



La yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) residuo agroindustrial en la alimentación animal: Revisión sistemática*

Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) agroindustrial waste in animal feeding: Systematic review

Liliana Ortega-González¹, Maricela Ayala-Martínez¹, Roberto González-Tenorio¹, Gerardo Manuel Nava-Morales², Héctor Hernández-Domínguez³, Sergio Soto-Simental¹

- * Recepción: 14 de agosto, 2024. Aceptación: 16 de octubre, 2024. La presente revisión bibliográfica es parte del proyecto de tesis doctoral de Liliana Ortega González realizado en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- ¹ Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México. or231480@uaeh.edu.mx (<https://orcid.org/0000-0003-2284-8267>); ayalam@uaeh.edu.mx (<https://orcid.org/0000-0001-5554-218X>); rtenorio@uaeh.edu.mx (<https://orcid.org/0000-0001-8178-2902>); sotos@uaeh.edu.mx (autor para correspondencia: <https://orcid.org/0000-0002-6923-0926>).
- ² Facultad de Química, Universidad Autónoma de Querétaro, Cerro de las Campanas S/N, Querétaro, México. gerardomnava@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0003-4689-0419>).
- ³ Instituto de Ciencias de la Salud, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo. hector_hernandez7859@uaeh.edu.mx (<https://orcid.org/0000-0001-9337-8384>).

Resumen

Introducción. En la actualidad la innovación de la industria alimentaria ha conllevado a la generación de miles de toneladas de residuos orgánicos que afectan de manera negativa la sostenibilidad ambiental, por lo que es importante que se tomen acciones que contribuyan a la reducción de desperdicios, logrando aprovechar los compuestos bioactivos que se presentan en ellos. **Objetivo.** Realizar una revisión de literatura sobre los nutrientes y compuestos bioactivos presentes en las principales partes de la yaca (cáscara, pulpa y semilla), para adicionar esta fruta en la alimentación de animales de producción. **Desarrollo.** Se realizó una revisión sistemática basada en artículos de carácter experimental localizados en bases de datos como: ScienceDirect, Wiley, Google Académico, Scopus y Springer Link, para ello se utilizó una ecuación de búsqueda. Los resultados mostraron que las diferentes partes de la yaca presentan nutrientes (proteínas, hidratos de carbono, minerales) y compuestos bioactivos (polifenoles, flavonoides, polisacáridos, fenoles, etc.), que se ha logrado comprobar que tienen un efecto positivo cuando se añade en la alimentación de animales de producción (pollos de engorda, ovejas y cabras). **Conclusión.** La adición de la yaca en la alimentación de animales de producción favorece la ganancia de peso, mejora la digestibilidad, estimula el sistema inmunológico y disminuye el costo de producción del alimento.

Palabras clave: compuestos bioactivos, pequeños rumiantes, pollos, ratas.

Abstract

Introduction. Nowadays, food industry innovation has carried out thousand tons of agroindustry waste that affect negative of ambient sustainability, so it is important to take actions to contribute to decrease waste, to use the



bioactive compounds present in them to taking advantage. **Objective.** To conduct a literature review on the nutrients and bioactive compounds present in the main parts of jackfruit (peel, pulp and seed), to addition this fruit to feeding animals. **Development.** A systematic review was carried out based on experimental articles located in databases such as: ScienceDirect, Wiley, Google Scholar, Scopus and Springer Link. A search equation was used for this purpose. The results showed that the different parts of jackfruit present nutrients (proteins, carbohydrates, minerals) and bioactive compounds (polyphenols, flavonoids, polysaccharides, phenols, etc.) that have proven to have a positive effect when added to the feed of production animals (broilers, sheep and goats). **Conclusion.** The addition of jackfruit to feed animal production favor the weight gain, improving digestibility, stimulating the immune system and decrease feed production cost.

Keywords: bioactive compounds, small ruminant, poultry, rats

Introducción

La yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) es estimada como una de las principales frutas autóctonas de la India (International Tropical Fruits Network [ITFN], 2022), se ha descrito su origen del suroeste de este país (Ranasinghe et al., 2019). Es considerada como el fruto más grande del mundo (Lazarus et al., 2023), puede llegar a pesar hasta 51 kg (Nakintu et al., 2023). Además, esta fruta se conoce con diferentes nombres de acuerdo con el idioma y región en el que se encuentre, algunos de ellos son en inglés (jack, jackfruit, jak), chino (bo luo mi), francés (jacquier), alemán (jackfruchbaum, nangka), portugués (yaca, jaqueira), sueco (swedish) y español (árbol del pan, yaca, jaqueiro) (National Plant Germplasm System [NPGS], 2023).

El fruto está compuesto por diferentes secciones, de acuerdo con lo descrito por Cruz-Casillas et al. (2021), presenta cáscara con ápices de carpelo cónicos, un núcleo que forma un eje longitudinal central conectado a la corteza, así como bulbos conformados por pulpa y semilla. Las hojas, la corteza y el fruto pueden presentar un exudado defensivo (Samrot & Sean, 2022).

Las propiedades nutricionales que presenta son la abundancia de aminoácidos esenciales (Konsue et al., 2023), minerales (potasio, sodio, magnesio, zinc, hierro y cobre) (Adan et al., 2020), vitamina C (Xu et al., 2015). La pulpa y la semilla destacan por su contenido de proteína de $18,35 \pm 0,04$ y $21,66 \pm 0,31$, respectivamente (Kamdem Bemmo et al., 2022). Debido a la importante composición nutricional de esta fruta se ha considerado aprovecharla para reducir los problemas de malnutrición que se presenta en algunas de las regiones Camerún (Kamdem Bemmo et al, 2022).

Se ha comprobado la presencia de diversos compuestos bioactivos en esta fruta, entre los cuales destacan antioxidantes, antiinflamatorios, anticancerígenos, antidiabéticos, antivirales (Natta et al., 2023); así mismo diversas secciones de la fruta han presentado actividad antimicrobiana frente a diversos microorganismos (Adan et al., 2020; Chavez Santiago et al., 2022; Samrot & Sean, 2022) y actividad anti hiperglucémica (Maradesha et al., 2022a, Maradesha et al., 2022b). La abundancia de fitoquímicos en esta fruta genera una perspectiva para la elaboración de alimentos saludables con valor agregado (Morelos Flores et al., 2023).

El objetivo de este artículo fue realizar una revisión de literatura sobre los nutrientes y compuestos bioactivos presentes en las principales partes de la yaca (cáscara, pulpa y semilla), para adicionar esta fruta en la alimentación de animales de producción.

Metodología

La investigación documental se llevó a cabo entre los meses de enero y marzo de 2024, para ello se emplearon las instalaciones y accesos a las bases de datos de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, en el Instituto de Ciencias Agropecuarias ubicado en la Ciudad de Tulancingo, Hidalgo, México. Se realizó una búsqueda de literatura siguiendo las recomendaciones de la declaración PRISMA 2020 (Page et al., 2021). Las bases de datos en las que se realizó la búsqueda fueron: ScienceDirect (<https://www.sciencedirect.com/>), Wiley (<https://onlinelibrary.wiley.com/>), Google Académico (https://scholar.google.com.mx/schhp?hl=es&as_sdt=0,5), Scopus (<https://www.scopus.com/home.uri>) y Springer Link (<https://link.springer.com/>).

