

Residuos vegetales generados en plazas de mercado: alternativas para su valorización en la obtención de metabolitos de interés industrial¹

Plant waste generated in marketplaces: alternatives for valorization to obtain metabolites of industrial interest

J. Mojica, W. H. Pérez y E. M. Sánchez

Recibido: diciembre 09 de 2022 – Aceptado: marzo 27 de 2025

Resumen—La generación de residuos de biomasa, como los residuos vegetales, es una de las problemáticas ambientales de mayor impacto y las estrategias de aprovechamiento de estos con frecuencia están enfocadas a la obtención de productos como bioabonos, compostaje o comida para animales. La tendencia en el área ha mostrado que los procesos de biorrefinería de la biomasa residual se ha constituido como una estrategia que, dentro del marco de la economía circular, puede valorizar estos residuos obteniendo biomoléculas de mayor interés para su aplicación en diferentes sectores industriales, generando un valor agregado a los procesos donde se generan estos residuos. El objetivo de esta revisión es presentar diferentes alternativas de aprovechamiento de residuos vegetales generados en plazas de mercado en la obtención de productos con potencial industrial. Para esto, se realizó una búsqueda bibliográfica en bases de datos

con una restricción de términos asociados al tema de estudio, que fueron clasificados de acuerdo a su aplicación en la obtención de diferentes productos, encontrando que dentro de las alternativas de uso se presenta el aprovechamiento de estos residuos para la elaboración de sustratos en la producción de enzimas microbianas, y de biomoléculas como polifenoles, carotenos, licopeno, vainillina, pectina, colorantes y productos como aceites esenciales.

Palabras clave—Biomasa, biomoléculas, biorrefinería, economía circular, enzimas.

Abstract—Waste biomass generation, such as plant waste, is one of the environmental problems with a major impact, and frequently, their use strategies are focused on obtaining products such as biofertilizers, compost, or animal feed. The area trend has shown that the biorefinery processes of residual biomass have become a strategy that, within the framework of the circular economy, can valorize these wastes by obtaining biomolecules of greater interest for their application in different industrial sectors, generating added value to the processes where these wastes are generated. This review aims to present different alternatives for using vegetable waste generated in marketplaces to obtain products with industrial potential. For this purpose, a bibliographic search was carried out in databases with a restriction of terms associated with the topic of study, which were classified according to their application in obtaining different products, finding that among the alternatives of use, the use of these wastes for the elaboration of substrates in microbial enzymes production, and biomolecules such as polyphenols, carotenoids, lycopene, vanillin, pectin, colorants and products such as essential oils, is presented.

Keywords—Biomass, biomolecules, biorefinery, circular economy, enzymes.

¹Producto derivado de los proyectos de investigación “Obtención de bioetanol a partir de residuos agrícolas y valorización de subproductos generados en el proceso”, “Obtención de productos aprovechables a partir de la valorización de residuos orgánicos generados en plazas de mercado de Bogotá, en el marco de la economía circular” y “Aplicación de enzimas producidas de residuos orgánicos para obtención de productos de interés industrial, enmarcado en la economía circular”, apoyados por el Centro de Gestión Industrial del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA- CGI) y al Sistema de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico (SENNOVA).

J. Mojica-Gómez, SENA - CGI, Bogotá, Colombia, email: jamojica@sena.edu.co.

W. H. Pérez-Mora, SENA - CGI, Bogotá, Colombia, email: hperez@sena.edu.co.

E. M. Sánchez-Castelblanco, SENA - CGI, Bogotá, Colombia, email: esanchez@sena.edu.co.

Como citar este artículo: Mojica, J., Pérez, W H., y Sánchez, E. M. Residuos vegetales generados en plazas de mercado: alternativas para su valorización en la obtención de metabolitos de interés industrial, *Entre Ciencia e Ingeniería*, vol. 19, no. 37, pp. 09-19, enero-junio 2025. DOI: <https://doi.org/10.31908/19098367.2884>.



Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)

I. INTRODUCCIÓN

Las prácticas agrícolas y forestales producen grandes cantidades de residuos orgánicos. La gestión de estos residuos es un proceso complejo que va más allá de la prevención, recolección, tratamiento y eliminación de residuos; abarcando un ámbito más amplio en el desarrollo

socioeconómico, que se debe enfocar en proteger, preservar y mejorar la calidad del medio ambiente, la salud humana, garantizar la utilización prudente y racional de los recursos naturales, promoviendo una economía circular, que mejoré su uso, eficiencia y asegurando que los residuos se valoren como materia prima en otros procesos [1], [2].

De acuerdo con la definición de Pfaltzgraff y colaboradores [3], los residuos de la cadena de suministro de alimentos están constituidos por el material orgánico producido para consumo humano desechado, perdido o degradado principalmente en las etapas de fabricación y venta al por menor. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), estima que el 30% de los alimentos producidos para consumo humano a nivel mundial, se pierde o desperdicia en algún lugar de la cadena de suministro de alimentos [4]. En este sentido, son las plazas de mercado uno de los mayores generadores de residuos de este tipo [5], [6].

Sumado a esto, la generación anual global de residuos de biomasa es del orden de 140 Gt y esto presenta importantes problemas de gestión, ya que la biomasa descartada puede tener impactos ambientales negativos [7]. En este contexto, nace la necesidad de evitar la generación de residuos, mediante procedimientos de biorrefinería en los cuales usando métodos químicos, físicos y biológicos se valoriza la biomasa residual en la obtención de productos de interés industrial como biocombustibles, bioquímicos y biomateriales [8]. Es así que, en el marco de la química verde y la economía circular, el uso de residuos de biomasa en general y en particular los residuos de la cadena de suministro de alimentos se ha convertido en una prometedora área de investigación [3], como lo demuestran la cantidad de publicaciones científicas en el área de biorrefinería, en el marco de economía circular, la cual presenta un interés creciente en las últimas dos décadas de acuerdo con la bibliometría del término realizada en los buscadores de la plataforma ScienceDirect y de la plataforma SCOPUS (Fig. 1). Estos artículos fueron publicados en diferentes áreas del conocimiento, encontrando la mayor cantidad (19%) en el área de ingeniería química y (19%) en el área temática de energía (Fig. 2).

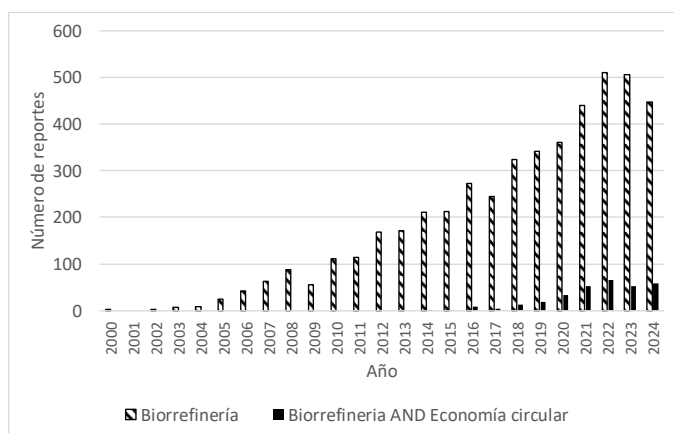


Fig. 1. Bibliometría del término Biorrefinería en las dos últimas décadas en el marco de la economía circular. La búsqueda se restringió al campo título, que incluyera la palabra biorrefinería. De estos artículos se restringió la búsqueda a aquellos artículos que además incluyeran la palabra economía circular en

alguno de los campos título, palabra clave o resumen (Los resultados se reportan al día 13 de noviembre de 2024).

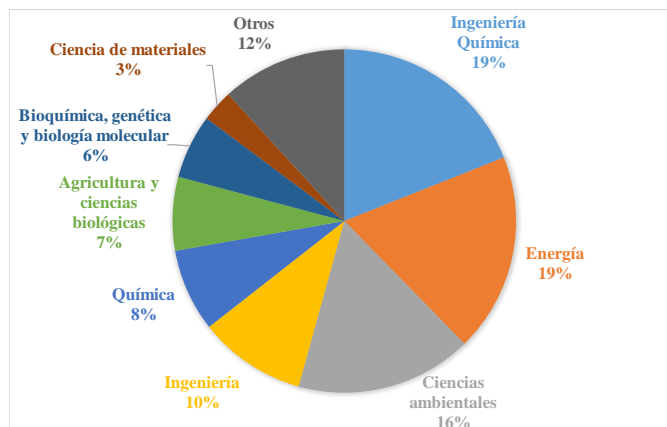


Fig. 1. Áreas de estudio en las que se publicaron los artículos referidos a la Fig. 1. Los datos se obtuvieron con la herramienta análisis de búsqueda de la base de datos de SCOPUS al día 13 de junio de 2022.

