

Nada se Desperdicia: Nuevas Oportunidades para los Residuos Orgánicos Mediante la Economía Circular

Eric Hidalgo-Rincón ¹, Jorge Antonio García-Estrada ¹, Alberto Peña Barrientos ², Ma. De la Paz Salgado Cruz ³, María de Jesús Perea-Flores ^{2,*}

¹ Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz, Av. Universidad No.350, Carretera Federal Cuitláhuac-La Tinaja, Localidad Dos Caminos C.P. 94910 Cuitláhuac, Veracruz, México.

² Centro de Nanociencias y Micro y Nanotecnologías, Instituto Politécnico Nacional, Av. Luis Enrique Erro s/n, Zacatenco, Alcaldía Gustavo A. Madero, CP. 07738, Ciudad de México, México.

³ Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, Av. Wilfrido Massieu 399, Nueva Industrial Vallejo, Alcaldía Gustavo A. Madero, CP. 07700, Ciudad de México, México.

* Autor de correspondencia: mpereaf@ipn.mx; Tel.: +52 5557296000 ext. 57504

Artículo de divulgación científica

Recibido: 15 de abril de 2026

Aceptado: 19 de julio de 2026

Publicado: 18 de agosto de 2026

DOI: <https://doi.org/10.56845/terys.v5i2.710>

Resumen: Cada año se generan grandes cantidades de residuos orgánicos derivados de la elaboración de alimentos y las actividades agroindustriales, como las cáscaras, bagazos, pulpas y semillas. Aunque suelen considerarse desechos, estos materiales contienen fibras, compuestos antioxidantes y otros metabolitos de interés. Su manejo inadecuado puede contaminar suelos y cuerpos de agua, generar emisiones de gases de efecto invernadero y favorecer la proliferación microbiana. Desde el enfoque de la economía circular, estos residuos representan una valiosa oportunidad para reincorporarlos a nuevas cadenas productivas, reducir el impacto ambiental y promover sistemas de producción más sostenibles. En este trabajo se presenta una revisión general de los residuos orgánicos y su aprovechamiento, destacando su potencial como materia prima para la producción de composta y biofertilizantes, alimento animal, recuperación de compuestos bioactivos y obtención de biopolímeros. Además, se presenta una actividad demostrativa para elaborar un bioplástico utilizando los residuos orgánicos, con el fin de ilustrar de manera práctica el principio de la economía circular.

Palabras clave: residuos agroindustriales, economía circular y lineal, biopolímeros, valorización, sostenibilidad

Introducción

Cada año se generan millones de toneladas de residuos agroindustriales en el mundo, que en su mayoría terminan en vertederos sin ser aprovechados. Durante mucho tiempo el modelo de producción lineal los consideró únicamente como basura; sin embargo, actualmente se reconoce que estos materiales pueden contener componentes valiosos y convertirse en materia prima. Desde el enfoque de la economía circular, este panorama cambia: en lugar de desechar los residuos, se busca reincorporarlos al sistema de producción y prolongar su ciclo de vida.

Este enfoque ha cobrado relevancia en la Unión Europea, China y América Latina, donde la presión sobre los recursos naturales y la generación de residuos hacen necesario replantear la forma de producción y consumo (Geng *et al.*, 2012; Del Río *et al.*, 2021). México, al ser un país con una actividad agroindustrial importante, también enfrenta desafíos relacionados con la gestión de los residuos. En 2024, la Ciudad de México generó aproximadamente 12,504 toneladas de residuos al día, de las cuales el 56.7 % correspondió a residuos orgánicos (Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México [SEDEMA], 2024). En este contexto, los residuos que se generan de las diversas industrias (azucarera, frutícola y cervecera) y hogares pueden no ser el fin de un proceso, sino una oportunidad para generar productos de utilidad en diversas áreas.

Desarrollo

Desde la educación básica se enseña a distinguir los diferentes tipos de residuos, así como su correcto desecho. Sin embargo, estos conocimientos no siempre se aplican de manera adecuada. Se abordará la problemática asociada con la generación y disposición de los residuos, así como el potencial para ser aprovechados e incorporados en nuevas cadenas productivas, que impacten no solo en la parte económica, sino en el ambiente y la sociedad.

¿Qué es un residuo agroindustrial y de dónde proviene?

Un residuo agroindustrial es un material sólido o líquido generado durante la producción, cosecha, acondicionamiento y transformación o consumo de alimentos y otros productos de origen biológico. Aunque ya no son útiles para el

proceso que los originó, pueden aprovecharse como materia prima para obtener nuevos productos de interés económico y/o social (Saval-Bohórquez, 2012). Estos son subproductos que pueden deteriorarse o descomponerse rápidamente, debido a su contenido de humedad y materia orgánica. Entre ellos se encuentran las cáscaras de fruta o verdura, restos de comida, pan, tortilla, lácteos, semillas, flores, residuos de la industria maderera o residuos del campo, entre otros (Lemes *et al.*, 2022).

