

Residuos agroindustriales como fuente de nutrientes y compuestos fenólicos

Agroindustrial Residues as Sources of Nutrients and Phenolic Compounds

EPISTEMUS

ISSN: 2007-8196 (electrónico)

Norma Julieta Salazar-López ¹Salma A. Enríquez-Valencia ²Bagdí Shain Zuñiga Martínez ³Gustavo A. González-Aguilar ⁴

Recibido: 14 / 11 / 2022

Aceptado: 08 / 03 / 2023

Publicado: 31 / 03 / 2023

DOI: <https://doi.org/10.36790/epistemus.v17i34.265>

Autor de Correspondencia:

Gustavo A. González-Aguilar,

Correo: gustavo@ciad.mx

Resumen

El presente trabajo describe los nutrientes y compuestos fenólicos contenidos en diversos residuos agroindustriales (RAI). Los RAI pueden derivar en problemas que comprometen la alimentación y salud de las poblaciones más vulnerables si no son aprovechados adecuadamente. Por ello es importante crear alternativas que contribuyan a contrarrestar el problema, desde la producción de alimentos hasta la mesa del consumidor. Los RAI de frutas, verduras, cereales y oleaginosas contienen nutrientes y compuestos fenólicos que pueden ser benéficos a la salud debido a sus efectos antioxidantes, antiinflamatorios, antidiabéticos, entre otros. Los RAI podrían también ser aplicados en el desarrollo de alimentos, debido a sus características tecnofuncionales como la capacidad de actuar como agentes gelificantes, emulsificantes, estabilizantes y espesantes. De acuerdo con lo anterior, el empleo de RAI para un segundo uso es prometedor, sin embargo, aún quedan algunos retos por resolver, tales como el escalamiento y la optimización de su extracción.

Palabras clave: residuos de alimentos, nutrición, compuestos bioactivos.

Abstract

The present work describes the nutrients and phenolic compounds contained in diverse agroindustrial residues (AIR). The AIR could derive in problems that compromise the nutrition and health of the most vulnerable populations if they are not properly used. Therefore, it is important to create alternatives that contribute to counteract the problem, from food production to the consumer's table. AIR from fruits, vegetables, cereals and oilseeds contain nutrients and phenolic compounds that can be beneficial to health, due to their antioxidant, anti-inflammatory and antidiabetic effects, among others. The AIR could also be used in food development, due to their techno-functional characteristics such as the capability to act as gelling, emulsifying, stabilizing, and thickening agents. Accordingly, a second use of AIR is promising, however, there are still some challenges to be solved, such as process scaling and optimizing its extraction.

Keywords: food residues, nutrition, bioactive compounds.

¹ Dra. en Ciencias de Alimentos, Facultad de Medicina de Mexicali, Universidad Autónoma de Baja California, Dr. Humberto Torres Sanginés S/N, Centro Cívico, 21000 Mexicali, Baja California, México, njulietasl@yahoo.es, 0000-0002-8597-3455

² Química en Alimentos, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C., Carretera Gustavo Enrique Astiazarán

Rosas No. 46, Col. La Victoria, 83304 Hermosillo, Sonora, México, salma.enriquezv@gmail.com, 0000-0003-0048-7130.

³ Maestría en Ciencias, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C., Carretera Gustavo Enrique Astiazarán

Rosas No. 46, Col. La Victoria, 83304 Hermosillo, Sonora, México, shain.zuniga21@gmail.com, 0000-0001-5802-9859

⁴ Dr. en Tecnología de Alimentos, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C., Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas No. 46, Col. La Victoria, 83304 Hermosillo, Sonora, México, gustavo@ciad.mx, 0000-0002-7452-286X

INTRODUCCIÓN

La producción mundial de alimentos debe aumentar en un 60 % para 2050 para satisfacer las necesidades de la población [1]; sin embargo, si se continúa con el tipo de producción actual (lineal) en lugar de una economía circular, se generará una mayor cantidad de residuos agroindustriales (RAI). De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 1,300 millones de toneladas de los alimentos producidos son desechados anualmente a nivel mundial, lo que significa pérdidas del 30%, por lo que tales alimentos se convierten entonces en materia prima subutilizada y que podrían ser consumidos [2], [3].

Cuando no reciben un segundo uso, los RAI se convierten en problemas ambientales, económicos, de seguridad alimentaria y sostenibilidad, que comprometen la alimentación y salud de las poblaciones más vulnerables, debido a que estos restos generalmente terminan en vertederos. Es por ello que en búsqueda de soluciones, este tema fue incluido dentro de la Agenda de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible 2030; específicamente, a través de la meta 12.3 la cual establece que *“De aquí a 2030, reducir a la mitad el desperdicio de alimentos per cápita mundial en la venta al por menor y a nivel de los consumidores y reducir las pérdidas de alimentos en las cadenas de producción y suministro, incluidas las pérdidas posteriores a la cosecha”* [4].

Lo anterior con el objetivo de crear alternativas que contribuyan a contrarrestar la problemática de pérdida y desperdicio de alimentos, desde su producción en el cultivo hasta la mesa del consumidor. Por otro lado, la Comisión



Europea ha promovido la estrategia de implementación de la economía circular [5], bajo la cual, es prioritario convertir los RAI en un recurso para cerrar el ciclo, evitando que terminen en vertederos o sean incinerados con la subsecuente contaminación del medio ambiente [6].

Una de las estrategias para aprovechar los RAI es su incorporación a la línea de producción o usarlos en una segunda cadena de producción. Dentro de las posibles alternativas de su uso se encuentran la obtención de compuestos bioactivos o nutrientes, los cuales se pueden utilizar como ingredientes para la formulación de alimentos funcionales y nutraceuticos o con funcionalidad tecnológica (figura 1), además de otras opciones como fuentes de proteína alternativa, generación de energía, aplicaciones en industria farmacéutica y cosmética [7], [8].

