

# Subproductos del cultivo de yaca en México: fuente de metabolitos secundarios y proteína

Carolina Calderón-Chiu<sup>1</sup>, Montserrat Calderón-Santoyo<sup>1</sup>, Juan Arturo Ragazzo-Sánchez<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio Integral de Investigación en Alimentos, Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Tepic, Nayarit, México.

\*Autor de correspondencia: [jragazzo@tepic.tecnm.mx](mailto:jragazzo@tepic.tecnm.mx)

## Resumen

### Palabras clave:

biomasa verde, hidrolizados proteicos, emulsionante, antifúngico, látex, poliisoprenoides

Garantizar el suministro de proteínas y otros compuestos funcionales es un reto que enfrenta el mundo en la actualidad. Los subproductos agroindustriales son una fuente potencial, económica y sostenible para obtenerlos. Subproductos agroindustriales del cultivo de yaca en México, como la biomasa verde (hojas verdes) y látex, han mostrado ser fuente factible para obtener metabolitos secundarios, proteínas y poliisoprenoides. A pesar de ello, estos residuos han sido poco estudiados en comparación con los subproductos convencionales del cultivo, como la cáscara, semilla o perianto. Por tal motivo, este artículo describe los hallazgos de los últimos años, relacionados con el procesamiento y transformación de la biomasa verde y látex de yaca en México. Enfatizando que su utilización es viable y esencial, ya que gestiona estratégicamente los residuos y la economía circular al transformarlos en metabolitos secundarios, proteínas/péptidos o poliisoprenoides con valor industrial como antimicrobianos, emulsionantes o materiales poliméricos alternativos, respectivamente.

## Introducción

El aumento de la población ha incrementado las actividades agrícolas para satisfacer la demanda de alimentos, lo que provoca una importante generación de residuos durante la cosecha, almacenamiento y distribución. Estos a menudo se consideran desechos por la percepción de poca viabilidad económica, causando contaminación ambiental y riesgos a la salud si no se manejan adecuadamente (Rohatgi *et al.*, 2023). Sin embargo, se ha reportado que estos subproductos agrícolas albergan diversos compuestos potencialmente valiosos en diversas industrias. Por tanto, la obtención de compuestos a partir de subproductos agrícolas no

Enfoques Transdisciplinarios:  
Ciencia y Sociedad, 2(2),  
183-196. ISSN: 3061-709X.  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.12773852>

Recibido: 13 abril 2024  
Revisado: 20 de mayo 2024  
Aceptado: 02 de julio 2024  
Publicado: 18 de julio 2024



Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia CC BY-NC-SA 4.0. Para ver una copia de esta licencia visite <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



sólo promueve la gestión de los desechos, sino que hace uso de técnicas ingenieriles innovadoras para convertirlos sosteniblemente en productos con valor económico para los productores (Rohatgi *et al.*, 2023; Phiri *et al.*, 2024). Esta gestión estratégica de los subproductos podría sustituir con éxito a los métodos convencionales de eliminación de residuos agroindustriales en vertederos. Asimismo, conduce a una nueva era de mercado verde y fomenta el crecimiento de la economía circular al reducir el desperdicio de alimentos (Bhatia *et al.*, 2023; Rohatgi *et al.*, 2023).

En México diversos grupos de investigación se enfocan en el aprovechamiento de los subproductos de distintos cultivos de importancia económica. En el cultivo de yaca o jaca (*Artocarpus heterophyllus* L.) se ha reportado que el 70% del fruto corresponde a cáscara, semillas y perianto, subproductos que se generan durante el procesamiento (Sarangi *et al.*, 2023). Otros subproductos derivados de este cultivo son la biomasa verde (hojas verdes) y látex, a los cuales se les ha dado poca atención, pero tienen potencial para la obtención de compuestos de alto valor biológico (CAVB) con actividad antimicrobiana y proteínas con actividad emulsionante o espumante. En 2019, el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) reportó la producción de 26 641.38 t de yaca a nivel nacional, producción que incrementó a 36 717.38 t en 2022. Esto indicaría que el cultivo de yaca en México se está extendiendo y que la biomasa verde y el látex de este cultivo podrían ser una fuente sostenible para obtener componentes con aplicación en la industria alimentaria. Se ha reportado que la biomasa verde es rica en compuestos fenólicos, flavonoides y taninos con actividad antifúngica, así como proteínas que pueden ser utilizadas como estabilizadores de nanoemulsiones aceite en agua (O/W). Por su parte, el látex es fuente de poliisoprenoides con potencial en la nanoencapsulación de moléculas bioactivas. Por tal motivo, el objetivo de este artículo es describir las investigaciones realizadas con la biomasa verde y el látex procedente del cultivo de yaca en México y las posibles aplicaciones en el área alimentaria.