Los residuos pueden dividirse en dos tipos (Figura 1), en residuos de campo que incluyen restos que permanecen en el suelo después de una cosecha, como hojas, tallos, vainas de semillas, madera. Y los residuos de proceso, que están presentes después de que los cultivos se transforman en productos para consumo final, tal como las melazas, cáscaras, bagazos, semillas, pulpa y raíces (Romero-Sáez, 2022).



Figura 1. Los residuos orgánicos provenientes de los hogares y la industria agroalimentaria (cáscaras, restos de frutas, aceites, semillas, etc.) representan una valiosa fuente de recursos que, mediante una gestión adecuada, pueden reincorporarse a la cadena productiva.

Creado en BioRender por Peña, (2026) <https://BioRender.com/pci6y4j>

Aunque son de origen natural, su manejo inadecuado puede ocasionar problemas ambientales como la generación de gases de efecto invernadero, contaminación de suelos y cuerpos de agua, y proliferación de microorganismos alterantes o patógenos (Lemes *et al.*, 2022). Lejos de ser considerados únicamente como basura, estos “desechos” pueden conservar ciertas características del producto original, como sus compuestos bioactivos, vitaminas, fibras, polisacáridos, sustancias con actividad biológica (Saval-Bohórquez, 2012).

Como ejemplo de la magnitud de esta problemática, de acuerdo con la CEDA (Central de Abastos de la Ciudad de México), en 2023 se reportó una generación de 438.30 toneladas de residuos al día (Figura 2). Del total, el 59.07% correspondió a residuos orgánicos (restos de alimentos, residuos de poda y jardinería), mientras que el 40.93% estuvo constituido por residuos inorgánicos de aprovechamiento limitado (principalmente, residuos mezclados).



Figura 2. Distribución de los residuos generados diariamente en la Central de Abastos de la Ciudad de México (CEDA), clasificados en residuos orgánicos y residuos de aprovechamiento limitado. La elevada proporción de residuos orgánicos constituye una importante fuente de materia prima que puede transformarse en nuevos productos y materiales.

Fuente: Inventario de residuos sólidos de la Ciudad de México, 2023.

En este sentido, la generación de residuos puede entenderse como una consecuencia directa del modelo de producción y consumo asociado a la economía lineal, en el cual los residuos no eran considerados de utilidad.

Economía: lineal vs circular

La economía lineal se basa en el modelo “extraer, producir y desechar” (Figura 3), que con el paso de los años ha provocado una creciente presión sobre los recursos naturales y un aumento significativo de la generación de residuos. Actualmente, el modelo de economía lineal predomina en numerosas actividades comerciales. Su enfoque considera

que, “una vez utilizado, el producto se convierte únicamente en un desecho o basura”. Este se consolidó con la llegada de la Revolución Industrial, cuando la producción en masa y la disponibilidad abundante de materias primas hicieron viable dicho modelo (Geissdoerfer *et al.*, 2017).

La economía circular surgió como un concepto en la segunda mitad del siglo XX a partir de distintas ideas y corrientes orientadas al uso eficiente de los recursos y la sostenibilidad, y que con el tiempo se observó que podría aplicarse a diversos sectores. Este enfoque busca reducir la extracción y el consumo de materias primas en la industria. No se limita al reciclaje, sino que implica la reintroducción estratégica de residuos en nuevas cadenas productivas, transformándolos en insumos destinados a la elaboración de productos con valor agregado (Geissdoerfer *et al.*, 2017).

A diferencia del modelo lineal, este enfoque promueve que los residuos de un proceso se conviertan en materias primas para otro (Figura 4), debido a su composición y/o estructura. Este enfoque se ha incorporado progresivamente a políticas públicas orientadas a sostenibilidad en gobiernos como los de la Unión Europea (Del Río *et al.*, 2021), mientras que China lo ha implementado como una estrategia nacional de desarrollo (Geng *et al.*, 2012).