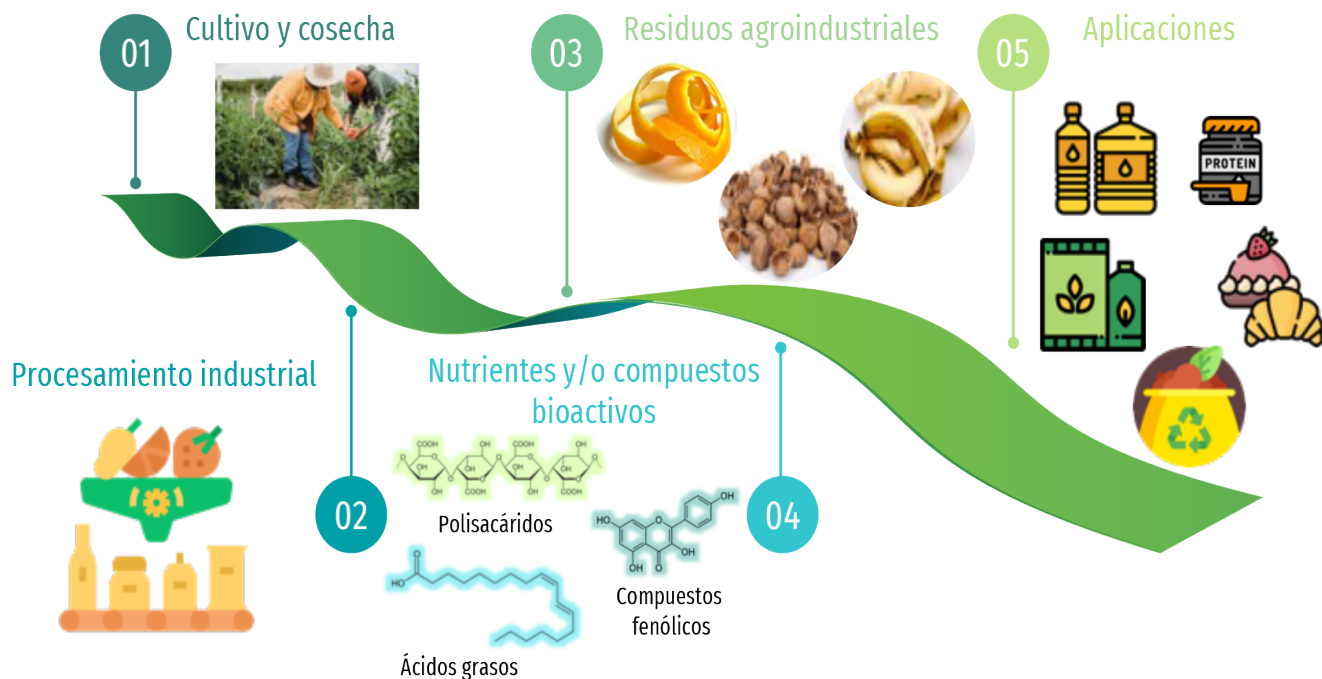


Figura 1. Ruta de la generación de residuos agroindustriales y aplicaciones potenciales.

Los alimentos con mayor producción de residuos son: (1) las raíces, frutas, hortalizas y semillas oleaginosas (40-50%), seguidos del (2) pescado (35%), cereales (30%), carnes y productos lácteos (20%) [2]. Con respecto a los primeros, sus restos comprenden cáscaras, semillas, tallos, bagazo, mazorcas, hojas, salvado, pastas de semillas de la extracción de aceites, entre otros. Dichos restos comúnmente son descartados durante las etapas de pre y post cosecha, almacenamiento, manejo, transporte, procesamiento o por el consumidor final. Este tipo de residuos son también los de mayor producción a nivel mundial y representan una fuente importante de contaminación ambiental [9], [10].

En cuanto a los restos del segundo grupo derivados del consumo y procesamiento de alimentos, estos pueden representar un alto porcentaje del peso del producto [11]; por ejemplo, del mango se descarta aproximadamente 20-64%, aguacate 26% [12] y piña 15% [13]. Sin embargo, existe evidencia de que estas partes descartadas contienen nutrientes remanentes, destacando lípidos, proteínas, carbohidratos, vitaminas, minerales y compuestos fenólicos. Es por ello que el presente trabajo describe los nutrientes y compuestos fenólicos presentes en RAI, incluyendo rendimientos, con el fin de presentar información relevante de las fuentes y vegetales más viables a ser empleadas para la recuperación de dichas moléculas.

CARBOHIDRATOS

La fibra dietaria pertenece al grupo de los carbohidratos, forma parte prominente en los RAI y se compone de fibra soluble en agua (pectinas, gomas, mucilagos) y fibra insoluble (celulosas y hemicelulosas). Estas moléculas son carbohidratos indigeribles que no pueden ser hidrolizados por las enzimas intestinales humanas, por lo que son utilizadas y fermentadas por la microbiota, los cuales producen metabolitos benéficos para la salud intestinal y general del consumidor [9]. Los RAI son considerados una buena fuente de fibra, por ejemplo, algunos contienen más del 50%, tales como la cáscara de aguacate con 96.85 g/100 g de la



cual 7.46% corresponde a fibra soluble y 89.39% de fibra insoluble [14]. Además, el bagazo de caña de azúcar con 80.7 g/100 g [15], bagazo de acerola con 77 g/100 g [16], cáscara de papa con 76.4 g/100 g [17] y bagazo de naranja con 51.68 g/100 g (44.29 % soluble y 7.39% insoluble) [18]. Particularmente, el bagazo de manzana, bagazo de pepino, bagazo de durazno y bagazo de pimiento rojo contienen cantidades significativas de fibra, con alrededor de 25.28, 22.48, 22.23 y 19.95 g/100 g, respectivamente, lo cual los hace atractivos como fuente para obtención de fibra.

La fibra de RAI cuenta con diversas aplicaciones potenciales, entre las que figuran su uso como prebiótico, ingrediente de alimentos funcionales, fuente de carbono para producción de enzimas y ácidos orgánicos, material base para mejorar la liberación y entrega de compuestos bioactivos en colon y generación de bioetanol [14]–[19]. Por ejemplo, la pectina, cuyo rendimiento es de 12-32 g/100g, puede ser empleada como aditivo alimentario, gelificante, espesante, estabilizante, para producir alimentos funcionales [20], [21].

