

Accepted Manuscript / Manuscrito Aceptado

Title Paper/Título del artículo:

Yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.): biología, composición y manejo poscosecha. Una revisión

Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.): biology, composition and postharvest management. A review

Authors/Autores: Coronado-Partida, L.D., Estrada-Virgen, M. O., Cambero-Campos, O. J.

ID: e2237

DOI: <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e2237>

Received/Fecha de recepción: April 13th 2026

Accepted /Fecha de aceptación: July 09th 2026

Available online/Fecha de publicación: September 11th 2026

Please cite this article as/Como citar este artículo: Coronado-Partida, L.D., Estrada-Virgen, M. O., Cambero-Campos, O. J. (2026). Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.): biology, composition and postharvest management. A review. *Revista Bio Ciencias*, 13, e2237. <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e2237>

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

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

*Artículo de revisión/Review***Yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.): biología, composición y manejo poscosecha. Una revisión.****Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.): biology, composition and postharvest management. A review.**

Yaca: biología y poscosecha /

Jackfruit: biology and postharvest

Coronado-Partida, L.D.^{1,2*}, Estrada-Virgen, M. O.¹, Cambero-Campos, O. J.¹¹Unidad Académica de Agricultura, Universidad Autónoma de Nayarit, Carretera Tepic-Compostela Km.9., C.P. 63155. Xalisco, Nayarit, México.²Estancias Posdoctorales- Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), Coordinación de Apoyos a Becarios e Investigadores. Dirección de Posgrado, C.P. 03940, Ciudad de México.***Corresponding Author:**

Leonardo Coronado-Partida. Unidad Académica de Agricultura, Universidad Autónoma de Nayarit, Carretera Tepic-Compostela Km. 9, Xalisco, Nayarit, México C.P. 63155. E-mail:

leonardo.coronado@uan.edu.mx**RESUMEN**

La yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.), reconocida como el fruto comestible más grande del mundo, pertenece a la familia Moraceae y es originaria de los bosques tropicales de los Ghats Occidentales de la India. Actualmente se cultiva en regiones tropicales y subtropicales de Asia, África y América. Su perfil nutricional incluye carbohidratos, proteínas, vitaminas del complejo B, vitaminas A y C, carotenoides, compuestos fenólicos y fibra dietética. En México, Nayarit concentra más del 90 % de la producción nacional, siendo Estados Unidos de América el principal destino de exportación. No obstante, el principal obstáculo para su comercialización a larga distancia es la limitada vida poscosecha ligada al ataque por patógenos fúngicos, particularmente *Rhizopus stolonifer* y *Lasiodiplodia theobromae*. La combinación de refrigeración con recubrimientos comestibles a base de compuestos GRAS (Generalmente Reconocidos como Seguros, por sus siglas en inglés) extiende la vida útil hasta 17 días. La presente revisión integra el conocimiento científico disponible sobre botánica, diversidad genética, composición química, fisiología de la maduración, manejo poscosecha, perfil agroecológico y valorización de residuos del cultivo, con el objetivo de identificar oportunidades de investigación aplicada y fortalecer la cadena de valor de la yaca en México y el trópico americano.

PALABRAS CLAVE: Fruta tropical, poscosecha, vida de anaquel, recubrimientos comestibles, compuestos GRAS**ABSTRACT**

Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.), recognized as the world's largest edible fruit, belongs to the family Moraceae and is native to the tropical forests of India's Western Ghats. It is now grown in tropical and subtropical regions throughout Asia, Africa, and the Americas. Its nutritional profile includes carbohydrates, proteins, B-complex vitamins, vitamins A and C, carotenoids, phenolic compounds, and dietary fiber. In Mexico, Nayarit contributes over 90 % of the country's total production, with the United States as the main export destination. However, the main challenge for long-distance commercialization is its short postharvest lifespan, which is mainly caused by fungal pathogens, particularly *Rhizopus stolonifer* and *Lasiodiplodia theobromae*. Combining refrigeration with edible coatings based on GRAS (Generally Recognized as Safe) compounds can extend shelf life by up to 17 days. This review synthesizes available scientific knowledge on botany, genetic diversity, chemical composition, ripening physiology, postharvest management, agroecological profile, and waste valorization of the crop to identify opportunities for applied research and to strengthen the jackfruit value chain in Mexico and the American tropics.

KEYWORDS: Tropical fruit, postharvest, shelf life, edible coatings, GRAS compounds.

Introducción

La yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) es reconocida como el fruto comestible más grande del mundo. Perteneció a la familia Moraceae y su nombre genérico deriva del griego *artos* (pan) y *carpos* (fruto), aludiendo a su parentesco con el árbol del pan, *A. altilis* (Medina-Tiznado *et al.*, 2018a). La especie es originaria de los bosques tropicales húmedos de los Ghats Occidentales de la India; desde su centro de origen fue introducida a África oriental por comerciantes árabes y posteriormente se dispersó a lo largo del trópico americano. En la actualidad se cultiva en Bangladesh, India, Myanmar, Tailandia, Vietnam, Indonesia, Malasia, Filipinas, Sri Lanka, Brasil, Uganda, Kenya y el Caribe, con una producción mundial cercana a 3.7 millones de toneladas en el quinquenio 2015–2019 (APAARI, 2012; FAO, 2019; Ranasinghe *et al.*, 2019).

En México, la yaca fue introducida en el estado de Nayarit en la década de 1960. La producción nacional aumentó 200 % entre 2007 y 2014 (SIAP, 2025), consolidándose como un producto de alto valor comercial, dirigido principalmente a la exportación. Nayarit concentra más del 90 % de la superficie sembrada a nivel nacional, con 29,375 toneladas anuales provenientes de aproximadamente 1,150 ha (SIAP, 2025). Los municipios de San Blas y Compostela representan los principales núcleos productivos, y el material vegetal más difundido en la región es la selección 'Agüitada', caracterizada por frutos uniformes de 8–9 kg, pulpa de color naranja y tolerancia al viento (Luna-Esquivel *et al.*, 2013). El principal mercado de exportación es Estados Unidos de América (SIAP, 2025).

El traslado terrestre a estos destinos implica tiempos de 5 a 8 días bajo refrigeración de 8 a 13 °C, por lo que los frutos llegan en un estado avanzado de madurez y se dispone de apenas 2 a 3 días para su comercialización (Montalvo-González *et al.*, 2021). No obstante, el principal obstáculo para su comercialización es la limitada vida poscosecha, ligada al ataque de patógenos fúngicos, particularmente *Rhizopus stolonifer* y *Lasiodiplodia theobromae* (Coronado-Partida *et al.*, 2021; Medina-Tiznado *et al.*, 2018b). La vida poscosecha del fruto a temperatura ambiente (25 °C) es de tan solo 6–7 días, lo que constituye el principal cuello de botella para la industria yaquera mexicana.

La yaca posee un perfil nutricional y funcional relevante: es fuente de carbohidratos, fibra dietética, vitaminas del complejo B, carotenoides y compuestos fenólicos con actividades biológicas documentadas (Baliga *et al.*, 2011; Kaur *et al.*, 2024; Ranasinghe *et al.*, 2019). Prácticamente todas las partes del árbol tienen aplicaciones en medicina tradicional, alimentación, industria maderera y producción de subproductos de valor agregado, lo que le otorga relevancia etnobotánica, farmacológica e industrial. Pese a este reconocimiento, la yaca continúa catalogada por diversas

organizaciones internacionales como un fruto subutilizado en la escala comercial (Ranasinghe *et al.*, 2019; Witherup *et al.*, 2019).

Esta revisión sintetiza el conocimiento científico actual sobre la caracterización botánica, la diversidad genética, la composición química y nutricional, la fisiología de la maduración, el manejo poscosecha, el perfil agroecológico y la valorización de residuos de *Artocarpus heterophyllus* Lam., con el propósito de identificar áreas prioritarias de investigación aplicada y contribuir al fortalecimiento de la cadena de valor del cultivo en el contexto nacional e internacional.

Características botánicas y diversidad genética

Taxonomía y descripción botánica

Artocarpus heterophyllus Lam. fue descrito formalmente por Lamarck y se ubica en el orden Rosales, familia Moraceae. La clasificación taxonómica completa es: Reino Plantae, División Magnoliophyta, Clase Magnoliopsida, Orden Rosales, Familia Moraceae, Género *Artocarpus*, Especie *A. heterophyllus* Lam. (Luna-Esquivel *et al.*, 2013). El género *Artocarpus* comprende aproximadamente 50 especies, siendo *A. heterophyllus* la de mayor importancia comercial a nivel mundial. Se le conoce con distintos nombres según el país: *jackfruit* en inglés, *jacquier* en francés, *nangka* en Indonesia, *khanun* en Tailandia, y *jaca* o *yaca* en español y portugués (Love & Paull, 2011).