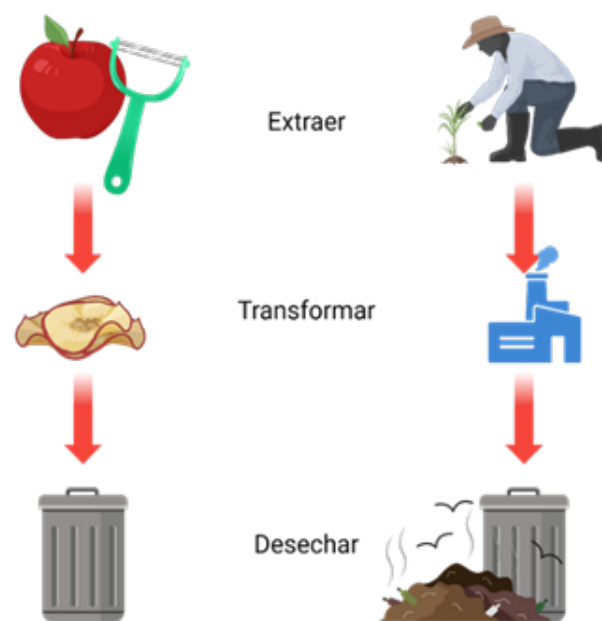


Figura 3. Representación del modelo de economía lineal, basado en la secuencia extraer, transformar–desechar, donde los recursos naturales se extraen, se transforman en productos y, una vez utilizados, terminan como residuos, desaprovechando materiales que aún podrían reincorporarse al ciclo productivo.

Creado en BioRender por Peña, (2026) <https://BioRender.com/pci6y4j>

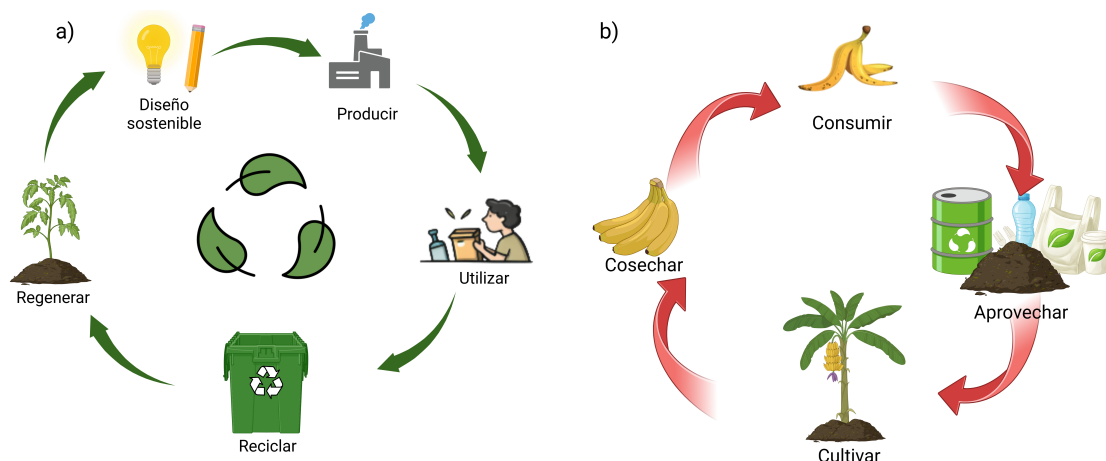


Figura 4. a) Esquema del modelo de economía circular, en el que los productos se diseñan de manera sostenible para minimizar su impacto ambiental, favorecer su uso eficiente, facilitar el reciclaje y permitir la regeneración de los recursos naturales. b) Un ejemplo de economía circular aplicado a los residuos agroindustriales. Las cáscaras de plátano generadas tras el consumo del fruto pueden revalorizarse para obtener composta, biofertilizantes, biogás o bioplásticos, reincorporando estos materiales al ciclo productivo y reduciendo la generación de residuos.

Creado en BioRender por Peña, (2026) <https://BioRender.com/pci6y4j>

En 2024, la Ciudad de México aprobó el programa de Economía Circular (PEC) 2024-2030, que tiene como objetivo integrar, alinear y ampliar los programas y las acciones que contribuyen a la transición hacia un modelo económico circular. Asimismo, se creó la Agencia de Gestión Integral de Residuos (AGIR) de la CDMX, un organismo público descentralizado encargado de promover soluciones sostenibles para el manejo de residuos sólidos urbanos (SEDEMA, 2026).

La implementación de estas estrategias contribuye a reducir el impacto ambiental, aprovechar materiales antes considerados desechos, y fomentar una cultura de sostenibilidad. De esta manera, se favorece el uso eficiente de los recursos naturales y la transformación de los residuos en materias primas para nuevos procesos productivos.

¿Por qué los residuos agroindustriales pueden ser utilizados como materia prima de nuevos productos?