### **Cultivo de yaca en México**

La yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) es una fruta tropical que, debido a su adaptabilidad, sabor único y valor nutricional, se cultiva en regiones tropicales y subtropicales del mundo como India, Malasia, África central, el Caribe, Brasil, Puerto Rico, muchas islas del Pacífico y México. La yaca fue introducida en México hace más de 20 años en San Blas, Nayarit, como cultivo alternativo al plátano (Luna-Esquivel *et al.*, 2013), pero se ha extendido a otros estados de la república como Veracruz, Jalisco, Hidalgo, Colima y Michoacán gracias a su importancia económica (SIAP, 2022). Nayarit es el principal productor de yaca a nivel nacional, con la mayor superficie sembrada y cosechada en 2022 y alto valor de producción en pesos (Tabla 1). Este estado cuenta con varios genotipos de yaca, entre ellos destacan la "Agüitada", "Romina", "Jaiba", "Licenciada" y "Karlita".

**Tabla 1.** Producción Agrícola de yaca en México (t) en 2022

Entidad	Superficie (ha)		Producción (t)	Valor Producción (miles de Pesos)
	Sembrada	Cosechada		
1 Nayarit	1,632.95	1,333.95	34,843.83	440,731.51
2 Veracruz	70	69	1,235.41	10,981.79
3 Jalisco	37	37	527.57	2,438.39
4 Hidalgo	5.5	5.5	28.05	533.09
5 Colima	6.75	6.75	63.9	487.22
6 Michoacán	2	2	18.62	141.11
<b>Total</b>	<b>1,754.20</b>	<b>1,454.20</b>	<b>36,717.38</b>	<b>455,313.11</b>

Fuente: SIAP (2022).

La mayor parte de la producción de yaca se destina a la exportación a EUA en forma fresca o mínimamente procesada (Ruiz-Montañez *et al.*, 2017). Su gran demanda está influenciada por la presencia de flavonoides, fenoles y carotenoides, vitaminas, minerales, carbohidratos, ácidos grasos y ésteres volátiles. Por su alto contenido en CAVB, su consumo se ha asociado con beneficios a la salud como potente antioxidante, antiinflamatorio anticancerígeno y antimutagénico (Ruiz-Montañez *et al.*, 2017). Por esto, existen muchas investigaciones enfocadas en el fruto, entre ellas se incluye la determinación del potencial aromático de diversos cultivares (Barros-Castillo *et al.* 2021; Barros-Castillo *et al.* 2023) y la obtención de néctar (Cruz-Cansino *et al.*, 2021) y de extractos con actividad anticancerígena y antioxidante (Ruiz-Montañez *et al.*, 2019). La semilla, otro subproducto de este cultivo, también ha sido estudiada para la extracción de almidón, proteína (Resendiz-Vazquez *et al.*, 2017) y harina (Ortega-González *et al.*, 2022). No obstante, estos no son los únicos subproductos generados en este cultivo. De hecho, investigadores del Laboratorio Integral de Investigación en Alimentos, perteneciente al Instituto Tecnológico de Tepic y liderados por el Dr. Juan Arturo Ragazzo-Sánchez, han demostrado que la biomasa verde y el látex de este cultivo son una fuente de proteína y CAVB con diversas propiedades de interés en la industria de alimentos, cosmética y farmacéutica.

### **Biomasa verde del cultivo de yaca**

La biomasa verde incluye a la alfalfa, hojas de cultivos agroindustriales y de árboles. De ellas, las hojas de cultivos son consideradas una fuente para la extracción de CAVB. Su importancia radica en que derivan de desechos agrícolas, puesto que en muchos cultivos industrializados sólo partes específicas de las plantas (raíz, flores y frutas) se cosechan y procesan, mientras que las hojas, que representan numerosas toneladas de biomasa verde por año, no se utilizan y son consideradas subproductos (Tenorio *et al.*, 2018). El árbol de la yaca en México es una fuente importante de biomasa verde (Figura 1).



**Figura 1.** Biomasa verde del cultivo de yaca después de la poda del árbol en el huerto “Tierras Grandes”, Zacualpan, Compostela, Nayarit, México. **Fuente:** Propia

En este cultivo se realizan podas bianuales a los árboles con la finalidad de evitar el crecimiento excesivo del árbol, esto favorece el desarrollo y recolección del fruto. La primera poda se realiza en el mes de marzo; la segunda, en agosto-septiembre. En el mejor de los casos, esta biomasa es utilizada como forraje para ganado, pero muchas veces simplemente es desechada. Se han estimado aproximadamente 10 377.76 t/ha de hoja al año (Calderón-Chiu *et al.*, 2021b), por lo se considera una fuente importante de CAVB o polímeros de interés para la industria alimentaria.