Se encuentran también diversos tipos de polisacáridos que han mostrado capacidades tecno-funcionales y diversas bioactividades, destacando la antioxidante, prebiótica, antiinflamatoria, antiobesogénica, antidiabética, inmunomoduladora, hipolipidémica y hepatoprotectora [9], [22]. Por ejemplo, los residuos de alimentos fibrosos como tunas o alcachofas, son fuente de fructanos de tipo inulina [23], [24]. La inulina de la alcachofa en particular ha mostrado efecto prebiótico, al incrementar el crecimiento de cinco especies de *Lactobacillus* y cuatro de *Bifidobacterias*, por lo que se ha sugerido su aplicación en formulaciones simbióticas [24]. Algunos polisacáridos son también apreciados por el tipo de monosacáridos que se pueden obtener a partir de ellos para diversos usos industriales; tal es el caso del bagazo de citrón, el cual es fuente de polisacáridos ricos en arabinosa, ácido galacturónico y ramnosa. Los cuales se han sugerido para ser aplicados como aditivos alimentarios en emulsiones para reducir su viscosidad [25]. Los restos de piña son fuente de monosacáridos





con potencial de aplicación como ingredientes funcionales con actividad antioxidante [26].

Proteína

La fuente preferida de proteína por la mayoría de la población mundial es la carne; para el 2050 la demanda de carne se estima que será de aproximadamente 400 millones de toneladas [27]. Sin embargo, su sistema de producción se asocia a múltiples afectaciones ambientales, incluyendo emisiones de gases de efecto invernadero, alto uso de recursos como tierra y agua, etcétera [28], por lo que se buscan fuentes de proteína alternativas para satisfacer dicho incremento en su demanda. Dentro de las alternativas más relevantes presentadas por la comunidad científica actual se encuentran la carne cultivada, insectos, carne de origen vegetal, proteína unicelular y la recuperación de péptidos y proteína a partir de diversos residuos [29]. Se destacan las últimas tres opciones ya que pueden ser obtenidas a partir de RAI, mismos que pueden ser empleados para formular sustitutos de carne, así como recuperar derivados proteicos. Además, pueden utilizarse como sustrato para el crecimiento de microorganismos y la posterior obtención de proteína unicelular [8].

Para ser aprovechados como fuente de proteína, los restos agroindustriales deben contenerla en altas concentraciones, ser de calidad (de acuerdo a un perfil de aminoácidos completo o mayormente completo) y estar libre de tóxicos, toxinas o alérgenos [30]. Asimismo, son preferidas aquellas opciones en las que las moléculas sean relativamente fáciles de extraer o que requieran procesos lo más sencillos posibles, además de que permitan el uso de métodos de extracción eficientes y verdes para no generar más afectaciones ambientales.

Entre los residuos con mayor potencial de ser empleados para la obtención de proteínas se encuentran los provenientes de la industria de la soya, oleaginosas y cereales. Los procesos de obtención pueden ser: por extracción, por ácidos o bases, hidrotérmicos, líquidos iónicos, enzimáticos, alcohólicos, salinos, filtración con membranas y procesos de fermentación [31]. Por otra parte, los restos de frutas y verduras pueden ser fuentes de proteína de manera indirecta, al utilizarse como biomasa para la obtención

de proteína unicelular [27], [32]. Diversas investigaciones indican que el uso de RAI puede generar 30-45% de proteína a partir de hongos, 40-60% de algas, 45-55% de levaduras y 50-65% de bacterias; por lo que, el uso de microorganismos para la obtención de proteína se convierte en una alternativa prometedora [8], [33].

Lípidos

Las semillas de diversas frutas son desechadas por la industria agroalimentaria, sin embargo, éstas o sus constituyentes pueden ser empleadas en la elaboración de alimentos funcionales o ser materia prima para formulaciones en las industrias cosmética, farmacéutica y nutracéutica. La presente sección considera solamente lípidos presentes en semillas.

Las semillas acumulan lípidos como reservas energéticas, los cuales se aprovechan con fines nutricionales. Las semillas y sus aceites más comunes son lino, chía, sésamo, girasol y pepitas de calabaza, además constantemente surgen otras, como las de cáñamo y de diversas frutas [34].

Se sabe que las semillas contienen algunos lípidos nutricionalmente importantes, los cuales se utilizan como ingredientes para nutracéuticos y otras aplicaciones [35], siendo algunos de los más relevantes los ácidos grasos





esenciales (como los ácidos grasos omega-3), fitoesteroles, carotenoides, escualeno, fosfolípidos y glicolípidos [36].

Las semillas de frutas cuentan también con un alto valor nutricional, aunque su aprovechamiento como suplementos alimenticios u otros productos de relevancia nutricional es aún mínimo, debido en parte a que no están disponibles en el mercado o no son fácilmente accesibles como las semillas antes mencionadas. Su composición lipídica es variable, por ejemplo, el contenido de aceite es de 3.32 a 14.7 % en semillas de aguacate [37] y de 5.2 a 17.2 % en las de limón [38]; las semillas de arándano, fresa y tuna presentan < 10 %; mientras que las de albaricoque, melón, olivo, naranja, durazno y sandía cuentan con > 50 % [39], aunque la mayoría de las semillas de frutas cuentan con aproximadamente un tercio de aceite del peso total (seco). A pesar de esta variabilidad, la composición lipídica de varias semillas de frutas amerita estudios para establecer su impacto sobre la salud y nutrición humana, así como otras áreas que permitan promover su uso con fines alimentarios y otros. También es determinante que previo al empleo de las semillas como fuente de lípidos, se debe evaluar la presencia de compuestos tóxicos como glicósidos cianogénicos, así como taninos u otros constituyentes antifisiológicos que pueden ocasionar alergias, malnutrición o cuadros de diarrea. Por ello, se requieren mayores investigaciones que evalúen su potencial aplicación de manera segura.

Compuestos fenólicos (CF)

Los CF son metabolitos secundarios producidos por las plantas, por lo que su presencia es esperada en los RAI. Los CF pueden ejercer efectos que promueven mejoras a la salud, principalmente mediante mecanismos antioxidantes. Los CF son antioxidantes exógenos que juegan un papel sinérgico importante con el sistema antioxidante endógeno del consumidor, particularmente cuando éste es rebasado en el intento de modular el estrés oxidativo inducido por radicales libres. Es bajo esa condición cuando

sus efectos permiten prevenir ciertas patologías asociadas a fenómenos pro-oxidativos [40].

Además de su efecto antioxidante, los CF extraídos de RAI son capaces de promover la salud del consumidor mediante otras acciones, tales como su potencial antibesogénico [41], anti-inflamatorio [42], anticancerígeno, antiinflamatorio [12], entre otros. Estos efectos justifican porqué su obtención a partir de residuos se ha convertido en un campo de interés actual [43], cuyas aplicaciones se centran en la elaboración de alimentos funcionales y nutracéuticos [42].