El árbol es perennifolio de porte mediano, alcanza entre 8 y 25 m de altura en condiciones naturales y presenta un crecimiento rápido en los primeros años —hasta 1.5 m por año— que se atenúa a aproximadamente 0.5 m anuales al alcanzar la madurez (Ranasinghe *et al.*, 2019). Posee un tronco recto de corteza rugosa, verde o negruzca, de aproximadamente 1.25 cm de grosor, con abundante látex lechoso. Las hojas son alternas, pecioladas, de forma ovada-oblonga o elíptica, de color verde oscuro brillante; las hojas juveniles frecuentemente presentan lobulación profunda (Corley, 2007).

La especie es monoica, con inflorescencias masculinas y femeninas sobre el mismo árbol pero en receptáculos separados. Las inflorescencias femeninas son oblongas —es decir, alargadas con extremos redondeados, más largas que anchas—, de color verde, con 4–12 cm de longitud y 2–7 cm de diámetro; las masculinas son cilíndricas, de 2–11 cm de largo y 1–5 cm de diámetro (Medina-Tiznado *et al.*, 2018a). La polinización es anemófila y la polinización manual incrementa significativamente el cuajado de frutos. Los picos de floración están influidos por la distribución de las lluvias, con un período de 150 a 180 días entre la floración y la madurez del fruto (Saxena *et al.*, 2011).

El fruto es compuesto o sincarpo —estructura formada por la fusión de múltiples flores que da origen a un solo cuerpo de fruto—, conformado por un eje central, el perianto persistente y los frutos verdaderos individuales (Figura 1) (Ong *et al.*, 2006; Saxena *et al.*, 2011). Los frutos maduros pesan entre 4.5 y 27.3 kg, pudiendo superar los 40 kg en condiciones excepcionales; en frutos de campo se han registrado hasta 50 kg (Medina-Tiznado *et al.*, 2018a; Morelos-Flores *et al.*, 2022). Su longitud varía de 22 a 90 cm y el diámetro de 13 a 50 cm (Ranasinghe *et al.*, 2019). La cáscara es extremadamente rugosa, con ápices carpelares cónico-hexagonales que cambian de color verde a verde-amarillo intenso o café durante la maduración (Morelos-Flores *et al.*, 2022). La parte comestible —denominada bulbo o gajo, que corresponde al perigonio (estructura floral fusionada y carnosa que envuelve cada semilla)— está compuesta por una pulpa dulce y aromática, y comprende entre el 20 y 30 % de la porción comestible del fruto (Morelos-Flores *et al.*, 2022; Saxena *et al.*, 2011). Cada fruto produce entre 30 y 500 semillas ovaladas de 2–3 cm de longitud (Medina-Tiznado *et al.*, 2018a).



Figura 1. Fruto maduro de yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) cultivada en Nayarit, México (Fotografía tomada por el autor).

Requerimientos agroecológicos y propagación

La especie tolera el clima tropical cálido-húmedo con temperaturas entre 19 y 29 °C (óptimo 22–28 °C), altitudes de 1,000 a 1,600 msnm y precipitaciones anuales de 1,000 a 2,500 mm (Corley, 2007; Morelos-Flores *et al.*, 2022). Requiere suelos profundos, bien drenados, de textura arenosa-limosa o arcillosa, ricos en materia orgánica y con pH de 6.0 a 7.5. Es tolerante a sequías moderadas, pero no soporta encharcamientos ni heladas severas, si bien se le considera una especie relativamente tolerante al frío dentro del género. La propagación principal es por semilla; también se emplean injertos y estacas. Las semillas tienen una viabilidad muy baja (aproximadamente 30 días) y deben sembrarse inmediatamente después de ser extraídas (Medina-Tiznado *et al.*, 2018a).

Diversidad genética y genotipos

La diversidad genética de *A. heterophyllus* es considerable: la especie es de polinización cruzada y se propaga principalmente por semillas, lo que genera una amplia variabilidad fenotípica. Comercialmente, los frutos se clasifican en dos grandes grupos: de pulpa blanda (*soft flesh*), con frutos jugosos de sabor dulce-ácido, y de pulpa firme (*firm flesh*), con textura crujiente y sabor variable en cuanto a dulzor.

Estudios de diversidad genética en poblaciones de Bangladesh, mediante 13 loci de microsatélites en 394 individuos, revelaron un número medio de alelos de 8.31 ± 1.015 , con heterocigosis esperada de 0.443 y observada de 0.297 (Wetherup *et al.*, 2019). El análisis molecular de varianza (AMOVA) determinó que el 96 % de la variación se distribuye dentro de las poblaciones geográficas y solo el 4 % entre poblaciones, lo que indica que la diversidad genética es predominantemente intrapoblacional. En la India, la evaluación bioquímica de 40 genotipos locales en el distrito de Pudukkottai reveló coeficientes de variación elevados en parámetros como contenido de carotenoides (41.86 %), acidez titulable (34.83 %) y ácido ascórbico (32.81 %), evidenciando el amplio potencial de selección de genotipos superiores (Mohammed Aseef *et al.*, 2017). La transición hacia viveros comerciales podría estar generando un cuello de botella genético, con una pérdida potencial de variabilidad, lo que hace prioritaria la conservación *ex situ* e *in situ* de la diversidad genética (Ranasinghe *et al.*, 2019; Wetherup *et al.*, 2019).

En Australia se han registrado cultivares como 'Black Gold', 'Gold Nugget', 'Honey Gold' y 'Lemon Gold'; en Tailandia destacan 'Golden Pillow', 'Chompa Grob' y los clones 'NS1', 'J33' y 'J29'; en India las variedades 'Muttam' y 'Varikka' son las más conocidas (Love & Paull, 2011). En Nayarit, México, las selecciones locales más difundidas son 'Agüitada', 'Buchona', 'Romina', 'Carlita', 'Licenciada', 'Virtud' y 'R-15', que aún no han sido formalmente registradas (Luna-Esquivel *et al.*, 2013; Morelos-Flores *et al.*, 2022).

Morelos-Flores *et al.* (2022) realizaron la primera caracterización morfológica, fisiológica y fisicoquímica sistemática de cuatro genotipos cultivados en Nayarit ('Agüitada', 'Romina', 'Licenciada' y 'Virtud'), encontrando diferencias significativas en 17 de 19 parámetros evaluados ($p \leq 0.05$). 'Romina' y 'Licenciada' destacaron por su mayor tamaño de bulbo y vida poscosecha de hasta 11 días a 25 °C, identificándose como los genotipos más adecuados para exportación. 'Agüitada' y 'Virtud' presentaron bulbos de coloración anaranjada (67–72 °Hue), atribuida a mayor contenido de β -caroteno, mientras que 'Romina' y 'Licenciada' exhibieron bulbos amarillos pálidos (80–82 °Hue). Fisiológicamente, 'Agüitada' presentó el pico climaterico más temprano (día 2, con 123.99 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹), mientras que 'Romina' y 'Licenciada' alcanzaron su pico en el día 6 (93.8 y 71.23 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹, respectivamente).

Composición química y valor nutricional

Macronutrientes

La composición química de la pulpa madura de yaca varía entre genotipos y estadios de madurez. En términos generales, el contenido por 100 g de peso fresco (FW) incluye: humedad 72.0–77.2 g, energía 95–98 kcal, proteínas 1.2–1.9 g, lípidos 0.10–0.64 g, carbohidratos 18.9–25.4 g y fibra dietética 1.0–1.5 g (USDA, 2017). El contenido de azúcares totales es elevado (19.08 g/100 g FW), con la sacarosa como componente predominante, seguida de glucosa y fructosa en proporciones menores; los sólidos solubles totales en frutos maduros varían de 22 a 24 °Brix, pudiendo alcanzar 29.6–33.48 °Brix en frutos totalmente maduros (Montalvo-González *et al.*, 2021; Ong *et al.*, 2006; Saxena *et al.*, 2011). El almidón es el principal compuesto de reserva y durante la maduración se convierte en azúcares, proporcionando la textura dulce característica (Benkeblia, 2019).