Se plantearon cuatro preguntas de investigación: (a) ¿Cuáles son las características morfológicas de las principales secciones de la yaca?, (b) ¿Cuáles son las propiedades nutricionales y compuestos bioactivos que se pueden aprovechar de la yaca para la alimentación animal?, (c) ¿Cómo se ha utilizado y que efecto ha tenido la adición de alguna sección de la yaca en la alimentación animal?, y (d) ¿Cuál es la importancia del aprovechamiento de los residuos agroindustriales?. Con base en estas preguntas de investigación, también se establecieron los siguientes parámetros delimitantes: periodo de publicación (2014 – 2024) y el tipo de artículo (científico). La búsqueda fue realizada utilizando la siguiente ecuación: ((jackfruit) AND (pulp OR seed OR peel OR latex OR leave)) AND (animal feed).

El proceso de selección de la bibliografía se realizó de acuerdo al diagrama de flujo que se presenta en la Figura 1. Asimismo, se estimaron criterios de inclusión (el artículo fue publicado dentro del periodo 2014-2024, es artículo de investigación, se incluye la yaca dentro de la investigación, se describen propiedades fisicoquímicas específicas de alguna parte de la yaca) y criterios de exclusión (no entra dentro del periodo de publicación seleccionado, no se describen propiedades específicas de la yaca o las describe como mezclas con otros ingredientes, no menciona en qué parte específica de la yaca se encuentran los compuestos estudiados). Finalmente, se realizó la selección y análisis de las publicaciones localizadas.

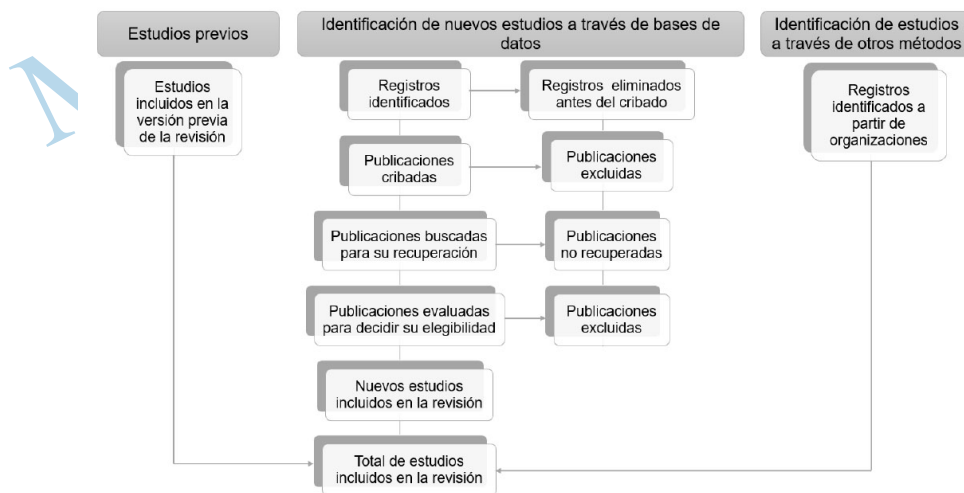


Figura 1. Diagrama de flujo para la selección de literatura de las bases de datos ScienceDirect, Wiley, Google Académico, Scopus y Springer Link mediante el método PRISMA, dentro de un periodo de publicación de 2014 al 2024.

Figure 1. Flow chart for selection of literature from ScienceDirect, Wiley, Google Scholar, Scopus and Springer Link databases using the PRISMA method, within a publication period from 2014 to 2024.

Al realizar la búsqueda de la literatura, las bases de datos visualizaron un total de 797 documentos, de los cuales 390 fueron cribados y solo 106 fueron evaluados para decidir su elegibilidad. Sin embargo, solo 58 documentos cumplieron los criterios de inclusión, a los cuales se agregó información de dos organizaciones. En total se utilizaron 60 fuentes de información (Figura 2).



Figura 2. Resultados del número de artículos identificados durante la revisión bibliográfica en las bases de datos ScienceDirect, Wiley, Google Académico, Scopus y Springer Link mediante el método PRISMA, dentro de un periodo de publicación de 2014 al 2024.

Figure 2. Results of the number of articles identified during the literature review in the ScienceDirect, Wiley, Google Scholar, Scopus and Springer Link databases using the PRISMA method, within a publication period from 2014 to 2024.

Estadísticas de producción

En el año 2022, se reportó una producción anual mundial de 4 000 000 t (Food and Agriculture Organization, 2022). En el año 2020, India produjo 1,945 millones de t (International Tropical Fruits Network [ITFN], 2022). Sin embargo, también es producida en regiones tropicales, por lo que ya se encuentra en países como Uganda (Nakintu et al., 2023), Bangladesh (Chowdhury et al, 1997), Vietnam (Thanh et al., 2021), Indonesia (Wirayudha et al., 2022), Malasia (Samrot & Sean, 2022), Kenia (Adan et al., 2020), China (Li et al., 2023), Tailandia (Konsue et al., 2023). En América Latina, se tiene registros de producción en países como Argentina, Brasil y Colombia (Informes de expertos, 2023).

En México, el primer registro de producción de yaca data del año 1993, con una tonelada en el estado de Nayarit, a partir de ese año se ha incrementado la producción, y se ha diseminado a otros estados como Veracruz, Jalisco, Colima, Hidalgo y Michoacán; al cierre de producción agrícola de 2022, la producción de yaca a nivel nacional fue de 36717 t (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2022).

Morfología de la yaca

Los árboles de yaca pueden presentar tres regímenes de fructificación (enero – abril, mayo – agosto, septiembre – diciembre). Sin embargo, en diciembre, enero y febrero se logran encontrar mayor cantidad de árboles con frutos maduros, además es importante tomar en cuenta que el medio ambiente y la variación genética

del fruto, desempeñan un papel crucial para los periodos de fructificación (Nakintu et al. 2023). Las características morfológicas del árbol, el fruto y el látex de la yaca se presentan en el Cuadro 1, donde se describen las principales características de cada una de ellas.

Cuadro 1. Características morfológicas de la yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.).

Table 1. Morphological characteristics of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.).

| Componente del fruto | Característica | Referencia |
|-------------------------------|--|------------------------|
| Árbol | Se han reportado árboles de yaca de hasta 47 años, estos pueden llegar a los 18,4 m de altura, con una circunferencia en el tronco de 250 cm, logrando tener hasta 150 frutos por árbol. | Nakintu et al. (2023) |
| Fruto completo | Peso de 1,4 - 51 kg, longitud de 26,60 – 67 cm, diámetro de 12 – 30,50 cm. | Nakintu et al.(2023) |
| Cáscara | Espesor de 7,50 – 25,27 mm. | Nakintu et al. (2023) |
| Cáscara | Secciones: capa espinosa, mesocarpio, capa tubular, capa central o núcleo. | Lazarus et al. (2023) |
| Eje o centro del fruto | 15 – 52 cm de longitud y 2,60 – 11 cm de diámetro. | Nakintu et al. (2023) |
| Pulpa | 5 etnovariedades: naranja, roja, blanca, amarilla y suave | Nantongo et al. (2022) |
| Pulpa | 4 etnovariedades: Namata (pulpa blanca), Serebera (pulpa amarillo pálido), Namusaayi (pulpa roja/naranja) y Kanaanansi (pulpa amarilla). 2,95 – 7,73 cm de longitud, 1,72 – 4,48 cm de ancho y 1,44 – 7,43 mm de espesor. | Nakintu et al. (2023) |
| Semillas | Longitud 2,72 -2,35 cm, 10 semillas pesan 52,47 – 43,34 g | Nantongo et al. (2022) |
| Semillas | 6 – 49 semillas por kilo, 2,08 – 3,58 cm de longitud, 1,11 – 2,20 cm de ancho, 100 semillas pesan 0,11 – 1,36 kg | Nakintu et al. (2023) |
| Látex | Exudado defensivo que proviene de las hojas, corteza, tallo y frutos del árbol de yaca. | Samrot & Sean (2022) |

