

Más allá del jugo: valorización del bagazo y cáscara de naranja hacia un modelo de economía circular

Carlos Escamilla-Alvarado*
ORCID: 0000-0003-2152-7912

Brenda Nelly López-Hernández*
ORCID: 0000-0003-3400-0474

María Guadalupe Paredes-Figueroa**
ORCID: 0000-0002-6640-8581

<https://doi.org/10.29105/cienciauanl28.134-2>



La naranja es el cítrico más consumido en el mundo, alcanza el 60% de la producción general de este tipo de fruto. México es su tercer mayor productor, Veracruz, Tamaulipas, San Luis Potosí, Puebla y Nuevo León son las entidades líderes en su cosecha, comprendiendo entre ellos el 85% del total nacional (DGSIAP, 2024).

Después de la extracción del jugo, aproximadamente entre 50 y 60% del peso de la fruta permanece en la cáscara y el bagazo. Las industrias productoras de néctar suelen aprovechar estos residuos para obtener aceites esenciales y pectina. Sin embargo, cuando el bagazo y la cáscara se generan a menor escala –en hogares o establecimientos pequeños–, comúnmente se llevan a sitios de disposición final donde se originan gases de efecto invernadero (particularmente metano, un gas con alto potencial de calentamiento glo-

* Universidad Autónoma de Nuevo León, Apodaca, México.

** Universidad de Monterrey, San Pedro Garza García, México.

Contacto: carlos.escamillalv@uanl.edu.mx, brenda.lopezhe@uanl.edu.mx,
maria.paredesf@udem.edu

bal), contaminación del agua y del suelo (Albalate-Ramírez *et al.*, 2024). Además, se pierde la oportunidad de convertirlos en biocompuestos y bioenergéticos de valor agregado (López-Hernández *et al.*, 2025).

Ante esta situación, las biorrefinerías se presentan como una estrategia adecuada en la valorización de residuos orgánicos. Se trata de complejos que permiten transformar la biomasa en múltiples productos de valor agregado –biocompuestos, bioenergía y abonos– en un esquema de aprovechamiento en cascada (Poggi-Varaldo *et al.*, 2014). Este concepto consiste en priorizar la obtención de los compuestos más valiosos y, posteriormente, destinar el residuo remanente a otras aplicaciones, por ejemplo, bioenergía o fertilizantes, maximizando así el rendimiento integral y reduciendo al mínimo la generación de desechos. De esta manera, la figura 1 muestra el aprovechamiento convencional de la naranja en la elaboración de jugo incorporado al concepto del modelo de biorrefinería, que incluye la valorización de su cáscara y bagazo para la extracción de aceites esenciales y pectina, junto con la producción de bioenergéticos y abonos (López-Hernández *et al.*, 2025).

El desarrollo de biorrefinerías para residuos cítricos responde a la necesidad de obtener bioenergéticos como el biometano, el bioetanol y el biohidrógeno, que representan alternativas renovables a los combustibles fósiles y contribuyen a la mitigación del cambio climático y al progreso de la economía circular.

