

## Obtaining Bioactive Compounds From Agro-Industrial Waste: A Review

### Obtención de Compuestos Bioactivos a Partir de Residuos Agroindustriales: Una Revisión

SOTO T, E. P.<sup>1</sup>, CABALLERO P, L. A.<sup>2</sup> ABRIL F, J.L.<sup>3</sup>

**<sup>1</sup>M.Sc. PhD© Erika Paola Soto Toloza.**

Programa de Ingeniería de Alimentos, Grupo de Investigaciones GIBA. Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Universidad de Pamplona, Tel: 5685303 (ext. 140) e-mail:

[erika.soto@unipamplona.edu.co](mailto:erika.soto@unipamplona.edu.co)

<https://orcid.org/0009-0003-9077-0163>

**<sup>2</sup>Msc. Dra.C. Luz Alba Caballero Pérez.**

Programa de Ingeniería de Alimentos, Grupo de Investigaciones GIBA. Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Universidad de Pamplona, Tel: 5685303 e-mail: [luzcaballero@unipamplona.edu.co](mailto:luzcaballero@unipamplona.edu.co)

<http://orcid.org/0000-0003-3591-5828>

**<sup>3</sup>M.Sc. Jorge Leonel Abril Florez.**

Red Tecnoparque, Nodo Cúcuta, Servicio Nacional de Aprendizaje, SENA, Tel: 75829990, e-mail: [jqjorgeabril@gmail.com](mailto:jqjorgeabril@gmail.com).

#### Universidad de Pamplona

Ciudadela Universitaria. Km1 Via Bucaramanga, Departamento de Alimentos, Ingeniería de Alimentos, Colombia.

Tel: 57-7-5685303, Fax: 57-7-5685303 Ext. 140, Norte de Santander, Colombia.

Tel: 57-7-5685303, Fax: 57-7-5685303 Ext. 140

E-mail: [erika.soto@unipamplona.edu.co](mailto:erika.soto@unipamplona.edu.co), [luzalbacaballero@unipamplona.edu.co](mailto:luzalbacaballero@unipamplona.edu.co)

**Recibido: 12/10/2024 / Aceptado: 25/02/2025**

#### Resumen

Los compuestos bioactivos podrían ofrecer beneficios para la salud que van más allá de su valor nutricional y están incorporados o presentes de manera original en las matrices alimentarias. No obstante, los componentes de los compuestos bioactivos se encuentran mayormente en los subproductos del sector agroindustrial, generando un gran volumen de residuos agroindustriales a lo largo de la cadena de suministro de alimentos, y si no se gestionan adecuadamente, pueden representar una amenaza para el medio ambiente, la rentabilidad y la adecuada distribución nutricional de alimentos a los consumidores. Por lo tanto, es importante desarrollar métodos para procesar estos subproductos agroindustriales, incluidos los biológicos. Estos pueden mejorar la recuperación de compuestos bioactivos, facilitando su uso en las industrias alimentaria y

farmacéutica. En comparación con los procesos no biológicos, los biológicos tienen más ventajas, incluidos la producción de extractos bioactivos de alta calidad, así como la extracción de compuestos menos tóxicos y más respetuosos con el medio ambiente. En las metodologías biológicas, la obtención por medio de enzimas, así como la fermentación, se destacan como claves para la producción de bioactivos a partir de diversos residuos agroindustriales. En este artículo, se busca describir en detalle los bioactivos más relevantes y abundantes en los subproductos agroindustriales, así como las metodologías biológicas para su extracción. Igualmente, aporta información para mejorar el aprovechamiento de estos bioactivos, especialmente en la alimentaria y farmacéutica.

**Palabras claves:** Compuestos bioactivos, agroindustrial, beneficios a la salud.

### Abstract

Bioactive compounds may offer health benefits beyond their nutritional value and are incorporated or originally present in food matrices. However, components of bioactive compounds are mostly found in by-products of the agro-industrial sector, generating a large volume of agro-industrial waste along the food supply chain, and if not properly managed, can represent a threat to the environment, profitability and the proper nutritional delivery of food to consumers. Therefore, it is important to develop methods to process these agro-industrial by-products, including biological ones. These can improve the recovery of bioactive compounds, facilitating their use in the food and pharmaceutical industries. Compared to non-biological processes, biological ones have more advantages, including the production of high-quality bioactive extracts, as well as the extraction of less toxic and more environmentally friendly compounds. In biological methodologies, obtaining bioactive substances through enzymes, as well as fermentation, are highlighted as key for the production of bioactive substances from various agro-industrial residues. This article seeks to describe in detail the most relevant and abundant bioactive substances in agro-industrial by-products, as well as the biological methodologies for their extraction. It also provides information to improve the use of these bioactive substances, especially in the food and pharmaceutical industries.

**Keywords:** Bioactive compounds, agroindustrial, health benefits.

## 1. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda global de alimentos junto con las actividades agrícolas en aumento ha llevado a un aumento significativo en la generación de residuos agroindustriales. Asimismo la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en el 2025, proyectó para el año 2050 un aumento del 60% en la generación de residuos debido a la producción de alimentos, siendo necesario idear nuevas vías para aprovechar los subproductos agrícolas (González, *et al.*, 2017). Además,

existe las metas del Objetivo de Desarrollo Sostenible número 12, el cual busca garantizar el consumo y la producción sostenibles, que ayudan a fomentar la sostenibilidad al minimizar los desechos y al maximizar la eficiencia de los recursos. Este enfoque es fundamental para sostener los medios de vida de las generaciones presentes y futuras (ONU, 2023).

Generalmente estos subproductos agrícolas son considerados inútiles, desconociendo que estos son una fuente rica y diversa de compuestos bioactivos con aplicaciones potenciales en la industria

alimentaria, farmacéutica y cosmética. Lo anterior permite destacar que la extracción de estos compuestos a partir de residuos agroindustriales no solo agrega valor a los subproductos, sino que también es ecológica en términos de degradación de residuos y contribuye a la economía circular (López *et al.*, 2022; Calsada, Tolosa y Caballero, 2022; Rodríguez *et al.*, 2023; Caballero-Pérez *et al.*, 2023a; Caballero-Pérez *et al.*, 2023b).

Además, los residuos como cáscaras, semillas, orujo y bagazo que son producidos diariamente por la agroindustria, representan un grave problema ambiental, razón por la cual la búsqueda de usos alternativos de estos residuos es una tendencia actual, siendo la búsqueda de compuestos bioactivos una opción prometedora (Rodríguez *et al.*, 2023; Salazar-Sánchez *et al.*, 2023). Tendencias en el aprovechamiento de residuos de mango para la obtención de materiales no alimentarios

En lo que respecta a los compuestos bioactivos, estos son sustancias nutricionales y terapéuticas que se pueden encontrar en los alimentos, residuos de los cultivos y procesamiento agro industrial, los cuales tienen influencia positiva en la salud humana (Mensah *et al.*, 2025; Rodríguez *et al.*, 2023).

Dentro de los beneficios que pueden aportar estos compuestos bioactivos a la salud humana se encuentra diversas moléculas con actividad antioxidante, antiinflamatoria, antimicrobiana, antidiabéticas y anticancerígenas como lo son los compuestos fenólicos, carotenos, vitaminas, fibras, ácidos grasos, péptidos y entre otros (Kumar *et al.*, 2024; Mensah *et al.*, 2025).

Es importante destacar que los residuos agroindustriales son fuentes de estos

componentes con actividad bioactiva, y que la utilización de estos residuos para la obtención de estas moléculas es una alternativa prometedora y rentable para la economía circular y soberanía alimentaria (Gan *et al.*, 2019).

En esta revisión bibliográfica se centra en el posible uso de los residuos agroindustriales como fuentes de compuestos bioactivos, describiendo los tipos de residuos utilizados, su clasificación, los métodos de extracción más empleados, sus compuestos bioactivos, así como sus aplicaciones y perspectivas en esta área.

## 2. METODOLOGÍA

La investigación se realizó en las bases de datos científicos como Scopus, Web of Science, Pubmed, Springer y Google Académico sobre la valorización de la agroindustria a través de la obtención de compuestos bioactivos, utilizando residuos agroindustriales como estudio de caso. Con la ayuda de las herramientas de búsqueda de cada base, se utilizaron los términos: compuestos bioactivos, residuos agroindustriales, extracción y sus respectivas traducciones en inglés. Para la selección de los artículos, se definieron criterios de inclusión que priorizaron estudios originales, revisión y metaanálisis publicados en los últimos 10 años que trataran sobre la identificación, extracción y caracterización de compuestos bioactivos de residuos agroindustriales. Se excluyeron los artículos que no tuvieran acceso libre y aquellos que no cumplieran con los criterios. La información recopilada fue analizada desde un sesión crítica y organizada de manera que respondiera a las cuestiones centrales de esta investigación, tales como las principales

fuentes de residuos agroindustriales disponibles, los métodos de extracción más frecuentemente descritos en la literatura y lo que se espera que estos compuestos beneficien en diferentes industrias (Serna *et al.*, 2017).

### 3. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 3.1 RESIDUOS AGROINDUSTRIALES COMO FUENTE DE COMPUESTOS BIOACTIVOS

La recuperación de los compuestos bioactivos a partir de residuos agroindustriales ha sido objeto de investigaciones a gran escala en un intento por establecer practicas sostenibles que ayuden a construir una economía circular. De acuerdo con Lemes *et al.*, (2022), los compuestos bioactivos tienen la capacidad de proporcionar beneficios para la salud más allá del valor nutricional, y tales compuestos están presentes en los alimentos o son adicionados a las diferentes matrices alimentarias. Sin embargo, como componentes de los alimentos, la mayoría de estos compuestos bioactivos se encuentran en los residuos agroindustriales, los cuales se producen en cantidades significativas a lo largo de la cadena de producción alimentaria y, si no se tratan adecuadamente, pueden tener repercusiones adversas en el medio ambiente, la rentabilidad financiera y la distribución adecuada de nutrientes a los consumidores. Por lo tanto, es fundamental desarrollar métodos que mejoren los subproductos agroindustriales con enfoque biológico, estos métodos pueden ayudar en la extracción y recuperación de compuestos bioactivos para su uso en las industrias alimentaria y farmacéutica. Además, estos autores hicieron énfasis en

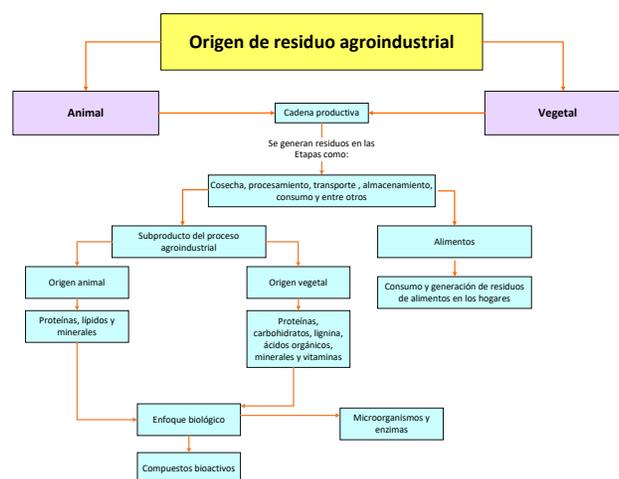
que los procesos biológicos ofrecen muchas ventajas sobre los procesos no biológicos, mejorando la calidad de los extractos bioactivos, con menor toxicidad, así como un menor impacto ambiental. Schiebel *et al.*, 2024 realizaron una investigación sistemática sobre las actividades biológicas de los desechos agroindustriales y su posible relevancia terapéutica a través de pruebas no clínicas. En su revisión sistemática concluyeron que los desechos agroindustriales contienen biomoléculas con notables propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antimicrobianas, lo que indica una importante utilidad en la industria médica, farmacéutica y biotecnológica. Las actividades más estudiadas incluyen propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, antimicrobianas, citotóxicas, antiproliferativas, antinociceptivas, hipoglucemiantes, antihiper glucémicas y anticoagulantes (De la Espriella *et al.*, 2023). Frente a los beneficios presentados, es muy importante enfatizar que la agroindustria, independientemente de la cadena de producción, genera cantidades extremadamente altas de desechos y opera en un entorno que está impactado ecológicamente, lo que puede variar con factores como el desarrollo del país, la educación, la conciencia y las políticas públicas en relación con los recursos (Bedoić *et al.*, 2019; Chauhan *et al.*, 2021; Palhares *et al.*, 2020). Por ejemplo, se ha observado que, en la industria del procesamiento de alimentos, las pérdidas de hasta el 40% de la producción debido a la ineficiencia en el sistema de producción son comunes, además de los productos no conformes que generan insatisfacción entre los consumidores (Dora *et al.*, 2020).

