

Gestión de residuos agroindustriales: un enfoque de bioeconomía circular

Víctor Manuel Molina-Morejón¹
José de Jesús Espinoza-Arellano^{1, §}
Juan Gabriel Contreras-Martínez¹
Eyrán Roberto Díaz-Gurrola¹

¹ Facultad de Contaduría y Administración-Unidad Laguna-Universidad Autónoma de Coahuila.
Boulevard Revolución 153 oriente, Colonia Centro, Torreón, Coahuila, México. CP. 27000.
(vmolinaa2005@yahoo.com.mx; juan-gabriel-c@hotmail.com; eyrandiaz@yahoo.com.mx).

Autor para correspondencia: jesusespinoza-612@yahoo.com.mx.

Resumen

El objetivo de este ensayo fue mostrar como la gestión de residuos agroindustriales puede contribuir no solo a su valorización sino también a la reducción de la contaminación contribuyendo a la sostenibilidad económica ambiental. El estudio fue de 2017 a 2024, en la región conocida como la Comarca Lagunera en el Norte-Centro de México. Al inicio de este trabajo se presentan los resultados de un proceso local que, con sus limitaciones, añade valor contextual y aplicabilidad regional al tratar residuos, generar energía, producir abono orgánico y agua tratada de forma sostenible. La mejora y actualización de estos procesos locales iniciados hace varios años se comparan con el diagrama de la mariposa de Ellen MacArthur en una versión adaptada a los establos lecheros de la región. La revisión bibliográfica de experiencias documentadas en revistas científicas donde se discuten: la extracción de compuestos valiosos antes de la biodigestión, la digestión anaeróbica y el compostaje integrados, los tipos de residuos agroindustriales, la aplicación para biomasa de nueva generación y el análisis del ciclo de vida para evaluar el impacto ambiental. Finalmente, se destaca la valorización de residuos para procesos de biorrefinería y bioeconomía circular. Se concluyó que la bioeconomía ofrece beneficios, aunque su adopción enfrenta retos, requiriendo complementarse con estudios económicos, y en particular el diseño de procesos eficientes de recolección de residuos valiosos basados en una cadena de suministro que no solo logre hacer más ágil la captación de los residuos sino también procesos eficientes de producción y distribución.

Palabras clave:

biomasa, compostaje, residuos agroindustriales.



La pregunta de investigación de este ensayo es: ¿cómo la bioeconomía circular puede aportar soluciones a problemas del sector agroindustrial de México al gestionar eficientemente los residuos agroindustriales de manera sostenible?

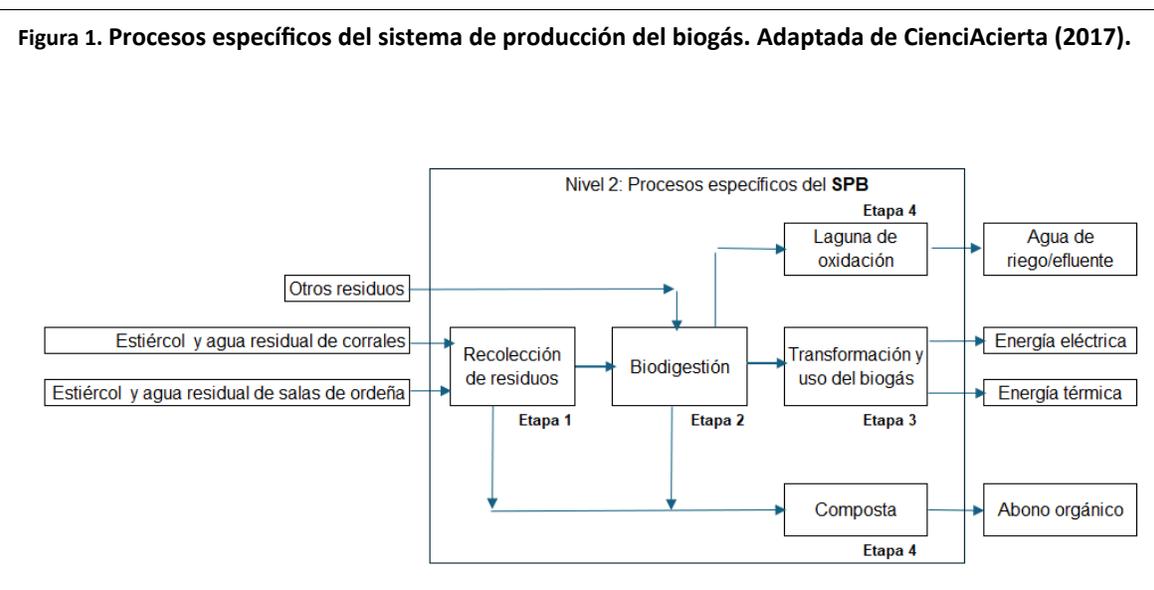
Desarrollo

El ensayo está estructurado en cinco apartados, cada uno de los cuales discute perspectivas teóricas o prácticas.