El fruto de yaca presenta entre 70 y 80 % de componentes que no son aptos para el consumo humano, entre ellos la cáscara, perianto y núcleo (Brahma & Ray, 2024). La cáscara de la yaca ha desarrollado un conjunto de capas y un exterior espinoso, estas contribuyen para sobrevivir a los impactos de alta energía que pueden tener al caer de grandes alturas (25 m) cuando el fruto ya está maduro, este exterior espinoso esta unido a células palenquimosas más blandas que logran formar un compuesto reforzado con fibras; la capa que presenta mayor contenido de lignina es el mesocarpio; el segmento que contiene más pectina es el núcleo (Lazarus et al., 2023).

Los agricultores de diferentes regiones han identificado los árboles y los frutos de yaca en diferentes etnovariedades, en donde las principales diferencias son, la altura del árbol, la circunferencia del tronco, el tamaño del fruto, el color de la pulpa y el tamaño de la semilla. Además, estas últimas también se diferencian por la tasa de germinación (Nakintu, et al., 2023; Nantongo et al., 2022). El tamaño de las semillas difiere en su longitud y ancho de acuerdo a la etnovariación a la que pertenezcan, Nantongo et al. (2022) ha descrito que las semillas blancas y rojas son más pequeñas que las semillas naranjas, asimismo las semillas de la variedad blanda presentan un mayor peso en fresco y en seco.

Tanto la planta como el fruto de yaca presentan un exudado defensivo (Samrot & Sean, 2022), el cual es conocido como látex y ha sido considerado como un residuo de producción agrícola que en la actualidad no se aplica en la industria farmacéutica ni alimentaria (Ramos Martínez et al., 2022).

Características químicas de la yaca

La popularidad que se ha ganado este fruto fue debido a los beneficios terapéuticos que se le atribuyen, por lo que ahora es considerado como un cultivo de seguridad alimentaria y nutricional (Nakintu et al., 2023). Se han descrito las características químicas de la hoja, cáscara, pulpa y látex de este fruto (Cuadro 2).

Cuadro 2. Características químicas de la hoja, cáscara, pulpa y látex presentes en la yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.).

Table 2. Chemical characteristics of leaves, peel, pulp and latex in the jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.).

| Origen | Sección del fruto | Característica | Referencias |
|-----------|-------------------|--|--------------------------------------|
| Indonesia | Hoja | Alcaloides, flavonoides, taninos y esteroides. | Utari & Warly (2021) |
| Indonesia | Cáscara | Pectina en cáscara: húmeda 4,7 %; seca 22,5 %. | Wignyanto et al. (2014) |
| Kenia | Cáscara | Minerales: K, Na, Mg, Zn, Cu, Fe. | Adan et al. (2020) |
| India | Cáscara | Nanofibrillas de celulosa: diámetro de 28 nm, índice de cristalinidad de 87,36 %, temperatura máxima de degradación de 328,5 °C. | Rubiyah et al. (2023) |
| India | Cáscara | α -celulosa | Brahma y Ray (2024) |
| China | Pulpa | Vitamina C: 8,16 mg/100 | Xu et al. (2015) |
| Camerún | Pulpa | Composición proximal: Cenizas 4,35, grasa 6,68, proteína 18,35, carbohidratos 54,39, fibra 9,88. Minerales: K, Na, Ca, Mg, P. Compuestos antinutricionales: taninos, oxalatos, saponinas y fitatos. | Kamdem Bemmo et al. (2022) |
| México | Pulpa | Compuestos volátiles: ésteres, alcoholes, polioles, cetonas, ácidos, benzenoides y C13 norisoprenoides. | Barros Castillo et al. (2022) |
| Tailandia | Pulpa | Aminoácidos esenciales: treonina, valina, metionina, fenilalanina, isoleucina, triptófano, leucina y lisina. Aminoácidos no esenciales: ácido aspártico, ácido glutámico, serina, glicina, arginina, alanina, tirosina, cistina y prolina. | Konsue et al. (2023) |
| India | Látex | Compuestos fenólicos alcaloides, flavonoides, antraquinonas y taninos. | Krishnan Sundarajan y Pottail (2021) |
| México | Látex | Poliisoprenos: Compuestos lipófilos (89 %); Índice de actividad emulsionante de 32 – 59 m ² /g; Tiempo de estabilidad 15 a 95 min. | Ramos-Martínez et al. (2022) |

Al realizarle pruebas fitoquímicas a las hojas del árbol de yaca, se comprobó la presencia de varios metabolitos secundarios como fenoles, saponinas, taninos, alcaloides, triperpenoides y flavonoides; estos últimos actúan como pigmentos, reguladores de la fotosíntesis, como antimicrobiano y antiviral que actúan sobre los insectos (Utari & Warly, 2021). La cáscara destaca por sus propiedades gelificantes, las cuales son similares a las pectinas de grado analítico y comercial, logrando así ser una propuesta para la industria alimentaria en la elaboración de mermeladas o suspensiones frutales similares (Begum et al., 2021). Además, Cagasan et al. (2021) la proponen en la elaboración de otros productos como el vino.

La presencia de nanofibrillas son prometedoras para utilizarlas en la síntesis de nanocompuestos orgánicos o inorgánicos que sean biodegradables o para aplicaciones catalíticas (Rubiyah et al., 2023). La extracción de la celulosa de la cáscara presenta una mayor purificación en comparación con la celulosa comercial, la cual presenta una mejor capacidad de retención de agua y aceite, por ello podría ser considerada su utilización en diversas industrias como la alimentaria, de pintura y papelería, así como en películas de embalaje y productos farmacéuticos (Brahma & Ray, 2024).

En la pulpa de yaca se han logrado identificar más de 60 compuestos volátiles por lo cual se pueden emplear para contribuir en la potencialización del aroma y el sabor de productos como yogur, bebidas fermentadas, mermeladas, jugos, cerveza o purés (Barros Castillo et al., 2022). Los poliisoprenos extraídos del látex de la yaca se han caracterizado por su capacidad espumante, emulsionante y su comportamiento térmico, ya que los eventos endotérmicos están asociados a la fusión del concentrado, mientras que los eventos exotérmicos se relacionan con la cristalización de los poliisoprenos; estos extractos sugieren utilizarse en la preparación de emulsiones o para procesos de encapsulación (Ramos Martínez et al., 2022).

Por otra parte, las propiedades de la semilla de yaca presentan potencial para contribuir en distintas formas en la industria alimentaria, éstas se describen a continuación en el Cuadro 3, el almidón que contienen es semejante al que se encuentra en los cereales (Li et al., 2019) por lo que se considera adecuado para la elaboración de alimentos, en los que se requieren altas temperaturas (Le et al., 2023); también se describe la presencia de enzimas proteolíticas lo que contribuiría a la formulación de ablandadores y conservantes de carne de manera natural (Ramli et al., 2021).

Cuadro 3. Características químicas de la semilla de yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.).