Algunos RAI fuente de CF incluyen la cáscara de aguacate, la cáscara de mango, orujo de uva, residuo de café, residuo de la obtención de aceites, restos de frutas tropicales, entre otros [7], [12], [15], [41], [44], [45]. La tabla 1 resume algunos ejemplos de RAI como fuentes de CF (incluidos flavonoides, ácidos fenólicos y sus glucósidos, entre otros), así como de lípidos, proteínas y fibra descritos en las secciones anteriores y los rendimientos de cada uno.

Los restos de cítricos destacan por ser fuentes de CF como naringenina y naringina, los cuales poseen potencial antioxidante y hepatoprotector [46]. Algunos RAI son fuente de CF conjugados con azúcares, tales como el orujo de manzana (residuo obtenido del prensado de manzana para obtención de zumo, sidra), en el que se han reportado la presencia de quercetina-3-O-galactósido (3,137 mg/100 g), así como quercetina-3-O-ramnósido (2,605 mg/100 g) y florentina-2-O-glucósido (1,596 mg/100 g) [42].

Por otra parte, los aspectos positivos relacionados con el uso de bioactivos (por ejemplo, CF) en la nutrición de rumiantes [47], han aumentado el interés en el uso de residuos ricos en ellos como ingredientes dietéticos en beneficio de la nutrición animal, así como en la alimentación humana mencionado anteriormente [48]. Al respecto, el ácido ferúlico es un CF adicionado a dietas animales, que ha mostrado un efecto inmunomodulador y mejoras en la calidad de la carne [49].

Tabla 1. Rendimiento y aplicación de proteínas, carbohidratos, lípidos y compuestos fenólicos contenidos en residuos agroindustriales.

Residuo	Nutriente o compuesto bioactivo	Rendimiento	Aplicación/Beneficio	Ref.
Salvado de sésamo	Proteína	15 g/100 g	Potencial uso en alimentos funcionales Nutrición	[50]
Suero de industria de la soya	Proteína y enzimas	0.3-8.3 g/L	Biotecnología Biotransformación biológica/enzimática Nutrición	[31]
Cáscara de plátano, papa y pulpa de zanahoria	Proteína unicelular	Biomasa 12 g/ 100 g (proteína 47.7%)	Ingrediente para formulación de pan, Nutrición	[51]
Aguas residuales de cervecería	Proteína unicelular	$27 \times 10^5 \pm 0.42$ células/mL (64.9% de proteína)	Proteína con siete aminoácidos esenciales y capacidad antioxidante	[52]
Bagazo de tomate	Pectina	31.58 g/100 g	Ingrediente funcional en la industria alimentaria Agente gelificante, espesante y estabilizador	[21]
Cáscara de mango	Pectina-compuestos fenólicos	21.82 g/100 g y 2,426.67 mg EAG/100 g, respectivamente	Películas activas para alimentos susceptibles a oxidación lipídica. Actividad antioxidante y antimicrobiana	[45]
Cáscara de pitaya	Pectina	23.09 g/100 g	Agente gelificante, emulsificante, estabilizante y espesante en alimentos	[53]
Cáscara de nuez	Pectina	12.78 g/100 g	Ingrediente para la formulación de alimentos, cosméticos y fármacos. Capacidad emulsificante, de absorción de agua y aceite y actividad antioxidante	[54]
Corazón de piña	Polisacáridos compuestos por monosacáridos: galactosa, glucosa, arabinosa, manosa, ácido galacturónico, ribosa, xilosa, ramnosa y ácido glucurónico	16.7 g/100 g	Ingrediente de alimentos funcionales. Agente emulsificante y espumante con actividad antioxidante	[26]
Cáscara de arroz	Holocelulosa compuesta por: arabinosa 4.4 %, galactosa 1.4 %, glucosa 68.8 %, xilosa 25.6 %	78 g/100 g	Desarrollo de materiales de empaquetamiento de alimentos con propiedades mejoradas. Nanocristales de celulosa para el desarrollo de biopolímeros	[55]
Residuo de café molido	Polisacáridos compuestos por glucosa, manosa, galactosa y arabinosa	18.25 g/100 g	Industria alimentaria e industrias relacionadas Alta actividad antioxidante e hipoglicémica	[56]
Cáscara y pulpa de piña	Polisacáridos compuestos por arabinosa, galactosa, glucosa	0.8 g/100 g	Actividad antioxidante y gastroprotectora	[57]
Semillas, cáscara y pulpa de acerola		2.54 g/100 g		
Cáscara y pulpa de anacardo		7 g/100 g		
Semillas de granada (<i>Punica granatum</i> L.)	Aceite: Ácido púnicico: 72.8 % Ácido linoleico: 11 % Ácido palmítico: 5.8 % Ácido oleico: 5.4 % Ácido esteárico: 5.0 %	25.5 g/100 g	Aplicación tópica del aceite en piel de ratas Efectos quimiopreventivos contra cáncer de piel asociados a la inhibición de la ornitina descarboxilasa	[58]
Semillas de manzana variedad 'New Red Star'	Aceite: Ácido palmítico: 6.60% Ácido palmitoleico: 0.05 Ácido esteárico: 1.96 % Ácido oleico :38.55	24.32 g/100 g	Antimicrobiano a una concentración inhibitoria mínima de 0.3 mg/mL Inhibición de microorganismos de importancia alimentaria <i>Escherichia coli</i> , <i>Salmonella sp.</i> , <i>Bacillus subtilis</i>	[59]