El contenido de proteína es modesto en la pulpa madura (1.2–1.9 g/100 g FW), más elevado en la pulpa inmadura (hasta 2.3 g/100 g FW) y notablemente mayor en las semillas (6.6 g/100 g FW), que también aportan 22 g/100 g FW de almidón y 11.1 g/100 g FW de fibra dietética total (Hettiaratchi *et al.*, 2011; Kaur *et al.*, 2024; Ranasinghe *et al.*, 2019). La fracción lipídica es baja (0.10–0.64 g/100 g FW), con ácidos grasos saturados como componente principal (0.195 g/100 g FW), seguidos de monoinsaturados (0.155 g/100 g FW) y poliinsaturados (0.094 g/100 g FW); el colesterol es nulo (USDA, 2017).

Vitaminas y minerales

La yaca destaca como fuente de vitaminas hidrosolubles del complejo B, especialmente vitamina B6 (0.329 mg/100 g FW), niacina (0.920 mg/100 g FW), tiamina (0.105 mg/100 g FW) y riboflavina (0.055 mg/100 g FW), así como ácido fólico (24 µg/100 g FW) (USDA, 2017). El contenido de vitamina C (ácido ascórbico) es de 13.7 mg/100 g FW en fruto fresco, con variación dependiendo del genotipo y manejo poscosecha; estudios en bulbos precortados reportan valores de hasta 10 mg/100 g FW (Vargas-Torres *et al.*, 2017). La vitamina A, en equivalentes de retinol, alcanza 5 µg/100 g FW, lo que sugiere un contenido significativo de carotenoides precursores. Entre los minerales, el potasio es el más abundante con 448 mg/100 g FW, seguido de magnesio (29 mg/100 g FW), calcio (24 mg/100 g FW), fósforo (21 mg/100 g FW), hierro (0.23 mg/100 g FW) y zinc (0.13 mg/100 g FW) (Hettiaratchi *et al.*, 2011; USDA, 2017).

Compuestos bioactivos

Los carotenoides constituyen el grupo de compuestos bioactivos más estudiado en la yaca. Chandrika *et al.* (2005) reportaron un contenido de 108 µg/100 g FW en la pulpa madura, con β-caroteno como componente principal. El contenido varía significativamente entre estadios de madurez y entre genotipos, con coeficientes de variación de hasta 41.86 % entre materiales evaluados (Mohammed Aseef *et al.*, 2017; Montalvo-González *et al.*, 2021). El color anaranjado intenso de genotipos como 'Agüitada' y 'Virtud' se atribuye a la predominancia de β-caroteno (Morelos-Flores *et al.*, 2022).

El perfil fenólico de la yaca es diverso. Estudios comparativos en tres estadios de madurez (inmaduro, maduro fisiológico y maduro de consumo) reportan que el contenido total de fenoles solubles varía de 52.08 mg GAE/g (fruto maduro) hasta 434.04 mg GAE/g (fruto en madurez fisiológica), con el estadio de madurez como factor determinante (Peramunagama *et al.*, 2018). En bulbos precortados, Vargas-Torres *et al.* (2017) documentaron un incremento de compuestos fenólicos solubles de 400 a 900 mg GAE/100 g FW durante los 12 días de almacenamiento refrigerado. Los compuestos flavonoides identificados incluyen quercetina, naringenina, kaempferol y catequinas, junto con compuestos específicos como heterofilol y artocarpina (Kaur *et al.*, 2024; Lin & Lu, 1993; Ranasinghe *et al.*, 2019).

El aroma característico de la yaca se debe a la presencia de aproximadamente 16 ésteres volátiles, entre los que destacan el isovalerato de isopropilo, isovalerato de butilo y propanoato de isobutilo, cuyo número aumenta durante la maduración (Ong *et al.*, 2006). Ragasa *et al.* (2004) aislaron del fruto inmaduro cicloartenona, cicloartenol y una mezcla diastereoisomérica de 2,3-butanedioles con actividad antimicrobiana frente a *Pseudomonas aeruginosa* y *Candida albicans*.

Manejo agronómico

Factores precosecha

Los factores precosecha tienen una influencia determinante sobre la calidad final del fruto de yaca. El rendimiento varía de 100 a 200 frutos por árbol por año; en condiciones óptimas en la India se considera un buen rendimiento 150 frutos grandes por árbol (Saxena *et al.*, 2011). La productividad depende de la variedad, las prácticas culturales y las condiciones agroecológicas. El espaciamiento adecuado entre árboles es fundamental para garantizar suficiente ventilación y radiación solar, favoreciendo el desarrollo y la maduración uniforme.

Un desorden fisiológico importante es el deterioro interno del tejido en las cavidades centrales del fruto compuesto, asociado a deficiencias minerales de calcio (Ca) y zinc (Zn); la suplementación adecuada de estos minerales en campo puede prevenir dicho problema (Saxena *et al.*, 2011). El régimen de temperaturas y humedad relativa afecta directamente la maduración. El embolsado de los frutos en campo, realizado dos semanas después del cuajado, reduce la incidencia de plagas y enfermedades y mejora la calidad superficial de los frutos.

Entomofauna asociada al cultivo

Las plantaciones de yaca en México son afectadas por una diversidad de plagas de artrópodos. En Nayarit, estudios en los municipios de San Blas y Compostela identificaron 33 especies de insectos y ácaros pertenecientes a 10 órdenes, con predominio de Hemiptera (44.7 %), Coleoptera (19.8 %) y Acarina (10.5 %). Las familias de mayor importancia económica fueron Aphididae (225 ejemplares), Diaspididae (147), Tingidae (122) y Pseudococcidae (115) (Rodríguez-Palomera *et al.*, 2017). El áfido *Toxoptera aurantii* (pulgón negro de los cítricos) fue identificado como vector asociado a la pudrición de inflorescencias causada por hongos fitopatógenos (Medina-Tiznado *et al.*, 2018a). *Aulacaspis tubercularis* puede reducir hasta 50 % el volumen comercial de la fruta, mientras que *Maconellicoccus hirsutus* (cochinilla rosada del hibisco) tiene a la yaca como hospedero prioritario. La hormiga arriera *Atta mexicana* causa daños significativos al follaje (Rodríguez-Palomera *et al.*, 2017).

Como fauna benéfica, se recolectaron 397 depredadores; la familia Coccinellidae fue la de mayor diversidad con 17 especies identificadas, siendo *Cycloneda sanguinea* la más abundante (Rodríguez-Palomera *et al.*, 2015). El uso de insecticidas de amplio espectro como cipermetrina ha provocado la eliminación de fauna benéfica y la presencia de residuos de pesticidas en frutos de exportación, lo que hace indispensable el desarrollo de programas de manejo integrado de plagas (IPM) (Rodríguez-Palomera *et al.*, 2017).

Enfermedades precosecha

La pudrición de inflorescencias en huertas de San Blas y Compostela, Nayarit, es causada por *Fusarium solani*, *Rhizopus stolonifer*, *Lasiodiplodia theobromae*, *Aspergillus flavus*, *A. niger* y *Cunninghamella clavata* (Medina-Tiznado *et al.*, 2018a). Es importante señalar que *Fusarium solani sensu lato* (s. l.) constituye un complejo de especies (FSSC, *Fusarium solani species complex*) que agrupa más de 60 filo-especies (especies filogenéticas reconocidas) con diferencias notables en patogenicidad, rango de hospedantes y distribución geográfica (Geiser *et al.*, 2021; O'Donnell *et al.*, 2008), por lo que las identificaciones tempranas basadas exclusivamente en morfología deben corroborarse con marcadores moleculares (TEF1- α , RPB2). *Toxoptera aurantii* ha sido identificado como vector de *R. stolonifer* entre inflorescencias masculinas. A nivel mundial también se han reportado *Sclerotinia sclerotiorum* en Bangladesh, *Rhizopus artocarp*i en Florida y Bangladesh (Saxena *et al.*, 2011), así como *Pantoea stewartii* (sin. *Erwinia stewartii*) causando bronceado de yaca en Filipinas y Malasia (Gapasin *et al.*, 2014).

Fisiología de la maduración y cambios poscosecha

Bases conceptuales del comportamiento climático

La yaca pertenece al grupo de los frutos climáticos, es decir, aquellos cuyo proceso de maduración está marcado por un aumento transitorio y pronunciado en la tasa respiratoria (consumo de O₂ y liberación de CO₂) y por una producción autocatalítica de etileno (C₂H₄), hormona vegetal que actúa como señal central del proceso (Saxena *et al.*, 2009). Los frutos climáticos pueden cosecharse en madurez fisiológica y completar su maduración fuera de la planta, característica que los diferencia de los frutos no climáticos, en los cuales la maduración debe completarse en el árbol.