Apartado I: La comarca lagunera: su enfoque de sostenibilidad y su comparación con el ciclo biológico de EMF (2022)

Apartado I a

Esta propuesta está basada en un estudio previo en la Comarca Lagunera de López *et al.* (2017), el cual describe un sistema de producción de biogás (SPB) con un enfoque de sostenibilidad de cuatro etapas definidas para el manejo de residuos y la obtención de biogás y otros productos útiles. En la etapa 1 de la Figura 1 se recolectan estiércol de vacas lecheras y agua residual de corrales y salas de ordeña. En la etapa 2, los residuos pasan a biodigestión, donde se transforman en biogás y subproductos.

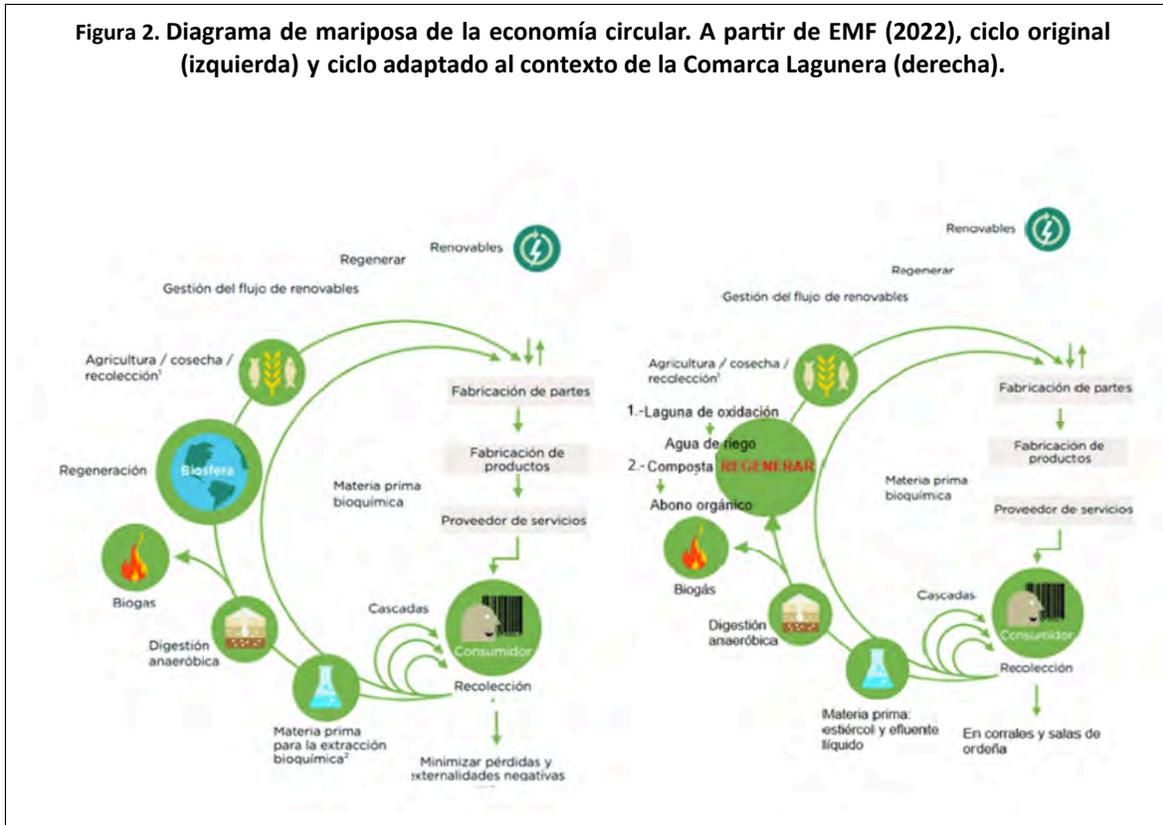


En la etapa 3, el biogás se transforma en energía eléctrica y térmica, optimizando los recursos. Finalmente, en la etapa 4, el residuo sólido se convierte en abono mediante compostaje, y el líquido se deposita y mediante tratamiento en una laguna de oxidación el cual se utilizará como agua de riego. Este proceso integrado trata residuos, genera energía y produce abono y agua tratada de manera sostenible. El biogás se puede denominar biometano en el que la materia orgánica se convierte en metano y CO₂ en ausencia de oxígeno (Aghel *et al.*, 2022). Los conocimientos sobre el tema tratado en este ensayo son derivados de trabajos de campo en establos lecheros de la Comarca Lagunera. Según estudios de: López *et al.* (2017); Espinoza-Arellano *et al.* (2018); Molina *et al.* (2020).

Apartado I b: Ciclo biológico de Ellen MacArthur analizado en el contexto de La Comarca Lagunera

En la Figura 2, (ciclo EMF) parte izquierda, se observan los bucles del ciclo biológico o cascadas que devuelven nutrientes al suelo y ayudan a regenerar la biosfera dentro de un contexto agronómico.

Figura 2. Diagrama de mariposa de la economía circular. A partir de EMF (2022), ciclo original (izquierda) y ciclo adaptado al contexto de la Comarca Lagunera (derecha).