### 3.1.1 Tipos de residuos agroindustriales más comunes

Los residuos provenientes del sector agroindustrial pueden ser de origen vegetal o animal. Como residuos de origen vegetal se encuentran las hojas, tallos, semillas, corteza, paja, cáscaras y cortezas de frutas, entre otros (Lemes *et al.*, 2022). Estos residuos son generados en la industria del sector de frutas y verduras, los cuales se refieren a las partes de estos obtenidos durante las operaciones unitarias de limpieza, procesamiento, cocción y enlatado. Por otro lado, se encuentra el sector de los cereales y oleaginosas, encontrándose que el 35% de la producción total constituyen residuos, los cuales corresponden a aguas residuales de la molienda de granos de cereales, licores de maceración, pericarpios de granos, sémola y torta o expeller producto de la extracción de aceites vegetales (Hassan *et al.*, 2021a). Los anteriores residuos representan problemas significativos de contaminación debido a la alta concentración de carga orgánica, residuos sólidos y desechos de nutrientes, los cuales en general tienen un alto contenido de almidones, celulosas, hemicelulosa, lignina, ácidos orgánicos, proteínas, minerales y vitaminas (Kumar *et al.*, 2020). Por otra parte, los desechos generados del procesamiento de animales como vísceras (intestinos, estómago), huesos, sangre, plumas, grasa, u otros fluidos de origen animal, junto con el suero y subproductos lácteos de procesos de separación del lácteo, constituyen una cantidad significativa de residuos (Karwowska *et al.*, 2021a). Más aún es importante resaltar que en este sector se estima pérdidas de aproximadamente del 23% del volumen total, englobando el consumo, el gasto en

procesos de industrialización, distribución, almacenamiento inadecuado en congelación y sistemas de control de temperaturas (Karwowska *et al.*, 2021a; Lemes *et al.*, 2022).

En la figura 1 se muestra las diversas moléculas bioactivas que son de interés y que se pueden obtener a partir de los diferentes orígenes de los residuos agroindustriales. Esta figura muestra la clasificación y el análisis de los desechos agroindustriales, destacando sus fuentes principales constituyentes. Además, es evidente que el procesamiento de dichos desechos puede llevar a la producción de una gama de compuestos bioactivos con aplicaciones en varios sectores industriales.



**Figura 1.** Proceso de generación de residuos agroindustriales y obtención de compuestos bioactivos. Nota. adaptado de Lemes *et al.* (2022).

En resumen, los residuos agroindustriales de origen tanto vegetal como animal representan un suministro abundante y diverso de compuestos bioactivos, los cuales representan un potencial para diversas industrias. La recuperación de estos compuestos ofrece una opción económicamente viable y sostenible para su obtención, al mismo tiempo que se

busca reducir significativamente los impactos ambientales y promover la economía circular, siempre que se empleen sistemas de extracción y purificación efectivos y sostenibles. (Patiño-Condía *et al.*, 2023).

### 3.1.2 Compuestos bioactivos

Los compuestos bioactivos son sustancias químicas naturales que tienen efectos biológicos importantes, los cuales pueden ejercer acción terapéutica e incluso preventiva contra enfermedades. Estos compuestos son indispensables en la síntesis de biomoléculas esenciales, en la modulación de funciones biológicas y, por lo tanto, son invaluable en una variedad de dominios de la salud y las ciencias de la vida (Singh & Negi, 2025).

Los compuestos bioactivos predominantes presentes en los desechos agroindustriales, que presentan un interés particular para su aplicación en las industrias alimentaria y farmacéutica, incluyen los péptidos bioactivos, los compuestos fenólicos, los carbohidratos y otras moléculas con características biológicas y tecnológicas distintivas (Lemes *et al.*, 2022).

Es importante resaltar que los productos naturales, tales como hortalizas, granos, frutas, tubérculos y aún microorganismos, contienen compuestos bioactivos, entre los cuales se pueden mencionar ácidos fenólicos, flavonoides, carotenoides, vitaminas, ácidos grasos, aceites esenciales, y probióticos. Estos compuestos poseen actividad biológica como actividad antioxidante y también actividad antiinflamatoria, entre otras (Díaz *et al.*, 2023; Kamiloglu *et al.*, 2021; Santos *et al.*, 2019). A continuación, se detallan los compuestos bioactivos de relevancia.

### 3.1.3 Polifenoles

En lo que respecta a los polifenoles, estos están ampliamente distribuidos en los alimentos de origen vegetal, los cuales se dividen en cuatro categorías principales: flavonoides, ácidos fenólicos, lignanos y estilbenos. Además, el promedio de consumo de polifenoles suele cambiar entre países y grupos poblacionales, y generalmente está asociado con factores sociodemográficos y el estilo de vida. A los polifenoles de mayor consumo le siguen, aunque en menor medida los flavonoides y sus principales fuentes son el café y otros frutos. Estudios demográficos superficiales resaltan la importancia del consumo abundante de alimentos polifenólicos, ya que se asocian explícitamente con la prevención y el retardar el padecer diversas patologías cardiometabólicas como la diabetes tipo 2 (Acosta, 2019).

Actualmente, se han llegado a identificar más de 500 polifenoles diferentes en los alimentos los cuales se agrupan en los cuatro grupos principales descritos anteriormente. Para el grupo de flavonoides, los cuales son los más abundantes e incluyen antocianinas, flavonoles, flavanonas, flavonas, flavonoles e isoflavonas.

Son un grupo que están ampliamente distribuidos en la mayoría de los productos de origen vegetal, como las frutas, verduras, té, café, vino tinto (Khalil *et al.*, 2023; Soto Toloza & Caballero Pérez, 2021; Zagoskina *et al.*, 2023). Además, se ha llegado a identificar más de 500 polifenoles diferentes, los cuales de acuerdo a su estructura química presentan su actividad biológica. Se destacan por sus propiedades antioxidantes,

antibacterianas, anticancerígenas y anti-radiación (Wang *et al.*, 2025).

Por otro lado, los polifenoles son considerados metabolitos secundarios de estructuras poli fenólicas que se caracterizan por la presencia de uno o más grupos hidroxilo unidos a un anillo de benceno, cuya composición química y contenido varía de acuerdo a la fuente vegetal de la que proviene (Wang *et al.*, 2025).

Estos metabolitos se clasifican en cinco grupos principales: ácidos fenólicos, estilbenos, flavonoides, lignanos y otros (Montenegro *et al.*, 2021). En la tabla 1 se muestra una clasificación de los polifenoles más comunes y su principal fuente de obtención.

**Tabla 1. Clase de polifenoles.**

Clase de polifenol	Fuente de obtención	Referencia
<b>Flavonoides</b>		
Antocianinas	Cacao, té negro y verde.	(Acosta, 2019)
Flavanoles	manzana.	(Acosta, 2019)
Flavanonas	Menta seca, orégano, toronja, naranja.	(Acosta, 2019)
Flavonas	Semilla de apio, menta, orégano, apio, harina de trigo integral.	(Acosta, 2019)
Flavonoles	Alcaparras, azafrán, orégano, cebolla morada, espinaca.	(Acosta, 2019)
Isoflavonas	Soya y derivados de la soya.	(Acosta, 2019)
<b>Ácidos fenólicos</b>		
Ácidos hidroxibenzoicos	Castaña, clavo, granada,	(Acosta, 2019)

	frambuesa, arándano.	
Ácidos hidroxicinámicos	Menta, romero, tomillo, orégano.	(Acosta, 2019)
<b>Lignanos</b>		
Matairesinol	Ajonjolí, linaza, semillas de girasol, kale, pasas.	(Acosta, 2019)
Secoisolariciresinol	Linaza, anacardo, kale, kiwi, cacahuate.	(Acosta, 2019)
<b>Estilbenos</b>		
Resveratrol	Vino tinto, arándano, grosella, fresa, pistacho, cacahuate.	(Acosta, 2019)

Los polifenoles indicados en la tabla 1 se encuentran mayormente distribuidos en el reino vegetal y se encuentran principalmente en la piel, raíces, hojas y frutos de varias plantas (Khalil *et al.*, 2023; Zagoskina *et al.*, 2023). El interés de investigación de estos metabolitos en los últimos años se centra en la actividad antioxidante, farmacológica y antimicrobiana que estos poseen (Chiriac *et al.*, 2021).

Sumado a esto es importante resaltar que estudios han demostrado que los polifenoles de origen vegetal proporcionan importantes beneficios para la salud humana, como lo es su notable eficacia contra la radiación, las cuales pueden causar daño celular y a nivel corporal del ser humano (Li *et al.*, 2024). Además, se ha evidenciado que los polifenoles alimentarios son menos tóxicos en dosis más altas, demostrando sus grandes ventajas en la prevención y tratamiento de diversas enfermedades.

Los beneficios a la salud que proporcionan los polifenoles se deben a la habilidad que

poseen estos metabolitos secundarios para eliminar los radicales libres inducidos por la radiación que causan daños al organismo humano, la cual se atribuye a la diversidad de grupos hidroxilos fenólicos presentes en su composición química, los cuales desempeñan un papel crucial en la protección radiológica. Adicionalmente, se ha evidenciado una actividad farmacológica asociada con los déficits cognitivos neurodegenerativos mediante la eliminación de radicales libres, la disminución de la inflamación y la mediación de la neuroplasticidad (Gildawie *et al.*, 2018; Ulug & Pinar, 2023).

La tabla 2 muestra algunas de las propiedades de resistencia a la radiación de los polifenoles naturales, así como su fuente de obtención.

**Tabla 2. Propiedades de polifenoles.**

Grupo	Nombre	Fuente	Mecanismo de protección	Referencia
Ácidos fenólicos	Polifenoles de la manzana	Manzana	Eliminación de radicales libres.	(Chaudhary <i>et al.</i> , 2006)
	Ácido cafeínico	Café	Regulación de especies reactivas de oxígeno.	(Sim <i>et al.</i> , 2019)
	Ácido ferúlico	Té verde	Reducción del daño del ADN, prevención de peroxidación lipídica.	(Shanthakumar <i>et al.</i> , 2012)
	Ácido gálico	Fresa	Reducción del daño oxidativo, ADN.	(Xue <i>et al.</i> , 2022)
	Tanino	Mora	Reducción del daño celular y mejoramiento de la actividad enzimática antioxidante	(Kang <i>et al.</i> , 2011)
Flavonoides	Hesperidina	Cítricos	Protección de genotoxicidad por irradiación, reducción	(Hosseinimehr <i>et al.</i> , 2009)

Quercetina	Cebollas	de la peroxidación lipídica. Protección de daño del ADN por irradiación.	(Benkovic <i>et al.</i> , 2008)
Isoflavonas	Soya	Aumento en la efectividad de la radioterapia en células cancerosas y reducción de efectos secundarios	(Hillman <i>et al.</i> , 2011)
Apigenina	Apio	Reducción del daño en el ADN. Protección del intestino de la radioterapia.	(Begum <i>et al.</i> , 2022)
Kaempferol	Miel	Inhibición del estrés oxidativo.	(Wang <i>et al.</i> , 2018)
Polifenoles de la uva	Uva	Eliminación de radicales libres y reparación de daños de ADN	(Marabini <i>et al.</i> , 2020)
Lignanos	Sésamol	Sésamo	Reducción del daño del ADN. (Langyan <i>et al.</i> , 2022)

Dado el apogeo de desarrollar productos naturales que además del aporte nutricional tengan beneficio a la salud, ha provocado que los polifenoles alimentarios sean un tema importante de investigación actual para una inclusión futura de estos en diversas matrices alimentarias. La tabla 2 permitió consolidar algunos de los polifenoles más conocidos con su respectiva actividad benéfica a la salud humana, así como su respectiva fuente de obtención.