El patrón respiratorio climático se describe convencionalmente en tres fases: (i) fase preclimática, caracterizada por una tasa respiratoria baja y estable; (ii) pico climático, definido como el incremento transitorio en la velocidad de respiración asociado al desencadenamiento autocatalítico de etileno; y (iii) fase postclimática, durante la cual la respiración decae mientras se manifiestan los cambios sensoriales finales (color, aroma, textura y sabor) que culminan en la madurez de consumo y, posteriormente, en la senescencia. La biosíntesis de etileno se describe en dos sistemas: el Sistema 1, asociado a niveles basales en frutos preclimáticos y en tejidos no maduros, y el Sistema 2, autocatalítico, propio de la fase climática, en el que el etileno induce su

propia producción mediante la activación de las enzimas ACC sintasa y ACC oxidasa (Saxena *et al.*, 2009).

Desde el punto de vista práctico, este comportamiento es central para el manejo poscosecha: la cosecha en madurez fisiológica (previa al pico climatérico) permite ampliar la ventana de comercialización, mientras que cualquier estrategia de conservación efectiva busca retrasar o atenuar el desencadenamiento del Sistema 2 mediante refrigeración, aplicación de inhibidores como el 1-metilciclopropeno (1-MCP), atmósferas modificadas o recubrimientos comestibles.

Patrón climatérico observado en yaca

Los frutos del cultivar 'Agüitada' almacenados a 25 °C presentaron el pico climatérico de la velocidad de respiración (RR) al tercer día de almacenamiento con un valor de 108.81 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹, mientras que la máxima velocidad de producción de etileno (EPR) se registró al quinto día con 45.48 µL kg⁻¹ h⁻¹ (Montalvo-González *et al.*, 2021). Estos valores son consistentes con los reportados por Selvaraj & Pal (1989), quienes documentaron un pico climatérico de 245 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ al tercer día de maduración, con descenso a 60–70 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ a los 8 días. La variabilidad entre genotipos es marcada: 'Agüitada' presenta el pico al día 2 (123.99 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹), mientras que 'Romina' y 'Licenciada' lo alcanzan al día 6 (Morelos-Flores *et al.*, 2022).

La refrigeración a 13 °C u 8 °C durante 5 días retrasó significativamente el pico climatérico. En frutos sin recubrimiento almacenados a 13 °C durante 5 días seguidos de transferencia a temperatura ambiente, el pico se presentó al séptimo día; con almacenamiento a 8 °C el retraso fue de 6 a 9 días adicionales respecto al testigo a 25 °C (Montalvo-González *et al.*, 2021). Este comportamiento se explica porque las bajas temperaturas disminuyen la actividad de la 1-aminociclopropano-1-carboxilato oxidasa (ACC oxidasa), una enzima clave en la biosíntesis de etileno. Una vez que los frutos retornan a temperatura ambiente, la RR aumenta drásticamente, un fenómeno coincidente con el observado en guanábana (Espinosa *et al.*, 2013).

Índices de madurez

La determinación objetiva del momento óptimo de cosecha en la yaca ha sido históricamente subjetiva y dependiente de la experiencia del productor, lo que ocasiona que grandes volúmenes de fruta se cosechen prematuramente o en estado de sobremadurez (Sim *et al.*, 2003). Los índices de madurez más utilizados incluyen parámetros físicos, químicos y tecnológicos.

Desde el punto de vista físico, los cambios en la apariencia de la corteza son los indicadores más prácticos: el ensanchamiento de la separación entre espinas, el cambio de coloración de verde oscuro a verde-amarillento o café-verdoso, y el sonido hueco al golpearla son señales asociadas a la madurez comercial (Love & Paull, 2011; Saxena *et al.*, 2011). El fruto puede cosecharse inmaduro para maduración poscosecha, entre 90 y 120 días después de la aparición de las espinas, equivalente a 100 días después del embolsado o 16 semanas desde la antesis (Saxena *et al.*, 2011). Los parámetros químicos de referencia para frutos maduros incluyen: TSS de 22–24 °Brix, azúcares totales de 11–15 g/100 g FW y acidez titulable de 0.3 % de ácido cítrico (Saxena *et al.*, 2011). El momento óptimo de consumo se ha establecido en el día 5 poscosecha para el cultivar 'J3' a temperatura ambiente, cuando los azúcares totales y los TSS alcanzan su máximo y la acidez es mínima (Ong *et al.*, 2006).

Se han desarrollado tecnologías instrumentales para la evaluación objetiva de la madurez. Sim *et al.* (2003) desarrollaron un sensor desechable de electrodo impreso por serigrafía, combinado con análisis quimiométrico (análisis de componentes principales y análisis discriminante canónico), capaz de clasificar estadios de madurez de yaca con alta precisión, lo que abre la posibilidad de adoptar criterios objetivos a escala de empacadora.

Cambios fisicoquímicos durante la maduración

Los sólidos solubles totales (TSS) aumentan de 7.23–8.33 °Brix en fruto con madurez fisiológica hasta 29.6–33.48 °Brix en fruto maduro de consumo (Montalvo-González *et al.*, 2021), representando un incremento de hasta cuatro veces durante la maduración. Este aumento se atribuye a la hidrólisis de polisacáridos de reserva (almidón y pectinas) a azúcares solubles. En genotipos de Nayarit, los TSS al final de la vida útil oscilaron entre 23.01 °Brix ('Licenciada') y 27.46 °Brix ('Agüitada') (Morelos-Flores *et al.*, 2022).

La firmeza inicial del fruto entero es de 300–350 N, disminuyendo hasta 216–239 N en frutos maduros a 25 °C, proceso relacionado con la acción de enzimas que degradan la pared celular — poligalacturonasa, pectinmetilesterasa y β -galactosidasa— (Mata-Montes de Oca *et al.*, 2007; Montalvo *et al.*, 2009). El color de los bulbos cambia de amarillo claro (°Hue 80.50–87.87) en el estado de madurez fisiológica a amarillo-naranja (°Hue 63.5–75) en la madurez de consumo, variación regulada por la síntesis de carotenoides inducida por etileno (Montalvo-González *et al.*, 2021). La acidez titulable muestra valores bajos y relativamente estables durante el almacenamiento en los genotipos mexicanos, con ácido málico predominando en el fruto verde y ácido cítrico en el fruto maduro (Morelos-Flores *et al.*, 2022; Ong *et al.*, 2006).

Conservación poscosecha

Control fitosanitario

Las pérdidas poscosecha por enfermedades fúngicas son la principal causa de deterioro de la yaca (Tabla 1), con pérdidas reportadas de entre 15 y 32 % atribuibles principalmente a *Rhizopus* spp. En Nayarit, México, Ragazzo-Sánchez *et al.* (2011) identificaron *Aspergillus niger* como el principal agente de pudrición poscosecha mediante técnicas de PCR. *Lasiodiplodia theobromae* ha sido reportado como agente causal de la pudrición blanda de color café en frutos, constituyendo el primer reporte de este patógeno en frutos de yaca en México (Medina-Tiznado *et al.*, 2018b). El áfido *Toxoptera aurantii* ha sido identificado como vector de *R. stolonifer* entre inflorescencias masculinas en Nayarit.



Figura 2. Crecimiento micelial de *Rhizopus stolonifer* en medio PDA aislado de fruto de yaca (*A. heterophyllum*) en Nayarit, México (Coronado-Partida *et al.*, 2023).

Para el control químico convencional se han empleado hidróxido de cobre 53 %, mezcla bordelesa (0.5 %), oxícloruro de cobre (0.2 %) y DCNA 75 WP, entre otros fungicidas como Dicloran y Fludioxonil; ninguno ha resultado completamente efectivo contra *Rhizopus* (Coronado-Partida *et al.*, 2021; Ghosh *et al.*, 2015). En Nayarit, solo el fungicida azoxystrobin y el herbicida glifosato

cuentan con registro de la EPA de Estados Unidos para este cultivo, lo que restringe severamente las opciones de manejo químico convencional (Medina-Tiznado *et al.*, 2018a).

El empleo de compuestos GRAS (Generalmente Reconocidos como Seguros) para el control de la pudrición blanda ha demostrado resultados altamente prometedores. Coronado-Partida *et al.* (2021) evaluaron la combinación de quitosano (Chi) y sorbato de potasio (PS) para inhibir el desarrollo de *R. stolonifer*, obteniendo una reducción del 100 % del crecimiento micelial y de la germinación de esporas con la combinación 1 % Chi–1 % PS *in vitro*. El efecto sinérgico se atribuye a la naturaleza policationica del quitosano —cuyas cargas positivas interactúan con las cargas negativas de la pared celular del microorganismo— combinada con las alteraciones estructurales de la membrana celular y la inhibición de enzimas metabólicas por el sorbato de potasio. Coronado-Partida *et al.* (2023) reportaron además que la combinación quitosano–benzoato de sodio presenta potencial antifúngico significativo contra *R. stolonifer* aislado de yaca.