Semillas de anón (<i>Annona squamosa</i>)	Aceite: ácido palmítico:9.92 %, ácido linoleico:20.49 %, ácido oleico: 56.50 %, ácido esteárico 9.14 %	22.6 g/100 g	Aplicación vía oral Inhibición del crecimiento de células tumorales H22 en ratones Kunming Disminución de la interleucina-6 (IL-6)	[60]
Semilla de melón (<i>Cucumis melo L. Inodorus</i>)	Aceite: ácidos grasos saturados 8.82 %, ácidos grasos monoinsaturados: 21.95 % y ácidos grasos poliinsaturados:68.22 %	34.1 g/100 g	Antiinflamatorio. Estudios <i>in vitro</i> Inhibición de 5-lipoxigenasa	[61]
Aguacate (<i>Persea americana</i>)	Ácido palmítico: 18.59 % Ácido palmitoleico: 5.0% Ácido esteárico: 1.5 % Ácido oléico: 49.8 % Ácido linoléico: 20.5 Ácido linolenico:2.4 %	3.2 g/100 g	Aplicación vía oral Inhibición del crecimiento de células de cáncer de colon y de carcinoma hepatocelular Freno del ciclo celular e inhibición del crecimiento de algunas células cancerosas a través de la estimulación de su apoptosis	[62]
Semillas de algodón	Aceite Ácido palmítico: 26.4 % Ácido palmitoleic: 0.66 % Ácido estearico: 3.3 % Ácido oleico: 21.7 % Ácido linoleico: 58.2 Ácido linolénico: 1.0 %	NR	Repelente y pesticida Repelente y altamente letal para ácaros del cocotero	[63]
Cáscara de plátano	Compuestos fenólicos 3,146 mg GAE/100 g Flavonoides totales 2,211 mg QE/100 g Actividad antioxidante (DPPH) 82.5 %		Extracción de compuestos bioactivos del polvo de cáscara de plátano Combatir las enfermedades causadas por radicales libres; Propiedades antidiabéticas	[64]
Cáscara de naranja	Ácido elágico 236 mg/100 g Catequina 222 mg/100 g Quercetina 206 mg/100 g		Fuente de carbono de <i>Aspergillus fumigatus</i> Industria alimentaria y farmacéutica Antioxidantes Antibacterianos Actividad anticancerígena	[65]
Pulpa de café	Ácido gálico 7.66 mg/100 g Vainillina 220.83 mg/100 g Catequina 2,443.21 mg/100 g Cumárico 15.64 mg/100 g Cafeico 11.78 mg/100 g Ferúlico 4.52 mg/100 g Actividad antioxidante 11.15 g AAEq./100 g		Extracción de polifenoles de pulpa de café Ayudar a disminuir la incidencia de enfermedades cardiovasculares, cáncer de colon, trastornos hepáticos, obesidad y diabetes	[41]
Orojo de manzana	Quercetina-3-O-galactósido 3137 mg/100 g Quercetina-3-O-ramnósido 2605 mg/100 g Florentina-2-O-glucósido 1596 mg/100 g		Suplementación y/o desarrollo de productos fortificados Propiedades antioxidantes y antivirales Antiinflamatorias	[42]
Orojo de uva	Antocianinas 612 mg/100 g Flavonoles 146 mg/100 g Ácido hidroxicinámico 130 mg/100 g Ácido hidroxibenzóico 330 mg/100 g Flavan-3-oles 1116 mg/100 g		Compostaje de la biomasa de orojo de uva Reguladores del crecimiento para muchas plantas de cultivo vascular, estimulando la absorción de macronutrientes minerales	[66]

NR. No reportado

CONCLUSIÓN

Las evidencias indican que los RAI son, en general, fuentes de nutrientes y compuestos fenólicos, con porcentajes de recuperación superiores al 50%, como en el caso de las fibras. Esto sugiere su potencial para ser aplicados en la producción de alimentos, debido también a sus características tecnofuncionales, entre las que destacan su capacidad gelificante, emulsificante, estabilizante y espesante, así como su utilización como biomasa para la producción de proteína. Los compuestos fenólicos recu-

perados de restos de alimentos han mostrado potenciales aplicaciones en la salud, debido a sus efectos antioxidante, anticancerígeno, antiinflamatorio, antidiabético, entre otros. Es por ello que, el empleo de residuos de alimentos para un segundo uso como parte de la economía circular, puede dar alternativas viables para el desarrollo de nuevos alimentos innovadores y nutracéuticos. Sin embargo, aún quedan algunos retos por resolver, tales como el escalamiento y la optimización de los distintos procesos de extracción, que varía con las características y composición del residuo agroalimentario.

RECONOCIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) a través del proyecto “De los subproductos alimenticios de vegetales a nuevos productos de valor agregado, el papel de la tecnología en la bioeconomía” (320351) y PROTEO Alimentaria por aportar nueva información sobre la producción de proteína unicelular. Así como por el proyecto “Revalorización de residuos de alimentos como sustrato para el cultivo de *Lactobacillus rhamnosus* y *Saccharomyces boulardii* con potencial aplicación como probiótico, posbiótico y fuente de proteína bioaccesible” de la Universidad Autónoma de Baja California. Salma A. Enríquez-Valencia, agradece a CONACYT por la beca recibida para la obtención del grado de Maestría en Ciencias. B. Shain Zuñiga-Martínez agradece a CONACYT por la beca recibida para la obtención del grado de Doctorado en Ciencias.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. C. Boliko, “FAO and the Situation of Food Security and Nutrition in the World,” *J. Nutr. Sci. Vitaminol.* (Tokyo), vol. 65, no. Supplement, pp. S4–S8, Oct. 2019, doi: 10.3177/jnsv.65.S4.
- [2] Raúl Benítez, “Pérdidas y desperdicios de alimentos en América Latina y el Caribe,” Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, 2015. <https://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/239393/>
- [3] Z. Usmani et al., “Minimizing hazardous impact of food waste in a circular economy – Advances in resource recovery through green strategies,” *J. Hazard. Mater.*, vol. 416, p. 126154, Aug. 2021, doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.126154.
- [4] FAO, “Objetivos de Desarrollo Sostenible,” 2015. <https://www.fao.org/sustainable-development-goals/overview/es/>
- [5] A. Fernandez et al., “Clean recovery of phenolic compounds, pyro-gasification thermokinetics, and bioenergy potential of spent agro-industrial bio-wastes,” *Biomass Convers. Biorefinery*, Jan. 2022, doi: 10.1007/s13399-021-02197-z.
- [6] P. Leite, C. Silva, J. M. Salgado, and I. Belo, “Simultaneous production of lignocellulolytic enzymes and extraction of antioxidant compounds by solid-state fermentation of agro-industrial wastes,” *Ind. Crops Prod.*, vol. 137, pp. 315–322, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.indcrop.2019.04.044.
- [7] B. H. Belmonte-Herrera et al., “Lesser-Consumed Tropical Fruits and Their by-Products: Phytochemical Content and Their Antioxidant and Anti-Inflammatory Potential,” *Nutrients*, vol. 14, no. 17, p. 3663, Sep. 2022, doi: 10.3390/nu14173663.
- [8] N. J. Salazar-López et al., “Single-Cell Protein Production as a Strategy to Reincorporate Food Waste and Agro By-Products Back into the Processing Chain,” p. 13, 2022.
- [9] R. Bhat, “Sustainability challenges in the valorization of agri-food wastes and by-products,” in *Valorization of Agri-Food Wastes and By-Products: Recent Trends, Innovations and Sustainability Challenges*, R. Bhat, Ed. 2021, pp. 1–28. doi: 10.1016/B978-0-12-824044-1.00042-8.
- [10] N. Jiménez-Moreno, I. Esparza, F. Bimbela, L. M. Gandía, and C. Ancín-Azpilicueta, “Valorization of selected fruit and vegetable wastes as bioactive compounds: Opportunities and challenges,” *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, vol. 50, no. 20, pp. 2061–2108, 2020, doi: 10.1080/10643389.2019.1694819.
- [11] C. A. Can-Cauch et al., “Tropical fruit peel powders as functional ingredients: Evaluation of their bioactive compounds and antioxidant activity,” *J. Funct. Foods*, vol. 37, pp. 501–506, Oct. 2017, doi: 10.1016/j.jff.2017.08.028.
- [12] N. J. Salazar-López et al., “Avocado fruit and by-products as potential sources of bioactive compounds,” *Food Res. Int.*, vol. 138, p. 109774, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.foodres.2020.109774.
- [13] V. Saraswaty, C. Risdian, I. Primadona, R. Andriyani, D. G. S. Andayani, and T. Mozef, “Pineapple peel wastes as a potential source of antioxidant compounds,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 60, p. 012013, Mar. 2017, doi: 10.1088/1755-1315/60/1/012013.
- [14] N. J. Salazar-López, M. L. Salmerón-Ruiz, J. A. Domínguez-Avila, M. A. Villegas-Ochoa, J. F. Ayala-Zavala, and G. A. González-Aguilar, “Phenolic compounds from ‘Hass’ avocado peel are retained in the indigestible fraction after an in vitro gastrointestinal digestion,” *J. Food Meas. Charact.*, vol. 15, no. 2, pp. 1982–1990, Apr. 2021, doi: 10.1007/s11694-020-00794-6.
- [15] D. I. L. Gil-López et al., “Production of dietary fibers from sugarcane bagasse and sugarcane tops using microwave-assisted alkaline treatments,” *Ind. Crops Prod.*, vol. 135, pp. 159–169, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.indcrop.2019.04.042.
- [16] S. A. Monteiro, M. M. Barbosa, F. F. Maia da Silva, R. F. Bezerra, and K. da Silva Maia, “Preparation, phytochemical and bromatological evaluation of flour obtained from the acerola (*Malpighia punicifolia*) agroindustrial residue with potential use as fiber source,” *Lwt*, vol. 134, pp. 1–7, 2020, doi: 10.1016/j.lwt.2020.110142.
- [17] P. D. Pathak, S. A. Mandavgane, N. M. Puranik, S. J. Jambhulkar, and B. D. Kulkarni, “Valorization of potato peel: a biorefinery approach,” *Crit. Rev. Biotechnol.*, vol. 38, no. 2, pp. 218–230, Feb. 2018, doi: 10.1080/07388551.2017.1331337.
- [18] P. D. G. Pacheco, M. A. Baller, F. M. Peres, É. de M. Ribeiro, T. C. Putarov, and A. C. Carciofi, “Citrus pulp and orange fiber as dietary fiber sources for dogs,” *Anim. Feed Sci. Technol.*, vol. 282, p. 115123, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.anifeedsci.2021.115123.
- [19] J. Mármol et al., “Valorization of agro-food by-products and their potential therapeutic applications,” *Food Bioprod. Process.*, vol. 128, pp. 247–258, Jul. 2021, doi: 10.1016/j.fbp.2021.06.003.
- [20] M. Kazemi, F. Khodaiyan, M. Labbafi, and S. S. Hosseini, “Ultrasonic and heating extraction of pistachio by-product pectin: physicochemical, structural characterization and functional measurement,” *J. Food Meas. Charact.*, vol. 14, no. 2, pp. 679–693, Apr. 2020, doi: 10.1007/s11694-019-00315-0.
- [21] P. Lasunon and N. Sengkhamparn, “Effect of ultrasound-assisted, microwave-assisted and ultrasound-microwave-assisted extraction of pectin extraction from industrial tomato waste,” *Molecules*, vol. 27, no. 1157, 2022.





[22] L. X. López-Martínez, S. A. Enríquez-Valencia, and G. González Aguilar, "Tropical fruits and by-products as a potential source of bioactive polysaccharides: Bioactive polysaccharides from tropical fruits," *Biotecnia*, vol. 23, no. 3, Oct. 2021, doi: 10.18633/biotecnia.v23i3.1450.

[23] I. Benítez-Cortés, A. Pérez-Martínez, R. Álvarez, O. Collado-García, and Y. González-Díaz, "Perspectivas de la producción de inulina a partir de la tuna (*Opuntia ficus-indica*)," *Tecnol. Quím.*, vol. 35, no. 2, p. 12, May 2015.

[24] Z. Zeaiter, M. E. Regonesi, S. Cavini, M. Labra, G. Sello, and P. Di Gennaro, "Extraction and Characterization of Inulin-Type Fructans from Artichoke Wastes and Their Effect on the Growth of Intestinal Bacteria Associated with Health," *BioMed Res. Int.*, vol. 2019, pp. 1–8, Sep. 2019, doi: 10.1155/2019/1083952.

[25] R. Fan, G. Mao, H. Xia, and J. Zeng, "Chemical elucidation and rheological properties of a pectic polysaccharide extracted from *Citrus medica* L. fruit residues by gradient ethanol precipitation," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 198, pp. 46–53, Feb. 2022, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2021.12.131.

[26] M. Hadidi et al., "Polysaccharides from pineapple core as a canning by-product: Extraction optimization, chemical structure, antioxidant and functional properties," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 163, pp. 2357–2364, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.09.092.

[27] A. Ritala, S. T. Häkkinen, M. Toivari, and M. G. Wiebe, "Single Cell Protein—State-of-the-Art, Industrial Landscape and Patents 2001–2016," *Front. Microbiol.*, vol. 8, p. 2009, Oct. 2017, doi: 10.3389/fmicb.2017.02009.