Los residuos de biomasa contienen valiosas moléculas funcionales como polifenoles, biopolímeros, ceras, azúcares, ácidos grasos, entre otros [3], que tienen propiedades potencialmente aprovechables en otros procesos. En los países industrializados, estos desechos son transformados en energía o productos químicos básicos, mientras que en los países en vías de desarrollo existe una brecha en su gestión eficiente, debido a la insuficiencia de infraestructura, marco de políticas y recursos monetarios [9]. En consecuencia, estos residuos frecuentemente son desechados sin transformación, o se subutilizan en procesos como la generación de electricidad, producción de alimentos para animales, producción de abonos y compostaje que producen gases de efecto invernadero como óxido nitroso y metano con igual o mayor efecto que el dióxido de carbono [3], [9], [10], [11], procesos que infrutilizan o desperdician el potencial de uso que tienen las biomoléculas contenidas en estos residuos.

Para el caso de Bogotá, se reportó que de las 76 toneladas de residuos orgánicos provenientes de frutas verduras y hortalizas generados en la central mayorista de Abastos, aproximadamente el 97% se utiliza para procesos de compostaje, fertilizantes líquidos, energía, y alimentación de ganado [12], evidenciando también a nivel local el desaprovechamiento de los residuos en la obtención que generen mayores beneficios económicos, ambientales y sociales.

Estudios previos muestran la posibilidad de obtener moléculas y productos de interés a partir de biomasa residual, con el fin de aprovecharla adecuadamente. En ese sentido, esta revisión pretende mostrar las diversas posibilidades de valorización de este tipo de residuos.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Para realizar este documento se llevó a cabo una revisión bibliográfica en diferentes bases de datos tales como Science direct, Scopus, Scielo y Google Academic. Las palabras de búsqueda utilizadas (en inglés y en español) fueron:

biorefinería, economía circular, residuos agroindustriales, enzimas, amilasas, ligninasas, celulasas, lipasas, pectinasas, proteasas, pectinas, colorantes, pigmentos vegetales, clorofila, polifenoles, aceites esenciales, biopolímeros; también se aplicó el operador de búsqueda AND para consultas de términos adyacentes entre las palabras anteriores y residuos agroindustriales.

La búsqueda se limitó a documentos publicados a partir del año 2011, analizando 79 publicaciones, que en su mayoría corresponden a artículos científicos, libros y tesis publicados tanto en inglés como en español

III.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El resultado de la revisión bibliográfica permite identificar posibles alternativas de uso para los residuos de origen vegetal generados en las plazas de mercado y de qué manera pueden ser aprovechados con dos enfoques principales: fuente de sustratos para la producción de enzimas y como materia prima para la extracción de biomoléculas.

A. Posibles Aplicaciones de la biomasa residual generada en Plazas de mercado.

1) Biomasa para la obtención de enzimas.

La mayor parte de residuos agroindustriales como bagazo de caña, yuca, pulpa de café, pulpa de manzana, remolacha son dispuestos por incineración o en relleno sanitario generando tanto contaminación del suelo como atmosférica. Recientemente, estos residuos han empezado a ser comercialmente atractivos para la producción de enzimas debido a su composición de carbono, nitrógeno y minerales que sirven como fuente de nutrición y energía para que los microorganismos, mediante procesos de fermentación sólida o sumergida, produzcan enzimas a bajo costo [13].

La economía de la industria de las enzimas ha estado condicionada por los costos de producción relacionados con la materia prima, procesos de purificación y dinámicas del mercado del producto final. Es por ello, que el uso de una gran variedad de residuos ricos en lignina, celulosa, almidón, lípidos y proteínas ha aumentado el interés de la comunidad científica debido a que estos subproductos de procesos agroindustriales pueden ser utilizados como materia prima viable con el objetivo de reducir los costos de la producción de enzimas, ya que son más económicos que los productos comerciales y sintéticos utilizados tradicionalmente como sustratos en esta industria [14]. En este sentido, el grupo de investigación en procesos industriales – Neurona, semillero de biotecnología, ha evaluado residuos de procesos agroindustriales como bagazo de caña, tallos de flor, cáscaras de papa, yuca y plátano para su aprovechamiento como sustratos para la obtención de enzimas microbianas [15], [16], [17], [18].

En la tabla I, se relacionan diferentes tipos de biomasa residual que recientemente se han aprovechado como fuente de almidón, celulosa, lignina, lípidos, pectina o proteínas para la obtención de amilasas, celulasas, ligninasas, lipasas,

pectinasas y proteasas mediante la acción de bacterias, hongos y levaduras, lográndose la producción de enzimas con actividades enzimáticas considerables para su aplicación en procesos industriales.

Los residuos ricos en almidón no solo han sido evaluados como sustratos en la producción de amilasas, también se ha considerado la posibilidad de incluir dichos sustratos ya hidrolizados dentro de nuevos procesos de producción. Es así como, por ejemplo, las cáscaras de soya y residuos de harina de trigo obtenidos de molinos fueron utilizadas en la obtención de α -amilasas, encontrándose que la bio-conversión de estos residuos permite la producción de estas enzimas a partir de microorganismos amilolíticos y que la biomasa sobrante de esta conversión puede ser reutilizada para producir otros productos como el bioetanol o ácidos orgánicos [19].

Así mismo, diferentes tipos de residuos ricos en celulosa y lignina se han evaluado para identificar su potencial de uso como sustratos en la producción de enzimas microbianas. Es así como, por ejemplo, residuos de naranja, manzana y arroz, obtenidos a partir de centros de acopio, se han estudiado para identificar su potencial como sustratos en la obtención de enzimas, encontrándose que estos tienen una carga inicial de celulasas, la cual no incrementa significativamente después de procesos de fermentación, dilucidando que estos sustratos ya han sido previamente transformados por microorganismos presentes en los residuos. Estos resultados sugieren que a partir de estos residuos además de poder extraer enzimas previamente obtenidas por fermentación, también se pueden obtener microorganismos para la obtención de celulasas y otros productos como el biogás [20].

Otra opción estudiada para los residuos lignocelulósicos es la producción de bioetanol, el cual se puede obtener con una previa producción de enzimas celulolíticas mediante microorganismos que hidrolizan la lignina y celulosa para obtener sustratos adecuados para obtener alcohol vía fermentativa [21].

También se ha encontrado que los residuos agroindustriales ricos en lignina son una fuente para obtener enzimas lignolíticas y al mismo tiempo facilitan la extracción de componentes fenólicos presentes en la biomasa lignocelulolítica, esto se logra gracias a la hidrólisis microbiana de la celulosa y la lignina dando como resultado la producción de enzimas y de compuestos antioxidantes que se pueden utilizar en procesos industriales [22].

Las enzimas como las celulasas y ligninasas obtenidas a partir de la transformación de los residuos agroindustriales, además se han estudiado como una opción para realizar el pretratamiento de estos mismos subproductos, para obtener otro tipo de productos como jarabes de azúcar y bioetanol [21], [23].

TABLA I
PRODUCCIÓN DE ENZIMAS A PARTIR DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES

Enzimas	Residuo	Microorganismo productor	Actividad enzimática	Referencia
Amilasas	Salvado de trigo	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	112 U/ml	[24]
	Cáscaras de papa		89 U/ml	
	Salvado de arroz		77 U/ml	
	Cascarilla de arroz	<i>Bacillus velezensis</i> KB 2216	2.151 U/ml	[25]
	Cáscara de frijol mungo		180.06 U/ml	
	Cascarilla de Perla de mijo		≈12.5 U/mL	
	Bagazo de caña		≈8 U/mL	
	Paja de avena		≈9.5 U/mL	
	Cáscaras de papa, naranja y granada		≈11 U/mL	
	Salvado de arroz	<i>Bacillus tequilensis</i> TB5	39.736 U/ml	[26]
	Cáscaras de papa	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> A16	44,2 U/mL	[15]
	Cáscaras de plátano		96.52 U/mL	[16]
	Cáscaras de yuca		40.94 U/mL	
	Pericarpio de maíz	<i>Bacillus</i> sp. TMF-1	50.75 IU g ⁻¹	[27]
	Cascarilla de soya y residuos de molinos de harina	<i>Aspergillus Oryzae</i>	45,900 U/g de sustrato seco	[19]
Cáscaras de banana y naranja	<i>Bacillus pumilus</i>	156.5 U mg ⁻¹	[22]	
Celulasas	Salvado de maíz	<i>Bacillus</i> sp. TMF-1	1,9 IU g ⁻¹	[27]
	Residuos de Durazno	<i>Pleurotus eryngii</i>	3,64 U mL ⁻¹ (CMCasas)	[28]
			3,08 U mL ⁻¹ (Xilanasa)	
			29,96 U L ⁻¹ (β-glucosidasa)	
			42,57 U L ⁻¹ (Exoglucanasa)	
	Residuos de Cereza	<i>Pleurotus eryngii</i>	1,30 U mL ⁻¹ (CMCasa)	[29]
			1,16 U mL ⁻¹ (Xilanasas)	
			35,67 U L ⁻¹ (β-glucosidase)	
			13,15 U L ⁻¹ (Exoglucanasa)	
	Paja de arroz	<i>Aspergillus heteromorphus</i>	6,3 IU/mL (Exoglucanasa)	[29]
			11,6 IU/mL (Xylanase)	
			8,1 IU/mL (Endoglucanasa)	
Tallos de flor	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> C18 A	35,06 U/mL	[17]	
Bagazo de caña		39,09 U/mL		
Ameros de mazorca y Vainas de leguminosas	Bacterias celulolíticas	19,82 ± 3,0 U/mL	[30]	
Ligninasas	Residuos de Durazno	<i>Pleurotus eryngii</i>	94,09 U L ⁻¹ (peroxidasa) 239,25 ± 7,3 U L ⁻¹ (Aryl alcohol oxidasa)	[28]
	Residuos de Cereza	<i>Pleurotus eryngii</i>	91,4 ± 3,8 U L ⁻¹ (Aryl alcohol oxidasa)	
Ligninasas-Lacasas	Cáscaras de mandarina	<i>Chromobacter xylooxidans</i>	29,4 U/mL	[31]
	Salvado de trigo	<i>Bordetella bronchiseptica</i>	28,2 U/mL	
	Vinaza y residuos de algodón	<i>Trametes versicolor</i>	1587 U/L	[32]
	Residuos de Durazno	<i>Pleurotus eryngii</i>	337,29 U L ⁻¹	[28]
Residuos de Cereza	2193,06 4U L ⁻¹			
Lipasas	Salvado de arroz	<i>Aspergillus niger</i>	13,267 U·g ⁻¹	[33]
	Salvado de trigo, manteca de cacao	<i>Aspergillus terreus</i>	2867,18 U g ⁻¹	[34]
	Melaza de caña de azúcar	<i>Yarrowia lipolytica</i>	16420 U/ml	[35]
	Tegumento de mango		3500 U/L	[36]
	Melaza, licor de maíz y residuos de aceitunas	<i>Diutina rugosa</i>	561 U/L	[37]
Pectinasas	Cáscaras de banana y naranja	<i>Bacillus pumilus</i>	304 U mg ⁻¹	[22]
	Cáscaras de naranja y Torta de cacahuete	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	6285 U/mL	[38]
	Hollejo de uva		929 U/mL	
	Cáscaras de banana		929 U/mL	
	Cáscaras de mango		879 U/mL	
Harina de Soya	<i>Bacillus</i> sp. TMF-1	64,90 IU g ⁻¹	[27]	
Pericarpio de maíz		50,51 IU g ⁻¹		
Proteasas	Salvado de trigo	<i>Bacillus licheniformis</i> K-3	1303 U/ml	[39]
	Cáscaras de papa		1167 U/ml	
	Cáscaras de banano	<i>Aspergillus viridi</i>	172,6 U/mL	[10]

El aprovechamiento de residuos lignocelulósicos además de solventar los problemas ambientales directos ocasionados por la disposición de estos también plantea una alternativa para suplir los materiales tradicionalmente utilizados en la obtención de etanol, los cuales son productos agrícolas como el maíz y la caña de azúcar que también son empleados en la industria de alimentos. Entonces el uso de residuos lignocelulósicos para la obtención de bioetanol favorece adicionalmente la seguridad alimentaria, que puede verse afectada por la actual demanda de bioetanol. Dentro de los residuos propuestos para la producción de bioetanol se incluyen residuos agroindustriales como el bagazo de coco y los residuos urbanos dentro de los cuales aproximadamente en una tonelada se encuentran 600 kg de materiales lignocelulósicos. Se calcula que, a partir de estos, mediante transformación enzimática, se puede obtener el 53% de azúcares reductores. Indicando que, a partir de una tonelada de residuos urbanos, pretratados enzimáticamente, se pueden obtener 152 L de bioetanol [40].

Aunque los residuos agroindustriales han sido comprobados como opciones de sustrato de bajo costo para la producción de enzimas, también es importante tener en cuenta algunos obstáculos que pueden dificultar el aprovechamiento de estos residuos en la obtención de enzimas. Una de las dificultades se deriva de la composición molecular compleja de estos residuos, que en su mayoría están formados por cadenas de lignina, celulosa y hemicelulosa lo cual hace compleja su hidrólisis. Así mismo, las condiciones y variables heterogéneas del proceso de fermentación pueden dificultar el escalamiento de estos procesos, la posterior purificación y obtención de actividades enzimáticas que permitan su aplicación en procesos industriales. Debido a esto, los procesos de investigación relacionados con el aprovechamiento de estos residuos aún requieren de resultados que permitan el aprovechamiento a nivel industrial de estos residuos en la producción de enzimas [13].

B. Biomasa para la obtención de moléculas bioactivas.

Desde un enfoque de Economía Circular, los residuos agroindustriales y el desperdicio de alimentos (incluidas las verduras no vendidas), es considerada una fuente prometedora de colorantes, edulcorantes, antioxidantes y conservantes naturales [41], buscando una maximización de los recursos y la minimización de la producción de residuos.

La producción de metabolitos primarios y secundarios es una propiedad característica de organismos vivos que puede utilizarse con fines farmacológicos y tecnológicos [42]. Las plantas particularmente, después de procesos agroindustriales de transformación generan residuos que continúan manteniendo estos metabolitos. Los residuos de biomasa generados en la agroindustria en general pueden ser utilizados en procesos extractivos y de modificación química para la obtención de biomoléculas funcionales que pueden ser aprovechadas en nuevos procesos industriales. A continuación, se presentan diferentes ejemplos relacionados:

1) Obtención de polifenoles y moléculas antioxidantes.

Los polifenoles son una de las familias más grandes de fitoquímicos con propiedades antioxidantes presentes en las plantas. Estos se dividen en ácidos hidroxibenzoico e hidroxicinámico, antocianinas, proantocianidinas, flavonoles, flavonas, flavanoles, flavanonas, isoflavonas, estilbenos y lignanos que pueden extraerse en diferentes concentraciones de residuos agroindustriales. Otros compuestos antioxidantes que se pueden obtener son minerales, vitaminas, carotenoides y antioxidantes de bajo peso molecular [9]. En este contexto, estudios previos del grupo de investigación en procesos industriales – Neurona, semillero de investigación en Química de Residuos agroindustriales y alimentos (QuiRAI), realizaron extracción de polifenoles con diferentes solventes verdes (agua, etanol, propilenglicol) y métodos físicos de extracción (extracción asistida con microondas y sonicación) a partir de residuos agroindustriales de tipo vinícola, procedentes de la región del Valle de Sáchica en Boyacá, extractos que fueron utilizados para la obtención de un alimento nutraceutico [43]. Otras materias primas de origen residual en la agroindustria usadas para la extracción de polifenoles son semillas de manzana, semillas de aguacate, cáscara de cítricos, canola entre otros [9].

Aplicando un enfoque de biorrefinería de biomasa, residuos de hinojo (bulbos, tallos, flores y vainas foliares externas), residuos de zanahorias (cáscaras y material desechado), subproductos y residuos derivados del proceso de enlatado de tomate (cáscaras, semillas, trozos podridos e inmaduros) y residuos de limón derivados de la producción de licor (orujo y cáscaras agotadas), fueron utilizados para la obtención de polifenoles, utilizando diferentes técnicas de extracción (maceración, ultrasonidos y extracción asistida por microondas) en combinación con diferentes medios de extracción (agua, etanol, metanol y sus mezclas), encontrando que todas las fracciones analizadas tienen la presencia de compuestos polifenólicos como quercetina, kaempferol, naringina, hesperetina, que mostraron actividades potenciales como agentes anticancerígenos, antimicrobianos e inhibidores de la acetilcolinesterasa [44].

Otras moléculas antioxidantes se han obtenido de fuentes residuales de biomasa, como el licopeno a partir de cáscaras de tomate; β -caroteno, provitamina A, quercetina, licopeno a partir de cáscaras de maracuyá y ácido ascórbico a partir de residuos de lechuga, entre otros [9].

Los compuestos recuperados se pueden reutilizar como aditivos alimentarios, alimentos funcionales, nutraceuticos/farmacéuticos, cosmeceuticos, productos de belleza y en la elaboración de bioenvases, ya que aún mantienen su actividad biológica y antioxidante, lo que permite ser usados en diversas aplicaciones industriales [9], [44], [45].

2) Obtención de vainillina y derivados.