A la derecha de la Figura 2 se muestra la adecuación realizada en este estudio, donde el diagrama de la mariposa se aplica en el contexto del SPB en establos lecheros de La Comarca Lagunera. Esta figura se alinea con las cascadas antes mencionadas, pues promueve el uso de sus residuos de manera sostenible y añade valor contextual y aplicable a la región.

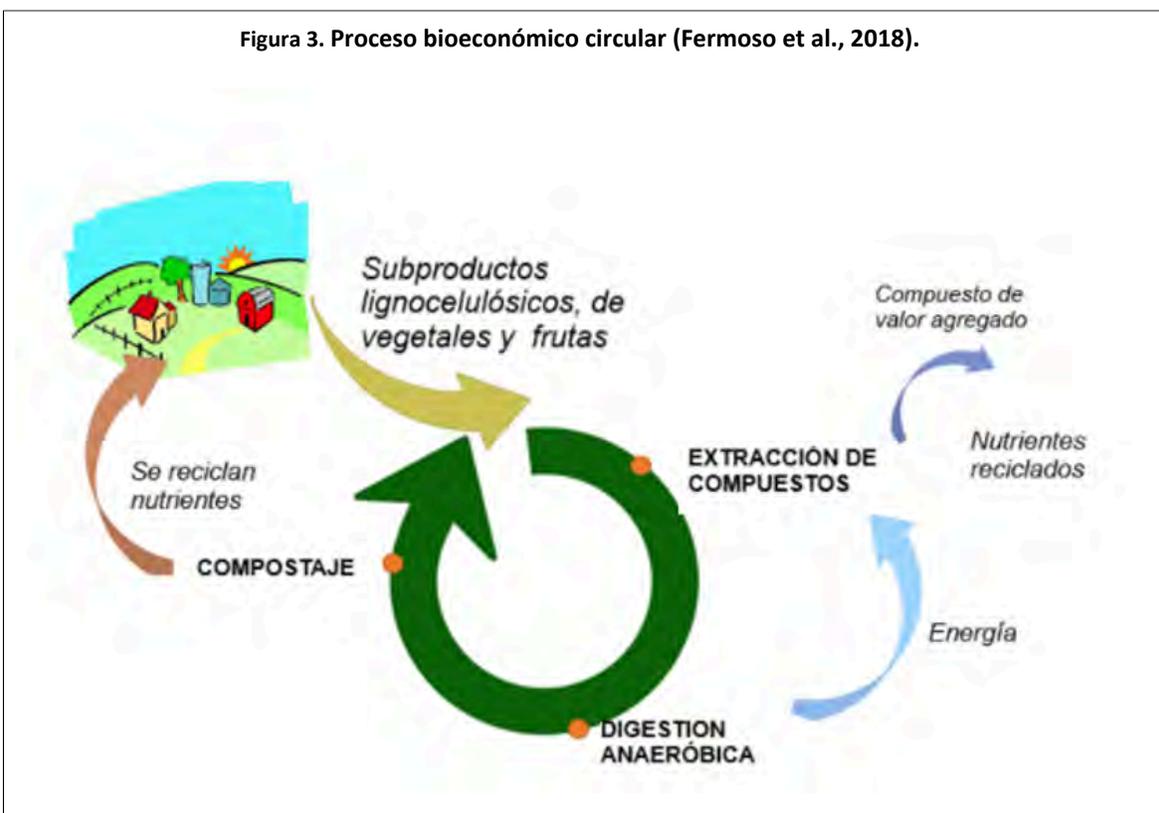
Conclusiones de los autores(as) del apartado I

Se comparó el diagrama de la mariposa del ciclo biológico de Ellen MacArthur basado en el concepto 'de la cuna a la cuna' de Braungart (2019), con una versión adaptada al contexto de los establos lecheros de la Comarca Lagunera, adaptando el diagrama al entorno local (derecha), considerando los siguientes pasos: recolección de materia prima, el estiércol y efluente líquido de corrales y salas de ordeña; digestión anaeróbica en biodigestores y producción de biogás, que permite mediante combustión quemar metano y generar electricidad y calor como muestra del valor añadido (Molina *et al.* 2020). Este ciclo intermedio EMF (2022) lo identifica como 'regeneración en la biosfera' la experiencia o resultados aplicados que presentan los autores, el ciclo comprende procesos de regeneración, ya sea mediante composta-abono orgánico o el uso de agua residual para riego, que previamente fluye hacia una laguna de oxidación para luego continuar al proceso de riego.