### 3.1.4 Los péptidos bioactivos

Los péptidos bioactivos se caracterizan por ser fragmentos proteicos con hasta 20 residuos de aminoácidos que ejercen influencia sobre las funciones corporales, las cuales están vinculadas a su

composición y secuencia de aminoácidos en su estructura (Lemes *et al.*, 2022). Dada su elevada concentración proteica, los pasteles y las harinas pueden funcionar como una fuente de péptidos o aminoácidos que, una vez liberados, exhiben una actividad biológica incrementada, manifestándose en efectos antioxidantes, antihipertensivos, antiinflamatorios e inmunomoduladores (Lemes *et al.*, 2023; Soto *et al.*, 2023). Debido a la seguridad y distribución extensa de los péptidos bioactivos con actividad antioxidante, se ha despertado un gran interés en estos dado que ejercen efectos biológicos en el organismo humano (Brandelli *et al.*, 2015). Los péptidos son una gran alternativa de sustitución de los antioxidantes sintéticos que ocasionan efectos nocivos en la salud humana, dado que los péptidos son capaces de reducir la incidencia y rapidez de las reacciones de oxidación. Actualmente, se han investigado sobre la actividad antioxidante de hidrolizados proteicos derivados de soja (Rout *et al.*, 2024), girasol (Prado *et al.*, 2021), maíz (Zhang *et al.*, 2019), frijoles (Paula *et al.*, 2020), cacahuate (Yu *et al.*, 2021) y de subproductos de origen animal como el pescado y aves de corral (Ben *et al.*, 2020; Hemker *et al.*, 2020).

La tabla 3 consolida una estimación de las pérdidas en ciertas cadenas productivas, junto con los residuos producidos, que son ricos en proteínas.

Actualmente mediante la aplicación de procesos adecuados en la obtención de péptidos bioactivos como la extracción por solventes, enzimas y fermentación, ha despertado una gran atención en el aprovechamiento de los residuos ricos en proteínas, generados en las diversas cadenas productivas.

**Tabla 3. Pérdida aproximada de ciertas cadenas productivas.**

Industria	Pérdida aproximada	Tipo de residuo	Referencia
Cereales	35%	Líquidos: aguas de molienda de arroz, licores de remojo de maíz, aguas residuales de panificación. Sólidos: pericarpio, sémola y entre otros.	(García <i>et al.</i> , 2023; Hassan <i>et al.</i> , 2021b; Lemes <i>et al.</i> , 2016; Soto <i>et al.</i> , 2023)
Vegetales	40-50%	Hojas, tallos, semillas, corteza, fibras, bagazo, tortas de prensado.	(Lemes <i>et al.</i> , 2023)
Cárnica	23%	Cadáveres, pieles, pezuñas, cabezas, plumas, vísceras, huesos, grasa, sangre, recortes de carne.	(Karwowska <i>et al.</i> , 2021b)
Láctea	4 a 11 millones de toneladas por año	Suero, aguas residuales del proceso de limpieza y desinfección.	(Ahmad <i>et al.</i> , 2019; Lemes <i>et al.</i> , 2023)
Pesquera	60% del pescado procesado se desecha.	Músculo (15–20%), vísceras (12–18%), huesos (9–15%), cabezas (9–12%), escamas (5%) y piel y aletas (1–3%)	(Tacias <i>et al.</i> , 2021; Tesfay & Teferi, 2017)

Por lo general, los procesos empleados para la liberación de los péptidos bioactivos que se encuentran en las matrices de los diversos residuos alimentarios son: la hidrólisis química y biológica como los procesos enzimáticos y de fermentación. Sin embargo, se ha ido incluyendo en la obtención de estas diversas tecnologías emergentes como lo son: el ultrasonido (Mala *et al.*, 2021; Ruan *et al.*, 2020), las microondas (Li *et al.*, 2019), los campos eléctricos pulsados (Franco *et al.*, 2020), presiones hidrostáticas (Chen *et al.*, 2017), agua subcrítica (Ahmed & Chun, 2018), los cuales pueden ser empleados solos o combinados para la obtención de péptidos bioactivos. En la tabla 4 se recopila algunos de los métodos de obtención convencionales.

**Tabla 4. Métodos convencionales de obtención de péptidos bioactivos.**

Materia prima	Metodología	Referencia
Pescado	Hidrólisis ácida y enzimática	(Wisuthiphaet <i>et al.</i> , 2016)

Salmón	Hidrólisis ácida y enzimática con fermentación microbiana	(Rajendran <i>et al.</i> , 2018)
Plumas de aves	Hidrólisis alcalina	(Dąbrowska <i>et al.</i> , 2022)
Sangre de aves	Hidrólisis enzimática	(da Silva Bambilra Alves <i>et al.</i> , 2021)
Sangre porcina	Hidrólisis enzimática	(Jin <i>et al.</i> , 2020)
Semilla de chía	Hidrólisis enzimática	(San Pablo <i>et al.</i> , 2019)
Sorgo	Hidrólisis enzimática	(Garzón <i>et al.</i> , 2022)
Posos de café usados	Fermentación microbiana e hidrólisis enzimática	(Ramírez <i>et al.</i> , 2021)
Semillas de tomate	Fermentación microbiana	(Moayedi <i>et al.</i> , 2018)
Membranas de la cáscara de huevo	Fermentación microbiana	(Jain & Anal, 2017)

Es importante destacar que los residuos ricos en proteínas deben ser preparados antes de la hidrólisis. La preparación de estos residuos son procedimientos sencillos y pueden incluir molienda, trituración, tamizado, con el fin de reducir el tamaño de partícula y obtener el sustrato a trabajar en polvo (Mala *et al.*, 2021; Meshginfar *et al.*, 2018). Además, si la matriz a trabajar es rica en contenido lipídico, se hace necesario realizar un desgrasado previo a la hidrólisis (Fathi *et al.*, 2021; Moayedi *et al.*, 2016; Singh *et al.*, 2019).

### 3.1.5 Los carbohidratos

Los carbohidratos realizan diversas funciones críticas en un organismo vivo y representan una fuente importante de energía (Jiang *et al.*, 2021) y los tipos de carbohidratos en los residuos agroindustriales de origen vegetal incluyen el almidón, lignocelulosa (que consiste en celulosa, hemicelulosa y lignina) y  $\beta$ -glucanos, entre otros (Kumar *et al.*, 2017).

En lo que respecta al almidón, que es el principal carbohidrato de almacenamiento en las plantas, este contiene dos polímeros de glucosa: amilosa y amilopectina. Además de sus usos en alimentos, el almidón se utiliza en una amplia gama de productos en muchas otras industrias (Di-Medeiros Leal *et al.*, 2022). Como material estructural del metabolismo de las plantas, la lignocelulosa se encuentra abundantemente en los desechos de la industria agrícola. Este tipo de carbohidrato tiene cantidades fluctuantes de celulosa, hemicelulosa y lignina, y puede ser transformado en una variedad de productos de valor agregado, ayudando así a reducir los desechos (Fortunati *et al.*, 2016).

Por otro lado, los  $\beta$ -glucanos son polisacáridos con una variedad de actividades biológicas, incluyendo efectos beneficiosos para la salud científicamente probados (Lemes *et al.*, 2022). Como fuente de obtención de los  $\beta$ -glucanos se encuentran los subproductos de cereales de cebada y avena, así como la biomasa residual de levaduras (Da Silva Guedes *et al.*, 2019; Du *et al.*, 2014; Liu *et al.*, 2021; Tosh *et al.*, 2010).

### 3.1.6 Otras moléculas con propiedades biológicas

Dentro de estas moléculas se encuentran los carotenoides y ácidos grasos poliinsaturados. En lo que refiere a los carotenoides, se encuentra el licopeno, el cual es predominante en los tomates y todos los subproductos generados durante el procesamiento de este (Anarjan & Jouyban, 2017). Esta molécula interactúa con los radicales libres, previniendo la degradación de compuestos celulares, ADN, así como pigmentar naturalmente de tonalidades rojas anaranjadas las matrices

alimentarias donde se adicionen (Adetunji *et al.*, 2021; Caseiro *et al.*, 2020; Moritz & Tramonte, 2006). Es importante destacar que en el tomate hay presente de 510-734 mg de licopeno por kilogramo de materia seca (incluyendo todas las fracciones del tomate como piel, semillas, pulpa), de los cuales la semilla presenta un contenido aproximado de 130  $\mu\text{g}$  de licopeno por kilogramo de materia seca. Asimismo, posee concentraciones significativas de luteína  $\beta$ -caroteno y *cis*  $\beta$ -caroteno (Knoblich *et al.*, 2005).

Si bien los subproductos del procesamiento del tomate contienen de forma representativa el licopeno, en estos también destaca el contenido de tocoferoles, esteroides, terpenos, ácidos grasos, compuestos fenólicos y flavonoides, los cuales muestran versatilidad en compuestos bioactivos que se pueden obtener a partir de esta matriz alimentaria (Kalogeropoulos *et al.*, 2012).

En cuanto a la extracción del licopeno presente en el tomate, este puede ser obtenido a través del empleo de solventes (Trombino *et al.*, 2021) o mediante la extracción por fluidos super críticos (Hatami *et al.*, 2019; Machmudah *et al.*, 2012; Urbonaviciene & Viskelis, 2017), extracción asistida por campos eléctricos pulsados (Pataro *et al.*, 2020).

En lo que respecta a los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI), se encuentran los omegas-3 y 6, los cuales se encuentran presentes en aceites de origen vegetal y frutos secos, así como en los aceites de pescado (Lemes *et al.*, 2022). Cabe destacar que, los acilglicerol, principalmente los monoacilglicerol y diacilglicerol, quienes poseen actividad bioactiva antimicrobiana, actividad moduladora intestinal, antiinflamatorias y entre otros, se pueden obtener a partir de

los subproductos de la industria a través de la síntesis enzimática de los AGPI a partir del glicerol y concentrados de omega-3 (Dave & Routray, 2018).

### 3.2 MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE COMPUESTOS BIOACTIVOS

La obtención de compuestos bioactivos implica el empleo de diversas técnicas para el aislamiento y concentración de los componentes objetivos. Aunque se ha evidenciado avances en la inclusión de tecnologías emergentes como la extracción asistida por microondas y ultrasonido que proporcionan una eficiencia y rendimientos superiores (Putra *et al.*, 2023), se hace necesario la combinación con estas con las tecnologías tradicionales como lo son la extracción, maceración y extracción con solventes (Lomartire *et al.*, 2021).

Las técnicas tradicionales como la maceración, hidrodestilación y soxhlet que han sido empleadas para la obtención de compuestos bioactivos, las cuales utilizan grandes cantidades de solventes químicos, y requieren largos tiempos de extracción que van desde las 8 horas para el caso de la hidrodestilación y más de 24 horas en la maceración (Wong *et al.*, 2020). Sin embargo, con el fin de emplear otras formas de extracción más amigables con el medio ambiente se ha buscado alternativas, como el uso de disolventes verdes o la combinación con tecnologías emergentes o no convencionales (Soquetta *et al.*, 2018).

Cabe destacar que dentro de las tecnologías emergentes se encuentran las asistidas por ultrasonido, microondas, fluidos supercríticos, de las cuales las más empleadas han sido el ultrasonido y microondas por su accesibilidad y fácil operación (Wong *et al.*, 2015).

### 3.2.1 Extracción asistida por ultrasonido (EAU)

La extracción asistida por ultrasonido se ha venido empleando para la obtención de compuestos de plantas y frutas desde la década de 1980 (Wong *et al.*, 2015). El método consiste en la propagación de ondas ultrasónicas desde los 20 kHz a 100 MHz, que producen la cavitación o fragmentación celular, disminuyendo el tamaño de las partículas y facilitando la transferencia de masa por las colisiones entre las partículas y ondas propias del ultrasonido. Además, a través de la implosión de las burbujas producidas se produce la erosión que contribuye a la penetración del disolvente en la superficie de la matriz vegetal (Medina *et al.*, 2017). Al mismo tiempo, se optimiza la penetración de los solventes en las membranas celulares de la planta a través de los conductos producidos por la implosión y gracias a la sonocapilaridad y sonoporación (Wong *et al.*, 2015, 2020). Simultáneamente, el fenómeno de oscilación, el cual es un colapso conocido como cavitación, a través de la producción de burbujas facilita la liberación de compuestos bioactivos, contribuyendo a la extracción. La desintegración en volúmenes significativos a partir del proceso de colapso, en el cual se generan burbujas derivadas de la transmisión de las ondas ultrasónicas por el disolvente se denomina cavitación (Wong *et al.*, 2015, 2020).