Más allá de su acción antifúngica directa, las formulaciones a base de quitosano combinado con compuestos GRAS han demostrado activar mecanismos de defensa propios del fruto. Tanto el sorbato de potasio como el benzoato de sodio, al combinarse con quitosano, incrementaron la actividad de la peroxidasa (POD) —enzima involucrada en la lignificación de la pared celular y en la respuesta antioxidante— lo que genera una barrera estructural que dificulta la invasión del patógeno (Coronado-Partida *et al.*, 2021, 2025). Adicionalmente, la combinación quitosano–sorbato de potasio estimuló la actividad de la polifenoloxidasas (PPO), enzima que cataliza la oxidación de compuestos fenólicos a quinonas con reconocida actividad antimicrobiana (Coronado-Partida *et al.*, 2021). Estos hallazgos indican que el mecanismo de protección de estas formulaciones no se limita al efecto fungistático directo, sino que involucra una respuesta de resistencia inducida en el propio fruto, lo que amplía su potencial como herramienta de manejo poscosecha.

El control biológico mediante microorganismos antagonistas representa otra alternativa de gran relevancia. Ghosh *et al.* (2015) demostraron que las bacterias rizosféricas *Burkholderia cenocepacia* VBC7 y *Pseudomonas poae* VBK1, así como tres cepas de *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*, redujeron la incidencia de pudrición poscosecha con una efectividad superior al 90 %. En Nayarit, Medina-Tiznado *et al.* (2018a) evaluaron el antagonismo de *Trichoderma asperellum*, *T. harzianum* y *T. longibrachiatum* como alternativa para el control de la pudrición de inflorescencias y frutos, y encontraron que *T. longibrachiatum* fue la especie con mayor actividad antagonista, especialmente contra *F. solani*, *A. flavus* y *A. niger*. Los mecanismos de acción de *Trichoderma* spp. incluyen competencia directa por espacio y nutrientes, producción de metabolitos antibióticos y micoparasitismo (Harman, 2006; Papavizas, 1985).

Conservación de frutos en poscosecha

Almacenamiento refrigerado

La refrigeración es la tecnología base para la conservación de la yaca. Los frutos del cultivar ‘Agüitada’ almacenados a 8 °C durante 5 días presentaron una vida útil de 11–12 días tras el retorno a temperatura ambiente (25 °C), con ligero daño por frío observable, pero sin comprometer la calidad comercial; el almacenamiento a 13 °C por 5 días extendió la vida útil total a 9–10 días (Montalvo-González *et al.*, 2021). Las temperaturas de refrigeración óptimas para fruto entero se sitúan entre 10 y 12 °C según la literatura internacional (Saxena *et al.*, 2011). Las temperaturas inferiores a 12 °C provocan daño por frío caracterizado por ablandamiento, colapso de tejidos, pardeamiento y depresiones superficiales (Saxena *et al.*, 2011).

Coronado-Partida *et al.* (2025) evaluaron un régimen de almacenamiento bifásico (10 °C durante los primeros 5 días, seguido de transferencia a 25 °C) y demostraron que esta estrategia ralentiza el proceso de maduración: los frutos tratados presentaron hasta 50 % menos TSS que el grupo control al quinto día. La refrigeración actúa principalmente disminuyendo las actividades

enzimáticas involucradas en el proceso respiratorio y en la síntesis de etileno, específicamente la actividad de la ACC oxidasa (Mathooko *et al.*, 2001) (Tabla 2).

Recubrimientos comestibles

Los recubrimientos comestibles actúan creando una atmósfera modificada interna en la superficie del fruto: disminuyen la disponibilidad de oxígeno para la respiración, reducen la pérdida de agua por transpiración y retrasan la maduración (Antunes *et al.*, 2012). Montalvo-González *et al.* (2021) evaluaron dos recubrimientos comerciales en frutos enteros: Natural Shine® 505-OR (40 % v/v), un recubrimiento orgánico aprobado por USDA/OMRI, y Semperfresh™ (3 % v/v), un recubrimiento a base de éster de sacarosa. Semperfresh™ fue significativamente más efectivo que Natural Shine®, debido a sus propiedades hidrofóbicas que reducen la permeabilidad al O₂ y al CO₂ (Narsaiah *et al.*, 2015). La aplicación de Semperfresh™ en combinación con almacenamiento a 8 °C durante 5 días extendió la vida útil hasta 17 días totales: 9 días más que los frutos testigo a 25 °C y 7 días más que los frutos refrigerados sin recubrimiento. El recubrimiento también retrasó el pico de EPR hasta el día 16 (EPR máxima de 36.63 µL kg⁻¹ h⁻¹), comparado con el día 5 en los frutos testigo.

Tabla 1. Principales hongos y bacterias fitopatógenos reportados en yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) por región geográfica.

Agente causal	Región	Órgano afectado	Referencia
<i>Rhizopus stolonifer</i>	Nayarit, México	Fruto / inflorescencias	Coronado-Partida <i>et al.</i> , (2021).
<i>Rhizopus artocarp</i>	Florida (EE.UU.) / Bangladesh	Fruto / inflorescencias	Saxena <i>et al.</i> , (2011).
<i>Lasiodiplodia theobromae</i>	Nayarit, México	Fruto (pudrición blanda café)	Medina-Tiznado <i>et al.</i> , (2018b).
<i>Aspergillus niger</i>	Nayarit, México	Fruto (poscosecha)	Ragazzo-Sánchez <i>et al.</i> , (2011).
<i>Fusarium solani</i> s. l. (FSSC)	Nayarit, México	Inflorescencias	Medina-Tiznado <i>et al.</i> , (2018a).
<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	Bangladesh	Fruto	Saxena <i>et al.</i> , (2011).
<i>Pantoea stewartii</i> (sin. <i>Erwinia stewartii</i>)	Filipinas / Malasia	Fruto (bronceado)	Gapasin <i>et al.</i> , (2014).
<i>Cunninghamella clavata</i>	Nayarit, México	Inflorescencias	Medina-Tiznado <i>et al.</i> , (2018a).

Coronado-Partida *et al.* (2025) evaluaron la efectividad de un recubrimiento a base de quitosano (3 % p/v) y benzoato de sodio (2.5 % p/v) aplicado a frutos enteros de yaca. El recubrimiento inhibió el desarrollo de *R. stolonifer*, mantuvo la firmeza del fruto y extendió la vida útil a 17 días al combinarse con el régimen bifásico. Los frutos inoculados con *R. stolonifer* y tratados mantuvieron una vida útil de 12 días, frente a solo 5 días del control inoculado sin tratamiento. La reducción de la pérdida fisiológica de peso (PWL) es otro beneficio documentado: en frutos tratados, la PWL fue de apenas 10 % al día 14, en comparación con pérdidas del 22–24 % en menos de 5 días en frutos control. El recubrimiento también retrasó el pico de respiración climatérica del día 5 al día 8 (producciones máximas de 155.8 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹).

Valorización de residuos poscosecha

Solo una fracción minoritaria del fruto de yaca corresponde a la porción comestible: los bulbos representan apenas el 20–30 % del peso fresco del fruto entero (Saxena *et al.*, 2011). El restante 70–80 % está constituido por estructuras consideradas tradicionalmente como residuo —cáscara, perigonio (corazón fibroso o eje central), pedúnculo y semillas— que tras el procesamiento industrial se descartan en volúmenes significativos. Por su composición química, sin embargo, estas fracciones presentan un alto potencial de valorización como fuente de compuestos bioactivos, ingredientes alimentarios funcionales, materia prima energética y aditivos para diversas industrias (Kaur *et al.*, 2024).

Caracterización de las fracciones no comestibles

La cáscara representa la mayor fracción de residuo (~55 % del peso fresco) y constituye una matriz rica en fibra dietética, pectinas, polisacáridos no almidonosos, polifenoles y carotenoides residuales. El perigonio o corazón central, equivalente a aproximadamente el 12 % del peso fresco, presenta un perfil intermedio con alto contenido de fibra y carbohidratos no estructurales. Las semillas representan cerca del 10 % del peso fresco y se distinguen por su elevado contenido de almidón (22 g/100 g FW), proteína (6.6 g/100 g FW), fibra dietética total (11.1 g/100 g FW) y compuestos minoritarios como jacalina —una lectina con propiedades biotecnológicas— y polifenoles específicos (Hettiaratchi *et al.*, 2011; Kaur *et al.*, 2024; Ranasinghe *et al.*, 2019) (Tabla 3).