Apartado II: Extracción de compuestos valiosos, digestión anaeróbica y compostaje: un enfoque de biorrefinería líder para desechos agrícolas (Fermoso *et al.*, 2018)

En una sociedad cada vez más consciente del ambiente, es esencial evaluar las opciones de valorización de la biomasa agrícola para cambiar su percepción de residuo a recurso. El enfoque de biorrefinería se propone como una vía para aumentar las ganancias del sector agropecuario, garantizando la sostenibilidad ambiental mediante la conversión de biomasa en combustibles, energía y productos químicos. Sin embargo, el autor destaca que esta propuesta es menos innovadora frente a procesos como la producción de bioetanol o la biotecnología blanca. Aunque estos procesos han sido planteados como unidades de operación para valorizar residuos agrícolas, aún no se ha realizado una revisión exhaustiva de su aplicación individual o conjunta en la literatura. El objetivo fue revisar estudios previos y actuales sobre la valorización de biomasa de residuos agrícolas, enfocándose en la extracción de compuestos valiosos, digestión anaeróbica y compostaje, ya sean residuos parciales o totalmente tratados. La Figura 3 representa un proceso bioeconómico circular, enfocado principalmente en el tratamiento de subproductos lignocelulósicos, vegetales y de frutas.

Figura 3. Proceso bioeconómico circular (Fermoso *et al.*, 2018).



Este proceso es sostenible y circular, ya que genera energía, compost y recupera compuestos bioquímicos útiles para diversas industrias. En la digestión anaeróbica, los microorganismos descomponen material orgánico sin oxígeno, produciendo biogás y digestato, rico en nutrientes. Durante y después de la digestión, se extraen compuestos valiosos, como bioactivos y ácidos grasos. El material sólido restante se convierte en compost, mejorando la fertilidad del suelo y cerrando el ciclo al integrar nutrientes esenciales para futuros cultivos. Lakner *et al.* (2021) concluyen que la contribución de los sectores a la bioeconomía es compleja, por lo que se requiere planificación estratégica y una óptima asignación de recursos para cumplir los objetivos, analizar su rol en la economía lineal y sus efectos futuros.

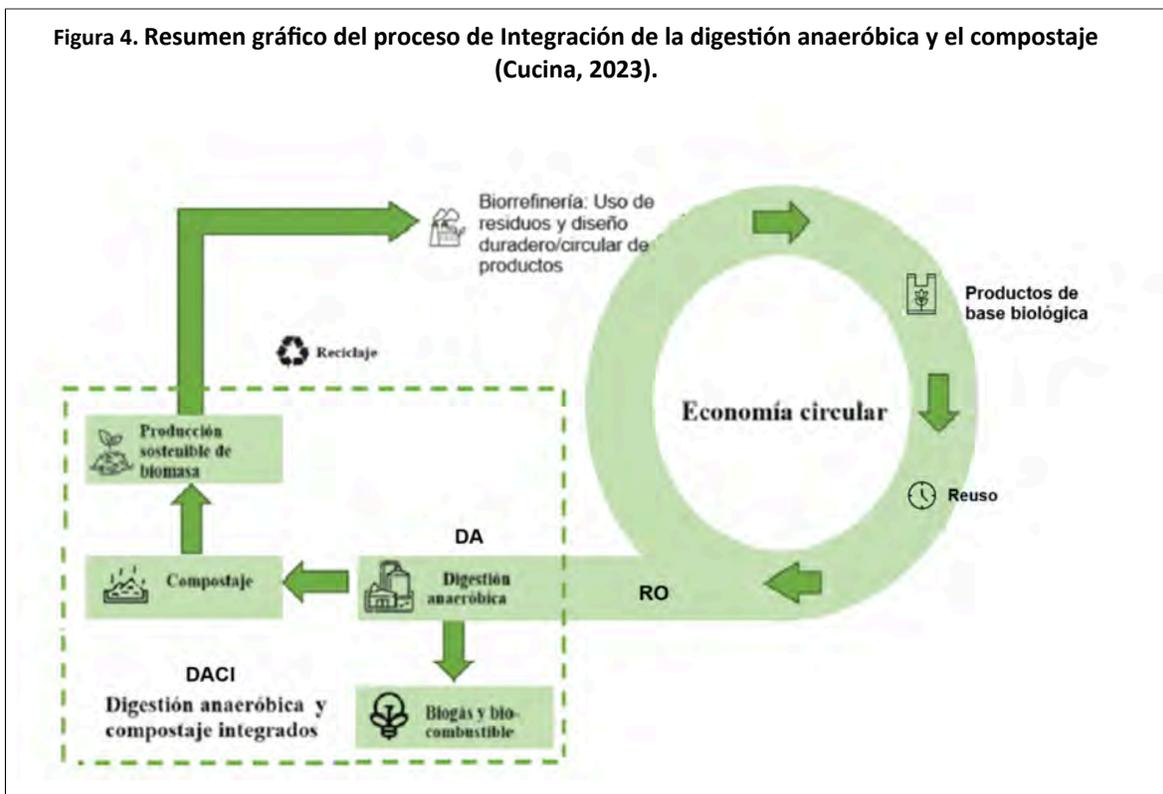
Conclusiones de los autores(as) del apartado II

Aunque su enfoque de biorrefinería es menos innovador en comparación con otras que producen bioetanol o biotecnología blanca, en su caso refiere principalmente el tratamiento de subproductos lignocelulósicos, vegetales y de frutas. El proceso de digestión anaeróbica propuesto por Feroso *et al.* (2018) es un método ampliamente utilizado en la valorización de residuos orgánicos, caracterizado por la homogeneidad de sus procedimientos y resultados. El aporte clave de esta propuesta es que previamente se extrae del digestato o de productos intermedios formados en el proceso, compuestos de alto valor (bioactivos, ácidos grasos volátiles u otros productos bioquímicos). Por tanto, lo que llega al proceso de compostaje es un material sólido restante que puede aplicarse como nutriente al suelo, cerrando el ciclo al devolver nutrientes esenciales, apoyando así el crecimiento de futuros cultivos. Los autores entienden que es algo que no tiene perspectivas en La Laguna pues su aplicabilidad dependería del valor de los compuestos extraídos, así como de la demanda y la escala de producción.