Estos residuos se caracterizan principalmente por estar conformados por materia orgánica rica en compuestos como la celulosa, hemicelulosa y lignina, lo que les confiere un elevado potencial para ser utilizados en la generación de nuevos productos y materiales (Lemes *et al.*, 2022). En la Tabla 1 se presenta un compendio de distintos tipos de residuos, sus principales componentes, así como los posibles impactos derivados de una gestión inadecuada. Esta información permite dimensionar la cantidad y diversidad de residuos generados, y al mismo tiempo tomar conciencia sobre la necesidad de desarrollar soluciones que favorezcan su aprovechamiento y reincorporación a la cadena productiva.

Tabla 1. Principales residuos orgánicos según su origen, composición, compuestos bioactivos y posibles impactos ambientales por una gestión inadecuada

Lugar de generación	Tipo de residuo	Componentes principales	Compuestos bioactivos de interés	Posibles impactos ambientales por una gestión inadecuada	Referencias
Hogar	Cascarón de huevo y cáscaras de frutas	Carbonato de calcio, celulosa, hemicelulosa, pectinas y pigmentos naturales	Ácido gálico, ácido ferúlico, ácido cafeico, carotenoides y antocianinas	Metano, dióxido de carbono	(Moreno-Valdés, 2023)
Industria frutícola	Cáscaras, pulpas y semillas	Fibra dietética, azúcares, hemicelulosas, celulosas y aceites esenciales	Vitaminas (C, A), flavonoides, compuestos fenólicos y antioxidantes	Fermentación y emisión de gases	(Díaz-Montes <i>et al.</i> , 2023)
Industria azucarera	Bagazo de caña	Celulosa, hemicelulosa, lignina	Ácidos orgánicos, alcoholes, alcaloides	Generación de residuos lignocelulósicos de lenta degradación y desaprovechamiento de biomasa	(Pandey <i>et al.</i> , 2000)
Industria cervecera	Bagazo cervecero y levaduras residuales	Celulosa, hemicelulosa, proteínas, lignina, lípidos y minerales	Polifenoles, flavonoides, ácidos fenólicos y otros antioxidantes	Generación de malos olores, contaminación de agua por lixiviados	(Mussatto <i>et al.</i> , 2006)
Industria cafetalera	Pulpa, cáscara y bagazo	Proteínas y azúcares	Cafeína, taninos, alcaloides y polifenoles	Fermentación y contaminación de cuerpos de agua	(Serna-Jiménez <i>et al.</i> , 2018)
Industria confitera y chocolatera	Cáscaras, pulpas, bagazo de cacao y restos de frutas	Fibra lignocelulósica, azúcares, pectinas, celulosa, compuestos fenólicos	Polifenoles, flavonoides, carotenoides (β -caroteno), antioxidantes, compuestos fenólicos	Metano, proliferación microbiana y contaminación de suelo y agua por lixiviados	(Enríquez-Estrella <i>et al.</i> , 2025)

Del residuo al recurso: alternativas de aprovechamiento

Considerar los residuos orgánicos como desechos o basura corresponde a una forma de producción basada en la idea de que los recursos naturales son ilimitados. Por ello, actualmente se han incrementado las investigaciones orientadas al desarrollo de estrategias y manejo de los residuos. Por resaltar algunos, se encuentran su utilización en procesos de compostaje para la mejora de suelos, su incorporación como suplemento en la alimentación animal, la extracción y encapsulación de compuestos bioactivos, así como su empleo como materia prima para la obtención de polímeros y biopolímeros con potencial uso en las industrias alimentaria, farmacéutica, ambiental y del plástico. Estas alternativas permiten reincorporar los residuos a nuevas cadenas productivas y representan ejemplos concretos de economía circular.

Producción de composta y mejoramiento de suelos

El manejo de los residuos mediante el compostaje reduce la contaminación ambiental, mientras que a su vez se genera composta con valor agregado estable y útil para la agricultura (Hernández-Cázares *et al.*, 2016). Durante el proceso de compostaje, los microorganismos degradan la materia orgánica presente en residuos como el bagazo, cáscaras, pulpas, etc. Este proceso convierte los residuos en material rico en materia orgánica, la cual mejora la estructura del suelo, incrementa su capacidad de retención de agua y favorece la disponibilidad de nutrientes para las plantas. De esta manera, el compostaje no solo permite aprovechar los residuos agroindustriales, sino que a su vez contribuye a la recuperación de suelos, y a la disminución del uso de fertilizantes químicos.