Table 3. Chemical characteristics of jackfruit seeds (*Artocarpus heterophyllus* Lam.).

| Origen | Característica | Referencias |
|-----------|--|-------------------------------|
| Brasil | Almidón: 24-32 % amilosa; forma redonda y acampanada; tamaño 6,4–11,1mm; temperatura de gelatinización 72-81 °C; índice de cristalinidad 9,3-36,9 %, índice de solubilidad 90 °C. | Luciano et al. (2017) |
| Malasia | Aminoácidos esenciales: Leucina, lisina, valina, isoleucina, treonina, histidina, fenilalanina, histidina. | Zuwariah et al. (2018) |
| China | Almidón: Gránulos pequeños y suaves con mayor contenido de amilosa; temperatura de gelatinización de 88,15 °C y cristalinidad de 29,39 %. | Li et al. (2019) |
| Malasia | Composición proximal (%): Humedad 10,78, cenizas 2,41, grasa 0,75, fibra 3, proteína 13,67, carbohidratos 69,39. Minerales: K, P, Mg, Ca, Na. Capacidad de absorción de agua: 2,35 g/g. Capacidad de absorción de aceite: 1,14 g/g. Densidad aparente 0,67 g/cm ³ . | Sy Mohamad (2019) |
| Kuwait | Composición proximal (%): Humedad 6,23, cenizas 2,91, grasa 1,28, fibra 3,23, proteína 11,25, almidón 60,34, amilosa 25,52. | Ahmed y Thomas (2020) |
| Malasia | Enzimas proteolíticas: bromelina y proteasa. | Ramli et al. (2021) |
| Nigeria | Minerales: Fe, Mn, Co, Zn, Se, Mo. Vitaminas: C, E. Composición proximal (%): Humedad 14,44, grasa 26,06, cenizas 2,85, fibra 1,48, proteína 13,3, carbohidratos 41,84. | Isinenyi y Andrew (2021) |
| Sri Lanka | Composición proximal (%): Humedad 6,95, cenizas 2,78, grasa 0,78, proteína cruda 9,92, carbohidratos 76,32. Minerales: Na, Ca, Mg, K y P. | Akmeemana et al. (2022) |
| México | Composición proximal (%): Humedad 13,18, cenizas 2,58, grasa 0,59, proteína 9,67, carbohidratos 73,47. | Ortega González et al. (2022) |
| Camerún | Composición proximal (%): Cenizas 3,45, grasa 5,47, proteína 21,66, carbohidratos 49,01, fibra 14,26. Minerales: K, Na, Ca, Mg, P. Compuestos antinutricionales: taninos, oxalatos, saponinas y fitatos. | Kamdem Bemmo et al. (2022) |
| China | Proteínas: compuestas por polipéptidos de 17 a 26 kDa (glutelinas, albúminas y globulinas). | Wu et al. (2022) |
| Singapur | Almidón: 21,66 % amilosa y 78,34 % amilopectina; forma lisa, redonda o acampanada; tamaño 5 – 11 μm | Le et al. (2023) |

Debido a la presencia de compuestos volátiles, las semillas de yaca fermentadas mejoran el aroma del chocolate en la preparación de capuchinos (Papa Spada et al., 2018) y podría utilizarse como aditivo en la formulación de otros alimentos (Spada et al., 2022) con la misma finalidad como los conos para helado (Kushwaha et al., 2023).

La utilización del aislado proteínico de la semilla de yaca se considera como una nueva fuente de proteína para su aplicación en sistemas alimentarios (Ulloa et al., 2017), se sugiere que se enfoquen en la elaboración de productos sin gluten o nutraceuticos, donde se necesite un control en el tamaño de partícula para alcanzar consistencias deseables (Ahmed & Thomas 2020); así como en la panificación, ya que se ha comprobado que la adición de esta semilla mejora la aceptabilidad sensorial de donas (Ortega González et al., 2022). Sin embargo, es de suma importancia continuar evaluando los efectos tóxicos para aislar e identificar en el extracto crudo de la semilla, los compuestos que podrían ser responsables de la toxicidad (Sy Mohamad, 2019).

Compuestos bioactivos de la yaca (*A. heterophyllum* Lam.)

Al evaluar las diferentes secciones del fruto de la yaca se han evidenciado la presencia de compuestos bioactivos, las cuales se describen en el Cuadro 4, destacando que la mayoría de esos, son compuestos fenólicos, flavonoides y polisacáridos (Adan et al., 2020; Maradesha et al., 2022a; Maradesha et al., 2022b; Li et al., 2023). Se ha evidenciado que el extracto de cáscara tiene una concentración más alta de fenoles que el de pulpa y de semilla, al identificar 53 compuestos bioactivos (Zhang et al., 2017).

Cuadro 4. Actividad biológica de los compuestos bioactivos presentes en la yaca (*Artocarpus heterophyllum* Lam.).

Table 4. Biological activity of bioactive compounds in jackfruit (*Artocarpus heterophyllum* Lam.).

| Sección del fruto | Compuestos | Actividad biológica | Referencia |
|-------------------|--|--|-------------------------------|
| Fruto completo | Ácido cafeico, ácido sirgíico | Actividad anti hiperglucémica Actividad antidiabética | Maradesha et al. (2022a) |
| Fruto completo | Rutina | Actividad anti hiperglucémica | Maradesha et al. (2022b) |
| Cáscara | Heteropolisacárido con relaciones molares de 71,4:1,3:5,2:4,2:1 de glucosa, manosa, galactosa, arabinosa y ramnosa | Promueve el crecimiento de flora benéfica | Li et al. (2023) |
| Cáscara | No determinado | Propiedades antimicrobianas | Adan et al. (2020) |
| Pulpa | No determinado | Propiedades antimicrobianas | Chavez Santiago et al. (2022) |
| Pulpa | ácido dodecanoico 2-metilo; 2-Heptadecenal; 9,12,15-Octadecatrien-1-ol | Antidiabéticos | Natta et al. (2023) |
| Pulpa | 2-Ciclopenteno-1-uno, 2- Hidroxilo | Antiviral | Natta et al. (2023) |
| Pulpa | 5-Hidroxi metil furfural; 1-hexil-1-nitrociclohexano | Antioxidantes | Natta et al. (2023) |
| Pulpa | Decano; 4H-pirano-4-ona,2,3-dihidro-3,5-dihidroxi-6-metilo; 1-hexil-1-nitrociclohexano | Antiinflamatorios | Natta et al. (2023) |
| Pulpa | Dodecano; catecol; 1,2-bencenodiol (metilcarbamato) | Anticancerígenos | Natta et al. (2023) |
| Pulpa | 2-hexil-1-octanol | Actividad antihelmíntica | Natta et al. (2023) |
| Látex | No determinado | Propiedades antimicrobianas | Samrot y Sean (2022) |

El contenido de compuestos fenólicos y flavonoides tiene una relación inversamente proporcional a la madurez del fruto, ya que estos disminuyen y la capacidad antioxidante aumenta al aumentar la madurez, lo cual se puede deber a un incremento en la cantidad de ácido galacturónico (Nidhina et al., 2022). Asimismo, en la pulpa de yaca lograron cuantificar 28 compuestos fenólicos, siendo el ácido shikímico ($C_7H_{10}O_5$), el más abundante (Morelos Flores et al., 2023). El color de la pulpa de la yaca tiene diversas tonalidades que presentan variaciones en sus propiedades, la pulpa con coloración amarillo intenso tiene un mayor contenido de compuestos antioxidantes, flavonoides y una mayor inhibición de la enzima α -glucosidasa; sin embargo, la pulpa con coloración rojo anaranjado exhiben una mayor inhibición de las enzimas β -glucosidasas y α -amilasa (Natta et al., 2023).