Apartado III: Integración de la digestión anaeróbica y el compostaje para impulsar la recuperación de energía y materiales a partir de residuos orgánicos en el marco de la economía circular en Europa (Cucina, 2023)

Este trabajo enfatiza en la biodigestión y el compostaje donde señala (Figura 4) que la producción de biogás a partir de la digestión anaeróbica y el compostaje integrado (DACI) es el proceso que mejora principalmente la sostenibilidad global del tratamiento de residuos orgánicos (RO).

Figura 4. Resumen gráfico del proceso de Integración de la digestión anaeróbica y el compostaje (Cucina, 2023).



Por lo tanto, mejorar el rendimiento de la digestión anaeróbica (DA) se vuelve obligatorio para mejorar la implementación de la DACI para la gestión de RO. La producción de biogás a partir de RO escasamente biodegradable (residuos municipales verdes RMV, residuos agroindustriales RAI y lodos de depuradoras de aguas residuales LD) puede mejorarse de manera efectiva mediante pretratamientos de la materia prima antes de la DA (Atelge *et al.*, 2022; Janz *et al.*, 2022; Yaser *et al.*, 2022). Aunque se han aplicado diferentes tecnologías de pretratamiento para mejorar

la producción de biogás a partir de biomasas manteniendo una producción neta de energía (mecánica, térmica, química), no hay estudios de DACI donde los RO se pretraten antes del paso de DA. Por lo tanto, este tipo de biorrefinería (pretratamiento seguido de DACI) debe investigarse para evaluar su sostenibilidad global (Figura 4). Al aplicar los análisis de heterogeneidad se considera la propiedad, la escala, la industria y los factores regionales (Qi *et al.*, 2022).

Conclusiones de los autores(as) del apartado III

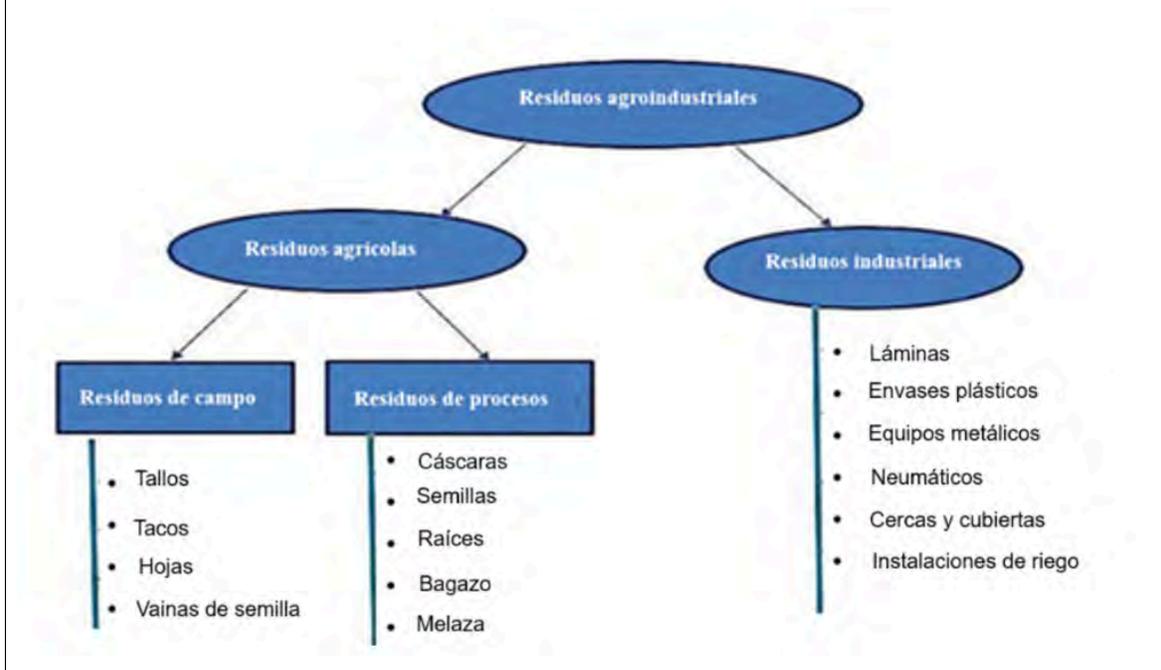
No obstante, la DACI propuesta puede ser una estrategia válida para un sistema completo de economía circular en el tratamiento de RO, se requiere más investigación para superar las lagunas identificadas. Técnicamente, falta información sobre el uso de lodos de depuradora LD como materia prima en el sistema DACI, considerando el potencial de energía y nutrientes recuperables pueden compostarse como fertilizante, procesarse anaeróbicamente para biogás, usarse en materiales de construcción, recuperarse nutrientes esenciales como fósforo o transformarse en biochar y gas de síntesis mediante pirólisis o gasificación. Los estudios a escala piloto son útiles, pero insuficientes para evaluar la sostenibilidad, por lo que se necesita implementar estudios a gran escala que evalúen el impacto ambiental en condiciones reales, o sea, debe abordarse todo el proceso de desarrollo tecnológico. La sostenibilidad económica de la DACI ha sido poco evaluada, y se necesitan más estudios que consideren los costos, beneficios de la producción de energía y biofertilizantes, y el tiempo de retorno de la inversión.