### **Compuestos de alto valor biológicos de la biomasa verde del cultivo de yaca**

Fenoles, flavonoides y taninos se han identificado en la biomasa verde de yaca, los cuales poseen alta capacidad antioxidante y potencial actividad contra algunos hongos fitopatógenos. Con relación a esto, Vázquez-González *et al.* (2020) obtuvieron extractos de la biomasa de yaca por diferentes métodos emergentes, tales como microondas (MAE), alta presión hidrostática (HHP) y ultrasonido (EAU). La cantidad y calidad de CAVB en los extractos dependieron del método de extracción e influyeron en las propiedades antifúngicas. El extracto MAE mostró la presencia de Kaempferol 3-O- $\beta$ -D-apiofuranósilo, ácido cítrico, ácido quínico, ácido 3,5-dicafeoilquínico, carvacrol y epigalocatequina. Por su parte, en el extracto EAU se identificó al ácido cafeico, hidroxitirosol-hexosa e isorhamnetin-3-O-rutinósido. Por último, el extracto obtenido por HHP mostró la presencia del ácido 3,5-dicafeoilquínico. El extracto obtenido por MAE y HHP mostraron inhibición del



crecimiento micelial contra *Penicillium italicum* y *Colletotrichum gloeosporioides* de 40.35 y 55.41%, respectivamente, a una concentración de 5 mg/mL. Esta inhibición fue atribuida a los CAVB en los extractos.

En relación aCon relación a esto, Vázquez-González *et al.* (2020) determinaron la actividad antifúngica de extractos de hoja de yaca contra *Colletotrichum gloeosporioides* y *Penicillium italicum*. Los extractos fueron obtenidosse obuvieron por diferentes métodos emergentes, tales como microondas (MAE), alta presión hidrostática (HHP) y ultrasonido (EAU). La cantidad y calidad de CAVB en los extractos dependieron del método de extracción e influyeron en las propiedades antifúngicas. El extracto MAE mostró la presencia de Kaempferol 3-O- $\beta$ -D-apiofuranósilo, ácido cítrico, ácido quínico, ácido 3,5-dicafeoilquínico, carvacrol y epigalocatequina. Por su parte, en el extracto EAU se identificó al ácido cafeico, hidroxitirosol-hexosa e isorhamnetin-3-O-rutinósido. Por último, el extracto obtenido por HHP mostró la presencia del ácido 3,5-dicafeoilquínico. El extracto obtenido por MAE y HHP mostraron inhibición del crecimiento micelial contra *P. italicum* y *C. gloeosporioides* de 40.35 y 55.41%, respectivamente, a una concentración de 5 mg/mL. Esta inhibición fue atribuida a los CAVB en los extractos.

Por su parte, Aguilar-Veloz *et al.* (2022) evaluaron el extracto de hoja de yaca obtenido por MAE contra cepas de *Alternaria* spp. Este extracto causó 39.9 % de inhibición del crecimiento micelial (1 mg/mL) debido a la presencia de catequina, epicatequina, cartamidina, isoschaftósido y quercetina. Posteriormente, estos investigadores adicionaron extracto de hoja (5 mg/mL) a recubrimientos a base de pectina de bajo metoxilo y la aplicaron en tratamientos preventivos in vivo en el fruto de tomate. Adicionar extracto al recubrimiento disminuyó significativamente el 50% de la severidad de la infección contra *Alternaria* spp.

Recientemente, Ayón-Macías *et al.* (2024) informaron que el extracto de hoja de yaca también inhibió el crecimiento micelial *in vitro* de *Cladosporium tenuissimum* y *Aspergillus sydowii* (5 mg/mL) con valores de inhibición de 88.2 y 99.3%, respectivamente. Consecutivamente, elaboraron por electrospinning, una tecnología que utiliza un campo eléctrico para la producción de fibras finas, un recubrimiento antifúngico a base de nanofibras de zeína y extracto de hoja. El recubrimiento fue evaluado *in vivo* en *Averrhoa carambola* L. como tratamiento preventivo y curativo, siendo más efectivo para tratamientos preventivos, pues mostraron 0% de severidad e incidencia para *C. tenuissimum*, mientras que para *A. sydowii* la severidad e incidencia fueron de 30 y 25 %, respectivamente.

Los autores resaltaron que la actividad antifúngica varió en función del patógeno evaluado y demostraron que los extractos de la biomasa verde tienen potencial aplicación como antifúngicos. Esto generará alternativas para controlar y disminuir las pérdidas ocasionadas por hongos fitopatógenos en cultivos de importancia eco-



nómica en México, lo cual podría reducir el uso de pesticidas convencionales que tienen un impacto negativo a la salud y al ambiente. Además de CAVB, esta biomasa verde es fuente de proteínas, biomoléculas, hoy muy relevantes para satisfacer la demanda de alimentos.