La lignina es uno de los biopolímeros más abundantes en las plantas, la cuál puede ser tratada química o enzimáticamente para la obtención de compuestos de interés industrial como la vainillina, ácido vainillínico y otros compuestos aromáticos [46], [47]. La vainillina se utiliza en la

industria de alimentos y farmacéutica como saborizante, ya que este compuesto es responsable del sabor a vainilla [48]. Se ha reportado la obtención de compuestos aromáticos como vainillina por oxidación de lignina de forma enzimática con lacasa inmovilizada en alginato [47], la obtención de Vainillina a partir de la lignina de la guadua [48] y de salvado de trigo [46].

3) Obtención de colorantes naturales.

Con la preocupación de la contaminación ambiental debida a los colorantes artificiales, así como el reporte de efectos secundarios de los mismo, como hipersensibilidad, reacciones alérgicas, y su potencial toxicidad y carcinogenicidad, actualmente los consumidores demandan por el uso de colorantes de origen natural en reemplazo de colorantes de origen sintético [9], [41]. En este contexto, se espera que el mercado mundial de colorantes alimentarios naturales que se estimó en USD 371 mil millones en 2017 crezca a una tasa anual del 5,7% durante el período 2017-2023 [41].

Para esto, los residuos de procesos agroindustriales incluidos los encontrados en plazas de mercado, han sido utilizados como materia prima en la obtención de pigmentos de origen natural. En la tabla II se pueden observar algunos ejemplos.

Entre los pigmentos naturales adecuados como colorantes alimentarios, los más atractivos son las antocianinas, betalainas, ácido carmínico, carotenoides y clorofilas [41]. Las antocianinas pueden proveer una gama de coloraciones que van desde el rojo hasta el azul con colores atractivos y brillantes. Se encuentran presentes en diversas frutas, verduras y cereales. Son pigmentos hidrosolubles, lo que facilita su incorporación sistemas alimentarios acuosos, con un elevado potencial de reemplazo de colorantes artificiales como el rojo No. 2 y rojo No. 40 a los cuales se les ha comprobado efectos negativos sobre la salud humana [49]; por ejemplo se han extraído antocianinas de residuos de la industria vinícola para la obtención de colorantes de tonalidades rojo, púrpura y azul [43], [50], de cáscara de papa para obtener colorantes de color blanco y de cáscara de café donde se extrajeron pigmentos naturales alternativa a colorantes sintéticos como ponceau 4R, sunset yellow y tartrazina, que fueron utilizados en la producción de merengue francés, obteniendo que la concentración del 3% de pigmentos de residuos agroindustriales de café, produjo un color cercano al obtenido con pigmentos sintéticos; sin embargo, también se encontró que, a medida que aumentaba la concentración del pigmento natural, el pH disminuía, perdiendo las propiedades características del merengue [49], lo cual abre posibilidades de estudio para encontrar las mejores condiciones de uso de este tipo de pigmentos.

Dentro de los derivados de la clorofila, la legislación europea los incluye como colorantes verdes naturales identificados como E140 y E141 (Regulation (EC) No 1333/2008), la clorofilina cúprica (E141ii) es el único soluble en agua. Este se puede obtener a partir de material vegetal verde a través de procesos como la extracción por disolventes, la saponificación y el tratamiento con sales de cobre [51]. En general estos colorantes de color verde se obtienen a partir de

residuos de hortalizas [50].

Otras biomoléculas de gran interés por sus propiedades colorantes son los carotenoides que generan coloraciones en la gama de los amarillos, naranjas, rojos y marrón, permitiendo reemplazar colorantes artificiales tan tóxicos como la tartracina. Estos colorantes se pueden obtener de fuentes vegetales como cereales, frutas, verduras y pétalos de flores abundantes en todas las plazas de mercado. Algunos de los más conocidas y apetecidos por sus propiedades son, el licopeno presente en los tomates y pimientos, el β -caroteno presente en las zanahorias y la luteína presente en el maíz amarillo [52]. A partir de cáscara de tomate se extrajo licopeno que fue utilizado como colorante para helados, mantequilla y mayonesa, presentando un efecto en la viscosidad e incrementando la gravedad específica y el peso por galón, sin efectos negativos sobre la calidad del producto. Además, los datos sensoriales de estos productos que contienen pigmento de licopeno tuvieron una buena aceptabilidad de consumo, lo cual es importante a la hora de aplicar estos pigmentos a productos de consumo [53].

TABLA II
OBTENCIÓN DE PIGMENTOS DE ORIGEN NATURAL A PARTIR DE RESIDUOS DE BIOMASA

Pigmento (color)	Residuos	Planta	Método de obtención	Ref.
Clorofila (verde)	Vainas	frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	Extracción con N,N-dimetilformamida	[54]
Carotenoides Licopeno (Rojo)	Cáscara	Tomate (<i>Lycopersicon esculentum L</i>)	Extracción con etanol - Extracción líquido-líquido con acetona-hexano	[53]
Antocianinas	Cáscara	café (<i>Coffea arabica</i> variedad Colombia)	Extracción con etanol	[49]
Luteína (amarillo) Clorofila (Verde)	Hojas y residuos no comercializables	Espinaca (<i>Spinacia oleracea</i>)	Extracción con etanol y agua	[55]
Luteína (amarillo) Clorofila (Verde)	Hojas y residuos no comercializables	Espinaca (<i>Spinacia oleracea</i>)	Extracción con fluidos supercríticos (CO ₂)	[55]
Betalaina (rojo)	Remolacha no vendida en mercado local	remolacha (<i>Beta vulgaris</i>)	Extracción sólida líquido asistida por enzimas	[41]

4) Obtención de aceites esenciales.

Los aceites esenciales son mezclas altamente complejas de origen vegetal, se caracterizan por ser volátiles y son responsables del aroma de las plantas, localizándose principalmente en las hojas, los frutos, las flores y las raíces [56]. Se clasifican en esencias, bálsamos y oleorresinas compuestos por más de 100 sustancias distintas en

proporciones muy variadas que le confieren propiedades únicas y diferenciadoras, tanto en propiedades como en aplicaciones y haciendo casi imposible su replicación a nivel industrial. Dentro de las sustancias que componen los aceites esenciales se destacan las de tipo terpeno, sesquiterpeno y fenilpropanos por ser los constituyentes mayoritarios oscilando entre el 60 y 80% de la composición [56], [57]; otro grupo de compuestos importantes dentro de las mezclas, son los compuestos de carácter alifáticos de bajo peso molecular como aldehídos, cetonas, ésteres y ácidos carboxílicos [57] presentes en cantidades mucho menores, pero de gran importancia por conceder el característico aroma de cada aceite [58].

Los procedimientos de obtención de aceite esencial a partir de residuos vegetales se fundamentan en destilación tradicional de arrastre con vapor de agua y sus variaciones, la hidrodestilación convencional y asistida por microondas; en estas técnicas, el aceite esencial presente en el material vegetal es arrastrado por una corriente de vapor de agua para posteriormente ser condensado y separado de la fracción acuosa. Otra metodología usada para la obtención de aceites esenciales es la extracción con fluidos supercríticos, desarrollada más recientemente y de aplicación más restringida por los requerimientos técnicos especiales de los equipos necesarios; en esta técnica el material vegetal es sometido a la interacción directa con un fluido en condiciones supercríticas, como el dióxido de carbono líquido, el cual extrae el aceite esencial de la matriz vegetal por solubilización y posteriormente, al llevar el sistema a condiciones normales de temperatura y presión, el fluido supercrítico se evapora dejando libre y limpio el aceite esencial [58].

Como se mencionó previamente, la fuente de aceites esenciales son las plantas, sin embargo, no todas son susceptibles de extracción, ya que en su mayoría contienen cantidades muy pequeñas y por tanto difíciles de aislar. Dentro de los ejemplos más comunes están las plantas aromáticas como la menta, el romero, la citronela y el anís de amplia aplicación en industrias como la alimentaria, farmacéutica, cosméticos, aseo, entre otras [57], [58] y cuyas mezclas están constituidas, entre otros compuestos por 1,8-cineol, mentol, α -pineno, estragol y trans-anetol, siendo responsables de sus característicos aromas.

Otra fuente común son las cáscaras de frutas cítricas como la mandarina, el limón y particularmente la naranja, cuyo principal componente en el aceite esencial es el limoneno [3], [42], [59]. Este se ha aplicado industrialmente para la solubilización y reutilización de poliestireno expandido residual [60].

Por otra parte, de los pétalos de flores, como las rosas, el girasol o la caléndula se obtienen aceites esenciales con propiedades muy apreciadas en sectores como el farmacéutico y cosmético. El aceite esencial obtenido de diversas variedades de rosas tiene amplia distribución sobre todo en el sector de la perfumería debido a su aroma característico y propiedades hidratantes, relajantes y antioxidantes; contiene principalmente citronelol (31-44%), seguido por el geraniol (9 – 15 %), nonadecano (8–15 %), nerol (5–11 %) y en menores

cantidades eugenol, acetato de geraniol, alcohol feniletílico, β -cariofileno, acetato de citronelilo, y linalool [61].