BIOCOPUESTOS VALIOSOS: MÁS QUE SÓLO JUGO

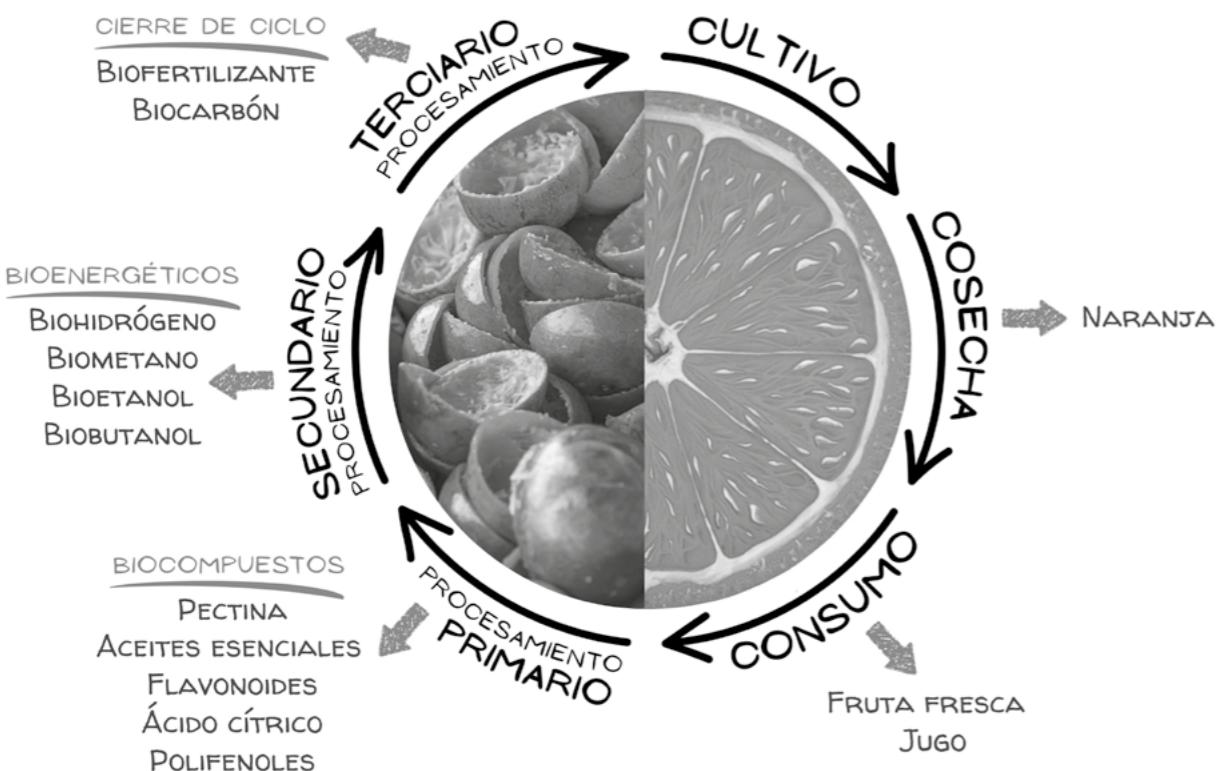
Desde hace décadas se aprovecha el bagazo y la cáscara de naranja para la obtención de aceites esenciales y pectina, dos biocompuestos con una variedad de aplicaciones industriales.

Los aceites esenciales conforman aproximadamente 1.5% del peso del bagazo y la cáscara (Calabró *et al.*, 2015). El d-limoneno es una molécula terpenoide que constituye alrededor del 90% de los aceites esenciales presentes en la cáscara, concentrándose en la capa externa llamada flavedo. Gracias a su aroma característico son muy demandados en la industria alimentaria (saborizante), en la cosmética, perfumería y en la farmacéutica (Arango-Manrique *et al.*, 2024).

El prensado en frío es la técnica preferida para extraer los aceites esenciales de la cáscara de naranja. Es un método mecánico que no requiere calor ni solventes químicos, lo que ayuda a mantener mejor los compuestos aromáticos, la calidad sensorial del producto y la economía del proceso. Consiste en someterla a presión suficiente para liberar el aceite contenido en las glándulas del flavedo, que luego se separa mediante centrifugación o decantación.

En cuanto a la pectina, es un polisacárido complejo presente en la pared de las células vegetales de frutas y verduras. En los cítricos se en-





cuenta principalmente en la parte blanca y esponjosa de sus cáscaras, llegando a representar entre 15 y 40% del peso de una naranja seca. Se utiliza sobre todo como agente gelificante y espesante en alimentos del tipo mermeladas y jugos, y es un estabilizador de textura en diversas formulaciones. Además, tiene aplicaciones en la industria farmacéutica –encapsulación y liberación controlada de fármacos– y cosmética –estabilizador y espesante en cremas y lociones–.

El método habitual de extraer pectina es la hidrólisis con ácidos inorgánicos diluidos: clorhídrico, nítrico o sulfúrico. Luego se clarifica, se precipita con alcohol y se somete a centrifugación o filtración para recuperarla, finalmente se seca y pulveriza (Zegada Franco, 2015). La fibra insoluble –celulosa y lignina– permanece en el residuo y puede ser