Apartado IV: Gestión de residuos agroindustriales: la perspectiva circular y bioeconómica (Ogbu y Okey, 2023)

Con el aumento de la población humana y animal, la demanda y la producción de alimentos seguirán aumentando lo que conducirá a un incremento de la generación de residuos y a desafíos ambientales negativos. La producción agrícola sostenible y el procesamiento agroindustrial, la salud ambiental, humana, animal y climática dependen sustancialmente de una gestión eficaz de los residuos. La producción agrícola circular y los modelos de gestión bioeconómica de los residuos agroindustriales son fundamentales para lograr la visión de reducir considerablemente la generación de residuos, reutilizarlos y reciclarlos. Los residuos agroindustriales, se pueden clasificar en tres grandes categorías: reciclables y compostables, no reciclables y no compostables, y peligrosos (Figura 5).



Figura 5. Tres grandes categorías de los residuos agroindustriales (Ogbu y Okey, 2023).



Los residuos compostables, como la poda, paja, hojas, bagazo y estiércol, son reciclables y reutilizables en granjas o plantas de reciclaje. Estos residuos primarios provienen de la producción agrícola y ganadera, mientras que los secundarios, como huesos, cáscaras y desechos de mataderos, resultan del procesamiento agroindustrial. Es clave diseñar todo el proceso de desarrollo tecnológico y en particular -señalan los autores de este ensayo- definir procesos eficientes y posibles de aplicar para la recogida de residuos valiosos. Lo anterior se sustentaría en una cadena de suministro funcional que optimice los procesos de producción y entrega a su destino final. Por otro lado, los residuos no reciclables, como plásticos, contenedores metálicos y maquinaria, son difíciles de manejar por su volumen. Finalmente, los residuos peligrosos, como productos fitosanitarios, envases químicos y aguas residuales contaminadas, requieren un manejo cuidadoso por los riesgos que representan. Vargas-Canales *et al.* (2023) señalan que en México 'las investigaciones se enfocan a cuestiones socioeconómicas y en menor magnitud al desarrollo tecnológico'.

Conclusiones de los autores(as) del apartado IV

Una gestión eficaz de los residuos es fundamental para la agricultura sostenible, los procesos agroindustriales y la protección del medio ambiente, la salud humana, animal y climática. Los modelos de producción agrícola circular y bioeconómicos para la gestión de residuos agroindustriales son esenciales para reducir, reutilizar y reciclar residuos. La investigación y la innovación continuas ayudarán a lograr el objetivo de convertir los residuos en recursos y crear un sistema agrícola sin desperdicios.

Apartado V: Valorización de residuos agroindustriales para procesos de biorrefinería y bioeconomía circular: una revisión crítica (Yaashikaa *et al.*, 2022)

Resultados como los de Yaashikaa *et al.* (2022) analizan la valorización de residuos agroindustriales en el contexto de la biorrefinería y la bioeconomía circular. La evaluación del impacto del ciclo de vida (ACV) consta de tres fases: categorización, caracterización y

normalización, las cuales permiten evaluar los efectos ecológicos. La categorización organiza los datos, la caracterización mide la magnitud de los impactos, y la normalización compara los resultados para obtener una visión completa. Este enfoque es fundamental para gestionar residuos y maximizar la producción de energía y productos valiosos, como combustibles, productos químicos y electricidad. La utilización de residuos agroindustriales como materia prima en la biorrefinería no solo genera energía, sino que contribuye a la sostenibilidad ambiental al agregar valor a los residuos. El uso en cascada de la biomasa impulsa el desarrollo económico mediante la generación de productos renovables (Vargas-Canales *et al.*, 2023). El ACV aplicado a sistemas agroindustriales evalúa el rendimiento, enfrentando desafíos como la diversidad de materiales, el consumo energético y la recolección de datos. Este análisis es clave para abordar la degradación ecológica, la seguridad alimentaria y las crisis energéticas, destacando las diferencias entre los sectores agrícola e industrial. La Figura 6 representa un marco que integra el análisis del ciclo de vida (ACV) que sirve como base para evaluar el impacto ambiental de un sistema agroindustrial. El ACV permite evaluar el flujo de materiales, energía y cargas ambientales a lo largo del ciclo de vida de los productos agrícolas, desde la producción agrícola hasta el producto final.