La extracción asistida por ultrasonido se puede realizar por dos maneras: de forma indirecta a través de un baño ultrasónico, donde las ondas se propagan a través del agua hasta el material que se encuentra en un recipiente con el disolvente; o de forma directa a través de intensidades

extremadamente elevadas, donde se sumerge un sistema de sondas en el sistema líquido-sólido, empleando un extractor ultrasónico (Wong *et al.*, 2020). En la figura 2 se muestran los dos equipos para extracción directa e indirecta.

### 3.2.2 Extracción asistida por microondas (EAM)

La obtención de compuestos bioactivos asistido por microondas es una alternativa a los métodos tradicionales, con ventajas similares a la extracción asistida por ultrasonido como: la disminución del consumo energético, menor tiempo de extracción, reducción en el empleo de solventes y rendimiento superior en la extracción de compuestos de interés (Nour *et al.*, 2021; Sadeghi *et al.*, 2017). Esta tecnología emergente, de naturaleza electromagnética no ionizante, tiene una frecuencia entre los 300 MHz y 300 GHz y exhibe dos campos de oscilación perpendiculares, es decir, frecuencias magnéticas y eléctricas (Al Mamoori & Al Janabi, 2018).



**Figura 2.** Equipos de extracción asistida por ultrasonido. **Nota.** Izquierda-baño de ultrasonido. Derecha-extractor ultrasónico. Tomado de *ide Colombia*, 2025.

A través de esta metodología se han obtenido diversos compuestos bioactivos,

pigmentos y polisacáridos (Soquetta *et al.*, 2018). La extracción asistida por microondas de los compuestos de interés se divide en dos formas: la primera consiste en irradiar la muestra cubierta por el disolvente y la segunda consiste en irradiar con microondas, alta presión y temperatura la muestra en un recipiente cerrado/multimodo (Sadeghi *et al.*, 2017). En términos generales, se identifican tres procesos claves para la extracción de compuestos mediante microondas. En primer lugar, a través de las altas temperaturas y presión se separan los solutos. En segundo lugar, ocurre la difusión del disolvente a través de la muestra y Finalmente, se liberan los compuestos en el disolvente (Sadeghi *et al.*, 2017).

El proceso de extracción asistido por microondas inicia a partir de la producción de ondas electromagnéticas, las cuales posibilitan la interacción de las paredes celulares de las plantas o residuos con las ondas. Además, se produce una inflamación en las paredes celulares debido al calentamiento en la matriz vegetal y la presión aplicada, produciendo incremento en la transferencia de masa de los solutos. De manera que, se liberen los compuestos hacia el disolvente por la disrupción celular (Ameer *et al.*, 2017).

### 3.2.3 Extracción asistida por fluidos supercríticos (EAFS)

La extracción asistida por fluidos supercríticos ha sido empleada como tecnología verde para extracción de compuestos bioactivos a partir de los residuos de cítricos. Esta técnica previene el uso de disolventes tóxicos y elimina fases de lavado durante el proceso, a través del empleo de temperaturas

moderadas, previniendo la degradación de los compuestos bioactivos. Además, emplea de forma frecuente el gas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), un gas que se caracteriza por ser no explosivo, moderadamente inflamable, económico y accesible, de temperatura crítica reducida (32 °C, a presión 7.4 MPa), facilitando la extracción de los compuestos de interés (Santana & Meireles, 2023; Yousefi *et al.*, 2019).

La EAFS inicia con la introducción del material en un reactor, el cual se ubica en el recipiente donde se va a realizar la extracción. Seguidamente, desde la parte inferior del recipiente extractor se carga el fluido supercrítico y finalmente, se desplaza a otra sección llamada separador el fluido super crítico que contiene los compuestos extraídos de interés. En esta fase, se separa el fluido gaseoso del extracto debido a la presión en el sistema (Santana & Meireles, 2023; Yousefi *et al.*, 2019).

### 3.2.4 Extracción asistida por enzimática (EAE)

El procedimiento de extracción asistida por enzimas (EAE) puede ser utilizado en la fase de pretratamiento del material, ya que mejora las limitaciones de tiempo para la extracción, el uso de disolventes, el rendimiento y la calidad y pureza del producto final, todo mientras reduce los costos de producción en relación con los métodos tradicionales de extracción. Diferentes tipos de enzimas, que van desde celulasas, hemicelulasas, pectinasa, amilasas, proteasas, lipasas hasta otras enzimas, pueden ser utilizados en formas libres o inmovilizadas. La acción de la enzima puede ser controlada por factores operacionales como pH, temperatura, concentración de enzima en el sustrato,

relación sólido-líquido, tamaño de partícula del sustrato y tiempo de reacción (Hernández *et al.*, 2021).

Los beneficios vinculados con la aplicación industrial de las enzimas incluyen la reducción de costos, teniendo en cuenta que las enzimas como catalizadores presentan ahorro de proceso en comparación a las estrategias clásicas (R. D. Singh *et al.*, 2021). A fin de continuar minimizando el gasto relacionado a los sistemas que utilizan procesos enzimáticos, se pueden utilizar los residuos agroindustriales disponibles en gran cantidad para la producción de las enzimas (Lemes *et al.*, 2016), utilizando protocolos de purificación menos estrictos o métodos de recuperación de productos objetivo (Lemes *et al.*, 2023). Un nuevo elemento que también respalda la implementación de estas enzimas y el ahorro en el esquema propuesto es el hecho de que las enzimas pueden ser inmovilizadas, convirtiéndose en reciclables y por ende usados en ciclos delimitados, preservando al mismo tiempo su selectividad, actividad, catalítica y la obtención de productos en grandes cantidades (Basso & Serban, 2019; Braga *et al.*, 2014).

### 3.3 APLICACIONES POTENCIALES DE LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS

Actualmente existe una cantidad considerable de investigaciones que muestran la incorporación de compuestos bioactivos de subproductos en diferentes matrices alimentarias. En la tabla 5 se muestra la incorporación de diversos compuestos bioactivos en diferentes alimentos por su actividad bioactiva.

Tabla 5. Alimentos con compuestos bioactivos incorporados.

Compuesto bioactivo	%	Alimento	Propiedad	Referencia
---------------------	---	----------	-----------	------------

Extracto de semillas de <i>Amaranthus spp.</i> , rico en péptidos antifúngicos	7,04 y 22,96	Pan	Valor nutricional (proteínas y aminoácidos libres). Retraso en la aparición del micelio fúngico durante el almacenamiento sin cambios en el gusto y el sabor.	(Baraniak & Kania-Dobrowolska, 2022)
Fenólicos y fracciones de carbohidratos de semillas y vainas sin semillas de okra	300 mg, 600 mg y 1g / 500 g	Pan	Actividad antioxidante del pan (30-40%) con tratamiento térmico. Formación del compuesto nocivo N-(carboximetil) lisina. Cambio de color aceptable con poco efecto en la calidad.	(Peng <i>et al.</i> , 2010)
Extracto de semilla de uva en polvo	20 g CE/kg	Pescado congelado	Inhibición de la formación de hidropéroxido líquido y sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS).	(Ózalp <i>et al.</i> , 2011)
Extracto de semilla de uva	1g/kg	Chorizo curado seco	Oxidación determinada mediante el método TBARS y los compuestos volátiles totales de oxidación lipídica. Aceptación sensorial en comparación con los formulados con BHT, extracto de castaña y control.	(Lorenzo <i>et al.</i> , 2013)
Extractos de cascara, raíz y hojas de castaño	250-1.000 mg/kg	Empanadas de carne	Oxidación de lípidos en hamburguesa. Reducción de la meta mioglobina en dosis más alta. No afectó la aceptación sensorial	(Zamuz <i>et al.</i> , 2018)
Extracto de semilla de uva	0,5 g/100 g	Queso pequeño suizo	Fenólicos totales y actividad antioxidante (hasta 28 días) 73% de aceptación sensorial. Inhibición del 77% de la actividad de la enzima convertidora de angiotensina (ECA).	(Pasini <i>et al.</i> , 2019)
Extracto de semilla de camu-camu ( <i>Myrciana dubia</i> )	1,0 g /100g	Yogurt	Capacidad antioxidante y reductora química (métodos	(Fidelis <i>et al.</i> , 2020)

FRAP, DPPH y FCRC). El yogur de camu-camu que contenía 0,25g/100 g de extracto de semilla de camu-camu (*Myrciaria dubia*) liofilizado tuvo una tasa de aceptación del 84%

### 3.4 SITUACIÓN ACTUAL DE LOS RESIDUOS AGROINDUSTRIALES EN COLOMBIA

La producción agropecuaria en Colombia es un pilar relevante en la economía nacional, contribuyendo con millones de toneladas de residuos cada año. La administración de estos residuos ha dado un paso en su evolución hacia modelos de economía circular, donde se busca la minimización de su impacto ambiental y la creación de nuevas oportunidades de negocio. A continuación, se recopilan diferentes iniciativas, investigaciones y proyectos implementados en el país enfocados en la gestión y aprovechamiento de los residuos agroindustriales.

La caña de azúcar y el arroz representan el volumen de producción más elevado a nivel global, con 1.800 y 509 millones de toneladas producidos en 2020, respectivamente. Se calcula que por cada 1000 kg de azúcar producidos se generan entre 30 y 65 toneladas de desechos, y en el caso del arroz, se estima que por cada tonelada de grano destinada al consumo final se genera casi otra tonelada de desechos, entre paja y cascarilla. En lo que respecta a Colombia, se calcula que las operaciones de los cultivos primordiales como el plátano, caña de azúcar, banano, caña panelera, arroz, café, maíz y palma de aceite, produce más de 71 millones de toneladas anuales de desechos, de las cuales solo son aprovechadas únicamente

el 17% en algún proceso secundario (Gonzalez *et al.*, 2017; Romero, 2022).

Con respecto a los residuos generados por las centrales de abastos, es importante resaltar que allí se generan un volumen considerable de desechos orgánicos, los cuales son destinados directamente a rellenos sanitarios. Complementando lo anterior, se calculó que en el año 2024 entre las 30 mil toneladas de frutas, verduras y tubérculos que circulan diariamente por Corabastos en la ciudad de Bogotá, 12 toneladas son donadas al Banco de Alimentos con el fin de contrarrestar la pérdida de alimentos. Sin embargo, se pierden y desperdician muchos alimentos, destacando una pérdida del 62% entre frutas y vegetales, seguidas de un 25% correspondientes a raíces y tubérculos (P. Medina, 2024).

Es importante subrayar que, conforme a las definiciones proporcionadas por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), las pérdidas y el desperdicio no son conceptos idénticos. Las pérdidas se dan desde la etapa de recolección hasta que el producto llega al mercado minorista, mientras que el desecho se produce desde la comercialización al por menor hasta su consumo (P. Medina, 2024; Organización de las Naciones Unidas, 2012).

Los residuos generados del cultivo de arroz representan aproximadamente el 20% de la producción global, de los cuales se estima una generación aproximada de residuos agroindustriales de 700 millones de toneladas por año, siendo uno de los residuos predominantes de la producción agrícola (Gonzalez *et al.*, 2017). Para Colombia se estimó una producción promedio de 2.71 millones de toneladas de arroz para el periodo comprendido entre el año 2013 a 2019, posicionándolo en el

puesto número 22 de los principales países productores (Parra *et al.*, 2022). Si bien se ha orientado el aprovechamiento de estos residuos de arroz para la obtención de etanol, sustitución del uso del carbón, sustrato para cultivos, material complementario de cemento; se ha desconocido su potencial aprovechamiento en la obtención de compuestos bioactivos para la futura inclusión a matrices alimentarias (Gonzalez *et al.*, 2017).