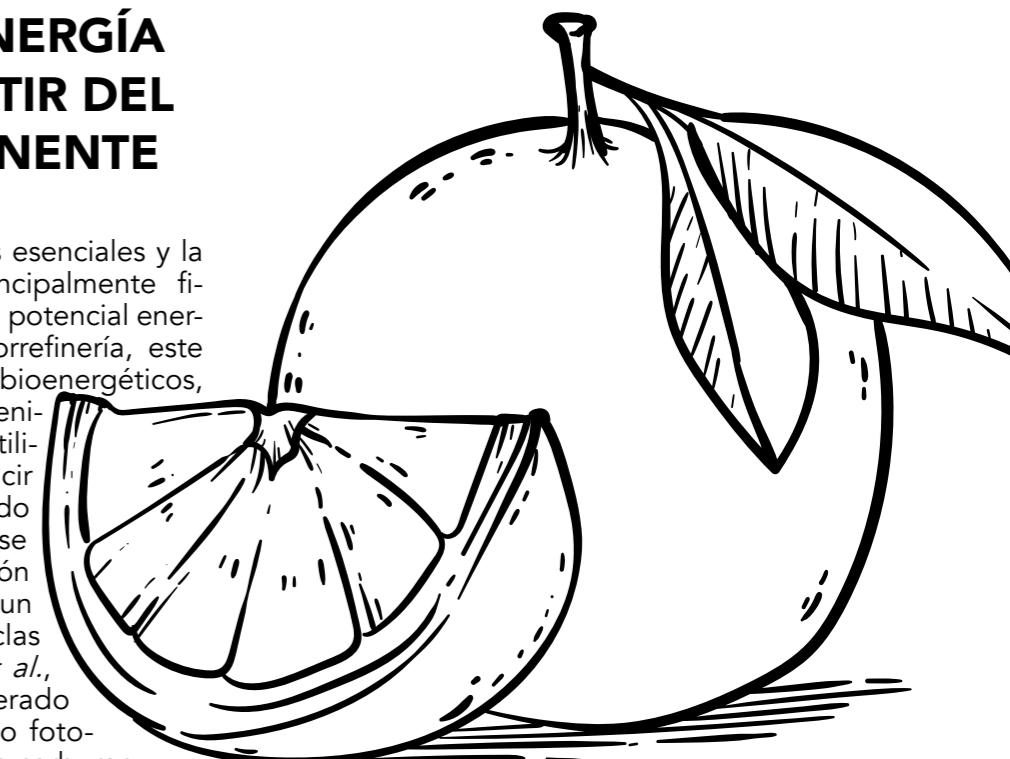
aprovechada en etapas posteriores del proceso de biorrefinería.

En México, los procedimientos de obtención de pectina y aceites esenciales se aplican comúnmente en la industria del jugo de naranja, aunque todavía no se realiza su integración bajo el marco formal de las biorrefinerías con producción de biocombustibles. Hacerlo permitiría no sólo continuar con la extracción de aceites esenciales y pectina, sino también dar un paso más hacia la economía circular en el cultivo de este fruto. Por ejemplo, a partir del trabajo de López-Hernández *et al.* (2025), se demostraron esquemas de aprovechamiento de la cáscara y bagazo, en los cuales, tras la obtención de aceites esenciales y pectina por hidrodestilación, se conseguían rendimientos favorables de biohidrógeno por la ruta fermentación oscura-fotofermentación, y de metano por digestión anaerobia.

¿Y DESPUÉS? ENERGÍA Y ABONO A PARTIR DEL RESIDUO REMANENTE

Una vez recuperados los aceites esenciales y la pectina, el residuo restante –principalmente fibras insolubles– conserva un alto potencial energético. Bajo un modelo de biorrefinería, este material puede transformarse en bioenergéticos, por ejemplo el biometano –obtenido por digestión anaerobia–, utilizado como combustible al producir electricidad o calor (Poggi-Varaldo *et al.*, 2014), el bioetanol –que se crea a partir de la fermentación de azúcares e hidrolizados– es un buen biocombustible en mezclas con gasolina (Ríos Fránquez *et al.*, 2018), y el biohidrógeno –generado mediante fermentación oscura o fotofermentación–, que tiene uso de carburante vehicular o gas de síntesis (López-Hernández *et al.*, 2025).

Estos bioenergéticos destacan por su capacidad para sustituir combustibles fósiles y reducir emisiones de gases de efecto invernadero. Además, los subproductos de dichos procedimientos –por ejemplo el digestato o los residuos sólidos del proceso de fermentación– pueden aprovecharse como biofertilizantes, cerrando así el ciclo de circularidad al reincorporarse a la producción agrícola, en particular a los cultivos cítricos.



DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES DE SU USO EN BIORREFINERÍAS

La aplicación de modelos de biorrefinería para residuos cítricos tiene un gran potencial ambiental, económico y social. Sin embargo, su implementación enfrenta retos importantes: *i)* escasa participación ciudadana en la separación de los sobrantes en la fuente de generación (Piñar *et al.*, 2024), *ii)* falta de infraestructura en el procesamiento de los desechos orgánicos (Tsydenova *et al.*, 2018), y *iii)* ausencia de políticas públicas e incentivos que promuevan las prácticas de circularidad (Albalate-Ramírez *et al.*, 2024).