Incorporación en la alimentación animal

El uso de desechos agroindustriales como alimento para ganado se ha convertido en una alternativa de aprovechamiento de biomasa y economía circular (Yafetto *et al.*, 2023). Muchos residuos agroindustriales aún contienen nutrientes como fibra, proteínas y minerales, los cuales pueden ser incorporados, después de evaluar su composición e inocuidad, en las dietas de animales. Entre los residuos más utilizados se encuentran el bagazo de caña de azúcar, la pulpa y cascarilla de café, las cáscaras y pulpas de frutas, así como diferentes subproductos derivados del procesamiento del maíz. Estos materiales suelen ser ricos en fibra y carbohidratos, lo que los hace adecuados especialmente para animales rumiantes, como el ganado bovino. Sin embargo, su incorporación como alimento debe realizarse de manera controlada, debido a posibles sustancias antinutricionales y baja digestibilidad; por ello es necesario realizar estudios a fondo y evaluar las cantidades apropiadas.

Extracción y encapsulación de compuestos con actividad biológica

Los residuos agroindustriales pueden contener pigmentos, proteínas, vitaminas, compuestos fenólicos, entre otros con actividad biológica. Para recuperarlos es necesario considerar el método más adecuado que permita la preservación; el más común es dejar el material en contacto con agua o alcohol durante un cierto tiempo y agitación constante. Aunque en la actualidad se emplean técnicas modernas que pueden disminuir el tiempo de extracción, y utilizar menos disolventes, como el ultrasonido, presión, enzimas, microondas, etc. (Chellamboli *et al.*, 2025).

La encapsulación es una técnica que permite la conservación de los compuestos bioactivos, sobre todo para aquellos que se deterioran con la luz, oxígeno, temperatura y pH. Para evitarlo la encapsulación funciona como una pequeña capa protectora que resguarda a los compuestos bioactivos, mejora su estabilidad y facilita su incorporación en distintos productos.

Obtención de biopolímeros

El término polímero proviene de la palabra griega (poly y mers) que literalmente quiere decir “muchas partes”. Ya que son macromoléculas constituidas por la unión repetida de moléculas más pequeñas denominadas “monómeros”. En el 2019, la producción mundial de plástico alcanzó 370 millones de toneladas (PlasticsEurope, 2020) y se espera que continúe aumentando debido a la demanda y a los modelos de consumo actuales (Organization for Economic Co-operation and Development [OECD], 2022). Los polímeros pueden clasificarse de manera general, en sintéticos y naturales, según Baobab Agency (2025), los polímeros sintéticos o derivados de recursos no renovables suelen tener

un menor costo y buenas características, aunque son de limitada o mínima biodegradabilidad. Ante esta problemática, surge el interés por desarrollar nuevos biomateriales derivados de los residuos, que sean sostenibles y puedan ser reingresados a la economía.

Los biopolímeros o polímeros naturales son obtenidos de fuentes biológicas, como residuos, bacterias, plantas, entre otros. Su aprovechamiento permite transformar subproducto en envases, películas, recipientes y utensilios. Algunos incluso pueden ser comestibles y utilizarse para elaborar conos de helado, popotes, cubiertos o envolturas. De esta manera, los residuos adquieren un segundo uso y se reduce el consumo de plásticos convencionales, que pueden permanecer en el ambiente durante muchos años.

Ejercicio demostrativo para la elaboración de un bioplástico

En los últimos años, los residuos son considerados fuente de materia prima para la elaboración de biomateriales, a continuación, se describe la metodología para elaborar un “bioplástico”, el cual se puede hacer en casa o en un laboratorio.

Insumos: almidón de maíz, agua potable o destilada, vinagre, glicerina comestible, agar-agar y el residuo de su interés; se requiere un recipiente de metal, una cuchara o pala de madera, un molde (plato, papel encerado, caja Petri, etc.).
 Nota: los insumos pueden adquirirse en tiendas comerciales o de materias primas.

Paso 1. Acondicionamiento del residuo agroindustrial (Figura 5).

1.1. Recolección del residuo agroindustrial, tales como cáscara de naranja, semillas, café, aserrín, entre otros. El tipo de residuo, así como su proceso de molienda, maceración o extracción, influye directamente en el producto final.

1.2. El residuo recolectado puede ser secado al aire o sol, en charola o una bandeja de plástico (los días que sean necesarios, evitando temperaturas superiores a 40 °C, para evitar degradación de compuestos). Las cáscaras y residuos que ya estén secos no requieren un secado adicional. En condiciones de laboratorio, los residuos pueden secarse en un secador de charolas durante 24 horas.

1.3. Una vez seco, el residuo puede procesarse de tres maneras (Figura 5): molerse directamente con un molino, mortero, licuadora o un procesador de alimentos para disminuir el tamaño; triturarse con agua hasta formar una pasta homogénea; o colocarse en agua fría, caliente o en ebullición, con la finalidad de ablandar y obtener el compuesto que se desea a través de una filtración.