En el caso del aceite esencial de girasol se ha encontrado que estos compuestos mayoritariamente por α -pineno y verbenona [62], terpenos con propiedades antimicrobianas; por otra parte, el aceite obtenido de los pétalos de caléndula cuyos principales componentes son δ -cadineno (19%), borneol (9%) y α -cadineno (7%) tiene propiedades antiinflamatorias, cicatrizantes y antibióticas [63].

Considerando las altas cantidades de biomasa vegetal que se generan en las cadenas de abastecimiento de los centros urbanos y en las industrias cuya materia prima es de origen agrícola y considerando que dentro de esta biomasa se encuentran fuentes potenciales de aceites esenciales (hierbas aromáticas, cáscaras de frutas, flores etc) de importancia económica se han realizado varios estudios con resultados promisorios; estos resultados se resumen en la tabla II.

Como se puede observar en la tabla III, los materiales de desecho agroindustrial son muy variados e incluyen desde semillas y cáscaras de frutas hasta productos de la poda y alistamiento de los campos de cultivo. En esa misma dirección los productos obtenidos presentan características muy particulares y de amplia aplicabilidad industrial.

TABLA III
RESIDUOS DE BIOMASA COMO FUENTES POTENCIALES PARA LA OBTENCIÓN DE ACEITES ESENCIALES.

Residuos agroindustriales	Planta	Método de obtención	Referencia
Cáscaras de mandarina	<i>Citrus reticulata</i>	Arrastre por Vapor	[57]
Cáscaras de naranja	<i>Citrus sinensis</i>	Arrastre por Vapor	[64]
Cáscaras de naranja	<i>Citrus sinensis</i>	Hidrodestilación	[59]
Rastrojo de Ciruelos	<i>Prunus salicina Lindl.</i>	Hidrodestilación	[65]
Semillas de tamarindo	<i>Tamarindus indica</i>	Extracción asistida con microondas	[66]
Hojas y ramas	<i>Pinus taeda</i>	Hidrodestilación	[67]
Semillas de maracuyá	<i>Passiflora edulis Sims</i>	Fluidos supercríticos	[68]
Cáscaras de mango	<i>Mangifera sp.</i>	Arrastre por Vapor	[69]
Desechos forestales	<i>Cupressus lusitanica</i> y <i>Cistus ladanifer</i>	Hidrodestilación, Arrastre con vapor	[70]
Residuos agrícolas de bajo valor comercial	<i>Humulus Lupulus</i> , <i>Datura</i> , <i>Stramonium</i>	Fluidos supercríticos Método Soxhlet	[71]
Cáscaras de Limón, Naranja amarga, Berkane clementine y Navel	<i>Citrus lemon</i> , <i>Citrus aurantium</i> , <i>Citrus clementina</i> , <i>Citrus sinensis</i>	Hidrodestilación convencional y asistida por microondas	[72]
Residuos de plantas aromáticas (albahaca, romero y salvia)	<i>Ocimum basilicum</i> , <i>Salvia rosmarinus</i> , <i>Salvia officinalis</i>	Hidrodestilación	[73]
Residuos de salvia	<i>Salvia officinalis</i>	Fluidos supercríticos	[74]

5) Obtención de biopolímeros con uso industrial: Pectina.

La pectina es un biopolímero natural fundamental en la estructura de las plantas, con variadas aplicaciones en la industria de alimentos, farmacéutica y biotecnológica, que ha sido utilizado habitualmente como agente espesante, gelificante y estabilizador coloidal en alimentos y bebidas [75]. La pectina industrialmente se obtiene precisamente a partir de residuos de naranja y manzana, sin embargo, por la alta demanda en la industria se precisan nuevas fuentes de obtención. De esta manera, diferentes estudios realizados han reportado la obtención de pectina en diferentes fuentes provenientes de residuos de tipo agroindustrial. Algunos ejemplos son la obtención de pectina a partir de cáscaras de frutas: cáscara de banano [76], obtención de pectina a partir de cáscaras de Maracuyá [77] y también a partir de residuos agroindustriales de verduras y hortalizas, por ejemplo, a partir de residuos de zanahoria [78], obtención de pectina a partir de vainas de arveja [79], obtención de pectina a partir de residuos agroindustriales de café [75], entre otros estudios con objetivo similar.

IV. CONCLUSIONES: PERSPECTIVAS PARA EL USO DE RESIDUOS GENERADOS EN PLAZAS DE MERCADO

Dentro de la cadena de suministro de alimentos, la biomasa residual generada en las plazas de mercado está constituida principalmente por material vegetal de tubérculos, hortalizas, verduras, frutas y flores, que en su mayoría están compuestos por celulosa, almidón, pectina y otras biomoléculas activas. Por lo tanto, la utilización de estos residuos como sustratos en la obtención de enzimas microbianas (amilasas, celulasas y ligninasas) y como materia prima para la extracción de biomoléculas como polifenoles, carotenos, licopeno, vainillina, pectina, colorantes y productos como aceites esenciales, representan alternativas de aprovechamiento que permiten generar productos de valor agregado y fomentar el desarrollo de la economía circular.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Gestión Industrial del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA- CGI) y al Sistema de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico (SENNOVA) por la financiación de los proyectos “Obtención de bioetanol a partir de residuos agrícolas y valorización de subproductos generados en el proceso”, “Obtención de productos aprovechables a partir de la valorización de residuos orgánicos generados en plazas de mercado de Bogotá, en el marco de la economía circular” y “Aplicación de enzimas producidas de residuos orgánicos para obtención de productos de interés industrial, enmarcado en la economía circular”. A los semilleros BIOTEC y QUIRAL por la dedicación y trabajo constante.

REFERENCIAS

[1] J. Malinauskaitė, H. Jouhara, D. Czajczynska, P. Stanchev, E. Katsou, R. Rostkowski, R. J. Thorne, J. Colón, S. Ponsá, S., F. Al-Mansour, L. Anguilano, R. Krzyzynska, I. López, I. A. Vlasopoulos,

N. Spencer, “Municipal solid waste management and waste-to-energy in the context of a circular economy and energy recycling in Europe,” *Energy*, vol. 141, pp. 2013–2044. doi: 10.1016/j.energy.2017.11.128

[2] J. A. Mora-Villalobos *et al.*, “Tropical agroindustrial biowaste revalorization through integrative biorefineries—review part I: coffee and palm oil by-products,” *Springer Science and Business Media Deutschland GmbH*, vol. 13, pp 1469–1487, enero, 2023, doi: 10.1007/s13399-021-01442-9.

[3] L. A. Pfaltzgraff, M. De Bruyn, E. C. Cooper, V. Budarin, and J. H. Clark, “Food waste biomass: A resource for high-value chemicals,” *Green Chemistry*, vol. 15, no. 2, pp. 307–314, 2013, doi: 10.1039/c2gc36978h.

[4] Rezaei, M.; Liu, B, “Food loss and waste in the food supply chain,” *Natfruit*, pp. 26–27, julio 2017. [Online]. Available: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/36cb45bc-392c-41fb-97f1-90ca1f16ee7f/content>

[5] T. Sathish, R. Saravanan, M. V. Depoures, B. Palanikumar, M. Rajasimman, and S. Rajkumar, “Environmental remediation at vegetable marketplaces through production of biowaste catalysts for biofuel generation,” *Sci Rep*, vol. 13, no. 1, Dec. 2023, doi: 10.1038/s41598-023-31687-5.

[6] C. F. V. López, A. M. F. Montealegre, Y. D. Andrade, “Caracterización y análisis del aprovechamiento de residuos vegetales generados en la central de abastos Merca-Neiva,” *Ingeniería y Región*, vol. 22, pp.4-13, 2019.

[7] D. Tripathi, G. Raikhy, and D. Kumar, “Chemical elicitors of systemic acquired resistance — Salicylic acid and its functional analogs,” *Curr Plant Biol*, vol. 17, no. March, pp. 48–59, 2019, doi: 10.1016/j.cpb.2019.03.002.

[8] N. Raina, S. Chuetor, D. Elalami, S. Tayibi, and A. Barakat, “Biomass Valorization for Bioenergy Production: Current Techniques, Challenges, and Pathways to Solutions for Sustainable Bioeconomy,” *Bioenergy Res*, Agosto 2024, doi: 10.1007/s12155-024-10792-x.

[9] R. C. Fierascu, I. Fierascu, S. M. Avramescu, and E. Sieniawska, “Recovery of natural antioxidants from agro-industrial side streams through advanced extraction techniques,” *Molecules*, vol. 24, no. 23, pp. 1–29, 2019, doi: 10.3390/molecules24234212.