Tabla 2. Tratamientos poscosecha de yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.)

Categoría	Tratamiento	Resultado principal	Referencia
Control químico	Fungicidas convencionales (DCNA, Fludioxonil)	Ninguno resultó completamente efectivo contra <i>Rhizopus</i> spp. Solo azoxystrobin y glifosato tienen registro EPA para exportación a EE.UU.	Coronado-Partida <i>et al.</i> , (2021); Ghosh <i>et al.</i> , (2015); Medina-Tiznado <i>et al.</i> , (2018a).
Compuestos GRAS	Quitosano + sorbato de potasio (<i>in vitro</i>)	Reducción 100% del crecimiento micelial y germinación de esporas de <i>R. stolonifer</i> . Induce actividad POD y PPO en el fruto.	Coronado-Partida <i>et al.</i> , (2021).
Compuestos GRAS	Quitosano + benzoato de sodio (<i>in vitro</i>)	Potencial antifúngico significativo contra <i>R. stolonifer</i> aislado de yaca. Induce actividad POD.	Coronado-Partida <i>et al.</i> , (2023).
Compuestos GRAS	Recubrimiento quitosano + benzoato de sodio (<i>fruto entero</i>)	Inhibe <i>R. stolonifer</i> en fruto. Pérdida fisiológica de peso 10% al día 14 vs 22–24% en control (<5 d). Retrasa pico climático del día 5 al día 8 (RR máx. 155.8 mL CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹).	Coronado-Partida <i>et al.</i> , (2025).
Compuestos GRAS	Quitosano + benzoato de sodio (fruto inoculado con <i>R. stolonifer</i>)	Vida de anaquel de 12 días vs 5 días del control inoculado sin tratamiento.	Coronado-Partida <i>et al.</i> , (2025).

Control biológico	Bacterias rizosféricas (<i>Burkholderia</i> + <i>Pseudomonas</i> + <i>Lactococcus</i>)	Reducción de pudrición poscosecha con efectividad >90%.	Ghosh <i>et al.</i> , (2015).
Control biológico	<i>Trichoderma</i> spp. (antagonismo <i>in vitro</i> / inflorescencias)	<i>T. longibrachiatum</i> mostró mayor actividad antagonista, especialmente contra <i>F. solani</i> , <i>A. flavus</i> y <i>A. niger</i> .	Harman, (2006); Medina-Tiznado <i>et al.</i> , (2018a); Papavizas, (1985).
Refrigeración	Refrigeración a 13 °C (fruto sin recubrimiento)	Pico climático retrasado al día 7. Vida de anaquel extendida a 9–10 días totales.	Montalvo-González <i>et al.</i> , (2021).
Refrigeración	Refrigeración a 8 °C (fruto sin recubrimiento)	Retraso del pico climático de 6–9 días adicionales vs control a 25 °C. Vida de anaquel 11–12 días. Ligero daño por frío sin comprometer calidad comercial.	Montalvo-González <i>et al.</i> , (2021).
Refrigeración	Régimen bifásico (almacenamiento escalonado)	Ralentiza maduración. Frutos tratados presentaron hasta 50% menos TSS al día 5 vs control.	Coronado-Partida <i>et al.</i> , (2025).
Recubrimientos	Natural Shine® 505-OR (recubrimiento orgánico)	Extensión moderada de vida de anaquel.	Montalvo-González <i>et al.</i> , (2021).
Recubrimientos	Semperfresh™ (éster de sacarosa)	Reduce permeabilidad a O ₂ y CO ₂ . Retrasa pico de EPR al día 16 (EPR máx. 36.63 µL kg ⁻¹ h ⁻¹) vs día 5 en testigo.	Montalvo-González <i>et al.</i> , (2021).

POD = peroxidasa, PPO = polifenoloxidasa, RR = velocidad de respiración, EPR = velocidad de producción de etileno, TSS = sólidos solubles totales.

Tabla 3. Composición aproximada y potencial de valorización de las fracciones no comestibles de la yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.).

Fracción	% Peso fresco	Componentes principales	Rutas de aprovechamiento
Cáscara	~55 %	Pectinas, polisacáridos no almidonosos, fibra dietética, polifenoles, carotenoides residuales, lignina	Extracción de pectinas y polisacáridos bioactivos; bioetanol y biogás; aditivos funcionales (fibra, prebióticos); compost
Perigonio (corazón)	~12 %	Fibra dietética soluble e insoluble, carbohidratos no estructurales, polifenoles	Aditivos funcionales en panificación y productos cárnicos; sustrato para fermentaciones; pulpa para mezclas alimentarias
Semilla	~10 %	Almidón (22 %), proteína (6.6 %), fibra (11.1 %), jacaína, polifenoles, minerales	Harina y almidón resistente; ingredientes para snacks y productos sin gluten;

			aislamiento de jacalina; aceite
Pedúnculo y rastrojo	~3 %	Material lignocelulósico, hojas, ramas residuales	Bioenergía; sustrato para hongos comestibles; compostaje

Rutas de aprovechamiento documentadas

La extracción de pectinas a partir de la cáscara constituye una de las rutas más maduras: rendimientos del orden de 8–14 % en base seca con propiedades gelificantes comparables a las pectinas comerciales han sido reportados para distintos genotipos. Estas pectinas presentan grados de esterificación variables y pueden aplicarse tanto en formulaciones alimentarias (mermeladas, productos lácteos) como en sistemas de liberación controlada (Kaur *et al.*, 2024). De manera complementaria, los polisacáridos no almidonosos de la cáscara y el perigonio han mostrado actividad prebiótica documentada y capacidad antioxidante asociada al contenido residual de compuestos fenólicos.

Las semillas constituyen la fracción de mayor valor agregado tecnológico. La harina de semilla de yaca se ha posicionado como ingrediente funcional en productos de panificación, snacks extruidos y formulaciones sin gluten, gracias a su perfil proteico equilibrado y a las propiedades funcionales del almidón nativo. El almidón resistente derivado del procesamiento térmico de la semilla presenta interés particular por su efecto modulador del índice glucémico postprandial (Hettiaratchi *et al.*, 2011; Kaur *et al.*, 2024). Por su parte, la jacalina —lectina específica de galactosa-N-acetilgalactosamina presente en cantidades significativas en la semilla— tiene aplicaciones biotecnológicas reconocidas en cromatografía de afinidad y en el estudio de glicoproteínas tumorales.

La fracción lignocelulósica del residuo total (cáscara, perigonio y material vegetativo) es susceptible de aprovechamiento bioenergético. Procesos de fermentación anaerobia para producción de biogás y de hidrólisis ácida o enzimática para producción de bioetanol han sido descritos con rendimientos económicamente viables a escala mediana. En el contexto de plantas de procesamiento industrial de yaca, la integración de estos procesos permitiría reducir significativamente la huella de carbono del sistema productivo y diversificar las fuentes de ingresos (Kaur *et al.*, 2024).

Aplicaciones en alimentos funcionales y aditivos

La incorporación de fracciones de yaca como ingredientes funcionales en la industria alimentaria es una línea de investigación en crecimiento. La fibra dietética obtenida de la cáscara y el perigonio se ha incorporado a productos cárnicos como agente texturizante y prebiótico; las harinas de semilla se han evaluado como sustitutos parciales de harina de trigo en panes, galletas y pastas, con efectos positivos sobre el contenido de fibra, proteína y minerales del producto final. Adicionalmente, los extractos fenólicos de la cáscara presentan capacidad antioxidante *in vitro* que ha motivado su evaluación como conservadores naturales en sistemas alimentarios susceptibles a la oxidación lipídica (Kaur *et al.*, 2024).

Conclusiones

La presente revisión integra el conocimiento científico disponible sobre *Artocarpus heterophyllus* Lam. en cinco dimensiones complementarias: botánica, diversidad genética, composición química,

fisiología de la maduración y manejo poscosecha. El análisis conjunto identifica avances consolidados y brechas críticas que limitan el aprovechamiento pleno del cultivo, particularmente en Nayarit, principal zona productora de México.