1.4. Una vez acondicionado, el residuo en forma de polvo, pasta o extracto líquido, se almacena a temperatura ambiente en un recipiente de vidrio o en una bolsa con cierre hermético, puede conservarse a temperatura ambiente o bajo refrigeración hasta su uso.

Paso 2. Preparación de los componentes necesarios para elaborar dos formulaciones de 100 mL; una a base de almidón y goma gelana, y la otra a base de agar-agar. Los volúmenes pueden ajustarse o escalarse según la cantidad de solución que se desea preparar.

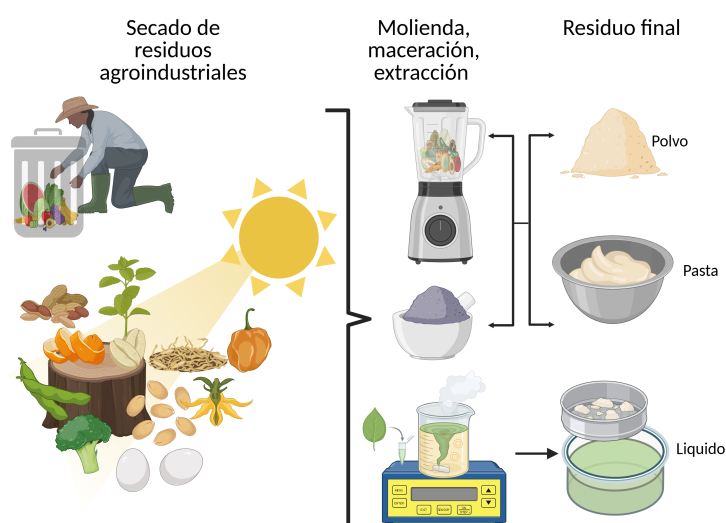


Figura 5. Etapas de acondicionamiento y procesamiento de los residuos agroindustriales para su aprovechamiento en la elaboración de un bioplástico. Los residuos se secan y posteriormente se someten a operaciones como molienda, maceración o extracción, con el fin de obtener materiales en forma de polvo, pasta o extracto líquido que pueden emplearse como materias primas en la formulación de bioplásticos.

Creado en BioRender por Perea-Flores, (2026) <https://BioRender.com/pci6y4j>

2.1. Formulaciones para la elaboración de los bioplásticos.

Tabla 2. Formulaciones propuestas para la elaboración del bioplástico

Componente	Formulación a base de almidón	Formulación a base de agar-agar	Función
Agua potable o destilada	100 mL, divididos en dos porciones de 50 mL	100 mL	Disolvente y medio de dispersión
Almidón de maíz	4 g (½ cucharada)	-	Se gelatiniza con el calor y forma la matriz biopolimérica
Goma gelana	≈ 1 g (¼ cucharada)	-	Agente gelificantes y estructurante
Agar-agar	-	2g (¼ cucharada)	Agente gelificante y estructurante
Residuo acondicionado	1-2 g o 1-2 mL (¼ de cucharada)	4 g, o 4 mL (½ cucharada)	Fuente de compuestos y material de refuerzo que puede modificar la textura, apariencia y propiedades.
Glicerina comestible	½ cucharada	1 cucharada	Plastificante, aporta flexibilidad. Si se omite, el bioplástico obtenido será más rígido y quebradizo
Vinagre	-	¾ cucharada de vinagre	Ajuste del medio, favorece la homogeneización y/o modifica las interacciones de los componentes

Nota: El efecto del residuo sobre el bioplástico dependerá de su composición, tamaño de partícula y concentración; y puede modificar la flexibilidad, textura y apariencia.

Paso 3. Elaboración del bioplástico.

3.1. Bioplástico de almidón

Preparación de la solución A (50 mL): en frío o temperatura ambiente, se mezcla el almidón, el agua y el residuo. Posteriormente se agrega la glicerina, y se agita hasta obtener una dispersión homogénea y sin grumos.

Preparación de la solución B (50 mL): se dispersa la goma gelana en agua caliente hasta su completa disolución. Se recomienda que la temperatura del agua sea superior a 60 °C.

Calentamiento e integración de soluciones: la solución A en fuego bajo se mezcla constantemente (la agitación es la clave, ya que favorece la integración de los materiales y evita la formación de grumos). Después de algunos minutos, la solución B se incorpora gradualmente a la solución A, y se continúa agitando hasta obtener una mezcla homogénea. En este punto, la temperatura debe elevarse por encima de 70 °C, con la finalidad de incrementar la viscosidad y favorecer la formación de un gel.