[10] F. Nadeem, M. Tayyab, T. Mehmood, R. Naseer, and S. Iqbal, “Optimization of Fermentative Parameters for Hyperproduction of Protease from *Aspergillus viridi* using Lignocellulosic Byproducts as Sole Substrate,” *Waste Biomass Valorization*, vol. 15, pp. 3761–3771, 2024, doi: 10.1007/s12649-023-02416-w.

[11] O. H. Pardo Cuervo, C. A. Rosas, and G. P. Romanelli, “Valorization of residual lignocellulosic biomass in South America: a review,” *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 31, pp. 44575–44607, Jul. 2024, doi: 10.1007/s11356-024-33968-6.

[12] K. J. Siatoya Ramírez, Y. A. Arce Portilla, “Aprovechamiento de los residuos generados en la plaza de mercado de corabastos para la elaboración de productos de valor agregado: Contexto actual, perspectivas y posibles soluciones,” Tesis, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia, 2019.

[13] M. Kapoor, D. Panwar, G. S. Kaira, “Bioprocesses for Enzyme Production Using Agro-Industrial Wastes: Technical Challenges and Commercialization Potential”, En G. S. Dhillon & S. Kaur (Eds.), *Agro-Industrial Wastes as Feedstock for Enzyme Production*, Academic Press. 2016, cap. 3, pp. 61–93. Doi: 10.1016/B978-0-12-802392-1.00003-4

[14] N. Gopalan, K. M. Nampoothiri, Biotechnological Production of Enzymes Using Agro-Industrial Wastes: Economic Considerations, Commercialization Potential, and Future Prospects. En G. S. Dhillon & S. Kaur (Eds.), *Agro-Industrial Wastes as Feedstock for Enzyme Production*, Academic Press. 2016, cap. 14, pp. 313–330. Doi: 10.1016/B978-0-12-802392-1.00003-4

[15] E. M. Sánchez, J.P. Heredia, “Evaluación de residuos de cáscaras de papa como sustrato para la producción de amilasas a partir de *Bacillus amyloliquefaciens* A16,” *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, vol. 44 no. 172, pp. 794-804, 2020.

[16] J.P. Heredia, E. M. Sánchez, “Evaluación de residuos de cáscaras de plátano y yuca para la producción de amilasas a partir de *Bacillus amyloliquefaciens* A16,” *Biotechnol Apl.*, vol. 37, no. 4, pp. 3201-3205, 2020.

- [17] J.P. Heredia, E. M. Sánchez, "Evaluation of sugarcane bagasse and flower stems as substrates for cellulase production by *Bacillus amyloliquefaciens* C18 A", *Research Journal of Biotechnology*, vol. 16, no. 1, pp. 144-148, 2021.
- [18] J. P. Heredia Martín and E. M. Sanchez Castelblanco, "Evaluación de microorganismos y sustratos obtenidos a partir de residuos orgánicos para la producción de celulasas," *Biología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, vol. 21, no. 2, pp. 50–61, Nov. 2023, doi: 10.18684/rbsaa.v21.n2.2023.2165.
- [19] N. Melnichuk, M. J. Braia, P. A. Anselmi, M. R. Meini, D. Romanini, "Valorization of two agroindustrial wastes to produce alpha-amylase enzyme from *Aspergillus oryzae* by solid-state fermentation," *Waste Management*, vol. 106, pp. 155–161, 2020. Doi: 10.1016/j.wasman.2020.03.025
- [20] M. Marin, A. Sanchez, A. Artola, "Production and recovery of cellulases through solid-state fermentation of selected lignocellulosic wastes," *Journal of Cleaner Production*, vol. 209, pp. 937–946, 2019. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.10.264
- [21] S. Ali et al., "Agricultural Waste Management by Production of Second-Generation Bioethanol from Sugarcane Bagasse Using Indigenous Yeast Strain," *Curr Microbiol*, vol. 81, no. 6, Jun. 2024, doi: 10.1007/s00284-024-03668-y.
- [22] P. Leite, C. Silva, J. M. Salgado, I. Belo, "Simultaneous production of lignocellulolytic enzymes and extraction of antioxidant compounds by solid-state fermentation of agro-industrial wastes," *Industrial Crops and Products*, vol. 137, pp. 315–322 2019. doi: 10.1016/j.indcrop.2019.04.044
- [23] D. Haldar, M. K. Purkait, "Lignocellulosic conversion into value-added products: A review," *Process Biochemistry*, vol. 89, pp. 110–133, 2020. doi: 10.1016/j.procbio.2019.10.001
- [24] A. Mojumdar, J. Deka, "Recycling agro-industrial waste to produce amylase and characterizing amylase-gold nanoparticle composite. International" *Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, vol. 8, no. 1, pp 263–269, 2019. doi: 10.1007/s40093-019-00298-4
- [25] K. Bhatt, S. Lal, S.; R. Srinivasan; B- Joshi, "Bioconversion of agriculture wastes to produce α -amylase from *Bacillus velezensis* KB 2216: Purification and characterization," *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, vol. 28, pp. 101703, 2020. doi: 10.1016/j.bcab.2020.101703
- [26] J. S. Paul, E. Belya, S. Tiwari, K. Patel, N. Gupta, S. K. Jadhav, "Production of biocatalyst α -amylase from agro-waste 'rice bran' by using *Bacillus tequilensis* TB5 and standardizing its production process," *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, vol. 26, pp. 101648. 2020. doi: 10.1016/j.bcab.2020.101648
- [27] A. A. Salim, S. Grbavčić, N. Šekuljica, A. Stefanović, S. Jakovetić Tanasković, N. Luković, Z. Knežević-Jugović, "Production of enzymes by a newly isolated *Bacillus* sp. TMF-1 in solid state fermentation on agricultural by-products: The evaluation of substrate pretreatment methods," *Bioresource Technology*, vol. 228, pp. 193–200, 2017. doi: 10.1016/j.biortech.2016.12.081
- [28] M. Akpinar, R. Ozturk Urek, "Peach and Cherry Agroindustrial Wastes: New and Economic Sources for the Production of Lignocellulolytic Enzymes," *Acta Chimica Slovenica*, vol. 64, no. 2, 2017. doi: 10.17344/acs.2017.3265.
- [29] S. Bajar, A. Singh, N.R. Bishnoi, "Exploration of low-cost agro-industrial waste substrate for cellulase and xylanase production using *Aspergillus heteromorphus*," *Applied Water Science*, vol. 10, no. 6, pp. 153, 2020. doi: 10.1007/s13201-020-01236-w
- [30] J. P. Heredia Martín and E. M. Sanchez Castelblanco, "Evaluación de microorganismos y sustratos obtenidos a partir de residuos orgánicos para la producción de celulasas," *Biología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, vol. 21, no. 2, pp. 50–61, Nov. 2023, doi: 10.18684/rbsaa.v21.n2.2023.2165.
- [31] J. O. Unuofin, A. I. Okoh, U. U. Nwodo, "Utilization of agroindustrial wastes for the production of laccase by *Achromobacter xylosoxidans* HWN16 and *Bordetella bronchiseptica* HSO16," *Journal of Environmental Management*, vol. 231, pp. 222–231, 2019. doi: 10.1016/j.jenvman.2018.10.016
- [32] V. E. Pinheiro, M. Michelin, A. C. Vici, P. Z. De Almeida, M. De L. Teixeira De Moraes Polizeli, "Trametes versicolor laccase production using agricultural wastes: A comparative study in Erlenmeyer flasks, bioreactor and tray," *Bioprocess and Biosystems Engineering*, vol. 43, no. 3, pp. 507–514. 2020. doi: 10.1007/s00449-019-02245-z
- [33] T. M. Costa, K. L. Hermann, M. Garcia-Roman, R. D. C. S. C. Valle, L. B. B. Tavares, "Lipase production by *Aspergillus niger* grown in different agro-industrial wastes by solid-state fermentation," *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, vol. 34, pp. 419-427. 2017. doi: 10.1590/0104-6632.20170342s20150477
- [34] W. M. De Azevedo, L. F. R. De Oliveira, M. A. Alcântara, A. M. T. De M. Cordeiro, K. S. F. Da S. C. Damasceno, C. F. De Assis, F. C. De Sousa Junior, "Turning cacay butter and wheat bran into substrate for lipase production by *Aspergillus terreus* NRRL-255," *Preparative Biochemistry & Biotechnology*, vol. 50, no. 7, pp. 689–696. 2020. doi: 10.1080/10826068.2020.1728698
- [35] J. Yan, B. Han, X. Gui, G. Wang, L. Xu, Y. Yan, C. Madzak, D. Pan, Y. Wang, G. Zha, L. Jiao, "Engineering *Yarrowia lipolytica* to Simultaneously Produce Lipase and Single Cell Protein from Agro-industrial Wastes for Feed," *Scientific Reports*, vol. 8, no. 1, pp. 758. 2018. doi: 10.1038/s41598-018-19238-9
- [36] A. Da S. Pereira, G. C. Fontes-Santana, P. F. F. Amaral, "Mango agro-industrial wastes for lipase production from *Yarrowia lipolytica* and the potential of the fermented solid as a biocatalyst," *Food and Bioprocess Processing*, vol. 115, pp. 68–77. 2019. doi: 10.1016/j.fbp.2019.02.002
- [37] M. De F. M. De Freitas, L. S. Cavalcante, E. J. Gudiña, S. C. Silverio, S. Rodrigues, L. R. Rodrigues, L. R. B. Goncalves, "Sustainable Lipase Production by *Diutina rugosa* NRRL Y-95 Through a Combined Use of Agro-Industrial Residues as Feedstock," *Applied Biochemistry and Biotechnology*, vol. 193, no. 2, pp. 589–605, 2021. doi: 10.1007/s12010-020-03431-6
- [38] V. Poondla, S. K. Yannam, S. N. Gummadi, R. Subramanyam, V. S. Reddy Obulam, "Enhanced production of pectinase by *Saccharomyces cerevisiae* isolate using fruit and agro-industrial wastes: Its application in fruit and fiber processing," *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, vol. 6, pp. 40–50, 2016. doi: 10.1016/j.bcab.2016.02.007
- [39] S. Singh, B. K. Bajaj, "Agroindustrial/Forestry Residues as Substrates for Production of Thermoactive Alkaline Protease from *Bacillus licheniformis* K-3 Having Multifaceted Hydrolytic Potential," *Waste and Biomass Valorization*, vol. 8, no. 2, pp. 453–462, 2017. doi: 10.1007/s12649-016-9577-2
- [40] A. F. Gonçalves, E. S. Dos Santos, G. R. De Macedo, "Use of cultivars of low cost, agroindustrial and urban waste in the production of cellulosic ethanol in Brazil: A proposal to utilization of microdistillery," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 50, pp. 1287–1303, 2015. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.05.047>
- [41] C. Lombardelli, I. Benucci, C. Mazzocchi, M. Esti, "Betalain. Extracts from Beetroot as Food Colorants: Effect of Temperature and UV-Light on Stability," *Plant Foods Hum Nutr.*, Vol. 76, no. 3, pp. 347-353, 2021. doi: 10.1007/s11130-021-00915-6
- [42] L. D. Shirahigue, S. R. Ceccato-Antonini, "Agro-industrial wastes as sources of bioactive compounds for food and fermentation industries," *Ciência Rural*, vol. 50, no. 4, e20190857, 2020.
- [43] W. Pérez-Mora, J. Mojica-Gomez, "Aprovechamiento de residuos agroindustriales de la industria vinícola del valle de Sáchica", . SENNOVA-SENA- Centro de Gestión Industrial, Bogotá, Colombia, 2019.
- [44] P. D. Donato, V. Taurisano, G. Tommonaro, V. Pasquale, J. Manuel, S. Jiménez, S. Pascual, A. De-Poli, B. Nicolaus, "Biological Properties of Polyphenols Extracts from Agro-Industry's Wastes," *Waste and Biomass Valorization*, vol. 9, pp. 1567–1578, 2018. doi: 10.1007/s12649-017-9939-4
- [45] G. Singh, S. Sahu, S. Bharti, and S. K. Arya, "Significance of enzymes for the recycling of wasted non-food biomass to value added products: A sustainable stewardship towards the cleaner environment," Oct. 01, 2024, Institution of Chemical Engineers. doi: 10.1016/j.psep.2024.07.063.
- [46] S. C. Liu et al., "Biological conversion of lignin-derived ferulic acid from wheat bran into vanillin," *Int J Biol Macromol*, vol. 281, Nov. 2024, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2024.136406.
- [47] A. Domínguez González, R. Hernández Soto, J. M. Salgado Román, N. Ardila Arias, A. Hernández Maldonado, "Obtención de compuestos aromáticos por oxidación de lignina con lacasa inmovilizada en alginato," *Agrociencia*, vol. 52, no. 2, pp. 191–202, 2018.
- [48] F. Mota, P. Rodrigues, J. M. Loureiro, A. Rodrigues, "Recovery of Vanillin and Syringaldehyde from Lignin Oxidation: A Review of Separation and Purification Processes," *Separation & Purification Reviews*, vol. 45, no. 3, 227-259, 2016. doi: 10.1080/15422119.2015.1070178