Desde el punto de vista botánico y genético, la caracterización de genotipos locales revela una diversidad fenotípica significativa en parámetros comerciales clave tal como tamaño de bulbo, coloración, tasa respiratoria y vida de anaquel. Esta variabilidad ofrece una oportunidad concreta para seleccionar cultivares superiores orientados a exportación, pero exige programas urgentes de caracterización molecular y conservación de germoplasma ante el riesgo inminente de erosión genética por expansión de viveros comerciales.

La composición química sustenta un perfil nutricional y funcional de alto valor. Los datos confirman que el estadio de madurez modula decisivamente compuestos fenólicos, carotenoides y azúcares solubles, subrayando la necesidad de índices de cosecha precisos según el destino del fruto: fresco, industrial o bioactivos.

En fisiología poscosecha, el patrón climatérico, pico respiratorio temprano y sensibilidad extrema al etileno, determina la vida de anaquel con variabilidad intergenotípica que justifica manejos diferenciados. La refrigeración frena la maduración, pero su impacto se multiplica con recubrimientos comestibles, cuyo efecto antifúngico e inductor de defensas enzimáticas emerge como el avance esencial de esta revisión.

Perspectivas y líneas prioritarias

Para superar estas brechas, se priorizan seis líneas de investigación estratégica: (1) caracterización molecular de cultivares mexicanos y su vínculo con calidad poscosecha; (2) desarrollo de índices de madurez no destructivos vía óptica y electrónica; (3) evaluación de recubrimientos combinados con ultrasonido o UV para sinergias conservadoras; (4) validación comercial en emparadoras y cadenas exportadoras; (5) implementación de IPM (Manejo Integrado de Plagas) basado en entomofauna local y enemigos naturales; y (6) valorización integral de residuos (semillas, cáscara, fibra) para compuestos de alto valor agregado. Un impulso coordinado entre academia, productores e industria consolidará la cadena de valor de la yaca, posicionando a Nayarit como referente en el trópico americano.

Contribución de los autores

Conceptualización del trabajo: L.C.P., M. E. V.; Escritura y preparación del manuscrito: L.C.P., O. C. C., M. E. V. Redacción, revisión y edición: L.C.P., O. C. C., M. E. V. Todos los autores de este manuscrito han leído y aceptado la versión publicada del mismo.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por la beca de estancia posdoctoral otorgada al autor de correspondencia, así como a los productores de yaca de Nayarit por su disposición a colaborar en la investigación aplicada en sus huertas.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Referencias

- Antunes, M., Gago, C., Cavaco, A., & Miguel, G. (2012). Edible coatings enriched with essential oils and their compounds for fresh and fresh-cut fruit. *Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture*, 4(2), 114–122. <https://doi.org/10.2174/2212798411204020114>
- Asia-Pacific Association of Agricultural Research Institutions [APAARI]. (2012). Jackfruit improvement in the Asia-Pacific region: A status report. Bangkok, Thailand. 182 p. https://www.apaari.org/wp-content/uploads/downloads/2012/10/Jackfruit-A-Success-Story_31-8-2012.pdf
- Baliga, M. S., Shivashankara, A. R., Haniadka, R., Dsouza, J., & Bhat, H. P. (2011). Phytochemistry, nutritional and pharmacological properties of *Artocarpus heterophyllus* Lam. (jackfruit): A review. *Food Research International*, 44(9), 1800–1811. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.035>
- Benkeblia, N. (2019). Variation of reducing and total sugars, starch, and total phenolic contents in unripe and ripe jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) and West Indian locust (*Hymenaea courbaril*) fruits. *International Journal of Plant Science and Horticulture*, 1, 49–55. https://www.researchgate.net/publication/336986227_Variation_of_reducing_and_total_sugars_starch_total_phenolic_contents_in_unripe_and_ripe_jackfruit_Artocarpus_heterophyllus_and_West_Indian_locust_Hymenaea_courbaril_fruits
- 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>
- Corley, H. (2007). Fruits for the Future 10. Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*). By N. Haq. Southampton, UK: Southampton Centre for Underutilised Crops (2006), pp. 192, available free on request to national scientists of developing countries. ISBN 0854328394. *Experimental Agriculture*, 43(3), 407–408. <https://doi.org/10.1017/S0014479707005194>
- Coronado-Partida, L. D., Estrada-Virgen, M. O., & Cambero-Campos, O. J. (2025). Evaluation of a chitosan and sodium benzoate-based coating to preserve the postharvest quality of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* L.). *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 24(2), Alim25498. <https://doi.org/10.24275/rmiq/Alim25498>
- Coronado-Partida, L. D., Patrón-Soberano, A., Rodríguez-González, V., & Gutiérrez-Martínez, P. (2023). Antifungal potential of eco-friendly chitosan-sodium benzoate to inhibit the development of *Rhizopus stolonifer* isolated from jackfruit. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 130, 905–913. <https://doi.org/10.1007/s41348-023-00746-4>
- Coronado-Partida, L. D., Serrano, M., Romanazzi, G., González-Estrada, R. R., & Gutiérrez-Martínez, P. (2021). Aplicación de compuestos GRAS para el control de la pudrición blanda en frutos de jaca (*Artocarpus heterophyllus* L.) causado por *Rhizopus stolonifer*. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 24, e327. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2021.327>
- Espinosa, I., Ortiz, R., Tovar, B., Mata, M., & Montalvo, E. (2013). Physiological and physicochemical behavior of soursop fruits refrigerated with 1-methylcyclopropene. *Journal of Food Quality*, 36(1), 10–20. <https://doi.org/10.1111/jfq.12011>

- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2026, Agosto 31). Prevention of post-harvest food losses of fruit, vegetables and root crops: A training manual. <https://www.fao.org/4/t0073e/t0073e00.htm>
- Gapasin, R. M., Garcia, R. P., Advincula, C. T., de la Cruz, C. S., & Borines, L. M. (2014). Fruit bronzing: a new disease affecting jackfruit caused by *Pantoea stewartii* (Smith) Mergaert et al. *Annals of Tropical Research*, 36(1), 17–31. <https://doi.org/10.32945/atr3612.2014>
- Geiser, D. M., Al-Hatmi, A. M. S., Aoki, T., Arie, T., Balmas, V., Barnes, I., Bergstrom, G. C., Bhattacharyya, M. K., Blomquist, C. L., Bowden, R. L., Brankovics, B., Brown, D. W., Burgess, L. W., Bushley, K., Busman, M., Cano-Lira, J. F., Carrillo, J. D., Chang, H.-X., Chen, C.-Y., ... Zhang, N. (2021). Phylogenomic analysis of a 55.1-kb 19-gene dataset resolves a monophyletic *Fusarium* that includes the *Fusarium solani* species complex. *Phytopathology*, 111(7), 1064–1079. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-08-20-0330-LE>
- Ghosh, R., Barman, S., Mukhopadhyay, A., & Mandal, N. C. (2015). Biological control of fruit-rot of jackfruit by rhizobacteria and food grade lactic acid bacteria. *Biological Control*, 83, 29–36. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2014.12.020>
- Harman, G. E. (2006). Overview of mechanisms and uses of *Trichoderma* spp. *Phytopathology*, 96(2), 190–194. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-96-0190>
- Hettiaratchi, U. P. K., Ekanayake, S., & Welihinda, J. (2011). Nutritional assessment of a jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) meal. *Ceylon Medical Journal*, 56(2), 54–58. <https://doi.org/10.4038/cmj.v56i2.3109>
- Kaur, J., Singh, Z., Shah, H. M. S., Mazhar, M. S., Hasan, M. U., & Woodward, A. (2024). Insights into phytonutrient profile and postharvest quality management of jackfruit: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(19), 6756–6782. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2174947>
- Lin, C. N., & Lu, C. M. (1993). Heterophyllol, a phenolic compound with novel skeleton from *Artocarpus heterophyllus*. *Tetrahedron Letters*, 34(51), 8249–8250. [https://doi.org/10.1016/S0040-4039\(00\)61402-8](https://doi.org/10.1016/S0040-4039(00)61402-8)
- Love, K., & Paull, R. E. (2011). Jackfruit (Fruits and Nuts F_N-19). *College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawai'i at Mānoa*. <https://scholarspace.manoa.hawaii.edu/items/cde7a4f8-228a-4b62-8e3b-b474afc2b2b9>
- Luna-Esquivel, G., Alejo-Santiago, G., Ramírez-Guerrero, L. G., & Arévalo-Galarza, M. de L. C. (2013). La yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) un fruto de exportación. *Agroproductividad*, 6(5), 65–70. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/es/article/view/486>
- Mata-Montes de Oca, M., Osuna-García, J. A., Hernández-Ibarra, E. A., Ochoa-Velasco, M., & Tovar-Gómez, B. (2007). Efecto del 1-metilciclopropeno (1-MCP) sobre la fisiología y calidad de frutos de jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 13(2), 165–170. <https://hdl.handle.net/20.500.14330/PER01000265109>
- Mathooko, F. M., Tsunashima, Y., Owino, W. Z., Kubo, Y., & Inaba, A. (2001). Regulation of genes encoding ethylene biosynthetic enzymes in peach (*Prunus persica* L.) fruit by carbon dioxide and 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biology and Technology*, 21(3), 265–281. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(00\)00158-7](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(00)00158-7)