Se ha estudiado la actividad antimicrobiana y antioxidante de los extractos acuoso y trifluoroetanol del látex de la yaca, se encontró que el extracto acuoso inhibe el crecimiento de *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Bacillus sp.*, y ambos extractos tienen actividad antioxidante (Samrot & Sean, 2022). Los polisacáridos presentes en la pulpa de la yaca regulan la microecología intestinal, mejoran la abundancia de bacterias productoras de ácidos grasos de cadena corta, restringen la ganancia de peso, mejoran el perfil lipídico y la capacidad antioxidante (Zeng et al., 2023). Para aprovechar de forma integral los nutrientes y los compuestos bioactivos de la yaca, se desarrolló un protocolo para la regeneración genéticamente uniforme de este fruto (Kader et al., 2022).

Utilización de la yaca (*A. heterophyllum* Lam.) en la alimentación animal

Los restos de muchos de los alimentos se pueden utilizar de una manera más eficiente para lograr aumentar la sostenibilidad alimentaria (Li et al., 2023). La amplia gama de frutos con riqueza de nutrientes, se ven amenazados por la falta de mercado para los productos frescos, la estacionalidad, el gusto por el consumo de productos procesados y las pérdidas durante las temporadas de lluvias (International Tropical Fruits Network, 2022).

En los últimos años se ha dado importancia al concepto de vertido cero, con la finalidad de mitigar los problemas ambientales que se producen con las toneladas de residuos agroindustriales, como las semillas y cáscaras de muchas de frutas que se desechan al medio ambiente (Antonisamy et al., 2023). El reciclaje de diferentes partes no utilizadas de las frutas, se pueden obtener beneficios, como el aprovechamiento de los componentes antimicrobianos en la agricultura, reducción del impacto de los biorresiduos vertidos al medio ambiente (Adan et al., 2020; Brahma & Ray, 2022). La acumulación de biorresiduos, resultado del procesamiento de la yaca, han sido considerados como fuente de contaminación del agua y del aire (Adan et al., 2020).

Las hojas de yaca, se proponen como un recurso en la alimentación animal, ya que, Utari y Warly (2020) confirmaron que las hojas de yaca presentan alto contenido de proteína y taninos, lo cual sugiere que puede incrementarse la síntesis de proteína microbiana y con ello aumentar la productividad de los rumiantes, especialmente cabras. En otro estudio, se sustituyó las hojas de yaca por pasto pará a niveles de 0, 50, 75 y 100 %, en la alimentación de cabras para carne, donde se evidenció una mejor ganancia de peso y retención de nitrógeno sin afectar la fermentación ruminal cuando se usaron 75 y 100 % de sustitución (Thanh et al., 2021). Sin embargo, cuando se añaden 700 g de hojas de yaca en una dieta basal para la alimentación de ovejas, no se reportó algún efecto significativo en la digestibilidad y en el consumo de alimento de las animales (Wirayudha et al., 2022).

Aunado a lo anterior, se investigó la adición de semillas de yaca en la dieta de aves. Cuando se incluyó en la dieta a pollos de engorde durante seis semanas de experimento, con 20 % de semilla de yaca se mejoró la eficiencia productiva, mientras que la adición de 30 % disminuye dicha eficiencia (Odukwe et al., 2017). En otro estudio, se alimentaron pollos de engorde de siete días de edad con 0, 5, 10 y 15 % de semilla tostada de yaca, se reportó que al 5 % tiene una mejora en los costos de producción, un mejor crecimiento, rendimiento y eficiencia alimenticia (Eburuaja et al., 2019). En un estudio con gallina de Guinea alimentadas con 0, 10, 15 y 20 % de harina de semilla de yaca, sugieren que al adicionar 20 % de semilla de yaca se logra un mejor peso final de las aves, y en el análisis económico tiene una mejor rentabilidad (Aroh et al., 2023).

Al evaluar diferentes dietas con residuos de frutas (cáscara de piña, corona de piña, cáscara de yaca, pulpa de yaca, coco rallado y residuo de frutas mixtas) para la alimentación de tilapia roja híbrida, se comprobó que la cáscara de yaca añadida al 5 % de la dieta, promueve el crecimiento y estimula el sistema inmunológico de los peces (Sulaiman et al., 2022). En la búsqueda de mejorar la disponibilidad de nutrientes de la cáscara de la yaca, se ha propuesto el uso de la fermentación. En este sentido, se llevó a cabo un estudio S de la fermentación de cáscara de yaca con *Saccharomyces cerevisiae* donde se demostró que se puede incrementar el contenido de proteína en un 167 % de la cáscara de yaca (Moisés de Sousa et al., 2020). En otro estudio, se determinó el efecto de la fermentación del contenido ruminal *in vitro* utilizando cáscara de yaca y *Aspergillus oryzae*, se evidenció un incremento en la actividad microbiana del rumen durante la degradación del alimento, lo cual incrementa la digestibilidad de la materia orgánica y seca (Mashudi & Nurmawati, 2022). Al alimentar cabras entre 6 y 7 meses de edad con semillas de yaca crudas, remojadas y tostadas, se evidenció una mejora en la ingesta de nutrientes, digestibilidad y utilización del nitrógeno, contribuyendo a mantener un equilibrio positivo de nitrógeno y un adecuado mantenimiento de las cabras (Eyoh & Udo, 2020).

Las investigaciones realizadas con yaca en la alimentación de ratas han demostrado tener efectos benéficos en los niveles de bioquímica sanguínea (Agiang et al., 2017; Isinenyi & Andrew, 2021; Sabidi et al., 2020). Ratas Sprague-Dawley macho y hembra de seis semanas de edad alimentadas con 4 g kg⁻¹ de extracto fermentado de pulpa o de hoja de yaca, no presentaron signos toxicológicos, se mantuvieron saludables de acuerdo a los niveles de la bioquímica sanguínea, además después de 28 d se observó un incremento de peso de los animales (Sabidi et al., 2020). Al suplementar ratas albinas con peso inicial entre 80 y 140 g por 28 d con 10, 30 y 50 % de pulpa de yaca, semilla o la combinación de las dos, se concluyó que la pulpa de yaca al 10 % posee efectos antianémicos, mejora el sistema inmunológico. Sin embargo, el consumo en exceso puede provocar alergias (Agiang et al., 2017).

En un estudio con ratas Wistar alimentadas con 40 y 60% de semilla yaca que se sometió a un tratamiento de escaldado a 60 °C se demostró que tiene un alto contenido de hierro y proteínas, además de no presentar efectos tóxicos en el hígado y riñón (Isinenyi & Andrew, 2021). Aunado a lo anterior, se comprobó que la alimentación de ratas Swiss albina con 20 % de harina de semilla de yaca en dietas altas en sucrosa ayuda a mejorar el perfil lipídico de la sangre y disminuir los niveles de glucosa en sangre derivado de dietas altas en azúcar (Goswami et al., 2021). De manera similar, el consumo de almidón resistente obtenido de semilla de yaca por ratones C57BL/6 J, alimentados con dietas altas en grasa logró mantener la homeostasis de los microorganismos intestinales y corrigen la hiperlipidemia en simbiosis con *Bifidobacterium pseudolongum* (Zhang et al., 2021).