Interpretación de la figura 6

A) marco del ACV donde se presentan los pasos de B a E; B) introducción del ACV en el sistema agroindustrial: esto implica aplicar el ACV para estudiar diversos aspectos del sistema agroindustrial, que depende de tres factores principales: condiciones de la finca (por ejemplo: tamaño, ubicación y recursos), Tierra agrícola (como fertilidad, calidad y uso de la tierra); funciones ecológicas que proporciona la finca o la tierra (biodiversidad, ciclo de nutrientes, etc.). C) problemas en la aplicación del ACV: recopilación de datos: recogida de información, lo que puede resultar complicado debido a la variabilidad de los métodos de producción. Límites de fronteras: establecimiento de los límites del sistema para decidir qué procesos deben incluirse (desde la extracción de recursos hasta la gestión de residuos). Evaluación de sistemas: desarrollo de criterios (son tecnológicos) para evaluar los impactos ambientales, sociales y económicos del sistema. D) aspectos centrales del ACV aplicado a los sistemas agroindustriales. Análisis de patrones de circulación: evaluación de cómo se reciclan los recursos agua, nutrientes y energía dentro del sistema. Unidades multifuncionales: muchos sistemas agroindustriales proporcionan más que solo producción de alimentos, como captura de carbono o mejoramiento del suelo. El ACV debe tener en cuenta estas funciones multifuncionales. E) producto agroindustrial: al final

del proceso, el sistema produce un producto agroindustrial, que está influenciado por: entrada y salida de materiales; es decir: flujo de materias primas y productos. Energía: la requerida para la producción y el procesamiento. Diversidad: la diversidad biológica o de producción presente dentro del sistema. En conclusión, el marco ilustra visualmente cómo se puede incorporar el ACV en un sistema agroindustrial abordando diversos desafíos como la recopilación de datos y los límites del sistema y centrándose en el análisis de la circulación de recursos y la multifuncionalidad para producir productos agrícolas sostenibles.

Conclusiones de los autores(as) del apartado VI

El marco del ACV para sistemas agroindustriales incluye cinco pasos clave: A) estructura general del ACV; B) su introducción en el sistema agroindustrial considerando finca, tierra y funciones ecológicas; C) desafíos en su aplicación como recopilación de datos, límites del sistema y evaluación de impactos; D) aspectos centrales como circulación de recursos y multifuncionalidad y E) el producto final, influenciado por flujos de materiales, energía y diversidad. En conjunto, este enfoque permite integrar el ACV para optimizar la sostenibilidad agroindustrial.

Conclusiones

Los modelos circulares y bioeconómicos son esenciales para reducir, reutilizar y reciclar los residuos agroindustriales. La investigación y la innovación han contribuido a lograr el objetivo de convertir los residuos en recursos y crear un sistema agrícola sin desperdicios. Es necesario un enfoque de optimización de la recolección de residuos (de campo, de procesos e industriales) con el apoyo de recolectores agrícolas instalando depósitos cercanos a las fuentes de biomasa para cumplir con las especificaciones de calidad. La economía circular agrícola busca maximizar beneficios ecológicos y económicos mediante el uso eficiente de energía y materiales, minimizando la degradación ecológica, mejorando la seguridad alimentaria y reduciendo la crisis energética. Del mismo modo al integrar el análisis del ciclo de vida, realizado en este trabajo, sirve como base para evaluar el impacto ambiental de un sistema agroindustrial. El análisis del ciclo de vida permite evaluar el flujo de materiales, energía y cargas ambientales a lo largo del ciclo de vida de los productos agrícolas, desde la producción agrícola hasta el producto final. Es tema clave que contribuirá a mejorar el aprovechamiento de los residuos agroindustriales.

Bibliografía

- 1 Aghel, B.; Behaein, S.; Wongwises, S. and Shadloo, M. S. 2022. A review of recent progress in biogas upgrading with emphasis on carbon capture. *Biomass and Bioenergy*. 160(1):106422. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2022.106422>.
- 2 Braungart, M. 2019. The cradle-to-cradle movement. *Journal of International Affairs*. 73(1):299-304. <https://www.jstor.org/stable/26872804>.
- 3 Choi, M.; Kang, Y. R.; Zu, H. D.; Lim, I. S.; Jung, S. K. and Chang, Y. H. 2020. Effects of time on phenolics and in vitro bioactivity in autoclave extraction of Raviola (*Annona muricata*) leaf. *Biotechnol. Bioproc. E*. 25(1):9-15. <https://doi.org/10.1007/s12257-019-0259-3>.
- 4 Cucina, M. 2023. Integrating anaerobic digestion and composting to boost energy and material recovery from organic wastes in the circular economy framework in Europe: a review. *Bioresource Technology Reports*. 24(1):101642. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101642>.
- 5 EMF. 2022. Ellen MacArthur Foundation. The biological cycle of the butterfly diagram <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/articles/thebiologicalcycleofthebutterflydiagram>.
- 6 Espinoza-Arellano, J. J.; Carrillo, A.; Molina, V. M.; Torres, D. y Fabela, A. M. 2018. Características técnicas y socioeconómicas de establos del sistema de producción intensivo de leche de vaca de la Comarca Lagunera. *Revista Agrofaz*. 18(1):101-109. <https://www.researchgate.net/publication/330240797>.