Del mismo modo, el cultivo de café genera residuos durante su procesamiento, incluyendo la pulpa, el mucílago, el pergamino, el bagazo y las aguas residuales. Es importante resaltar que únicamente se utiliza el 5% del peso del fruto fresco en la elaboración de la bebida. Además, se estima un consumo diario promedio de 2.25 billones de tazas de café a nivel mundial, lo que se percibe como un problema que requiere una mitigación inmediata (Fernández *et al.*, 2020).

Con relación a la industria azucarera, esta es una de las más representativas del país, ya que cuentan con aproximadamente 232 mil hectáreas de caña de azúcar cultivada en el Valle, con una producción promedio de 170 toneladas por hectárea de caña, cuya actividad se destina principalmente a la producción de azúcar y alcohol. A lo largo del proceso productivo, la biomasa estimada de cada tonelada de tallos incluye 250 kilogramos de bagazo, 30 kilogramos de cachaza, 6 kilogramos de cenizas y 45 kg de melaza. Cabe mencionar que, de cada litro de alcohol producido, se generan hasta 15 litros de vinaza. Esto sin incluir los residuos que se generan durante la cosecha, que son de hojas verdes, hojas secas, cogollo y caña remanente, que equivalen a un 25% de la caña limpia. Estos restos son, por lo general, dejados en el campo para su posterior combustión, lo

que, además, implica una pérdida total de la capacidad energética y económica de esos residuos (Cury *et al.*, 2017; Gonzalez *et al.*, 2017).

Lo anterior, permite evidenciar que Colombia tiene el reto de atender el problema de las pérdidas y desperdicios agroindustriales desde la raíz, siendo necesario prevenir las pérdidas antes de la distribución de los alimentos; a través de la mejora de los procesos productivos en el campo y cambios en la comercialización para que se pueda reducir el 34% de pérdidas de alimentos, los cuales corresponden a alimentos frescos (P. Medina, 2024).

Diversos sectores de la industria agroindustrial colombiana han instaurado estrategias para aprovechar los residuos agroindustriales. Un ejemplo de ello es el proyecto del Instituto Tecnológico Metropolitano (2023), en el cual a partir de desechos agroindustriales se elaboran materiales de construcción sostenibles como mobiliario urbano y componentes estructurales, promoviendo la economía circular en el sector constructivo.

Por otro lado, de forma paralela la Universidad EIA desde el año 2020, avanza en la conversión de los residuos del cultivo de palma en un material conocido como biochar (biocarbón), que optimiza la fertilidad de los suelos agrícolas y disminuye la demanda de fertilizantes químicos; reutilizando aproximadamente 600 toneladas anuales de desechos agroindustriales en la región de Urabá.

#### 4. CONCLUSIONES

Esta revisión bibliográfica enfatiza la importancia de los subproductos agroindustriales que tienen compuestos bioactivos de importancia para la salud

humana y su importancia para las industrias alimentaria y farmacéutica. Los residuos agroindustriales que se acumulan como desechos se plantean tanto un problema ambiental como económico, pero al mismo tiempo ofrecen un gran potencial para la recuperación de compuestos bioactivos.

La aplicación de metodologías biológicas, como la extracción enzimática y la fermentación, presenta una alternativa sostenible y efectiva a los procesos no biológicos, obteniendo extractos de alta calidad mientras se mitiga el impacto ambiental. Un análisis completo de los compuestos bioactivos más destacados y relevantes y sus técnicas de extracción sienta las bases para un mayor avance en el campo.

Como podemos ver, esta revisión aboga por el reciclaje de desechos agroindustriales y la adopción de enfoques ecológicos para la extracción de compuestos bioactivos, lo que mejora la salud pública, fortalece la economía y mejora el equilibrio ecológico.

## 5. AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Pamplona, por el apoyo y acceso a bases de datos en la búsqueda de la información.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, D. M. L. C. (2019). Polifenoles: compuestos bioactivos con efectos benéficos en la prevención de diabetes tipo 2. *REDCieN*, 1, 6-6.
- Adetunji, C. O., Akram, M., Mtewa, A. G., Jeevanandam, J., Egbuna, C., Ogodo, A. C., Gautam, A. K., Gupta, A., Onyekere, P. F., Tupas, G. D., Ezzat, S. M., Pareek, S., Tijjani, H., Sharif, N., Ezhilarasan, D., Hassan, S., Sagar, N. A., El Sayed, A. M., Mehdizadeh, M., ... Olatunde, A. (2021). Chapter 18—Biochemical and pharmacotherapeutic potentials of lycopene in drug discovery. En C. Egbuna, A. P. Mishra, & M. R. Goyal (Eds.), *Preparation of Phytopharmaceuticals for the Management of Disorders* (pp. 307-360). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820284-5.00015-0>
- Ahmad, T., Aadil, R. M., Ahmed, H., Rahman, U. ur, Soares, B. C. V., Souza, S. L. Q., Pimentel, T. C., Scudino, H., Guimarães, J. T., Esmerino, E. A., Freitas, M. Q., Almada, R. B., Vendramel, S. M. R., Silva, M. C., & Cruz, A. G. (2019). Treatment and utilization of dairy industrial waste: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 88, 361-372. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.04.003>
- Ahmed, R., & Chun, B.-S. (2018). Subcritical water hydrolysis for the production of bioactive peptides from tuna skin collagen. *The Journal of Supercritical Fluids*, 141, 88-96. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2018.03.006>
- Al Mamoori, F., & Al Janabi, R. (2018). Recent advances in microwave-assisted extraction (mae) of medicinal plants: a review. *International Research Journal Of Pharmacy*, 9(6), 22-29. <https://doi.org/10.7897/2230-8407.09684>
- Ameer, K., Shahbaz, H. M., & Kwon, J. (2017). Green Extraction Methods for Polyphenols from Plant Matrices and Their Byproducts: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(2), 295-315. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12253>

- Anarjan, N., & Jouyban, A. (2017). Preparation of lycopene nanodispersions from tomato processing waste: Effects of organic phase composition. *Food and Bioproducts Processing*, 103, 104-113.  
<https://doi.org/10.1016/j.fbp.2017.03.003>
- Baraniak, J., & Kania-Dobrowolska, M. (2022). The Dual Nature of Amaranth—Functional Food and Potential Medicine. *Foods*, 11(4), 618.  
<https://doi.org/10.3390/foods11040618>
- Basso, A., & Serban, S. (2019). Industrial applications of immobilized enzymes—A review. *Molecular Catalysis*, 479, 110607.  
<https://doi.org/10.1016/j.mcat.2019.110607>
- Bedoić, R., Ćosić, B., & Duić, N. (2019). Technical potential and geographic distribution of agricultural residues, co-products and by-products in the European Union. *Science of The Total Environment*, 686, 568-579.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.219>
- Begum, N., Rajendra Prasad, N., Kanimozhi, G., & Agilan, B. (2022). Apigenin prevents gamma radiation-induced gastrointestinal damages by modulating inflammatory and apoptotic signalling mediators. *Natural Product Research*, 36(6), 1631-1635.  
<https://doi.org/10.1080/14786419.2021.1893316>
- Ben Hamad Bouhamed, S., Krichen, F., & Kechaou, N. (2020). Feather Protein Hydrolysates: A Study of Physicochemical, Functional Properties and Antioxidant Activity. *Waste and Biomass Valorization*, 11(1), 51-62.  
<https://doi.org/10.1007/s12649-018-0451-2>
- Benkovic, V., Horvat Knezevic, A., Dikic, D., Lisicic, D., Orsolcic, N., Basic, I., Kosalec, I., & Kopjar, N. (2008). Efectos radioprotectores del propóleo y la quercetina en ratones irradiados con rayos  $\gamma$  y evaluados mediante el ensayo del cometa alcalino. *Phytomedicine*, 15(10), 851-858.  
<https://doi.org/10.1016/j.phymed.2008.02.010>
- Braga, A. R. C., Silva, M. F., Oliveira, J. V., Treichel, H., & Kalil, S. J. (2014). A New approach to evaluate immobilization of  $\beta$ -galactosidase on eupergit<sup>®</sup> c: structural, kinetic, and thermal characterization. *Química Nova*.  
<https://doi.org/10.5935/0100-4042.20140128>
- Brandelli, A., Daroit, D. J., & Corrêa, A. P. F. (2015). Whey as a source of peptides with remarkable biological activities. *Food Research International*, 73, 149-161.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.01.016>
- Caballero-Pérez LA, Tejedor-Arias R, Salas-Osorio EJ. (2023a). Survival of a mixed culture of microencapsulated probiotic strains against the gastrointestinal barrier in vitro. ISSN2521-9715. Revista Científica de la Facultad de Ciencias Veterinarias – septiembre 2023. 33(2) :1-9.  
<https://produccioncientificaluz.org/index.php/cientifica>.
- Caballero-Pérez LA, Hernández-Monzón A, Tejedor-Arias R, Montes.-Montes EJ. (2023b). Caracterización de mezclas de materiales poliméricos naturales para encapsulación, mediante secado por aspersión. Rev Colomb Tecnol Avanz. 41(1):1-12. Recuperado a partir de <https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/rcta/article/view/2412>.
- Calsada Uribe Nataly Jullyet.; Caballero Pérez Luz Alba; Soto Tolosa Erika

- Paola. (2022). Elaboración de una barra proteica con recubrimiento de un gel energético a base de café. *Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*. ISSN Impreso 1692-7125 ISSN Electrónico 2711-3035. Volumen 20 N° 2. Pp: 5 - 23. DOI: <https://doi.org/10.24054/limentech.v20i2.2282>.
- Caseiro, M., Ascenso, A., Costa, A., Creagh-Flynn, J., Johnson, M., & Simões, S. (2020). Lycopene in human health. *LWT*, 127, 109323. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109323>
- Chaudhary, P., Shukla, S. K., Kumar, I. P., Namita, I., Afrin, F., & Sharma, R. K. (2006). Radioprotective properties of apple polyphenols: An in vitro study. *Molecular and Cellular Biochemistry*, 288(1), 37-46. <https://doi.org/10.1007/s11010-005-9116-0>
- Chauhan, C., Dhir, A., Akram, M. U., & Salo, J. (2021). Food loss and waste in food supply chains. A systematic literature review and framework development approach. *Journal of Cleaner Production*, 295, 126438. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126438>
- Chen, P.-J., Tseng, J.-K., Lin, Y.-L., Wu, Y.-H. S., Hsiao, Y.-T., Chen, J.-W., & Chen, Y.-C. (2017). Protective Effects of Functional Chicken Liver Hydrolysates against Liver Fibrogenesis: Antioxidation, Anti-inflammation, and Antifibrosis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(24), 4961-4969. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b01403>
- Chiriac, E. R., Chițescu, C. L., Geană, E.-I., Gird, C. E., Socoteanu, R. P., & Boscencu, R. (2021). Advanced Analytical Approaches for the Analysis of Polyphenols in Plants Matrices—A Review. *Separations*, 8(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/separations8050065>
- Cury, K. C., Aguas, Y. A., Martínez, A. M., Olivero, R. O., & Chams, L. C. (2017). Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA*, 9(S1), Article S1. <https://doi.org/10.24188/recia.v9.nS.2017.530>
- Da Silva Bampirra Alves, F. E., Carpiné, D., Teixeira, G. L., Goedert, A. C., de Paula Scheer, A., & Ribani, R. H. (2021). Valorization of an Abundant Slaughterhouse By-product as a Source of Highly Technofunctional and Antioxidant Protein Hydrolysates. *Waste and Biomass Valorization*, 12(1), 263-279. <https://doi.org/10.1007/s12649-020-00985-8>
- Da Silva Guedes, J., Pimentel, T. C., Diniz-Silva, H. T., Tayse da Cruz Almeida, E., Tavares, J. F., Leite de Souza, E., Garcia, E. F., & Magnani, M. (2019). Protective effects of  $\beta$ -glucan extracted from spent brewer yeast during freeze-drying, storage and exposure to simulated gastrointestinal conditions of probiotic lactobacilli. *LWT*, 116, 108496. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108496>
- Dąbrowska, M., Sommer, A., Sinkiewicz, I., Taraszkiewicz, A., & Staroszczyk, H. (2022). An optimal designed experiment for the alkaline hydrolysis of feather keratin. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(16), 24145-24154. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17649-2>
- Dave, D., & Routray, W. (2018). Current scenario of Canadian fishery and corresponding underutilized species and fishery byproducts: A