Estudios previos han señalado que estas limitaciones representan barreras significativas en la adopción de estrategias de economía circular en países como México. Superarlas requerirá inversión en infraestructura, programas de educación ambiental y marcos normativos que impulsen la innovación tecnológica y la creación de mercados verdes.

Sin embargo, otro aspecto positivo del desarrollo de los biocombustibles en el contexto de las biorrefinerías es que su producción industrializada aportaría a la matriz energética del país para lograr la autosuficiencia o independencia, que en el escenario geopolítico actual es buscada por muchos gobiernos (Secretaría de Energía, 2025).

Por lo tanto, considerando la importancia de la naranja en México y en el mundo, la transformación de esta industria hacia un modelo de biorrefinería que aproveche sus residuos, priorizando la obtención de biocompuestos de alto valor –por ejemplo, aceites esenciales y pectina–, y posteriormente en bioenergéticos que coadyuven en la transición y autosuficiencia energética, de esta manera finalmente generar fertilizantes que regresen al campo, se visualiza con un elevado potencial para enarbolar el enfoque de circularidad que favorezca al mismo tiempo la protección del medio ambiente y la creación de empleos ecológicos en sectores clave.

REFERENCIAS

- Albalate-Ramírez, A., Rueda-Avellaneda, J. F., López-Hernández, B. N., *et al.* (2024). Geographic life cycle assessment of food loss and waste management in Mexico: The reality of distribution and retail centers, *Sustainable Production and Consumption*, 48, 289-300, <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.05.028>
- Arango-Manrique, Sergio, Agudelo Patiño, Tatiana, Matallana Pérez, Luis G., *et al.* (2024). Conceptual design and economic optimization of different valorization routes for orange peel waste: The application of the biorefinery concept for an integral use of raw material, *Processes*, 12(10), 2298, <https://doi.org/10.3390/pr12102298>
- Calabò, P. S., Pontoni, L., Porqueddu, I., *et al.* (2015). Effect of the concentration of essential oil on orange peel waste biomethanization: Preliminary batch results, *Waste Management*, 48, 440-447, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.10.032>
- Dirección General del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (DGSIAP). (2024). Estadística de producción agrícola, *Gobierno de México*, <https://nube.agricultura.gob.mx/datosAbiertos/Agricola.php>
- López-Hernández, Brenda N., Escamilla-Alvarado, Carlos, Albalate-Ramírez, Alonso, *et al.* (2025). Transforming orange peel waste into hydrogen: The effect of biocompound extraction and inoculum-to-substrate ratio on dark fermentation, *International Journal of Hydrogen Energy*, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2025.02.358>
- Piñar, María de los A., Mondragon, Itzel L. (2024). Participación social y sensibilización ambiental para el manejo de residuos municipales en Banderilla, Veracruz, México, *Revista Electrónica en Educación y Pedagogía*, 8(14), 108-124. <https://doi.org/10.15658/rev.electron.educ.pedagog24.02081407>
- Poggi-Varaldo, Héctor M., Muñoz-Paez, Karla M., Escamilla-Alvarado, Carlos, *et al.* (2014). Biohydrogen, biomethane and bioelectricity as crucial components of biorefinery of organic wastes: A review, *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, 32(5), 353-365, <https://doi.org/10.1177/0734242X14529178>
- Ríos-Fránquez, Francisco J., Rojas-Rejón, Oscar, Escamilla-Alvarado, Carlos. (2018). Chapter 13. Microbial enzyme applications in bioethanol producing biorefineries: overview, in Ray, R. (Ed): *Bioethanol production from food crops*, 249-266, Academic Press, Netherlands, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813766-6.00013-8>
- Secretaría de Energía. (2025). *Balance nacional de energía 2023*, Subsecretaría de Planeación y Transición Energética, Dirección General de Planeación e Información Energéticas, Gobierno de México.
- Tsydenova, Nina, Vázquez Morillas, Alethia, Cruz Salas, Arely A. (2018). Sustainability assessment of waste management system for México City (México)-based on analytic hierarchy process, *Recycling*, 3(3), 45, <https://doi.org/10.3390/recycling3030045>
- Zegada Franco, Vanesa Y. (2015). Extracción de pectina de residuos de cáscara de naranja por hidrólisis ácida asistida por microondas (HMO), *Investigación & Desarrollo*, 1(15), 65-76.

Recibido: 16/06/2025
Aceptado: 27/08/2025

Descarga aquí nuestra versión digital.