3.2. Bioplástico de agar-agar

Preparación de la solución (100 mL): el agua se calienta hasta alcanzar una temperatura entre 90 y 100 °C, se agrega el agar-agar poco a poco, manteniéndose una agitación constante hasta lograr su completa disolución y obtener una mezcla homogénea y sin grumos. Posteriormente se incorpora el residuo, la glicerina y el vinagre, manteniendo en todo momento la agitación y temperatura constante. En el momento en que la muestra aumente su viscosidad y se forme el gel se continúa agitando al menos 5 minutos para favorecer una integración uniforme.

Paso 4. Moldeado y secado del bioplástico.

4.1. La mezcla (aplica para la de base de almidón y la de agar-agar) se retira del fuego y se vierte inmediatamente sobre una superficie plana, como un plato, charola o molde recubierto de papel encerado. Se deja secar durante 24–48 horas

en horno de convección entre 40-60 °C. Si no se dispone de horno, puede colocarse en un sitio ventilado al menos 3 días o hasta obtener un bioplástico que se desprenda del molde. En la Figura 6 se muestran de manera ilustrativa los pasos para generar el bioplástico. Nota: Para ambas formulaciones el procedimiento y las recomendaciones son similares.

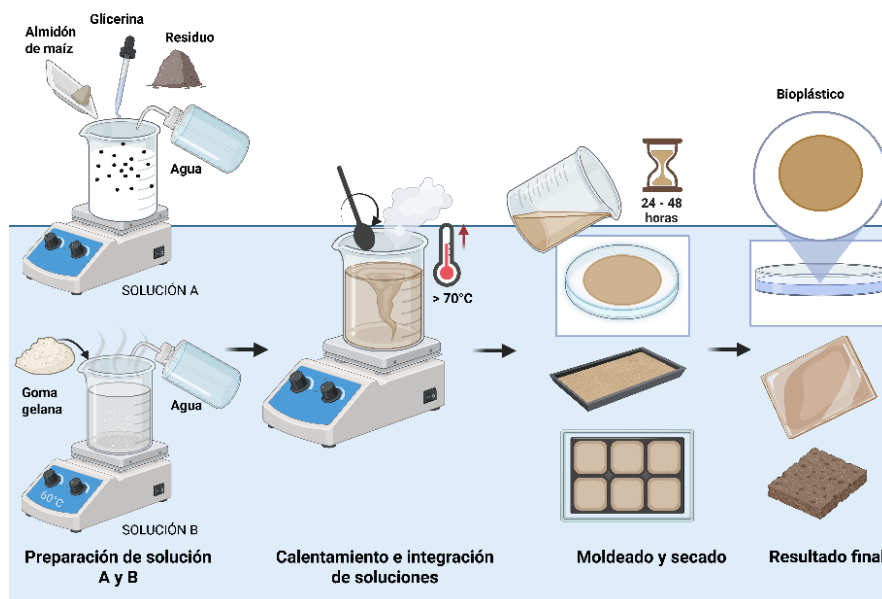


Figura 6. Proceso general para la elaboración de un bioplástico a base de almidón de maíz. El almidón se dispersa en agua y se mezcla con la glicerina y el residuo (Solución A); la solución B se prepara con goma gelana y agua caliente. Ambas soluciones se integran y se calientan a una temperatura superior a 70°C, con agitación constante hasta lograr una consistencia espesa. Finalmente, la mezcla se vierte en moldes y se deja secar hasta formar una película bioplástica.

Creado en BioRender por Perea-Flores, (2026) <https://BioRender.com/pci6y4j>

El procedimiento descrito constituye un experimento demostrativo para elaborar un bioplástico que sea amigable y compostable; sin embargo, la elaboración de estos biomateriales conlleva experimentación a base de prueba y error, así como, un estudio científico de las características y composición del residuo, la relación de la proporción del gelificante y plastificante, y la evaluación de sus propiedades fisicoquímicas, microbianas, térmicas y funcionales.

Conclusiones

Los residuos no son simplemente basura; muchos de ellos pueden aprovecharse y reincorporarse a las cadenas productivas mediante la economía circular. Su valorización permite transformar materiales ricos en compuestos bioactivos y otros componentes de interés en materias primas útiles para las industrias alimentaria, farmacéutica, agrícola, entre otras. Este aprovechamiento contribuye a disminuir la presión sobre los recursos naturales, la generación de desechos y las emisiones de gases como el metano y la formación de lixiviados contaminantes. En este sentido, los agro-residuos dejan de ser un problema para convertirse en un recurso clave en la transición de sistemas productivos más sostenibles y responsables. Así, el desecho del pasado puede transformarse en el recurso del mañana, impulsando la innovación tecnológica y la construcción de una sociedad con mayor conciencia ambiental.