### **Proteína vegetal de la biomasa verde del cultivo de yaca**

La industria agroalimentaria genera alrededor de 190 millones de toneladas de proteínas animales y vegetales en forma de residuos (Bhatia *et al.*, 2023). En ese sentido, la biomasa verde es considerada una fuente potencial de proteínas con alto valor nutrimental para el consumo humano (Chen & Qiu, 2003). El contenido de proteína en estos subproductos oscila entre 16-29 % (b.s.) y las variaciones dependen del tipo de cultivo, planta, edad, condiciones ambientales y de crecimiento. Hojas de moringa (*Moringa oleífera*), alfalfa (*Medicago sativa*), helecho (*Diplazium esculentum*), berenjena (*Solanum melongena*), calabaza estriada (*Luffa aegyptiaca*) y amaranto (*Amaranthus*) han sido reportadas como fuentes de proteínas y se ha evidenciado que la biomasa verde del cultivo de yaca también es una opción viable para este fin. Por ello, Moreno-Nájera *et al.* (2020) extrajeron proteínas de la biomasa verde de yaca mediante la aplicación de tecnologías emergentes como el ultrasonido, microondas y alta presión hidrostática, determinando que la extracción por altas presiones hidrostáticas produce mayor rendimiento.

Calderón-Chiu *et al.* (2021b) determinaron 24.05 y 65.8% de proteína en la harina de hoja y concentrado proteico (CP) de yaca, respectivamente. Referente a la funcionalidad, la solubilidad del CP era muy baja a pH ácido, lo que resultaba en limitada aplicación en el área alimentaria. Para superar este inconveniente, los investigadores realizaron la hidrólisis enzimática del CP con pepsina (H-Pep) y pancreatina (H-Pan). La solubilidad fue significativamente mejorada después de la hidrólisis enzimática, con valores de 19-41% (H-Pep) y 60-98% (H-Pan) a pHs de 2.0-10.0, este aumento de la solubilidad mejoró las propiedades emulsionantes y espumantes comparado con CP. Asimismo, los hidrolizados exhibieron alta capacidad de eliminación de radicales DPPH+ (72.38% a 0.1 mg/mL) y ABTS+ (98.2% a 0.8 mg/mL) y mostraron aminoácidos esenciales como isoleucina, leucina, treonina, valina y fenilalanina en niveles recomendados para adultos según la OMS/FAO (Calderón-Chiu *et al.*, 2022). Esto sugiere que los hidrolizados podrían usarse para complementar alimentos con deficiencias en estos aminoácidos y que la hidrólisis enzimática es una herramienta útil para mejorar las propiedades de proteínas vegetales con funcionalidad limitada.

Por otro lado, Vera-Salgado *et al.* (2022) obtuvieron CP por el método convencional (maceración) y por ultrasonido, los cuales fueron sometidos a hidrólisis con pancreatina. Los autores indicaron que el método de extracción tuvo un impacto significativo en el proceso de hidrólisis enzimática e influyó en la funcionalidad de



los hidrolizados. La extracción asistida por ultrasonido fue el mejor método para mejorar la calidad, la tecno-funcionalidad y las propiedades antioxidantes del CP en comparación con la maceración.

### **Hidrolizados de hoja de yaca como emulsionantes**

Las propiedades emulsionantes de proteínas vegetales son una de las áreas más abordadas de la investigación actual, ya que se intenta reemplazar el uso de proteínas de origen animal comúnmente son usadas como emulsionantes. Esto se debe a que la producción primaria de estas proteínas se ha asociado con el aumento de emisiones de gases de efecto invernadero, pérdida de biodiversidad y cambio climático. En ese sentido, el uso de hidrolizados proteicos de yaca es una alternativa para sustituir a las proteínas de origen animal utilizadas en la fabricación de nanoemulsiones aceite en agua (O/W). Dichas nanoemulsiones son de gran importancia en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética para el transporte/solubilización de compuestos lipofílicos con actividad biológica.

Por ello, los hidrolizados proteicos de hoja de yaca fueron empleados para diseñar/formular un sistema de entrega (nanoemulsión) que contenía un extracto lipofílico de hoja de *Coccoloba uvifera* L. Los hidrolizados permitieron la obtención de una nanoemulsión con tamaño de gota entre 330-360 nm, distribución monomodal y relativamente buena eficiencia de carga del extracto (Calderón-Chiu *et al.*, 2021a). Esto demuestra que los hidrolizados proteicos de hoja de yaca son una alternativa viable para estabilizar nanoemulsiones O/W que contengan compuestos lipofílicos.