- [49] A. Parra-Campos, L.E. Ordóñez-Santos, "Natural pigment extraction optimization from coffee exocarp and its use as a natural dye in French meringue," *Food Chem.*, Vol 1, no. 285, pp. 59-66, Julio 2019. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.01.158.
- [50] M. Faustino, M. Veiga, P. Sousa, E. M. Costa, S. Silva, "Agro-Food Byproducts as a New Source of Natural Food Additives," *Molecules*, vol. 24, pp. 1-23, 2019. doi: 10.3390/molecules24061056
- [51] I. Viera, A. Pérez-Gálvez, M. Roca, "Green Natural Colorants," *Molecules*, vol. 24, no. 1, 154, 2019. doi: 10.3390/molecules24010154
- [52] L. S. B. A. Wolfman, "El mundo de los carotenoides: colores, alimentos y salud," *Journal of Chemical Information and Modeling*, vol. 53, no. 9, pp. 1689-1699, 2013. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004
- [53] E. Rizk, A. T. El-Kady, A. R. El-Bialy, "Characterization of carotenoids (lyco-red) extracted from tomato peels and its uses as natural colorants and antioxidants of ice cream," *Annals of Agricultural Sciences*, vol. 59, no. 1, pp. 53-61, 2014. doi: 10.1016/j.aos.2014.06.008.
- [54] C. Cubas, M. Gloria Lobo, and M. González, "Optimization of the extraction of chlorophylls in green beans (*Phaseolus vulgaris* L.) by N,N-dimethylformamide using response surface methodology," *Journal of Food Composition and Analysis*, vol. 21, no. 2, pp. 125-133, Mar. 2008, doi: 10.1016/j.jfca.2007.07.007.
- [55] M. Derrien, M. Aghabaramjad, A. Gosselin, Y. Desjardins, P. Angers, and Y. Boumghar, "Optimization of supercritical carbon dioxide extraction of lutein and chlorophyll from spinach by-products using response surface methodology," *LWT Food Science and Technology*, vol. 93, pp. 79-87, Jul. 2018, doi: 10.1016/j.lwt.2018.03.016.
- [56] J. Usano-Aleman, J. Palá-Paúl, S. Díaz, "Aceites esenciales: conceptos básicos y actividad antibacteriana," *Reduca (Biología). Serie Botánica*, vol. 7, no. 2, pp. 60-70, 2014.
- [57] L. A. Gallego, "Aceites esenciales: un mercado potencial para el aprovechamiento de la biodiversidad colombiana," *Revista Ingeniería y Sociedad*, vol. 1, no. 13, pp. 22-8, 2018, Accessed: Nov. 13, 2024. [Online]. Available: <https://revistas.udea.edu.co/index.php/ingeso/article/view/338136>
- [58] E. Roselló-Soto, M. Koubaa, A. Moubarik, R. P. Lopes, J. A. Saraiva, N. Boussetta, N. Grimi, F. J. Barba, "Emerging opportunities for the effective valorization of wastes and by-products generated during olive oil production process: Non-conventional methods for the recovery of high-added value compounds," *Trends in Food Science and Technology*, vol. 45, no. 2, pp. 296-310, 2015. doi: 10.1016/j.tifs.2015.07.003
- [59] R. Bocker and E. K. Silva, "Sustainable pectin-based film for carrying phenolic compounds and essential oil from *Citrus sinensis* peel waste," *Food Biosci*, vol. 61, Oct. 2024, doi: 10.1016/j.fbio.2024.104526.
- [60] L. Arthuz López, W. Pérez-Mora. "Low environmental impact alternatives for the recycling of the expanded polystyrene worldwide," *Informador Técnico*, vol. 83, no 2, pp 209-219.
- [61] K. H. C. Baser, N. Arslan, "Oil Rose (*Rosa damascena*)", en *Medicinal and Aromatic Plants of the Middle-East* Springer Dordrecht, 2014, cap. 116, pp. 281-304. doi: 10.1007/978-94-017-9276-9_16
- [62] X. S. Liu, B. Gao, X. L. Li, W. N. Li, Z. A. Qiao, L. Han, "Chemical Composition and Antimicrobial and Antioxidant Activities of Essential Oil of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Receptacle," *Molecules*, vol. 25, no. 22, pp. 5244, 2020. doi: 10.3390/molecules25225244
- [63] L. F. Salomé-Abarca, R. M. Soto-Hernández, N. Cruz-Huerta, V. A. González-Hernández, "Chemical composition of scented extracts obtained from calendula officinalis by three extraction methods," *Botanical Sciences*, vol. 93, no. 3, pp. 633-638, 2015. doi:10.17129/botsci.143
- [64] M. Patsalou, A. Chrysargyris, N. Tzortzakakis, M. Koutinas, "A biorefinery for conversion of citrus peel waste into essential oils, pectin, fertilizer and succinic acid via different fermentation strategies," *Waste Management*, vol. 113, pp. 469-477, 2020. doi: 10.1016/j.wasman.2020.06.020
- [65] R. Podestá, C. M. Pagliosa, M. A. Vieira, J. G. Provesi, E. R. Amante, A. L. B. Zeni, I. Raitz, R. A. Rebelo, "Identification of volatile compounds in thinning discards from plum trees (*Prunus volacina* Lindl.) cultivar Harry Pickstone," *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, vol. 31, no 3, pp. 710-713. 2011. doi:10.1590/s0101-20612011000300024
- [66] V. Loganathan, L. Vijayan, R. Balakrishnaraja, and S. Abdullah, "Optimization of microwave-assisted extraction of *Tamarindus indica* seed oil: An in silico approach to development of potential hypolipidemic compound for reducing LDL cholesterol," *Measurement: Food*, vol. 13, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.meaf.2023.100125.
- [67] S. D. Teixeira, J. L. Fiorio, D. Galvan, C. Sefstrom, P. M. Cogo, V. S. Junior, M. B. Rodrigues, A. P. P. K Hendges, B. H. L. De Noronha Sales Maia, T. G. S. Benghi, "Investigation on chemical composition and optimization of essential oil obtainment from waste *Pinus taeda* L. using hydrodistillation," *Brazilian Archives of Biology and Technology*, vol. 59, pp. 1-10. 2016. doi:10.1590/1678-4324-2016150043
- [68] A. L. Pantoja-Chamorro, A. M. Hurtado-Benavides, H. A. Martínez-Correa, "Caracterización de aceite de semillas de maracuyá (*Passiflora edulis* Sims.) procedentes de residuos agroindustriales obtenido con CO₂ supercrítico," *Acta Agronomica*, vol. 66, no. 2, pp. 178-185. 2017. doi: 10.15446/acag.v66n2.57786
- [69] Y. Gonzalez-Diaz, M. Veliz-Jaime, "Extracción y caracterización del aceite esencial de mango obtenido de residuos agroindustriales," *Revista Tecnología Química*, vol. 40, no 3, pp. 488-501, 2020.
- [70] C. S. Tavares, A. Martins, M. L. Faleiro, M. G. Miguel, L. C. Duarte, J. A. Gameiro, L. B. Roseiro, A. C. Figueiredo, "Bioproducts from forest biomass: Essential oils and hydrolyates from wastes of *Cupressus lusitanica* Mill. and *Cistus ladanifer* L.," *Industrial Crops and Products*, vol. 144 pp. 112034. 2020. doi: 10.1016/j.indcrop.2019.112034
- [71] C. Campalani, F. Chioggia, E. Amadio, M. Gallo, F. Rizzolio, M. Selva, A. Perosa, "Supercritical CO₂ extraction of natural antibacterials from low value weeds and agro-waste," *Journal of CO₂ Utilization*, vol. 40, pp. 101198, 2020. doi: 10.1016/j.jcou.2020.101198
- [72] F. Brahmī, O. Mokhtari, B. Legssyer, I. Hamdani, A. Asehraoui, I. Hasnaoui, Y. Rokni, K. Diass, I. Oualdi, A. Tahani, "Chemical and biological characterization of essential oils extracted from citrus fruits peels" *Materials Today: Proceedings*, vol. 45, pp. 7794-7799. 2021. doi: 10.1016/j.matpr.2021.03.587
- [73] M. Zaccardelli, G. Roscigno, C. Pane, G. Celano, M. Di Matteo, M. Mainente, A. Vuotto, T. Mencherini, T. Esposito, A. Vittì, E. De Falco, "Essential oils and quality composts sourced by recycling vegetable residues from the aromatic plant supply chain," *Industrial Crops and Products*, vol. 162, pp. 113255, 2021. doi: 10.1016/j.indcrop.2021.113255
- [74] B. Danilović, N. Dorđević, B. Milićević, B. Šojić, B. Pavlić, V. Tomović, D. Savić, "Application of sage herbal dust essential oils and supercritical fluid extract for the growth control of *Escherichia coli* in minced pork during storage," *LWT Food Science and Technology*, vol. 141, pp. 110935, 2021. doi: 10.1016/j.lwt.2021.110935
- [75] W. H. Pérez Mora and J. Mojica Gómez, "Effect of extraction conditions on obtaining pectin from agroindustrial coffee by-products," *Scientia et Technica*, vol. 28, no. 03, pp. 150-156, Sep. 2023, doi: 10.22517/23447214.25163.
- [76] Y. Mao, S. R. Dewi, S. E. Harding, and E. Binner, "Influence of ripening stage on the microwave-assisted pectin extraction from banana peels: A feasibility study targeting both the Homogalacturonan and Rhamnogalacturonan-I region," *Food Chem*, vol. 460, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.foodchem.2024.140549.
- [77] T. Moia, T. C. Pimentel, C. E. Barao, A. C. Feihmann, R. Favareto, A. V. Reise, L. Cardozo-Filho, "Bioactive Compounds and Pectin from Residues of the Passion Fruit Processing: Extraction using Green Technology and Characterization," *Chemical Engineering Transactions*, vol. 75, pp. 157-162, 2019.
- [78] A.M. Encalada, C. D. Perez, M. K. Flores, L. Rossetti, E. N. Fissore, A. M. Rojas, "Antioxidant pectin enriched fractions obtained from discarded carrots (*Daucus carota* L.) by ultrasound-enzyme assisted extraction," *Food Chemistry*, vol. 289, pp. 453-460, 2019. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.03.07
- [79] F. Gutöhrlein, S. Drusch, S. Schalow, "Extraction of low methoxylated pectin from pea hulls via RSM," *Food Hydrocolloids*, vol. 102, 2020. doi: 10.1016/j.foodhyd.2019.105609