Conclusiones

Los residuos de las frutas representan una importante acumulación de biorresiduos que tienen un impacto negativo en el medio ambiente. Por lo que es de suma importancia que se logre el aprovechamiento integral de estas en el sector primario, sobretodo de aquellas frutas que presentan un alto porcentaje de residuos, como lo es la yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.), de la cual se pueden aprovechar diversos nutrientes (proteína, fibra, hidratos de carbono, vitaminas y minerales) y compuestos activos (fenoles, antivirales, antidiabéticos y antioxidantes) y así mismo, contribuir de manera positiva en la alimentación de animales de producción, como pollos de engorda, ovejas y cabras. Además, se ha evidenciado que la yaca favorece la salud del animal, estimula el sistema nervioso, la digestibilidad, por ende, mejora la ganancia de peso y la relación costo-eficacia.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías del gobierno de México por la beca otorgada a Ortega-González, L., para estudiar el Doctorado en Ciencias Agropecuarias, el número de beca es 1002987.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses

Referencias

- Adan, A. A., Ojwang, R. A., Muge, E. K., Mwanza, B. K., & Nyaboga, E. N. (2020). Phytochemical composition and essential mineral profile, antioxidant and antimicrobial potential of unutilized parts of jackfruit. *Food Research*, 4(4), 1125-1134. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.4\(4\).326](https://doi.org/10.26656/fr.2017.4(4).326)
- Agiang, M. A., Dongo, B. S., Williams, I. O., & Utu Baku, A. B. (2017). Assessment of the haematological indices of albino rats fed diets supplemented with jackfruit bulb, seed or a blend of bulb and seed. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(1), 397-407. <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i1.31>
- Ahmed, J., & Thomas, L. (2020). Oscillating rheology of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) seed flour dough in relation to different particle size. *Journal of Food Process Engineering*, 43(12), Article e13558. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13558>
- Akmeemana, C., Wickramasinghe, I., Wanniarachchi, P. C., & Vithanage, T. (2022). Effect of drying and frying pre-treatments on nutrient profile, antioxidant capacity, cooking time, and sensory acceptability of easy to cook jackfruit seeds. *Applied Food Research*, 2(2), Article 100234. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100234>
- Antonisamy, A. J., Marimuthu, S., Malayandi, S., Rajendran, K., Lin, Y. C., Andaluri, G., Lee, S. L., & Ponnusamy, V. K. (2023). Sustainable approaches on industrial food wastes to value-added products—A review on extraction methods, characterizations, and its biomedical applications. *Environmental Research*, 217, Article 114758. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114758>
- Aroh, I. M., Odukwe, C. N., Macartan, B. P., Agida, C. A., Ullah, K., & Archibong, B. U. (2023) Raw Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) Seedmeal: Effect on Growth Performance, Organ Weight, Carcass Yield, and Economic Production of Guinea Fowl Keets. *Journal of Applied Life Sciences International*, 26(4), 31-41. <https://doi.org/10.9734/jalsi/2023/v26i4612>
- Barros Castillo, J. C., Calderón Santoyo, M., García Magaña, M. L., Calderón Chiu, C., & Ragazzo Sánchez, J. A. (2022). Volatile compounds released by acid hydrolysis in jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.). A comparative study by using SDE and HS-SPME techniques. *Journal of Food Composition and Analysis*, 113, Article 104701. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104701>
- Begum, R., Aziz, M. G., Yusof, Y. A., Saifullah, M., & Uddin, M. B. (2021). Evaluation of gelation properties of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) waste pectin. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 2, Article 100160. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2021.100160>

- Brahma, R., & Ray, S. (2022). In-depth analysis on potential applications of jackfruit peel waste: A systematic approach. *Food Chemistry Advances*, 1, Article 100119. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2022.100119>
- Brahma, R., & Ray, S. (2024). Optimization of extraction conditions for cellulose from jackfruit peel using RSM, its characterization and comparative studies to commercial cellulose. *Measurement: Food*, 13, Article 100130. <https://doi.org/10.1016/j.meafao.2023.100130>
- Cagasan, C. U., Lingatong, C. A., Pore, K. M., Ramada, R., Restor, C. D., & Lauzon, R. (2021). Production and quality evaluation of wine from jackfruit co-products. *International Journal of Life Sciences and Biotechnology*, 4(3), 340-352. <https://doi.org/10.38001/ijlsb.827739>
- Chavez Santiago, J. O., Rodríguez Castillejos, G. C., Montenegro, G., Bridi R., Valdés Gómez, H., Alvarado Reyna, S., Castillo Cruz, O., & Santiago Adame, R. (2022). Phenolic content, antioxidant and antifungal activity of jackfruit extracts (*Artocarpus heterophyllus* Lam.). *Food Science and Technology*, 42, Article e02221. <https://doi.org/10.1590/fst.02221>
- Cruz Casillas, F. C., García Cayuela, T., & Rodríguez Martínez, V. (2021). Application of conventional and non-conventional extraction methods to obtain functional ingredients from jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* lam.) tissues and by-products. *Applied Sciences*, 11, Article 7303. <https://doi.org/10.3390/app11167303>
- Food and Agriculture Organization. (2022). *The green development of special agricultural product-jackfruit in China*. <https://www.fao.org/3/cc3672en/cc3672en.pdf>
- Eburuaja, A. S., Onabanjo, R. S., Onunkwo, D. N., & Ukenye, U. S. (2019). Performance of broiler chickens fed graded dietary levels of toasted jackfruit seed meal (*Artocarpus heterophyllus*). *Nigerian Journal of Animal Production*, 46(4), 171-178. <https://doi.org/10.51791/njap.v46i4.346>
- Eyoh, G. D., Ibanga, G. L., Udo, M. D., & Offiong, E. E. (2021). Growth performance of west african dwarf (wad) bucks fed graded levels of toasted jackfruit seed meal. *Journal of Agriculture and Food Science*, 5(3) 90-97. <https://www.aksuja.com.ng/search/jackfruit>
- Eyoh, G. D., & Udoh, M. D. (2020). Effects of processed jackfruit seed based diet on nutrient intake, digestibility and nutrition in West African dwarf goats. *Nigerian Journal of Animal Production*, 47(5), 204-212. <https://doi.org/10.51791/njap.v47i5.1271>
- Goswami, C., Kazal, M. K. H., Alam, O., Moon, R. J., Khatun, K., Hossan, M., & Chacrabati, R. (2021). Jackfruit seed powder supplementation attenuates high-sugar diet-induced hyperphagia and hyperglycemia in mice. *Biology and Life Sciences Forum*, 6(1), 92-115. <https://doi.org/10.3390/Foods2021-10970>
- Informes de expertos (2023). *Mercado Global de Jackfruit*. <https://www.informesdeexpertos.com/informes/mercado-de-jackfruit>
- International Tropical Fruits Network. (2022, March 15). *Report on the international webinar on 'Developing the jackfruit for global consumption and markets'*. <https://www.itfnet.org/v1/wp-content/uploads/2022/07/JACKFRUIT-REPORT-WITH-eISBN.pdf>
- Isinenyi, G. O., & Andrew, N. (2021). Study on the nutritional compositions of boiled jackfruit seed and its effect on the liver and kidney functions of Wistar albino rats. *International Network Organization for Scientific Research*, 7, 96-108. <https://www.inosr.net/wp-content/uploads/2022/01/INOSR-AP-7196-108-2021.-ISINEYI.pdf>
- Kader, A., Sinha, S. N., & Ghosh, P. (2022). Clonal fidelity investigation of micropropagated hardened plants of jackfruit tree (*Artocarpus heterophyllus* L.) with RAPD markers. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 20(1), 145-159. <https://doi.org/10.1186/s43141-022-00426-0>