### **Péptidos de hoja de yaca con actividad antifúngica**

Con la finalidad de expandir la aplicación de proteínas y péptidos de hoja de yaca, Brion-Espinoza *et al.* (2021) adicionaron péptidos de hojas de yaca (obtenidos después de 2 h de hidrólisis del CP con pepsina) a películas de pectina y evaluaron su actividad antifúngica sobre *C. gloeosporioides*, el cual ocasiona pérdidas de hasta 100% de frutas tropicales como aguacate, papaya, mango, entre otras. Los péptidos mostraron la presencia de aminoácidos esenciales como valina, leucina, isoleucina, metionina, treonina y fenilalanina y lograron inhibir 99% del crecimiento micelial y la germinación de esporas de *C. gloeosporioides*. Las películas de pectina con péptidos de hoja (680 µg/mL) inhibieron en 82.3 y 91.6 % el crecimiento micelial y la germinación de esporas de *C. gloeosporioides*, respectivamente. Esto indicó que los péptidos y las películas con péptidos podrían ser una alternativa verde para controlar la antracnosis en frutas tropicales. La evidencia muestra que la biomasa verde es fuente de CAVB, proteínas, hidrolizados y péptidos con viable aplicación en la industria alimentaria. No obstante, de este cultivo también se deriva el látex, otro subproducto poco explorado, pero de interés para procesos de nanoencapsulación por electrospinning.



## Látex del cultivo de yaca

Cuando el fruto de la yaca es cosechado se obtienen aproximadamente 35 mL de látex, lo que resulta en aproximadamente 1.4 L/ha de látex (Figura 2) (Ramos-Martínez *et al.*, 2022). Este exudado está compuesto por lípidos, gomas, polisacáridos, proteínas y resina. La resina está constituida por *cis*-1,4-poliisopreno (34.4 %) y *trans*-1,4-poliisopreno (65.6%), los cuales tienen propiedades poliméricas. Por ello, Ramos-Martínez *et al.* (2022) recolectaron por primera vez en México el látex del cultivo de yaca, que después de un proceso de extracción obtuvieron seis extractos, que fueron caracterizados tecno-funcional y térmicamente. De ellos, dos extractos -el EP-1 y EP-6- mostraron alto contenido de compuestos lipofílicos (89%), fracción que contiene poliisoprenos. El extracto EP-1 mostró mejores propiedades emulsionantes y espumantes que el EP-6. El análisis térmico mostró eventos endotérmicos (50-65 °C) asociados a la fusión del concentrado y eventos exotérmicos relacionados con la cristalización de los poliisoprenos. Esto reveló que las condiciones óptimas de manejo de este extracto son temperaturas menores a 65 °C, sugiriendo su uso como aditivos plastificantes. Finalmente, el estudio mostró que ambos extractos tienen aplicación tecnológica. El EP-1 podría ser utilizado en la formulación de emulsiones y el EP-6 como material coadyuvante o encapsulante en procesos electrohidrodinámicos debido a su baja capacidad espumante.



**Figura 2.** Recolección de látex después de la cosecha del fruto. Huerto “Tierras Grandes”, Zacualpan, Compostela, Nayarit, México. **Fuente:** Propia

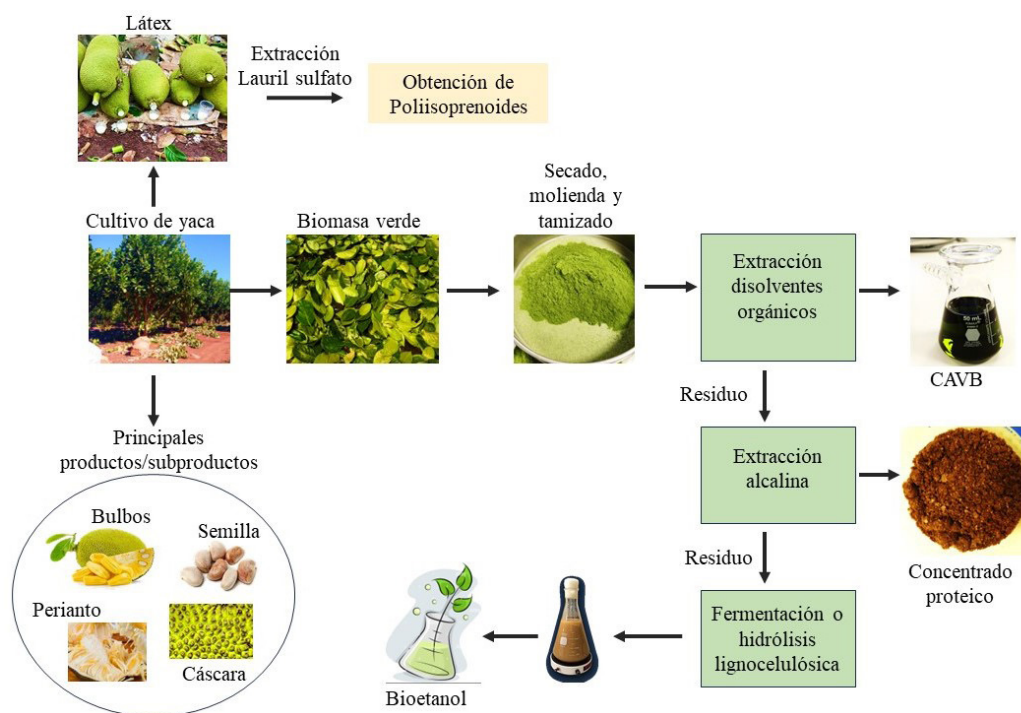
Con relación a esto, Ceballos-Vázquez *et al.* (2022) utilizaron el EP-6 solo o combinado con óxido de polietileno (PEO) o pulúlanos como material polimérico para la obtención de nanofibras a través de procesos de electrospinning. Las nanofibras presentaron morfología homogénea y continua, con diámetros que oscilaron entre 200-400 nm con EP-6-pululano y de 100-300 nm con EP-6-PEO. El análisis