- potential source of omega-3 fatty acids. *Journal of Cleaner Production*, 180, 617-641. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.091>
- Díaz, E., Cerón, G. I., & Vargas, E. A. (2023). Encapsulación de compuestos bioactivos: Una revisión sistemática. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 10(20), Article 20. <https://doi.org/10.29057/icbi.v10i20.9575>
- De la Espriella Angarita Stephanie, Torrenegra Alarcón Milady, León Méndez Glicerio. (2023). Guinda (Pronuz Ceresus) como fuente de moléculas bioactivas. Revisión. *Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*. ISSN Impreso 1692-7125 ISSN Electrónico 2711-3035. Volumen 21 N° 1. Pp: 124 – 136. <https://doi.org/10.24054/limentech.v21i1.2365>
- Di-Medeiros Leal, M. C. B., Ribeiro, G. O., Rezende Ribeiro, M. L., Ferreira, A. G., Cavalcante Braga, A. R., Egea, M. B., & Lemes, A. C. (2022). 16—Analysis and characterization of starches from alternative sources. En S. Mavinkere Rangappa, J. Parameswaranpillai, S. Siengchin, & M. Ramesh (Eds.), *Biodegradable Polymers, Blends and Composites* (pp. 465-488). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823791-5.00025-9>
- Dora, M., Wesana, J., Gellynck, X., Seth, N., Dey, B., & Steur, H. (2020). Importance of sustainable operations in food loss: Evidence from the Belgian food processing industry. *Annals of Operations Research*, 290(1), 47-72.
- Du, B., Zhu, F., & Xu, B. (2014).  $\beta$ -Glucan extraction from bran of hull-less barley by accelerated solvent extraction combined with response surface methodology. *Journal of Cereal Science*, 59(1), 95-100. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.11.004>
- Equipos y laboratorio de Colombia. (2025, marzo 18). *Elmasonic baño para limpieza de tamices por ultrasonido—S 50 R* (Colombia) [Text]. Equipos y laboratorio de Colombia; [equposylaboratorio.com](https://www.equposylaboratorio.com/portal/productos/elmasonic-bano-para-limpieza-de-tamices-por-ultrasonido-s-50-r). <https://www.equposylaboratorio.com/portal/productos/elmasonic-bano-para-limpieza-de-tamices-por-ultrasonido-s-50-r>
- Fathi, P., Moosavi-Nasab, M., Mirzapour-Kouhdasht, A., & Khalesi, M. (2021). Generation of hydrolysates from rice bran proteins using a combined ultrasonication-Alcalase hydrolysis treatment. *Food Bioscience*, 42, 101110. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101110>
- Fernández, Y., Sotto, K. D., Vargas, L. A., Fernández, Y., Sotto, K. D., & Vargas-Marín, L. A. (2020). Impactos ambientales de la producción del café, y el aprovechamiento sustentable de los residuos generados. *Producción + Limpia*, 15(1), 93-110. <https://doi.org/10.22507/pml.v15n1a7>
- Fidelis, M., Oliveira, S. M. de, Santos, J. S., Escher, G. B., Rocha, R. S., Cruz, A. G., Carmo, M. A. V. do, Azevedo, L., Kaneshima, T., Oh, W. Y., Shahidi, F., & Granato, D. (2020). From byproduct to a functional ingredient: Camu-camu (*Myrciaria dubia*) seed extract as an antioxidant agent in a yogurt model. *Journal of Dairy Science*, 103(2), 1131-1140. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17173>
- Fortunati, E., Luzi, F., Puglia, D., & Torre, L. (2016). Chapter 1—Extraction of

- Lignocellulosic Materials From Waste Products. En D. Puglia, E. Fortunati, & J. M. Kenny (Eds.), *Multifunctional Polymeric Nanocomposites Based on Cellulosic Reinforcements* (pp. 1-38). William Andrew Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-44248-0.00001-8>
- Franco, D., Munekata, P. E. S., Agregán, R., Bermúdez, R., López-Pedrouso, M., Pateiro, M., & Lorenzo, J. M. (2020). Application of Pulsed Electric Fields for Obtaining Antioxidant Extracts from Fish Residues. *Antioxidants*, 9(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/antiox9020090>
- Gan, R.-Y., Chan, C.-L., Yang, Q.-Q., Li, H.-B., Zhang, D., Ge, Y.-Y., Gunaratne, A., Ge, J., & Corke, H. (2019). 9—Bioactive compounds and beneficial functions of sprouted grains. En H. Feng, B. Nemzer, & J. W. DeVries (Eds.), *Sprouted Grains* (pp. 191-246). AACC International Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811525-1.00009-9>
- García, K. J. P., Toloza, E. P. S., Leal, D. Z. H., & Pérez, L. A. C. (2023). Características sensoriales de una torta adicionada con harina de semilla de fenogreco (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo*, 14(2), Article 2. <https://doi.org/10.24054/raaas.v14i2.2784>
- Garzón, A. G., Veras, F. F., Brandelli, A., & Drago, S. R. (2022). Purificación, identificación y estudios *in silico* de péptidos antioxidantes, antidiabetogénicos y antibacterianos obtenidos a partir de hidrolizado de grano gastado de sorgo. *LWT*, 153, 112414. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112414>
- Gildawie, K. R., Galli, R. L., Shukitt-Hale, B., & Carey, A. N. (2018). Protective Effects of Foods Containing Flavonoids on Age-Related Cognitive Decline. *Current Nutrition Reports*, 7(2), 39-48. <https://doi.org/10.1007/s13668-018-0227-0>
- Gonzalez, L. V. P., Gómez, S. P. M., & Abad, P. A. G. (2017). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 8(2), Article 2. <https://doi.org/10.22490/21456453.2040>
- Hassan, G., Shabbir, M. A., Ahmad, F., Pasha, I., Aslam, N., Ahmad, T., Rehman, A., Manzoor, M. F., Inam-Ur-Raheem, M., & Aadil, R. M. (2021a). Cereal processing waste, an environmental impact and value addition perspectives: A comprehensive treatise. *Food Chemistry*, 363, 130352. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130352>
- Hassan, G., Shabbir, M. A., Ahmad, F., Pasha, I., Aslam, N., Ahmad, T., Rehman, A., Manzoor, M. F., Inam-Ur-Raheem, M., & Aadil, R. M. (2021b). Cereal processing waste, an environmental impact and value addition perspectives: A comprehensive treatise. *Food Chemistry*, 363, 130352. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130352>
- Hatami, T., Meireles, M. A. A., & Ciftci, O. N. (2019). Supercritical carbon dioxide extraction of lycopene from tomato processing by-products: Mathematical modeling and optimization. *Journal of Food Engineering*, 241, 18-25. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.07.036>
- Hemker, A. K., Nguyen, L. T., Karwe, M., & Salvi, D. (2020). Efectos de la hidrólisis enzimática asistida por

- presión sobre las propiedades funcionales y bioactivas de los hidrolizados proteicos derivados de la tilapia (*Oreochromis niloticus*). *LWT*, 122, 109003. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.109003>
- Hernández, E., De Jesús, E., & Zartha Sossa, J. W. (2021). Recovery of Biomolecules from Agroindustry by Solid-Liquid Enzyme-Assisted Extraction: A Review. *Food Analytical Methods*, 14(8), 1744-1777. <https://doi.org/10.1007/s12161-021-01974-w>
- Hillman, G. G., Singh-Gupta, V., Runyan, L., Yunker, C. K., Rakowski, J. T., Sarkar, F. H., Miller, S., Gadgeel, S. M., Sethi, S., Joiner, M. C., & Kanski, A. A. (2011). Soy isoflavones radiosensitize lung cancer while mitigating normal tissue injury. *Radiotherapy and Oncology*, 101(2), 329-336. <https://doi.org/10.1016/j.radonc.2011.10.020>
- Hosseinimehr, S. J., Mahmoudzadeh, A., Ahmadi, A., Mohamadifar, S., & Akhlaghpour, S. (2009). Radioprotective effects of hesperidin against genotoxicity induced by  $\gamma$ -irradiation in human lymphocytes. *Mutagenesis*, 24(3), 233-235. <https://doi.org/10.1093/mutage/gep001>
- Instituto Tecnológico Metropolitano. (2023, junio 22). *Con residuos agroindustriales, el ITM pretende desarrollar materiales para la construcción*. <https://www.itm.edu.co/noticias-principales/con-residuos-agroindustriales-el-itm-pretende-desarrollar-materiales-para-la-construccion/>
- Jain, S., & Anal, A. K. (2017). Production and characterization of functional properties of protein hydrolysates from egg shell membranes by lactic acid bacteria fermentation. *Journal of Food Science and Technology*, 54(5), 1062-1072. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2530-y>
- Jiang, H., Qin, X., Wang, Q., Xu, Q., Wang, J., Wu, Y., Chen, W., Wang, C., Zhang, T., Xing, D., & Zhang, R. (2021). Application of carbohydrates in approved small molecule drugs: A review. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 223, 113633. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2021.113633>
- Jin, S. K., Choi, J. S., & Yim, D.-G. (2020). Hydrolysis Conditions of Porcine Blood Proteins and Antimicrobial Effects of Their Hydrolysates. *Food Science of Animal Resources*, 40(2), 172-182. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2020.e2>
- Kalogeropoulos, N., Chiou, A., Pyriochou, V., Peristeraki, A., & Karathanos, V. T. (2012). Bioactive phytochemicals in industrial tomatoes and their processing byproducts. *LWT - Food Science and Technology*, 49(2), 213-216. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.12.036>
- Kamiloglu, S., Tomas, M., Ozdal, T., Yolci-Omeroglu, P., & Capanoglu, E. (2021). Chapter 2—Bioactive component analysis. En C. M. Galanakis (Ed.), *Innovative Food Analysis* (pp. 41-65). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819493-5.00002-9>
- Kang, K. A., Lee, I. K., Zhang, R., Piao, M. J., Kim, K. C., Kim, S. Y., Shin, T., Kim, B. J., Lee, N. H., & Hyun, J. W. (2011). Radioprotective effect of geraniin via the inhibition of apoptosis triggered by  $\gamma$ -radiation-induced oxidative stress. *Cell Biology and Toxicology*, 27(2), 83-

94. <https://doi.org/10.1007/s10565-010-9172-4>
- Karwowska, M., Łaba, S., & Szczepański, K. (2021a). Food Loss and Waste in Meat Sector—Why the Consumption Stage Generates the Most Losses? *Sustainability*, 13(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/su13116227>
- Karwowska, M., Łaba, S., & Szczepański, K. (2021b). Food Loss and Waste in Meat Sector—Why the Consumption Stage Generates the Most Losses? *Sustainability*, 13(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/su13116227>
- Khalil, A. M., Sabry, O. M., El-Askary, H. I., El Zalabani, S. M., & Fayek, N. M. (2023). Acylated polyphenolics of family Fabaceae: Distribution, chemodiversity, and bioactivity, a comprehensive review. *International Journal of Food Science and Technology*, 58(3), 1028-1036. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16271>
- Knoblich, M., Anderson, B., & Latshaw, D. (2005). Analyses of tomato peel and seed byproducts and their use as a source of carotenoids. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(7), 1166-1170. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2091>
- Kumar, K., Yadav, A. N., Kumar, V., Vyas, P., & Dhaliwal, H. S. (2017). Food waste: A potential bioresource for extraction of nutraceuticals and bioactive compounds. *Bioresources and Bioprocessing*, 4(1), 18. <https://doi.org/10.1186/s40643-017-0148-6>
- Kumar, S., Kalita, S., Basumatary, I. B., Kumar, S., Ray, S., & Mukherjee, A. (2024). Avances recientes en las actividades terapéuticas y biológicas del *Aloe vera*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 57, 103084. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2024.103084>
- Kumar, S., Kushwaha, R., & Verma, M. L. (2020). Chapter 2—Recovery and utilization of bioactives from food processing waste. En M. L. Verma & A. K. Chandel (Eds.), *Biotechnological Production of Bioactive Compounds* (pp. 37-68). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64323-0.00002-3>
- Langyan, S., Yadava, P., Sharma, S., Gupta, N. C., Bansal, R., Yadav, R., Kalia, S., & Kumar, A. (2022). Food and nutraceutical functions of sesame oil: An underutilized crop for nutritional and health benefits. *Food Chemistry*, 389, 132990. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132990>
- Lemes, A. C., de Oliveira Filho, J. G., Fernandes, S. S., Gautério, G. V., & Egea, M. B. (2023). Bioactive Peptides from Protein-Rich Waste. En K. G. Ramawat, J.-M. Mérillon, & J. Arora (Eds.), *Agricultural Waste: Environmental Impact, Useful Metabolites and Energy Production* (pp. 139-166). Springer Nature. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-8774-8\\_6](https://doi.org/10.1007/978-981-19-8774-8_6)
- Lemes, A. C., Egea, M. B., Oliveira Filho, J. G. de, Gautério, G. V., Ribeiro, B. D., & Coelho, M. A. Z. (2022). Biological Approaches for Extraction of Bioactive Compounds From Agro-industrial By-products: A Review. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.802543>
- Lemes, A. C., Sala, L., Ores, J. D. C., Braga, A. R. C., Egea, M. B., & Fernandes, K. F. (2016). A Review of the Latest Advances in Encrypted Bioactive Peptides from Protein-Rich Waste. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/ijms17060950>