Jaquelin Mojica Gómez. Química egresada de la Universidad Nacional de Colombia (2004), Especialista en Gerencia de Laboratorios de la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca (2011) y Magister en Ciencias-Química de la Universidad Nacional de Colombia (2021). Cuenta con amplia experiencia en el área analítica, manejo de instrumentación química y diseño, desarrollo y validación de metodologías analíticas. Actualmente es instructor e investigador en el Centro de Gestión Industrial del Servicio Nacional de Aprendizaje, SENA-CGI, donde participa en el semillero de investigación en Química de Residuos Agroindustriales y Alimentos QuiRAI y en el semillero de Biotecnología BIOTEC. Algunas publicaciones son: Pérez, W., & Mojica, J.. (2018). Análisis fisicoquímico de frutos de *Syzygium paniculatum* en diferentes estados de maduración. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 12(24), 124-129. Mojica, J. & Pérez, W., (2019) Aprovechamiento de residuos agroindustriales de la industria vinícola del Valle de Sáchica, Bogotá, SENA Centro de Gestión Industrial.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4089-3750>.



Walter Hernando Pérez Mora. Nació en Bogotá, Colombia, en 1986. Recibió su título de pregrado en Química en 2009 de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Obtuvo su Maestría en Ciencias - Química en 2013 en la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá y recibió su título de doctorado en Ciencias - Química en la misma universidad. Es Instructor de la tecnología en Química Aplicada a la Industria en el Centro de Gestión Industrial del Servicio Nacional de Aprendizaje SENA,

donde también es miembro del Grupo de Investigación en Procesos Industriales. Es autor de un libro de investigación, cuatro capítulos de libros y doce artículos de investigación en revistas nacionales e internacionales. Sus intereses de investigación incluyen bioquímica de plantas, química ambiental con énfasis en economía circular y química analítica.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7290-1874>.



Etna Milena Sanchez Castebianco. Microbióloga Industrial egresada de la Pontificia Universidad Javeriana – Bogotá, Colombia (1999), Especialista en administración de Sistemas de Gestión de la Calidad de la Universidad Santo Tomás – Bogotá, Colombia (2005) y Master Science en Biología de la Georgia State University, Atlanta, Estados Unidos (2019). Con experiencia en análisis microbiológico y obtención de productos biotecnológicos a partir del uso de microorganismos y células de origen animal.

Actualmente es Instructora del programa química aplicada a la industria y líder de semillero de investigación en Biotecnología del Centro de Gestión Industrial, regional Distrito Capital del SENA. Semillero en el que se han desarrollado proyectos de investigación relacionados con la producción de enzimas microbianas de interés industrial como amilasas, celulasas y ligninasas.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3549-0164>.