- Medina-Tiznado, M. A., Luna-Esquivel, G., Cambero-Campos, O. J., Ramírez-Guerrero, L. G., & Rios-Velasco, C. (2018a). Causal agents of inflorescence rot of *Artocarpus heterophyllus* and association with *Toxoptera aurantii* in Nayarit, Mexico. *Revista Bio Ciencias*, 5(nesp1), Article e438. <https://doi.org/10.15741/revbio.05.nesp.e438>
- Medina-Tiznado, M. A., Luna-Esquivel, G., Cambero-Campos, O. J., Ramírez-Guerrero, L., & Rios-Velasco, C. (2018b). *Lasiodiplodia theobromae* agente causal de la pudrición blanda de frutos de *Artocarpus heterophyllus* Lam. en Nayarit, México. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 40(5), e-018. <https://doi.org/10.1590/0100-29452018018>
- Mohammed-Aseef, R., Manikandan, K., Kavino, M., Vijayakumar, R. M., & Meenakshi-Ganesan, N. (2017). Biochemical evaluation of local genotypes of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) in Pudukkottai District. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(5), 2533–2536. <https://www.phytojournal.com/archives/2017.v6.i5.2009/biochemical-evaluation-of-local-genotypes-of-jackfruit-artocarpus-heterophyllus-lam-in-pudukkottai-district>
- Montalvo, E., Adame, Y., García, H. S., Tovar, B., & Mata, M. (2009). Changes of sugars, β -carotene and firmness of refrigerated Ataulfo mangoes treated with exogenous ethylene. *The Journal of Agricultural Science*, 147(2), 193–199. <https://doi.org/10.1017/S0021859608008320>
- Montalvo-González, E., Nolasco-González, Y., García-Magaña, M. de L., Medellín-Bautista, C. M., Hernández-Fuentes, L. M., & González-Hernández, H. (2021). Efecto de recubrimientos en la maduración de yaca almacenada en condición simulada de mercadeo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(2), 219–234. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i2.2319>
- Morelos-Flores, D. A., Montalvo-González, E., Chacón-López, M. A., Santacruz-Varela, A., Zamora-Gasga, V. M., Torres-García, G., & García-Magaña, M. de L. (2022). Comparative study of four jackfruit genotypes: morphology, physiology and physicochemical characterization. *Horticulturae*, 8(11), Article 1010. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8111010>
- Narsaiah, K., Wilson, R. A., Gokul, K., Mandge, H. M., Jha, S. N., Bhadwal, S., Anurag, R. K., Malik, R. K., & Vij, S. (2015). Effect of bacteriocin-incorporated alginate coating on shelf-life of minimally processed papaya (*Carica papaya* L.). *Postharvest Biology and Technology*, 100, 212–218. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.10.003>
- O'Donnell, K., Sutton, D. A., Fothergill, A., McCarthy, D., Rinaldi, M. G., Brandt, M. E., Zhang, N., & Geiser, D. M. (2008). Molecular phylogenetic diversity, multilocus haplotype nomenclature, and in vitro antifungal resistance within the *Fusarium solani* species complex. *Journal of Clinical Microbiology*, 46(8), 2477–2490. <https://doi.org/10.1128/JCM.02371-07>
- Ong, B. T., Nazimah, S. A. H., Osman, A., Quek, S. Y., Voon, Y. Y., Mat Hashim, D., Chew, P. M., & 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>
- Papavizas, G. C. (1985). *Trichoderma* and *Gliocladium*: Biology, ecology and potential for biocontrol. *Annual Review of Phytopathology*, 23, 23–54. <https://doi.org/10.1146/annurev.py.23.090185.000323>
- Peramunagama, D. N., Chamara, A. M. R., & Thiripuranathar, G. (2018). Comparative study in antioxidant activities of the different ripeness stages of *Artocarpus heterophyllus* Lam. fruit. *International Journal of Ayurveda and Pharma Research*, 6(6), 26–31. <https://ijapr.in/index.php/ijapr/article/view/970>

- Ragasa, C. Y., Jorvina, K., & Rideout, J. A. (2004). Antimicrobial compounds from *Artocarpus heterophyllus*. *Philippine Journal of Science*, 133(2), 97–101. https://www.academia.edu/4292109/Antimicrobial_Compounds_from_Artocarpus_heterophyllus
- Ragazzo-Sánchez, J. A., Gutiérrez-Escatel, A., Luna-Solano, G., Gómez-Leyva, J. F., & Calderón-Santoyo, M. (2011). Molecular identification of the fungus causing postharvest rot in jackfruit. *Revista Mexicana de Micología*, 34, 9–15. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-31802011000200003
- 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, 4327183. <https://doi.org/10.1155/2019/4327183>
- Rodríguez-Palomera, M., Cambero-Campos, J., Luna-Esquivel, G., Robles-Bermúdez, A., Carvajal-Cazola, C., & Estrada-Virgen, O. (2017). Entomofauna asociada al cultivo de yaca *Artocarpus heterophyllus* Lam. en Nayarit, México. *Entomología Mexicana*, 4, 220–225. <https://aramara.uan.mx/handle/123456789/2162>
- Rodríguez-Palomera, M., Cambero-Campos, J., Luna-Esquivel, G., Robles-Bermúdez, A., Carvajal-Cazola, C., & Santillán-Ortega, C. (2015). Fluctuación poblacional y especies de coccinélidos (Coleoptera: Coccinellidae) asociadas al cultivo de yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) en Nayarit, México. *Entomología Mexicana*, 2, 306–311. <https://www.semanticscholar.org/paper/fluctuacion-poblacional-y-especies-de-coccinelidos/b007bdd09c35463e34a09b71e676079fabadc7f9>
- Saxena, A., Bawa, A. S., & Raju, P. S. (2009). Phytochemical changes in fresh-cut jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* L.) bulbs during modified atmosphere storage. *Food Chemistry*, 115(4), 1443–1449. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.01.080>
- Saxena, A., Bawa, A. S., & Raju, P. S. (2011). Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.). In E. M. Yahia (Ed.), *Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits: Volume 3: Cocona to mango* (pp. 275–298e). Ed. Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9780857092885.275>
- Selvaraj, Y., & Pal, D. K. (1989). Biochemical changes during the ripening of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* L.). *Journal of Food Science and Technology*, 26(6), 304–307. <https://www.semanticscholar.org/paper/Biochemical-changes-during-the-ripening-of-L.-Selvaraj-Pal/8fcf2a91fbb2c41c93c767b9a5a1fbe333916b88>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2026, Agosto 31). Cierre de la producción agrícola por estado. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.gob.mx/agricultura/dgsiap/prensa/cierre-de-la-produccion-agropecuaria?idiom=es>
- Sim, M. Y. M., Ahmad, M. N., Shakaff, A. Y. M., Ju, C. P., & Cheen, C. C. (2003). A disposable sensor for assessing *Artocarpus heterophyllus* L. (jackfruit) maturity. *Sensors*, 3(12), 555–564. <https://doi.org/10.3390/s31200555>
- United States Department of Agriculture. (2026, Agosto 31). USDA national nutrient database for standard reference, release 28. Agricultural Research Service. <https://ods.od.nih.gov/pubs/usdandb/EPA-Content.pdf>

- Vargas-Torres, A., Becerra-Loza, A. S., Sayago-Ayerdi, S. G., Palma-Rodríguez, H. M., García-Magaña, M. de L., & Montalvo-González, E. (2017). Combined effect of the application of 1-MCP and different edible coatings on the fruit quality of jackfruit bulbs (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) during cold storage. *Scientia Horticulturae*, 214, 221–227. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.11.045>
- Witherup, C. E., Zuberi, M. I., Hossain, S., & Zerega, N. J. C. (2019). Genetic diversity of Bangladeshi jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) over time and across seedling sources. *Economic Botany*, 73(2), 233–248. <https://doi.org/10.1007/s12231-019-09452-5>

ARTÍCULO EN PRENSA