- Li, K., Ji, M., Sun, X., Shan, J., & Su, G. (2024). Food Polyphenols in Radiation-Related Diseases: The Roles and Possible Mechanisms. *Current Nutrition Reports*, 13(4), 884-895. <https://doi.org/10.1007/s13668-024-00582-4>
- Li, Y., Li, J., Lin, S.-J., Yang, Z.-S., & Jin, H.-X. (2019). Preparation of Antioxidant Peptide by Microwave-Assisted Hydrolysis of Collagen and Its Protective Effect Against H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Induced Damage of RAW264.7 Cells. *Marine Drugs*, 17(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/md17110642>
- Liu, Y., Wu, Q., Wu, X., Algharib, S. A., Gong, F., Hu, J., Luo, W., Zhou, M., Pan, Y., Yan, Y., & Wang, Y. (2021). Structure, preparation, modification, and bioactivities of  $\beta$ -glucan and mannan from yeast cell wall: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 173, 445-456. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.01.125>
- Lomartire, S., Marques, J. C., & Gonçalves, A. M. M. (2021). An Overview to the Health Benefits of Seaweeds Consumption. *Marine Drugs*, 19(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/md19060341>
- López, M., Molina, C. C., Ovando, M., Leon, M., López, M., Molin, C. C., Ovando, M., & Leon-Bejarano, M. (2022). Orujo de uva: Más que un residuo, una fuente de compuestos bioactivos. *Epistemus (Sonora)*, 16(33), 115-122. <https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i33.283>
- Lorenzo, J. M., González-Rodríguez, R. M., Sánchez, M., Amado, I. R., & Franco, D. (2013). Effects of natural (grape seed and chestnut extract) and synthetic antioxidants (butylatedhydroxytoluene, BHT) on the physical, chemical, microbiological and sensory characteristics of dry cured sausage "chorizo". *Food Research International*, 54(1), 611-620. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.07.064>
- Machmudah, S., Zakaria, Winardi, S., Sasaki, M., Goto, M., Kusumoto, N., & Hayakawa, K. (2012). Lycopene extraction from tomato peel by-product containing tomato seed using supercritical carbon dioxide. *Journal of Food Engineering*, 108(2), 290-296. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.08.012>
- Mala, T., Sadiq, M. B., & Anal, A. K. (2021). Comparative extraction of bromelain and bioactive peptides from pineapple byproducts by ultrasonic- and microwave-assisted extractions. *Journal of Food Process Engineering*, 44(6), e13709. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13709>
- Marabini, L., Melzi, G., Lolli, F., Dell'Agli, M., Piazza, S., Sangiovanni, E., & Marinovich, M. (2020). Efectos del extracto de hojas de *Vitis vinifera* L. sobre el daño causado por la radiación UV en queratinocitos humanos (HaCaT). *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 204, 111810. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2020.111810>
- Medina, N., Ayora, T., Espinosa, H., Sánchez, A., & Pacheco, N. (2017). Ultrasound Assisted Extraction for the Recovery of Phenolic Compounds from Vegetable Sources. *Agronomy*, 7(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/agronomy7030047>
- Medina, P. (2024, octubre 16). La mayor central de abastos de Colombia combate el hambre y los

- desperdicios. *El País América*.  
<https://elpais.com/america-colombia/2024-10-16/la-mayor-central-de-abastos-de-colombia-combate-el-hambre-y-los-desperdicios.html>
- Mensah, E. O., Adadi, P., Asase, R. V., Kelvin, O., Mozhdehi, F. J., Amoah, I., & Agyei, D. (2025). Aloe vera and its byproducts as sources of valuable bioactive compounds: Extraction, biological activities, and applications in various food industries. *PharmaNutrition*, 31, 100436.  
<https://doi.org/10.1016/j.phanu.2025.100436>
- Meshginfar, N., Sadeghi Mahoonak, A., Hosseinian, F., Ghorbani, M., & Tsopmo, A. (2018). Production of antioxidant peptide fractions from a by-product of tomato processing: Mass spectrometry identification of peptides and stability to gastrointestinal digestion. *Journal of Food Science and Technology*, 55(9), 3498-3507.  
<https://doi.org/10.1007/s13197-018-3274-z>
- Moayedi, A., Hashemi, M., & Safari, M. (2016). Valorization of tomato waste proteins through production of antioxidant and antibacterial hydrolysates by proteolytic *Bacillus subtilis*: Optimization of fermentation conditions. *Journal of Food Science and Technology*, 53(1), 391-400.  
<https://doi.org/10.1007/s13197-015-1965-2>
- Moayedi, A., Mora, L., Aristoy, M. C., Safari, M., Hashemi, M., & Toldrá, F. (2018). Análisis peptidómico de péptidos antioxidantes e inhibidores de la ECA obtenidos a partir de proteínas de residuos de tomate fermentadas con *Bacillus subtilis*. *Food Chemistry*, 250, 180-187.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.033>
- Montenegro, M. F., Tapia, P., Vecino, X., Reig, M., Valderrama, C., Granados, M., Cortina, J. L., & Saurina, J. (2021). Polyphenols and their potential role to fight viral diseases: An overview. *Science of The Total Environment*, 801, 149719.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149719>
- Moritz, B., & Tramonte, V. L. C. (2006). Biodisponibilidade do licopeno. *Revista de Nutrição*, 19, 265-273.  
<https://doi.org/10.1590/S1415-52732006000200013>
- Nour, A. H., Oluwaseun, A. R., Nour, A. H., Omer, M. S., Ahmed, N., Nour, A. H., Oluwaseun, A. R., Nour, A. H., Omer, M. S., & Ahmed, N. (2021). Microwave-Assisted Extraction of Bioactive Compounds (Review). En *Microwave Heating—Electromagnetic Fields Causing Thermal and Non-Thermal Effects*. IntechOpen.  
<https://doi.org/10.5772/intechopen.96092>
- ONU, Organización de las Naciones Unidas. (2012). Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo—Alcance, causas y prevención. En *Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo*. FAO.  
<https://www.fao.org/4/i2697s/i2697s00.htm>
- ONU, Organización de las Naciones Unidas. (2023). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2023: Edición especial, Por un plan de rescate para las personas y el planeta* (Edición Especial). United Nations.  
<https://doi.org/10.18356/9789210024938>
- ONU, Organización de las Naciones Unidas. (2025, marzo 4). *Proyecciones de la alimentación y la agricultura hasta 2050 | Estudios de perspectivas mundiales |*

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura* [Proyecciones de la alimentación y la agricultura hasta 2050]. Estudios de perspectivas globales.  
<https://www.fao.org/global-perspectives-studies/food-agriculture-projections-to-2050/en>
- Özalp, B., Eren, M., Pala, A., Özmen, İ., & Soyer, A. (2011). Effect of plant extracts on lipid oxidation during frozen storage of minced fish muscle. *International Journal of Food Science and Technology*, 46(4), 724-731.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02541.x>
- Palhares, J. C. P., Oliveira, V. B. V., Freire Junior, M., Cerdeira, A. L., Prado, H. A. do, Julio Cesar Pascale Palhares, C., Vania Beatriz Vasconcelos Oliveira, C.-R., Murillo Freire Junior, C., Antonio Luiz Cerdeira, C., & Hercules Antonio Do Prado, S. (2020). *Responsible consumption and production: Contributions of Embrapa*.  
<https://agris.fao.org/search/en/providers/122419/records/651196e4ac38d47a7a1eca47>
- Parra, R. I., Flórez, S., & Rodríguez, D. (2022). *La competitividad de la cadena del arroz en Colombia: Un compromiso con el bienestar del agricultor*.  
<http://www.repository.fedesarrollo.org.co/handle/11445/4237>
- Pasini, C. T., Monteiro, P. I., Santos, J. S., Cruz, A. G., Cristina Da Silva, M., & Granato, D. (2019). Phenolic-rich Petit Suisse cheese manufactured with organic Bordeaux grape juice, skin, and seed extract: Technological, sensory, and functional properties. *LWT*, 115, 108493.  
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108493>
- Pataro, G., Carullo, D., Falcone, M., & Ferrari, G. (2020). Recovery of lycopene from industrially derived tomato processing by-products by pulsed electric fields-assisted extraction. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 63, 102369.  
<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102369>
- Patiño-Condía Angie Leonela, Ramón-Valencia Jacipt Alexander, Ramón Jarol Derley. (2023). Utilización del fitoerreactor air-lift, a partir de microalgas *Chlorella Vulgaris*, para remoción de materia orgánica en aguas residuos urbanas. *Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*. ISSN Impreso 1692-7125 ISSN Electrónico 2711-3035. Volumen 21 N° 2. Pp: 138 – 152.  
<https://doi.org/10.24054/limentech.v21i2.2792>
- Paula, L. C. de, Lemes, A. C., Neri, H. F. da S., Ghedini, P. C., Batista, K. de A., & Fernandes, K. F. (2020). Antioxidant and anitoperoxidative effect of polypeptides from common beans (*Phaseolus vulgaris*, cv BRS Pontal) / Efeito antioxidante e anitoperoxidativo dos polipéptidos do feijão comum (*Phaseolus vulgaris*, cv BRS Pontal). *Brazilian Journal of Development*, 6(7), 50569-50580.  
<https://doi.org/10.34117/bjdv6n7-635>
- Peng, X., Ma, J., Cheng, K.-W., Jiang, Y., Chen, F., & Wang, M. (2010). The effects of grape seed extract fortification on the antioxidant activity and quality attributes of bread. *Food Chemistry*, 119(1), 49-53.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.05.083>
- Prado, D. M. F., Almeida, A. B., Oliveira Filho, J. G., Alves, C. C. F., Egea, M. B., & Lemes, A. C. (2021).