- Kamdem Bemmo, U. L., Bindzi, J. M., Tayou Kamseu, P. R., Houketchang Ndomou, S. C., Tene Tambo, S., & Ngoufack Zambou, F. (2023). Physicochemical properties, nutritional value, and antioxidant potential of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) pulp and seeds from Cameroon eastern forests. *Food Science & Nutrition*, *11*(8), 4722-4734. <http://doi.org/10.1002/fsn3.3437>
- Konsue, N., Bunyameen, N., & Donlao, N. (2023). Utilization of young jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) as a plant-based food ingredient: Influence of maturity on chemical attributes and changes during *in vitro* digestion. *LWT - Food Science and Technology*, *180*, Article 114721. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114721>
- Krishnan Sundararajan, K. S., & Pottail, L., (2021). Green synthesis of bimetallic Ag@Au nanoparticles with aqueous fruit latex extract of *Artocarpus heterophyllus* and their synergistic medicinal efficacies. *Applied Nanoscience*, *11*, 971-981, <https://doi.org/10.1007/s13204-020-01657-8>.
- Kushwaha, R., Gupta, A., Singh, V., Kaur, S., Puranik, V., & Kaur, D. (2023). Jackfruit seed flour-based waffle ice cream cone: Optimization of ingredient levels using response surface methodology. *Heliyon*, *9*(2), Article e13140. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13140>
- Lazarus, B. S., Leung, V., Luu, R. K., Wong, M. T., Ruíz Pérez, S., Barbosa, W. T., Almeida Bezerra, W. B., Barbosa, J. D. V., & Meyers, M. A. (2023). Jackfruit: Composition, structure, and progressive collapsibility in the largest fruit on the Earth for impact resistance. *Acta Biomaterialia*, *166*, 430-446. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2023.04.040>
- Le, T. A. N., Lee, J. J. L., & Chen, W. N. (2023). Stimulation of lactic acid production and *Lactobacillus plantarum* growth in the coculture with *Bacillus subtilis* using jackfruit seed starch. *Journal of Functional Foods*, *104*, Article 105535. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2023.105535>
- Li, B., Wang, J., Wang, X., Zhang, Y., Tan, Y., Zhang, Y., Chu, Z., & Zhang, Y. (2019). Prediction of the postprandial blood sugar response estimated by enzymatic kinetics of *in vitro* digestive and fine molecular structure of *Artocarpus heterophyllus* lam seed starch and several staple crop starches. *Starch-Stärke*, *71*(9-10), Article 1800351. <https://doi.org/10.1002/star.201800351>
- Li, Y. F., Wu, B., Chen, J. P., Veeraperumal, S., Wei, J. C., Tan, K. S., Zhong, S., & Cheong, K. L. (2023). Prebiotic characteristics of added-value polysaccharides from jackfruit peel waste during *in vitro* digestion and fecal fermentation. *LWT - Food Science and Technology*, *187*, Article 115330. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115330>
- Luciano, C. G., Landi Franco, C. M., Ayala Valencia, G., do Amaral Sobral, P. J., & Freitas Moraes, I. C. (2017). Evaluation of extraction method on the structure and physicochemical properties of starch from seeds of two jackfruit varieties. *Starch-Stärke*, *69*(11-12), Article 1700078. <https://doi.org/10.1002/star.201700078>
- Maradesha, T., Patil, S. M., Al-Mutairi, K. A., Ramu, R., Madhunapantula, S. V., & Alqadi, T. (2022a). Inhibitory effect of polyphenols from the whole green jackfruit flour against α -glucosidase, α -amylase, aldose reductase and glycation at multiple stages and their interaction: Inhibition kinetics and molecular simulations. *Molecules*, *27*(6), Article 1888. <https://doi.org/10.3390/molecules27061888>
- Maradesha, T., Patil, S. M., Phanindra, B., Achar, R. R., Silina, E., Stupin, V., & Ramu, R. (2022b). Multiprotein inhibitory effect of dietary polyphenol rutin from whole green jackfruit flour targeting different stages of diabetes mellitus: Defining a bio-computational stratagem. *Separations*, *9*(9), Article 262. <https://doi.org/10.3390/separations9090262>

- Mashudi, M., & Nurmawati, W. (2022). Effect of fermentation on mixed rumen contents and jackfruit peel using *Aspergillus oryzae* on in vitro gas production and digestibility. *E3S Web of Conferences*, 335, Article 00048. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202233500048>
- Moisés de Sousa, A. P., Nascimento Campos, A. R. N., Palmeira Gomes, J., Costa de Santana, R. A., de França Silva, A. P., Buriti de Macedo, A. D., & Dantas Costa, J. (2020). Protein enrichment of jackfruit peel waste through solid-state fermentation. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 15(1), 1-6. <https://doi.org/10.5039/agraria.v15i1a6406>
- Morelos Flores, D. A., Anzaldo Mendiola, R. L., Montalvo González, E., Zamora Gaspa, V. M., Chacón López, M. A., Santacruz Varela, A., & García Magaña, M. L. (2023). Characterization and antioxidant capacity of phenolic compounds of jackfruit genotypes from Nayarit, Mexico. *Food Chemistry Advances*, 3, Article 100470. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100470>
- Nakintu, J., Andama, M., Albrecht, C., Wangalwa, R., Lejju, J. B., & Olet, E. A. (2023). Morphological traits of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.): Indicators of diversity, selection and germplasm dispersion in Uganda. *Scientific African*, 22, Article e01900. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2023.e01900>
- Nantongo, J. S., Mudondo, S., Oluk, R., Agaba, H., & Gwali, S. (2022). Variation in seed and seedling traits of the different ethno-varieties of jackfruit, a potential fruit tree species for food security. *Trees, Forests and People*, 9, Article 100303. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2022.100303>
- National Plant Germplasm System. (2023, December 26). *Taxon: Artocarpus heterophyllus Lam.* <https://npgsweb.ars-grin.gov/gringlobal/taxon/taxonomydetail?id=70095>
- Natta, S., Pal, K., Alam, B. K., Mondal, D., Dutta, S. K., Sahana, N., Mandal, S., Bhowmick, N., Das, S. S., Mondal, P., Pandit, G. K., Paul, P. K., & Choudhury, A. (2023). In-depth evaluation of nutritive, chemical constituents and anti-glycemic properties of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam) clonal accessions with flake colour diversity from Eastern Sub-Himalayan plains of India. *Food Chemistry*, 407, Article 135098. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135098>
- Nidhina, K., Abraham, B., Fontes Candia, C., Martínez Abad, A., Martínez Sanz, M., Nisha, P., & López-Rubio, A. (2022). Physicochemical and functional properties of pectin extracted from the edible portions of jackfruit at different stages of maturity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(6), 3194-3204. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12391>
- Odukwe, C. N., Onunkwo, D. N., Eburuaja, A. S., & Mathias, V. N. (2017). Carcass and internal organ characteristics of broiler chickens fed soybean diets partially replaced with variable levels of raw jackfruit seed meal. *Nigeria Agricultural Journal*, 48(1), 190-198. <https://www.ajol.info/index.php/naj/article/view/162708>
- Ortega González, L., Güemes Vera, N., Piloni Martini, J., Quintero Lira, A., & Soto Simental, S. (2022). Substitution of wheat flour by jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* lam.) seed flour: Effects on dough rheology and deep-frying doughnuts texture and sensory analysis. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 30, Article 100612. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2022.100612>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Whiting, P. (2021). Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología*, 74(9), 790-799. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016>