Bibliografía

- Baobab Agency. (2025). *Polímeros naturales y sintéticos: Qué son, tipos, diferencias y ejemplos*. Erycop. <https://erycop.com/polimeros-naturales-y-sinteticos/>
- Chellamboli, C., Muthamizhi, K., Ramalakshmi, S., Karthikeyan, C., Cen Lo, S., & Rajkumar, S. (2025). Recent advances in agri-food waste valorisation and nanoencapsulation of bioactive compounds for sustainable development. *Discover Food*, 5, 235. <https://doi.org/10.1007/s44187-025-00613-1>
- Del Río, P., Kiefer, C. P., Carrillo-Hermosilla, J., & Könnölä, T. (2021). *The circular economy: Economic, managerial and policy implications*. Springer Nature.
- Díaz-Montes, E., Cerón, M. G., & Vargas, L. E. (2023). Encapsulación de compuestos bioactivos: Una revisión sistemática. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 10(20), 17–28. <https://doi.org/10.29057/icbi.v10i20.9575>

- Enríquez-Estrella, M., Arboleda-Álvarez, L., Ricaurte-Órtiz, P., El Salous, A., & Andrade-Alban, M.-J. (2025). Sustainable utilization of agro-industrial fruit and vegetable wastes potential source of bioactive compounds and biomaterials: A review. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 39, e359059. <https://doi.org/10.17533/udea.rccp.e359059>
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, M. P. N., & Hultink, E. J. (2017). The circular economy: A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
- Geng, Y., Fu, J., Sarkis, J., & Xue, B. (2012). Towards a national circular economy indicator system in China: An evaluation and critical analysis. *Journal of Cleaner Production*, 23(1), 216–224. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.07.005>
- Hernández-Cázares, A. S., Real-Luna, N., Delgado-Blancas, M. I., Bautista-Hernández, L., & Velasco-Velasco, J. (2016). Residuos agroindustriales con potencial de compostaje. *Agroproductividad*, 9(8), 10–17.
- Lemes, A. C., Egea, M. B., De Oliveira Filho, J. G., 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, 802543. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.802543>
- Moreno-Valdés, M. F. (2023). *Compuestos bioactivos en descartes agroindustriales: Revisión bibliográfica del potencial uso para alimentos funcionales* [Tesis de licenciatura, Universidad de Chile]. <https://doi.org/10.58011/jrb5-pg17>
- Mussatto, S. I., Dragone, G., & Roberto, I. C. (2006). Brewers' spent grain: Generation, characteristics and potential applications. *Journal of Cereal Science*, 43, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2005.06.001>
- Organization for Economic Co-operation and Development. (2022). *Global plastics outlook: Economic drivers, environmental impacts and policy options*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/de747aef-en>
- Pandey, A., Soccol, C. R., Nigam, P., & Soccol, V. T. (2000). Biotechnological potential of agro-industrial residues. I: Sugarcane bagasse. *Bioresource Technology*, 74, 69–80. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00142-X](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00142-X)
- PlasticsEurope. (2020). *Plastics – the facts 2020: An analysis of European plastics production, demand and waste data*. <https://plasticseurope.org/>
- Romero-Sáez, M. (2022). Los residuos agroindustriales, una oportunidad para la economía circular. *Tecnológicas*, 25(54), e2505. <https://doi.org/10.22430/22565337.2505>
- Saval-Bohórquez, S. (2012). Aprovechamiento de residuos agroindustriales: Pasado, presente y futuro. *BioTecnología*, 16(2), 14–46. https://smbb.mx/wp-content/uploads/2017/10/Revista_2012_V16_n2.pdf
- Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México. (2024). *Inventario de residuos sólidos de la Ciudad de México 2024*. <https://sedema.cdmx.gob.mx/programas/programa/residuos-solidos>
- Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México. (2026). *¿Qué estamos haciendo?* <https://proyectos.sedema.cdmx.gob.mx/circular/que-estamos-haciendo>
- Serna-Jiménez, J. A., Torres-Valenzuela, L. S., Martínez-Cortínez, K. M., & Sandoval, C. H. (2018). Aprovechamiento de la pulpa de café como alternativa de valorización de subproductos. *Revista Ion*, 31(1), 37–42. <https://doi.org/10.18273/revion.v31n1-2018006>
- Yafetto, L., Odamtten, G. T., & Wiafe-Kwagyan, M. (2023). Valorization of agro-industrial wastes into animal feed through microbial fermentation: A review of the global and Ghanaian case. *Heliyon*, 9(4), e14814. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14814>