térmico evidenció la compatibilidad entre polímeros y el aumento de la estabilidad térmica del EP-6 cuando se mezcla con pululano o PEO. Las nanofibras obtenidas podrían utilizarse para la encapsulación de moléculas bioactivas o en el desarrollo de productos dérmicos.

### Biorrefinería de la biomasa verde en el cultivo de yaca

Las preocupaciones ambientales, la escasez de recursos y la demanda de productos renovables y de origen biológico son los impulsores de la biorrefinería. La biorrefinería transforma la biomasa (residuos agrícolas, subproductos forestales o algas) en una gama de productos valiosos (biocombustibles, bioplásticos y biomateriales) que conciben un futuro más verde y sostenible. El uso de subproductos agroindustriales son la base para la obtención de ingredientes en los sectores alimentario y no alimentario (Wagh *et al.*, 2024). En ese contexto, la extracción de CAVB y proteínas de la biomasa verde de yaca podría integrarse al procesamiento en cascada de la biorrefinería (Figura 3), es decir, un proceso secuencial que permita la obtención de diversos productos biológicos.



**Figura 3.** Posible integración del concepto de biorrefinería integral de la hoja de yaca. **Fuente:** Propia.

Un proceso optimizado de la biomasa verde podría partir de la obtención de la harina. A partir de la harina realizar extracciones por métodos emergentes y con disolventes orgánicos para obtener CAVB en el primer paso. Además de obtener CAVB, este proceso servirá como una etapa de purificación al eliminar gran cantidad de pigmentos



que podrían interferir con la extracción de proteínas en la siguiente etapa (Zhang *et al.*, 2015). Consecutivamente, el residuo de la extracción de CAVB se sometería a condiciones alcalinas y métodos de extracción emergentes para obtener proteínas de uso alimentario. En el grupo de investigación del Instituto Tecnológico de Tepic, hasta el momento, se ha realizado la extracción de CAVB y proteínas de forma secuencial a nivel laboratorio. Sin embargo, el residuo generado de la extracción proteica, constituido principalmente por lignocelulosa, podría ser usado para procesos de hidrólisis con álcalis a temperaturas superiores a 100 °C para liberar monosacáridos y producir bioetanol (Zhang *et al.*, 2015). Para llegar a esto, aún es necesario evaluar la idoneidad y factibilidad de este residuo y continuar con la obtención de bioetanol e integrar todas las etapas de extracción. Además, se requiere encontrar la logística adecuada para la recolección y procesamiento de la biomasa verde con miras a un escalamiento industrial.

### **Conclusiones**

La biomasa verde y el látex son subproductos agroindustriales del cultivo de yaca muy poco explorados. Sin embargo, la caracterización de estos a través de tecnologías emergentes ha demostrado su viabilidad para obtener de forma sostenible CAVB, proteínas, péptidos y poliisoprenoides con gran aplicabilidad en la industria alimentaria, ya sea en forma de emulsionantes, antioxidantes, antimicrobianos o materiales poliméricos. Hasta ahora los estudios realizados indican claramente el potencial de todos los compuestos derivados de estos subproductos. Esto contribuye a que económicamente sean más atractivos para los productores, al mismo tiempo fomenta la gestión de residuos agroindustriales y la economía circular. Sin duda alguna, aún se pueden explorar otras propiedades de los compuestos encontrados hasta ahora con la finalidad de ampliar su aplicación. Sin embargo, los hallazgos podrían sentar la base para realizar el aprovechamiento integral de subproductos en otros cultivos de importancia económica en México.

### **Conflicto de intereses**

Los autores declaran que la investigación se realizó en ausencia de cualquier relación comercial o financiera que pudiera interpretarse como un potencial conflicto de interés.

### **Financiamiento**

Investigaciones realizadas en el Instituto Tecnológico de Tepic referente a la biomasa verde del cultivo de yaca mencionadas en este artículo fueron financiadas por la red temática CYTED (Ciencia y Tecnología para el Desarrollo) con código 319RT0576.



