorial Trillas.
- Prakash, O., Kumar, R., Mishra, A., & Gupta, R. (2009). *Artocarpus heterophyllus* (Jackfruit): An overview. *Pharmacognosy Reviews*, 3, 353–358.
- Prior, R. L., Cao, G., Martin, A., Sofic, E., McEwen, J.,..., Mainland, C. M. (1998). Antioxidant capacity as influenced by total phenolic and anthocyanin content, maturity, and variety of *Vaccinium* species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(7), 2686–2693. <https://doi.org/10.1021/jf980145d>
- Punan, M. S., Rahman, A. S. A., Nor, L. M., Muda, P., Sapii, A. R.,..., Som, F. M. (2000). Establishment of a quality assurance system for minimally processed jackfruit. Quality assurance in agricultural produce. In *ACIAR Proceedings 100 Australia* (pp. 115–122).

- Ranasinghe, R. A. S. N., Maduwanthi, S. D. T., & Marapana, R. A. U. J. (2019). Nutritional and health Benefits of Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.): A review. *International Journal of Food Science*, 2019, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2019/4327183>
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9–10), 1231–1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Reynoso-Camacho, R., Ramos-Gómez, M., & Loarca-Pina, G. (2006). Bioactive components in common beans (*Phaseolus vulgaris*). *Advances in Agricultural and Food Biotechnology*, 217–236.
- Rodríguez, L. M. (2019). Desafíos para el consumo de frutas y verduras. *Revista de La Facultad de Medicina Humana*, 19(2), 105–112. <https://doi.org/10.25176/RFMH.v19.n2.2077>
- Selvaraj, Y., & Pal, D. K. (1989). Biochemical changes during the ripening of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* L.). *Journal of Food Science & Technology*, 26(6), 304–307.
- Shahidi, F. (2012). Nutraceuticals, functional foods and dietary supplements in health and disease. *Journal of Food and Drug Analysis*, 20(Suppl.1), 226–230.
- Shanmugapriya, K., Saravana, P. S., Payal, H., Mohammed, S. P., & Binnie, W. (2011). Antioxidant activity, total phenolic and flavonoid contents of *Artocarpus Heterophyllus* and *Manilkara Zapota* seeds and its reduction potential. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 3, 256–260.
- SIAP. (2017). *Sistema de Información de Producción Agrícola y Pecuaria de México*. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>
- Sies, H., & Stahl, W. (1995). Vitamins E and C, beta-carotene, and other carotenoids as antioxidants. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 62(6), 1315S–1321S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/62.6.1315S>
- Soto-Hernández, M., Palma-Tenango, M., & Garcia-Mateos, M. del R. (Eds.). (2017). *Phenolic Compounds - Biological Activity*. InTech. <https://doi.org/10.5772/63693>
- Swami, S. B., & Kalse, S. B. (2018). Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*): biodiversity, nutritional contents, and health. In *Bioactive Molecules in Food. Reference Series in Phytochemistry* (pp. 1–23). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-54528-8_87-1
- TACO. (2011). *Tabela Brasileira de Composição de Alimentos / NEPA-UNICAMP - 4ª ed. – Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação – NEPA*. Universidad de Estadual de Campinas. Campinas, SP: NEPA-UNICAMP. Brazil. (Fecha de Consulta 2021 https://www.cfn.org.br/wp-content/uploads/2017/03/taco_4_edicao_ampliada_e_revisada.pdf)
- US-Agriculture Department. (2002). Nutritive value of foods. In S. E. Gebhardt & G. T. Robin (Eds.), *Home and Garden Bulletin (7)* (p. 97 p.). Department of Agriculture, Agricultural Research Service, USA.
- Vazhacharickal, P. J., N.K., S., Mathew, J. J., Kuriakose, A. C., Abraham, B., Mathew, R. J.,..., Sophyamol, J. (2015). Chemistry and medicinal properties of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*): A review on current status of knowledge. *International Journal of Innovative Research and Review*, 3(2), 83–95.
- Wang, H., Cao, G., & Prior, R. L. (1996). Total antioxidant capacity of fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44(3), 701–705. <https://doi.org/10.1021/jf950579y>
- Waterman, P. G., & Mole, S. (1994). *Methods in ecology. Analysis of phenolic plant metabolites*. Blackwell Scientific Publications.
- Wojdylo, A., Oszmianski, J., & Czemerys, R. (2007). Antioxidant activity and phenolic compounds in 32 selected herbs. *Food Chemistry*, 105(3), 940–949. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.04.038>
- Yilmaz, Y., Göksel, Z., Erdoğan, S. S., Öztürk, A., Atak, A., & Özer, C. (2015). Antioxidant activity and phenolic content of seed, skin and pulp parts of 22 grae (*Vitis vinifera* L.) cultivars (4 common and 18 registered or candidate for registration) *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 1682–1691. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12399>