- Extraction of Bioactive Proteins from Seeds (Corn, Sorghum, and Sunflower) and Sunflower Byproduct: Enzymatic Hydrolysis and Antioxidant Properties. *Current Nutrition & Food Science*, 17(3), 310-320.  
<https://doi.org/10.2174/1573401316999200731005803>
- Putra, N. R., Rizkiyah, D. N., Abdul Aziz, A. H., Che Yunus, M. A., Veza, I., Harny, I., & Tirta, A. (2023). Waste to Wealth of Apple Pomace Valorization by Past and Current Extraction Processes: A Review. *Sustainability*, 15(1), Article 1.  
<https://doi.org/10.3390/su15010830>
- Rajendran, S. R., Mohan, A., Khiari, Z., Udenigwe, C. C., & Mason, B. (2018). Yield, physicochemical, and antioxidant properties of Atlantic salmon visceral hydrolysate: Comparison of lactic acid bacterial fermentation with Flavourzyme proteolysis and formic acid treatment. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(6), e13620.  
<https://doi.org/10.1111/jfpp.13620>
- Ramírez, K., Pineda-Hidalgo, K. V., & Rochín-Medina, J. J. (2021). La fermentación de posos de café usados por *Bacillus clausii* induce la liberación de péptidos potencialmente bioactivos. *LWT*, 138, 110685.  
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110685>
- Rodríguez, A. B. B., Fuertes, M. M. P., Ramírez, G. E. M., Rodríguez, A. B. B., Fuertes, M. M. P., & Ramírez, G. E. M. (2023). Uso potencial de residuos agroindustriales como fuente de compuestos fenólicos con actividad biológica. *MediSur*, 21(6), 1322-1330.
- Romero, M. (2022). Los residuos agroindustriales, una oportunidad para la economía circular. *Tecnológicas*, 25(54).  
<https://doi.org/10.22430/22565337.2505>
- Rout, P., Chakraborty, C., & Hossain, S. (2024). Functional characterization of enzyme-hydrolysed soy and whey protein isolates: A comparative approach. *Food Chemistry Advances*, 5, 100745.  
<https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100745>
- Ruan, S., Li, Y., Wang, Y., Huang, S., Luo, J., & Ma, H. (2020). Analysis in protein profile, antioxidant activity and structure-activity relationship based on ultrasound-assisted liquid-state fermentation of soybean meal with *Bacillus subtilis*. *Ultrasonics Sonochemistry*, 64, 104846.  
<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104846>
- Sadeghi, A., Hakimzadeh, V., & Karimifar, B. (2017). Microwave Assisted Extraction of Bioactive Compounds from Food: A Review. *International Journal of Food Science and Nutrition Engineering*.  
<https://www.semanticscholar.org/paper/Microwave-Assisted-Extraction-of-Bioactive-from-A-Sadeghi-Hakimzadeh/0c58335a3efeed68c18676410d3dfecddfdbab06d>
- Salazar-Sánchez Margarita del Rosario, Solanilla-Duque José Fernando. (2023). Tendencias en el aprovechamiento de residuos de mango para la obtención de materiales no alimentarios. *Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*. ISSN Impreso 1692-7125 ISSN Electrónico 2711-3035. Volumen 21 N° 1. Pp: 160 – 179.  
<https://doi.org/10.24054/limentech.v21i2.2742>
- San Pablo, B., Mojica, L., & Urías, J. E. (2019). Chia Seed (*Salvia hispanica* L.) Pepsin Hydrolysates Inhibit Angiotensin-Converting Enzyme by Interacting with its Catalytic Site.

- Journal of Food Science*, 84(5), 1170-1179.  
<https://doi.org/10.1111/1750-3841.14503>
- Santana, Á. L., & Meireles, M. A. A. (2023). Extraction of Essential Oils with Supercritical Fluid. En Inamuddin (Ed.), *Essential Oils* (1.<sup>a</sup> ed., pp. 671-684). Wiley.  
<https://doi.org/10.1002/9781119829614.ch30>
- Santos, D. I., Saraiva, J. M. A., Vicente, A. A., & Moldão-Martins, M. (2019). 2—Methods for determining bioavailability and bioaccessibility of bioactive compounds and nutrients. En F. J. Barba, J. M. A. Saraiva, G. Cravotto, & J. M. Lorenzo (Eds.), *Innovative Thermal and Non-Thermal Processing, Bioaccessibility and Bioavailability of Nutrients and Bioactive Compounds* (pp. 23-54). Woodhead Publishing.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814174-8.00002-0>
- Schiebel, C. S., Bueno, L. R., Pargas, R. B., de Mello Braga, L. L. V., da Silva, K. S., Fernandes, A. C. V. U., dos Santos Maia, M. H., de Oliveira, N. M. T., Bach, C., & Maria-Ferreira, D. (2024). Exploring the biological activities and potential therapeutic applications of agro-industrial waste products through non-clinical studies: A systematic review. *Science of The Total Environment*, 950, 175317.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175317>
- Shanthakumar, J., Karthikeyan, A., Bandugula, V. R., & Rajendra Prasad, N. (2012). Ferulic acid, a dietary phenolic acid, modulates radiation effects in Swiss albino mice. *European Journal of Pharmacology*, 691(1), 268-274.  
<https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2012.06.027>
- Serna F. Tiana, Contreras S. Yucelys, Lozano P. María; Salcedo M. Jairo, Hernández R. Jorge, (2017). Variación del método de secado en la fermentación espontanea de almidón nativo de yuca. *Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*. ISSN 1692-7125. Volumen 15 N° 1. Pp:50 -65. DOI: <https://doi.org/10.24054/limentech.v15i1.2174>.
- Sim, H.-J., Bhattarai, G., Lee, J., Lee, J.-C., & Kook, S.-H. (2019). The Long-lasting Radioprotective Effect of Caffeic Acid in Mice Exposed to Total Body Irradiation by Modulating Reactive Oxygen Species Generation and Hematopoietic Stem Cell Senescence-Accompanied Long-term Residual Bone Marrow Injury. *Aging and Disease*, 10(6), Article 6.  
<https://doi.org/10.14336/AD.2019.0208>
- Singh, A., & Negi, P. S. (2025). Biotechnological Application of Health-Promising Bioactive Compounds. En *Biotechnological Intervention in Production of Bioactive Compounds* (pp. 73-94). Springer, Cham.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-031-76859-0\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-031-76859-0_5)
- Singh, R. D., Muir, J., & Arora, A. (2021). Concentration of xylooligosaccharides with a low degree of polymerization using membranes and their effect on bacterial fermentation. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 15(1), 61-73.  
<https://doi.org/10.1002/bbb.2145>
- Singh, T. P., Siddiqi, R. A., & Sogi, D. S. (2019). Statistical optimization of enzymatic hydrolysis of rice bran protein concentrate for enhanced hydrolysate production by papain. *LWT*, 99, 77-83.  
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.09.014>

- Soquetta, M. B., Terra, Lisiane de Marsillac, & Bastos, C. P. (2018). Green technologies for the extraction of bioactive compounds in fruits and vegetables. *CyTA - Journal of Food*, 16(1), 400-412. <https://doi.org/10.1080/19476337.2017.1411978>
- Soto Toloza, E. P., Acevedo, S. N. M., & Caballero Pérez, L. A. (2023). Efecto de la sustitución parcial de harina de trigo (*Triticum Vulgare*) por harina de garbanzo (*Cicer Arietinum* L) en las características sensoriales de una galleta dulce. *REVISTA AMBIENTAL AGUA, AIRE Y SUELO*, 14(1), Article 1. <https://doi.org/10.24054/raaas.v14i1.2747>
- Soto Toloza, E. P., & Caballero Pérez, L. A. (2021). Evaluación de la calidad de café en taza de una muestra comercial de la region frente a una muestra comercial de alta calidad tipo exportación. *@limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 19(1), Article 1. <https://doi.org/10.24054/limentech.v19i1.1408>
- Tacias, V. G., Castañeda, D., Morellon, R., Tavano, O., Berenguer-Murcia, Á., Vela-Gutiérrez, G., Rather, I. A., & Fernandez-Lafuente, R. (2021). Bioactive peptides from fisheries residues: A review of use of papain in proteolysis reactions. *International Journal of Biological Macromolecules*, 184, 415-428. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.06.076>
- Tesfay, S., & Teferi, M. (2017). Assessment of fish post-harvest losses in Tekeze dam and Lake Hashenge fishery associations: Northern Ethiopia. *Agriculture & Food Security*, 6(1), Article 1. <https://doi.org/10.1186/s40066-016-0081-5>
- Tosh, S. M., Brummer, Y., Miller, S. S., Regand, A., Defelice, C., Duss, R., Wolever, T. M. S., & Wood, P. J. (2010). Processing Affects the Physicochemical Properties of  $\beta$ -Glucan in Oat Bran Cereal. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(13), 7723-7730. <https://doi.org/10.1021/jf904553u>
- Trombino, S., Cassano, R., Procopio, D., Di Gioia, M. L., & Barone, E. (2021). Valorization of Tomato Waste as a Source of Carotenoids. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 26(16), 5062. <https://doi.org/10.3390/molecules26165062>
- Ulug, E., & Pinar, A. A. (2023). A New Approach to Polycystic Ovary Syndrome and Related Cardio-metabolic Risk Factors: Dietary Polyphenols. *Current Nutrition Reports*, 12(3), 508-526. <https://doi.org/10.1007/s13668-023-00488-7>
- Universidad E.I.A. (2020). Investigación pretende reutilizar 600 toneladas de residuos agroindustriales cada año en Urabá. *EIA*. <https://www.eia.edu.co/portfolio/noticias-eia-investigacion-pretende-reutilizar-600-toneladas-de-residuos-agroindustriales-cada-ano-en-uraba/>
- Urbonaviciene, D., & Viskelis, P. (2017). Composición de isómeros de *cis*-licopeno en subproductos de tomate extraídos con CO<sub>2</sub> supercrítico. *LWT - Food Science and Technology*, 85, 517-523. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.03.034>
- Wang, J., Li, T., Feng, J., Li, L., Wang, R., Cheng, H., & Yuan, Y. (2018). El kaempferol protege contra la mortalidad y el daño inducidos por la radiación gamma al inhibir el estrés oxidativo y modular las moléculas apoptóticas *in vivo* e *in vitro*. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 60, 128-137. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2018.04.014>

- Wang, L., Li, T., Wu, C., Fan, G., Zhou, D., & Li, X. (2025). Unlocking the potential of plant polyphenols: Advances in extraction, antibacterial mechanisms, and future applications. *Food Science and Biotechnology*, 34(6), 1235-1259.  
<https://doi.org/10.1007/s10068-024-01727-5>
- Wisuthiphaet, N., Klinchan, S., & Kongruang, S. (2016). Fish Protein Hydrolysate Production by Acid and Enzymatic Hydrolysis. *Applied Science and Engineering Progress*, 9(4), Article 4. <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/ijast/article/view/72566>
- Wong, J. E., Aguilar, P., Veana, F., & Muñoz-Marquez, D. B. (2020). Impacto de las tecnologías de extracción verdes para la obtención de compuestos bioactivos de los residuos de frutos cítricos. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 23(1), 1-11.
- Wong, J. E., Muñoz, D. B., Martínez, G. C. G., Belmares, R. E., & Aguilar, C. N. (2015). Ultrasound-assisted extraction of polyphenols from native plants in the Mexican desert. *Ultrasonics Sonochemistry*, 22, 474-481.  
<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2014.06.001>
- Xue, Q., Chen, Q., Wang, M., & Liu, L. (2022). [Radioprotective effects of gallic acid on bone marrow cells in mice]. *Wei sheng yan jiu = Journal of hygiene research*, 51(1), 91-98.  
<https://doi.org/10.19813/j.cnki.weishengyanjiu.2022.01.016>
- Yousefi, M., Rahimi-Nasrabadi, M., Pourmortazavi, S. M., Wysokowski, M., Jesionowski, T., Ehrlich, H., & Mirsadeghi, S. (2019). Supercritical fluid extraction of essential oils. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 118, 182-193.  
<https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.05.038>
- Yu, J., Mikiashvili, N., Bonku, R., & Smith, I. N. (2021). Allergenicity, antioxidant activity and ACE-inhibitory activity of protease hydrolyzed peanut flour. *Food Chemistry*, 360, 129992.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129992>
- Zagoskina, N. V., Zubova, M. Y., Nechaeva, T. L., Kazantseva, V. V., Goncharuk, E. A., Katanskaya, V. M., Baranova, E. N., & Aksenova, M. A. (2023). Polyphenols in Plants: Structure, Biosynthesis, Abiotic Stress Regulation, and Practical Applications (Review). *International Journal of Molecular Sciences*, 24(18), Article 18.  
<https://doi.org/10.3390/ijms241813874>
- Zamuz, S., López-Pedrouso, M., Barba, F. J., Lorenzo, J. M., Domínguez, H., & Franco, D. (2018). Application of hull, bur and leaf chestnut extracts on the shelf-life of beef patties stored under MAP: Evaluation of their impact on physicochemical properties, lipid oxidation, antioxidant, and antimicrobial potential. *Food Research International (Ottawa, Ont.)*, 112, 263-273.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.053>
- Zhang, X., Liu, Y., Yong, H., Qin, Y., Liu, J., & Liu, J. (2019). Desarrollo de películas multifuncionales para envasado de alimentos basadas en quitosano, nanopartículas de TiO<sub>2</sub> y extracto de cáscara de ciruela negra rico en antocianinas. *Food Hydrocolloids*, 94, 80-92.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.03.009>