## Agradecimientos

Los autores agradecen a los propietarios del huerto “Tierras Grandes” ubicado en Zacualpan, Compostela, Nayarit, México por la información proporcionada sobre el cultivo de yaca y por ayudar en el proceso de recolección de hojas y látex.

## Referencias

- Aguilar-Veloz, L. M., Calderón-Santoyo, M., Carvajal-Millan, E., Martínez-Robinson, K., & Ragazzo-Sánchez, J. A. (2022). Artocarpus heterophyllus Lam. leaf extracts added to pectin-based edible coating for *Alternaria* sp. control in tomato. *LWT*, 156, 113022. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.113022>
- Ayón-Macías, K. D., Castañeda-Andrade, A. J., Ragazzo-Sánchez, J. A., & Calderón-Santoyo, M. (2024). Application of nanofibers with jackfruit leaf extract via electrospinning to control phytopathogens in *Averrhoa carambola* L. *Polymer Bulletin*, 81(3), 2601–2626. <https://doi.org/10.1007/s00289-023-04815-4>
- Barros-Castillo, J. C., Calderón-Santoyo, M., Cuevas-Glory, L. F., Pino, J. A., & Ragazzo-Sánchez, J. A. (2021). Volatile profiles of five jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) cultivars grown in the Mexican Pacific area. *Food Research International*, 139. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109961>
- Barros-Castillo, J. C., Calderón-Santoyo, M., Cuevas-Glory, L. F., Calderón-Chiu, C., & Ragazzo-Sánchez, J. A. (2023). Contribution of glycosidically bound compounds to aroma potential of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.). *Flavour and Fragrance Journal*, 38(3), 193–203. <https://doi.org/10.1002/ffj.3730>
- Bhatia, L., Jha, H., Sarkar, T., & Sarangi, P. K. (2023). Food waste utilization for reducing carbon footprints towards sustainable and cleaner environment: A review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(3), 2318. <https://doi.org/10.3390/ijerph20032318>
- Brion-Espinoza, I. A., Iñiguez-Moreno, M., Ragazzo-Sánchez, J. A., Barros-Castillo, J. C., Calderón-Chiu, C., & Calderón-Santoyo, M. (2021). Edible pectin film added with peptides from jackfruit leaves obtained by high-hydrostatic pressure and pepsin hydrolysis. *Food Chemistry: X*, 12, 100170. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2021.100170>
- Calderón-Chiu, C., Calderón-Santoyo, M., Barros-Castillo, J. C., Díaz, J. A., & Ragazzo-Sánchez, J. A. (2022). Structural modification of Jackfruit Leaf protein concentrate by enzymatic hydrolysis and their effect on the emulsifier properties. *Colloids and Interfaces*, 6(4). <https://doi.org/10.3390/colloids6040052>
- Calderón-Chiu, C., Calderón-Santoyo, M., Damasceno-Gomes, S., & Ragazzo-Sánchez, J. A. (2021a). Use of jackfruit leaf (*Artocarpus heterophyllus* L.) protein hydrolysates as a stabilizer of the nanoemulsions loaded with extract-rich in



- pentacyclic triterpenes obtained from *Coccoloba uvifera* L. leaf. *Food Chemistry: X*, 12, 100138. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2021.100138>
- Calderón-Chiu, C., Calderón-Santoyo, M., Herman-Lara, E., & Ragazzo-Sánchez, J. A. (2021b). Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam) leaf as a new source to obtain protein hydrolysates: Physicochemical characterization, techno-functional properties and antioxidant capacity. *Food Hydrocolloids*, 112, 106319. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106319>
- Ceballos-Vázquez, D. M., Calderón-Santoyo, M., González-Cruz, E. M., Prieto, C., Lagarón, J. M., & Ragazzo-Sánchez, J. A. (2022). Fibers with polyisoprenes from Jackfruit latex (*Artocarpus heterophyllus* L.) by electrohydrodynamic processes: Fabrication and characterization. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 14(3), <https://doi.org/https://10.33263/BRIAC143.057>
- Chen, W., & Qiu, Y. (2003). Leaf protein's utilization status and its prospect. *Food Science (Chinese)*, 24(2), 158–161. <https://www.spkx.net.cn/EN/>
- Cruz-Cansino, N. del S., Ariza-Ortega, J. A., Alanís-García, E., Ramírez-Moreno, E., Velázquez-Estrada, R. M., Zafra-Rojas, Q. Y., Cervantes-Elizarrarás, A., Suárez-Jacobo, Á., & Delgado-Olivares, L. (2021). Optimal thermoultrasound processing of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) nectar: Physicochemical characteristics, antioxidant properties, microbial quality, and fatty acid profile comparison with pasteurized nectar. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(1). <https://doi.org/10.1111/jfpp.15029>
- Luna-Esquivel, G., Alejo-Santiago, G., Ramirez-Guerrero, L. G., & Arevalo-Gallarza, M. D. L. (2013). La yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.): Un fruto de exportación. *AgroProductividad*, 6(5), 65–70. <https://doi.org/http://dspace.uan.mx:8080/jspui/handle/123456789/784>
- Moreno-Nájera, L. C., Ragazzo-Sánchez, J. A., Gastón-Peña, C. R., & Calderón-Santoyo, M. (2020). Green technologies for the extraction of proteins from jackfruit leaves (*Artocarpus heterophyllus* Lam). *Food Science and Biotechnology*, 29(12), 1675–1684. <https://doi.org/10.1007/s10068-020-00825-4>
- 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, 100612. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2022.100612>
- Phiri, R., Rangappa, S. M., & Siengchin, S. (2024). Agro-waste for renewable and sustainable green production: A review. *Journal of Cleaner Production*, 434, 139989. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139989>