[28] S. Smetana, A. Mathys, A. Knoch, and V. Heinz, "Meat alternatives: life cycle assessment of most known meat substitutes," *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 20, no. 9, pp. 1254–1267, Sep. 2015, doi: 10.1007/s11367-015-0931-6.

[29] C. van der Weele, P. Feindt, A. Jan van der Goot, B. van Mierlo, and M. van Boekel, "Meat alternatives: an integrative comparison," *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 88, pp. 505–512, Jun. 2019, doi: 10.1016/j.tifs.2019.04.018.

[30] H. Kamal, C. F. Le, A. M. Salter, and A. Ali, "Extraction of protein from food waste: An overview of current status and opportunities," *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, vol. 20, no. 3, pp. 2455–2475, May 2021, doi: 10.1111/1541-4337.12739.

[31] M. Peydayesh, M. Bagnani, W. L. Soon, and R. Mezzenga, "Turning Food Protein Waste into Sustainable Technologies," *Chem. Rev.*, p. acs.chemrev.2c00236, Jun. 2022, doi: 10.1021/acs.chemrev.2c00236.

[32] A. Tropea, A. Ferracane, A. Albergamo, A. G. Potorti, V. Lo Turco, and G. Di Bella, "Single Cell Protein Production through Multi Food-Waste Substrate Fermentation," *Fermentation*, vol. 8, no. 3, p. 91, Feb. 2022, doi: 10.3390/fermentation8030091.

[33] P. Thiviya, A. Gamage, R. Kapilan, O. Merah, and T. Madhujith,

"Single Cell Protein Production Using Different Fruit Waste: A Review," *Separations*, vol. 9, no. 7, p. 178, Jul. 2022, doi: 10.3390/separations9070178.

[34] B. Matthäus and M. Musazcan Özcan, "Oil Content, Fatty Acid Composition and Distributions of Vitamin-E-Active Compounds of Some Fruit Seed Oils," *Antioxidants*, vol. 4, no. 1, pp. 124–133, Jan. 2015, doi: 10.3390/antiox4010124.

[35] K. L. Alharbi, J. Raman, and H.-J. Shin, "Date Fruit and Seed in Nutricosmetics," *Cosmetics*, vol. 8, no. 3, p. 59, Jun. 2021, doi: 10.3390/cosmetics8030059.

[36] P. Górnaś and M. Rudzińska, "Seeds recovered from industry by-products of nine fruit species with a high potential utility as a source of unconventional oil for biodiesel and cosmetic and pharmaceutical sectors," *Ind. Crops Prod.*, vol. 83, pp. 329–338, May 2016, doi: 10.1016/j.indcrop.2016.01.021.

[37] R. G. Araújo, R. M. Rodriguez-Jasso, H. A. Ruiz, M. M. E. Pintado, and C. N. Aguilar, "Avocado by-products: Nutritional and functional properties," *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 80, pp. 51–60, Oct. 2018, doi: 10.1016/j.tifs.2018.07.027.

[38] E. Yilmaz and B. A. Güneşer, "Cold pressed versus solvent extracted lemon (*Citrus limon* L.) seed oils: yield and properties," *J. Food Sci. Technol.*, vol. 54, no. 7, pp. 1891–1900, Jun. 2017, doi: 10.1007/s13197-017-2622-8.

[39] E. Alves, A. Simoes, and M. R. Domingues, "Fruit seeds and their oils as promising sources of value-added lipids from agro-industrial byproducts: oil content, lipid composition, lipid analysis, biological activity and potential biotechnological applications," *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, vol. 61, no. 8, pp. 1305–1339, Apr. 2021, doi: 10.1080/10408398.2020.1757617.

[40] I. M. Martins et al., "Tannase enhances the anti-inflammatory effect of grape pomace in Caco-2 cells treated with IL-1 β ," *J. Funct. Foods*, vol. 29, pp. 69–76, Feb. 2017, doi: 10.1016/j.jff.2016.12.011.

[41] V. Manasa, A. Padmanabhan, and K. A. Anu Appaiah, "Utilization of coffee pulp waste for rapid recovery of pectin and polyphenols for sustainable material recycle," *Waste Manag.*, vol. 120, pp. 762–771, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.wasman.2020.10.045.

[42] P. A. R. Fernandes et al., "Apple Pomace Extract as a Sustainable Food Ingredient," *Antioxidants*, vol. 8, no. 6, p. 189, Jun. 2019, doi: 10.3390/antiox8060189.

[43] K. Kumar, A. N. Yadav, V. Kumar, P. Vyas, and H. S. Dhaliwal, "Food waste: a potential bioresource for extraction of nutraceuticals and bioactive compounds," *Bioresour. Bioprocess.*, vol. 4, no. 1, p. 18, Dec. 2017, doi: 10.1186/s40643-017-0148-6.

[44] Á. Casanova-Martí et al., "Grape seed proanthocyanidins influence gut microbiota and enteroendocrine secretions in female rats," *Food Funct.*, vol. 9, no. 3, pp. 1672–1682, 2018, doi: 10.1039/C7FO02028G.

[45] A. C. B. Ribeiro et al., "From mango by-product to food packaging: Pectin-phenolic antioxidant films from mango peels," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 193, pp. 1138–1150, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2021.10.131.

[46] N. M. Ammar et al., "Protective Effects of Naringenin from *Citrus sinensis* (var. Valencia) Peels against CCl₄-Induced Hepatic and Renal Injuries in Rats Assessed by Metabolomics, Histological and Biochemical Analyses," *Nutrients*, vol. 14, no. 4, p. 841, Feb. 2022, doi: 10.3390/nu14040841.

[47] B. R. Min, T. N. Barry, G. T. Attwood, and W. C. McNabb, "The effect of condensed tannins on the nutrition and health of ruminants fed fresh temperate forages: a review," *Anim. Feed Sci. Technol.*, vol. 106, no. 1–4, pp. 3–19, Apr. 2003, doi: 10.1016/S0377-8401(03)00041-5.

[48] S. A. Salami et al., "Sustainability of feeding plant by-products: A review of the implications for ruminant meat production," *Anim. Feed Sci. Technol.*, vol. 251, pp. 37–55, May 2019, doi: 10.1016/j.anifeedsci.2019.02.006.