- Papa Spada, F., da Silva, P. P. M., Mandro, G. F., Margiotta, G.B., Spoto, M. H. F., & Canniatti Brazaca, S. G. (2018). Physicochemical characteristics and high sensory acceptability in cappuccinos made with jackfruit seeds replacing cocoa powder. *PLoS ONE*, 13(8), Article e0197654. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197654>
- Ramos Martínez, O., González Cruz, E. M., Calderón Santoyo, M., & Ragazzo Sánchez, J. A. (2022). Polyisoprenes obtained from jackfruit latex (*Artocarpus heterophyllus* L.): Extraction and characterization. *Journal of Applied Polymer Science*, 139(25), Article e52392. <https://doi.org/10.1002/app.52392>
- Ramli, A. N. M., Hamid, H. A., Zulkifli, F. H., Zamri, N., Bhuyar, P., & Manas, N. H. A. (2021). Physicochemical properties and tenderness analysis of bovine meat using proteolytic enzymes extracted from pineapple (*Ananas comosus*) and jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) by-products. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(11), Article e15939. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15939>.
- 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, Article 4327183. <https://doi.org/10.1155/2019/4327183>
- Rubiyah, M. H., Melethil, K., Varghese, S., Kurian, M., Babu, S., Jojo, L., & Thomas, B. (2023). Isolation and characterization of cellulose nanofibrils from agro-biomass of Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) rind, using a soft and benign acid hydrolysis. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 6, Article 100374. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2023.100374>
- Sabidi, S., Koh, S. P., Abd Shukor, S., Adzni Sharifudin, S., & Sew, Y. S. (2020). Safety assessment of fermented jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) pulp and leaves in Sprague-Dawley rats. *Food Science & Nutrition*, 8(8), 4370–4378. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1734>
- Samrot, A. V., & Sean, T. C. (2022). Investigating the antioxidant and antimicrobial activity of *Artocarpus heterophyllus* Lam. (Jackfruit) Latex. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 12(3), 3019-3033. <http://dpi.org/10.33263/BRIACI23.30193033>
- Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera. (2022). *Anuario estadístico de la producción agrícola*. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Spada, F. P., de Alencar, S. M., & Purgatto, E. (2022). Comprehensive chocolate aroma characterization in beverages containing jackfruit seed flours and cocoa powder. *Future Foods*, 6, Article 100158. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100158>
- Sulaiman, M. A., Yusoff, F. M., Kamarudin, M. S., Amin, S. N., & Kawata, Y. (2022). Fruit wastes improved the growth and health of hybrid red tilapia *Oreochromis* sp. and Malaysian mahseer, *Tor tambroides* (Bleeker, 1854). *Aquaculture Reports*, 24, Article 101177. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101177>
- Sy Mohamad, S. F., Mohd Said, F., Abdul Munaim, M. S., Mohamad, S., & Wan Sulaiman, W. M. A. (2019). Proximate composition, minerals contents, functional properties of Mastura variety jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) seeds and lethal effects of its crude extract on zebrafish (*Danio rerio*) embryos. *Food Research*, 3(5), 546-555. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.3\(5\).095](https://doi.org/10.26656/fr.2017.3(5).095)
- Thanh, L. P., Kha, P. T. T., Tinh, P. V. T., & Hang, T. T. T. (2021). Effect of jackfruit leaves on feed utilization and ruminal fermentation of growing goats. *Livestock Research for Rural Development*, 33(8), Article 104. <https://www.lrrd.org/lrrd33/8/33104phuoc.html>

- Ulloa, J. A., Villalobos Barbosa, M. C., Resendiz Vazquez, J. A., Rosas Ulloa, P., Ramírez, J. C., Silva Carrillo, Y., & González Torres, L. (2017). Production, physico-chemical and functional characterization of a protein isolate from jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) seeds. *CYTA - Journal of Food*, 15(4), 497-507. <https://doi.org/10.1080/19476337.2017.1301554>
- Utari, A., & Warly, L. (2021). Tannin contents of jackfruit leaves (*Artocarpus heterophyllus*) extract and moringa leaves (*Moringa oleifera*) extract as functional additive feed in ruminant livestock. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 757, Article 012054. <http://doi.org/10.1088/1755-1315/757/1/012054>
- Wignyanto, W., Rahmah, N. L., & Margani, A. D. (2014). The best solvent and extraction time in pectin production made from waste of jackfruit (bark and straw). *Agroindustrial Journal*, 3(1), 141-148. <https://doi.org/10.22146/aij.v3i1.25030>
- Wirayudha, P., Setyono, W., Budisatria, I. G. S., Rahmawati, R., & Kustantinah, K. (2022). Effects of dietary supplementation with jackfruit leaves and soybean meal on nutrient intake and digestibility in sheep. *Proceedings of the 6th International Seminar of Animal Nutrition and Feed Science*, 21, 82-85. <http://doi.org/10.2991/absr.k.220401.018>
- Wu, J., Zhou, X., Zhou, L., Lui, W., Zhong, J., Zhang, Y., & Liu, C. (2022). Physicochemical, structural, and functional properties of protein fractions and protein isolate from jackfruit seeds. *Journal of Food Science*, 87(4), 1540-1551. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16104>
- Xu, F., He S. Z., Chu, Z., Zhang Y.J., & Tan, L. H. (2015). Effects of heat treatment on polyphenol oxidase activity and textural properties of jackfruit bulbs. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(5), 943-949. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12673>
- Zeng, S., Cao, J., Wei, C., Chen, Y., Liu, Q., Li, C., Zhang, Y., Zhu, K., Wu, G., & Tan, L. (2023). Polysaccharides from *Artocarpus heterophyllus* Lam. (jackfruit) pulp alleviate obesity by modulating gut microbiota in high fat diet-induced rats. *Food Hydrocolloids*, 139, Article 108521. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108521>
- Zhang, L., Tu, Z. C., Xie, X., Wang, H., Wang, H., Wang, Z. X., & Lu, Y. (2017). Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) peel: A better source of antioxidants and aglucosidase inhibitors than pulp, flake and seed, and phytochemical profile by HPLC-QTOF-MS/MS. *Food Chemistry*, 234, 303-313. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.003>
- Zhang, Z., Wang, Y., Zhang, Y., Chen, K., Chang, H., Ma, C., Jiang, S., Huo, D., Liu, W., Jha, R., & Zhang, J. (2021). Synergistic effects of the jackfruit seed sourced resistant starch and *Bifidobacterium pseudolongum* subsp. globosum on suppression of hyperlipidemia in mice. *Foods*, 10(6), Article 1431. <https://doi.org/10.3390/foods10061431>
- Zuwariah, I., Noor, F., Hadijah, M. B., & Rodhiah, R. (2018). Comparison of amino acid and chemical composition of jackfruit seed flour treatment. *Food Research*, 2(6), 539-545. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.2\(6\)](https://doi.org/10.26656/fr.2017.2(6))