- 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). <https://doi.org/10.1002/app.52392>
- Resendiz-Vazquez, J. A., Ulloa, J. A., Urías-Silvas, J. E., Bautista-Rosales, P. U., Ramírez-Ramírez, J. C., Rosas-Ulloa, P., & González-Torres, L. (2017). Effect of high-intensity ultrasound on the technofunctional properties and structure of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) seed protein isolate. *Ultrasonics Sonochemistry*, 37, 436–444. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.01.042>
- Rohatgi, V., Challagulla, N. V., & Kumar, R. (2023). Sustainable conversion of agricultural waste to energy and high-value chemicals. En C. Mustansar Hussain, R. Naresh Bharagava, A. Kushwaha, & L. Goswami (eds.), *Bio-Based Materials and Waste for Energy Generation and Resource Management* (pp. 103–142). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91149-8.00007-7>
- Ruiz-Montañez, G., Calderón-Santoyo, M., Chevalier-Lucia, D., Picart-Palmade, L., Jimenez-Sánchez, D. E., & Ragazzo-Sánchez, J. A. (2019). Ultrasound-assisted microencapsulation of jackfruit extract in eco-friendly powder particles: characterization and antiproliferative activity. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 40(10), 1507–1515. <https://doi.org/10.1080/01932691.2019.1566923>
- Ruiz-Montañez, G., Ragazzo-Sanchez, J. A., Picart-Palmade, L., Calderón-Santoyo, M., & Chevalier-Lucia, D. (2017). Optimization of nanoemulsions processed by high-pressure homogenization to protect a bioactive extract of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam). *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 40, 35-41. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.10.020>
- Sarang, P. K., Srivastava, R. K., Singh, A. K., Sahoo, U. K., Prus, P., & Dziekański, P. (2023). The utilization of Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* L.) waste towards sustainable energy and biochemicals: The attainment of zero-waste technologies. *Sustainability*, 15(16), 12520. <https://doi.org/10.3390/su151612520>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2022). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> Date Accessed:2024-03-08
- Tenorio, A. T., Kyriakopoulou, K. E., Suarez-Garcia, E., van den Berg, C., & van der Goot, A. J. (2018). Understanding differences in protein fractionation from conventional crops, and herbaceous and aquatic biomass - Consequences for industrial use. *Trends in Food Science & Technology*, 71, 235–245. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.11.010>
- Vázquez-González, Y., Ragazzo-Sánchez, J. A., & Calderón-Santoyo, M. (2020). Characterization and antifungal activity of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*



- Lam.) leaf extract obtained using conventional and emerging technologies. *Food Chemistry*, 330, 127211. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127211>
- Vera-Salgado, J., Calderón-Chiu, C., Calderón-Santoyo, M., Barros-Castillo, J. C., López-García, U. M., & Ragazzo-Sánchez, J. A. (2022). Ultrasound-Assisted Extraction of *Artocarpus heterophyllus* L. Leaf Protein Concentrate: Solubility, Foaming, Emulsifying, and Antioxidant Properties of Protein Hydrolysates. *Colloids and Interfaces*, 6(4), 50. <https://doi.org/10.3390/colloids6040050>
- Wagh, M. S., S, S., Nath, P. C., Chakraborty, A., Amrit, R., Mishra, B., Mishra, A. K., & Mohanta, Y. K. (2024). Valorisation of agro-industrial wastes: Circular bioeconomy and biorefinery process – A sustainable symphony. *Process Safety and Environmental Protection*, 183, 708–725. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.01.055>
- Zhang, C., Sanders, J. P. M., Xiao, T. T., & Bruins, M. E. (2015). How does alkali aid protein extraction in green tea leaf residue: A basis for integrated biorefinery of leaves. *PLoS ONE*, 10(7), 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0133046>