[49] K. M. Valadez-García et al., "Ferulic acid in animal feeding:



Mechanisms of action, productive benefits, and future perspectives in meat production," *Food Biosci.*, vol. 43, p. 101247, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.fbio.2021.101247.

A. Görgüç, P. Özer, and F. M. Yılmaz, "Microwave-assisted enzymatic extraction of plant protein with antioxidant compounds from the food waste sesame bran: Comparative optimization study and identification of metabolomics using LC/Q-TOF/MS," *J. Food Process. Preserv.*, vol. 44, no. 1, Jan. 2020, doi: 10.1111/jfpp.14304.

- [51] M. K. I. Khan, M. Asif, Z. U. Razzaq, A. Nazir, and A. A. Maan, "Sustainable food industrial waste management through single cell protein production and characterization of protein enriched bread," *Food Biosci.*, vol. 46, p. 101406, Apr. 2022, doi: 10.1016/j.fbio.2021.101406.
- [52] S. M. Yap, J. C.-W. Lan, P. E. Kee, H. S. Ng, and H. S. Yim, "Enhancement of protein production using synthetic brewery wastewater by *Haematococcus pluvialis*," *J. Biotechnol.*, vol. 350, pp. 1–10, May 2022, doi: 10.1016/j.jbiotec.2022.03.008.
- [53] B. L. Chua, S. F. Tang, A. Ali, and Y. H. Chow, "Optimisation of pectin production from dragon fruit peels waste: drying, extraction and characterisation studies," *SN Appl. Sci.*, vol. 2, no. 4, p. 621, Apr. 2020, doi: 10.1007/s42452-020-2415-y.
- [54] K. Asgari, M. Labbafi, F. Khodaiyan, M. Kazemi, and S. S. Hosseini, "High-methylated pectin from walnut processing wastes as a potential resource: Ultrasound assisted extraction and physicochemical, structural and functional analysis," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 152, pp. 1274–1282, Jun. 2020, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.10.224.
- [55] I. Benito-González, M. del M. Ortiz-Gimeno, A. López-Rubio, A. Martínez-Abad, A. Garrido-Fernández, and M. Martínez-Sanz, "Sustainable starch biocomposite films fully-based on white rice (*Oryza sativa*) agroindustrial by-products," *Food Bioprod. Process.*, vol. 136, pp. 47–58, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.fbp.2022.09.008.
- [56] A. T. Getachew, Y. J. Cho, and B. S. Chun, "Effect of pretreatments on isolation of bioactive polysaccharides from spent coffee grounds using subcritical water," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 109, pp. 711–719, Apr. 2018, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.12.120.
- [57] L. Bruno de Sousa Sabino et al., "Polysaccharides from acerola, cashew apple, pineapple, mango and passion fruit co-products: Structure, cytotoxicity and gastroprotective effects," *Bioact. Carbohydr. Diet. Fibre*, vol. 24, p. 100228, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.bcdf.2020.100228.
- [58] J. J. Hora, E. R. Maydew, E. P. Lansky, and C. Dwivedi, "Chemopreventive Effects of Pomegranate Seed Oil on Skin Tumor Development in CD 1 Mice," *J. Med. Food*, vol. 6, no. 3, pp. 157–161, Oct. 2003, doi: 10.1089/10966200360716553.

[59] H.-L. Tian, P. Zhan, and K.-X. Li, "Analysis of components and study on antioxidant and antimicrobial activities of oil in apple seeds," *Int. J. Food Sci. Nutr.*, vol. 61, no. 4, pp. 395–403, Jun. 2010, doi: 10.3109/09637480903535772.

[60] Y. Chen et al., "Antitumor activity of *Annona squamosa* seed oil," *J. Ethnopharmacol.*, vol. 193, pp. 362–367, Dec. 2016, doi: 10.1016/j.jep.2016.08.036.

[61] N. Bouazzaoui, J. Bouajila, S. Camy, J. K. Mulengi, and J.-S. Condoret, "Fatty acid composition, cytotoxicity and anti-inflammatory evaluation of melon (*Cucumis melo* L. *Inodorus*) seed oil extracted by supercritical carbon dioxide," *Sep. Sci. Technol.*, vol. 53, no. 16, pp. 2622–2627, Nov. 2018, doi: 10.1080/01496395.2018.1464579.

[62] M. I. Alkhalaf, W. S. Alansari, E. A. Ibrahim, and M. E. A. Elhalwagy, "Anti-oxidant, anti-inflammatory and anti-cancer activities of avocado (*Persea americana*) fruit and seed extract," *J. King Saud Univ. - Sci.*, vol. 31, no. 4, pp. 1358–1362, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.jksus.2018.10.010.

[63] E. Rojo-Gutiérrez, J. J. Buenrostro-Figueroa, L. X. López-Martínez, D. R. Sepúlveda, and R. Baeza-Jiménez, "Biotechnological Potential of Cottonseed, a By-Product of Cotton Production," in *Valorisation of Agro-industrial Residues – Volume II: Non-Biological Approaches*, Z. A. Zakaria, C. N. Aguilar, R. D. Kusumaningtyas, and P. Binod, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2020, pp. 63–82. doi: 10.1007/978-3-030-39208-6_3.

[64] F. Chaudhry et al., "Extraction and Evaluation of the Antimicrobial Activity of Polyphenols from Banana Peels Employing Different Extraction Techniques," *Separations*, vol. 9, no. 7, p. 165, Jun. 2022, doi: 10.3390/separations9070165.

[65] L. Sepúlveda et al., "Ellagic acid production using polyphenols from orange peel waste by submerged fermentation," *Electron. J. Biotechnol.*, vol. 43, pp. 1–7, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.ejbt.2019.11.002.

[66] M. Perra et al., "Combining Different Approaches for Grape Pomace Valorization: Polyphenols Extraction and Composting of the Exhausted Biomass," *Sustainability*, vol. 14, no. 17, p. 10690, Aug. 2022, doi: 10.3390/su141710690.

Cómo citar este artículo:

SALAZAR-LÓPEZ, N. J., ENRÍQUEZ-VALENCIA, S. A., ZUÑIGA MARTÍNEZ, B. S., & GUSTAVO A. GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A. (2023). Residuos agroindustriales como fuente de nutrientes y compuestos fenólicos. *EPISTEMUS*, 17(34).

<https://doi.org/10.36790/epistemus.v17i34.265>