- 7 Feroso, F. G.; Serrano, A.; Alonso-Fariñas, B.; Fernández-Bolaños, J.; Borja, R. and Rodríguez-Gutiérrez, G. 2018. Valuable compound extraction, anaerobic digestion, and composting: a leading biorefinery approach for agricultural wastes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 66(32):8451-8468. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ACS.JAFC.8B02667>.
- 8 Ibrahim, M. F.; Kim, S. W. and Abd-Aziz, S. 2018. Advanced bioprocessing strategies for biobutanol production from biomass. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 91(1):1192-1204. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.060>.
- 9 Lakner, Z.; Oláh, J.; Popp, J. and Balázs, E. 2021. The structural change of the economy in the context of the bioeconomy. *EFB Bioeconomy Journal*. 25(1):100018. <https://doi.org/10.1016/j.bioeco.2021.100018>.
- 10 Lee, J. H.; Yoo, H. Y.; Lee, S. K.; Chun, Y.; Kim, H. R.; Bankeeree, W.; Lotrakul, P.; Punnapayak, H.; Prasongsuk, S. and Kim, S. W. 2021. Significant impact of casein hydrolysate to overcome the low consumption of glycerol by *Klebsiella aerogenes* ATCC 29007 and its application to bioethanol production. *Energ. Convers. Manage.* 221(1):113-181. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113181>.
- 11 López-Villanueva, A.; Hernández-de Lira, I. y Molina-Morejón, V. M. 2017. Propuesta de proceso de gestión eficiente del sistema de producción de biogás para la cogeneración de energía en establos lecheros de la Comarca Lagunera. *CienciAcierta*. (51):1-17.
- 12 Molina, V. M.; Molina, V. P.; Espinoza, J. J.; Contreras, J. G. y López, A. 2020. Viabilidad técnica y económica del uso de calentador comercial de agua a base de biogás en establos lecheros. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 11(2):391-403. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i2.2078>.
- 13 Molina, V. M.; Molina, V. P.; García, F. y Gutiérrez, O. 2017. Efficient biogas management to generate thermal energy. *Inter. J. Eng. Innov. Res.* 6(5):235-239.
- 14 Molina-Morejón, V. M.; Molina-Romeo, V.; Espinoza-Arellano, J. J. y García-Hernández, J. 2020. Diseño de una antorcha con serpentín para el calentamiento de agua en establos lecheros de la Comarca Lagunera, México. *RIIT. Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*. 8(46):11-31.
- 15 Ogbu, C. C. and Okey, S. N. 2023. Agro-industrial waste management: the circular and bioeconomic perspective. *Agricultural Waste-New Insights*. 1-37 pp. <https://doi.org/10.5772/intechopen.109181>.
- 16 Qi, X.; Guo, Y.; Guo, P.; Yao, X. and Liu, X. 2022. Do subsidies and R&D investment boost energy transition performance? Evidence from Chinese renewable energy firms. *Energy Policy*. 164:112909. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.112909>.
- 17 Siripong, P.; Dounporn, P.; Yoo, H. Y. and Kim, S. W. 2018. Improvement of sugar recovery from *Sida acuta* (Thailand Weed) by NaOH pretreatment and application to bioethanol production. *Korean J. Chem. Eng.* 35(12):2413-2420. <https://doi.org/10.1007/s11814-018-0170-1>.
- 18 Vargas-Canales, J. M.; Orozco-Cirilo, S.; Medina-Cuéllar, S. E.; Camacho Vera, J. H. y García-Melchor, N. 2023. Tendencias de la bioeconomía en la búsqueda de un modelo económico sustentable. *Acta Universitaria*. 33(1):1-19. <https://doi.org/10.15174/au.2023.3920>.
- 19 Yaashikaa, P. R.; Kumar, P. S. and Varjani, S. 2022. Valorization of agro-industrial wastes for biorefinery process and circular bioeconomy: a critical review. *Bioresource Technology*. 343(1):126126. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126126>.
- 20 Yaser, A. Z.; Lamaming, J.; Suali, E.; Rajin, M.; Saalah, S.; Kamin, Z. and Wid, N. 2022. Composting and anaerobic digestion of food waste and sewage sludge for campus sustainability: a review. *International Journal of Chemical Engineering*. 1:6455889. <https://doi.org/10.1155/2022/6455889>.

Gestión de residuos agroindustriales: un enfoque de bioeconomía circular

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 March 2025
Date accepted: 01 May 2025
Publication date: 06 October 2025
Publication date: May 2025
Volume: 16
Issue: 6
Electronic Location Identifier: e3792
DOI: 10.29312/remexca.v16i6.3792

Categories

Subject: Ensayo

Palabras clave:

Palabras clave:

biomasa
compostaje
residuos agroindustriales

Counts

Figures: 6
Tables: 0
Equations: 0
References: 20
Pages: 0