

Aprovechamiento de residuos orgánicos en cafeterías industriales de Ciudad Juárez a través de un biodigestor

Utilization of Organic Waste in Industrial Cafeterias in Ciudad Juárez Through a Biodigester

Carmen Guadalupe Argüelles Argüelles¹ , Luis Escalante Bencomo¹, Mariela Álvarez Argüelles¹ ,
Iván Juan Carlos Pérez Olguín¹ ,

¹Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura, Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México

RESUMEN

En el ámbito global, se generan entre 7000 y 10 000 millones de toneladas de desechos anualmente, de los cuales aproximadamente el 60 % son orgánicos y provienen de actividades empresariales. Esta situación aumenta la huella ecológica, haciendo necesario desarrollar métodos sostenibles para su reciclaje, en línea con la economía circular, que promueve la reducción, reutilización y reciclaje de materiales. En respuesta, se propone descomponer y aprovechar los residuos orgánicos generados en las cafeterías de empresas manufactureras en Ciudad Juárez, Chihuahua, México, mediante un biodigestor aeróbico. La metodología consta de siete etapas, desde la identificación de desechos hasta el empaque de la composta para su uso agrícola. Este enfoque no solo reduce residuos, sino que transforma la gestión de desechos en una oportunidad económica, generando composta de alta calidad para mejorar la productividad agrícola. Los resultados muestran una reducción del 70 % en los residuos orgánicos generados en las cafeterías de las empresas participantes, evidenciando la eficacia del sistema propuesto. Este proyecto minimiza el impacto ambiental y promueve la sostenibilidad económica y social al cerrar el ciclo de recursos en la comunidad.

PALABRAS CLAVE: biodigestor; composta; economía circular; método aeróbico; residuos orgánicos.

ABSTRACT

Globally, between 7,000 and 10,000 million tons of waste are generated annually, of which approximately 60% are organic and come from business activities. This situation increases the ecological footprint, making it necessary to develop sustainable methods for recycling, in line with the circular economy, which promotes the reduction, reuse and recycling of materials. In response, it is proposed to decompose and utilize the organic waste generated in the cafeterias of manufacturing companies in Ciudad Juárez, Chihuahua, Mexico, through an aerobic biodigester. The methodology consists of seven stages, from waste identification to compost packaging for agricultural use. This approach not only reduces waste, but transforms waste management into an economic opportunity, generating high-quality compost to improve agricultural productivity. The results show a 70% reduction in organic waste generated in the cafeterias of participating companies, demonstrating the effectiveness of the proposed system. This project minimizes environmental impact and promotes economic and social sustainability by closing the resource cycle in the community.

KEYWORDS: aerobic method; biodigester; circular economy; compost; organic waste.

Correspondencia:

DESTINATARIO: Carmen Guadalupe Argüelles Argüelles
INSTITUCIÓN: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez / Instituto de Ingeniería y Tecnología
DIRECCIÓN: Ave. del Charro núm. 450 norte, col. Partido Romero, C. P. 32310, Ciudad Juárez, Chihuahua, México
CORREO ELECTRÓNICO: carmen.arguelles@uacj.mx

Fecha de recepción: 6 de junio de 2025. **Fecha de aceptación:** 10 de julio de 2025. **Fecha de publicación:** 31 de agosto de 2025.



I. INTRODUCCIÓN

El manejo de residuos orgánicos se ha convertido en un tema de interés en el ámbito ambiental, económico, social y tecnológico, especialmente en contextos industriales [1], [2]. En el ámbito global, la generación de desechos orgánicos representa una parte importante del total de residuos producidos, muchos de los cuales provienen de actividades empresariales, como las cafeterías en empresas manufactureras [3].

En la medida que la conciencia sobre el impacto ambiental de los residuos crece, se hace evidente la necesidad de adoptar enfoques innovadores y sostenibles para su gestión [1], [4]. El estado del arte en la gestión de residuos orgánicos destaca la creciente adopción de la economía circular como un marco teórico fundamental [1], [5]-[7].

Este modelo propone un sistema en el que los residuos se convierten en recursos valiosos, fomentando la reducción, la reutilización y el reciclaje. A pesar de la cantidad de estudios que respaldan estos principios, la literatura también señala una falta de implementación práctica en sectores específicos, particularmente en el ámbito de los servicios alimentarios industriales [8].

Muchos enfoques actuales se centran en soluciones generales, sin abordar de manera efectiva la singularidad de los residuos generados en diferentes contextos, como el de las cafeterías de empresas manufactureras [1]. La problemática en cuestión se manifiesta en la ineficiencia de la gestión de estos desechos, que no solo contribuyen a la acumulación de basura, sino que también generan costos económicos y ambientales [2], [9].

Un análisis crítico de la bibliografía revela que, si bien se han desarrollado tecnologías y métodos para el tratamiento de residuos, aún hay una escasez de estudios que exploren soluciones específicas y viables en el entorno de las cafeterías corporativas [10], [11]. Esto plantea una oportunidad de investigación.

Este artículo tiene como objetivo general proponer un modelo de descomposición y aprovechamiento de residuos orgánicos generados en el área de cafetería de empresas manufactureras en Ciudad Juárez, a través de la implementación de un biodigestor con un método aeróbico. Este enfoque no solo puede orientarse a la mitigación del impacto ambiental asociado a la gestión de

residuos, sino también a transformar el proceso en una oportunidad económica, generando abono orgánico de alta calidad para su uso agrícola [11]-[13].

Este trabajo es importante debido a su potencial para aportar soluciones prácticas y sostenibles en un contexto empresarial específico. Al integrar la teoría de la economía circular con un enfoque aplicado, esta investigación busca contribuir a una gestión más efectiva de los residuos orgánicos, promoviendo no solo la sostenibilidad ambiental, sino también el desarrollo económico en la comunidad.

A. MARCO CONTEXTUAL

La generación de residuos se ha convertido en un desafío global que impacta tanto al medio ambiente como a la salud pública [14], [15]. A medida que la sociedad avanza y el consumo se intensifica, la cantidad de desechos que se producen se ha disparado, llevando a una crisis de gestión de residuos [14].

Entre los distintos tipos de desechos, los residuos orgánicos destacan por su volumen y su potencial de aprovechamiento [16], [17]. En particular, las cafeterías industriales, que operan a gran escala y generan grandes cantidades de alimentos y bebidas, son responsables de una porción significativa de estos residuos orgánicos [18].

Los residuos orgánicos, que incluyen restos de comida, representan una gran oportunidad para implementar prácticas más sostenibles [19], [20]. La forma en que se gestionan estos desechos puede tener un impacto profundo en la sostenibilidad de las operaciones y en el medio ambiente en general [21].

La correcta separación y tratamiento de estos residuos no solo reduce la cantidad que termina en vertederos, sino que también permite convertirlos en recursos valiosos [22], [23]. En este sentido, la economía circular se vuelve pieza clave; en lugar de seguir un modelo lineal de “tomar, hacer y desechar”, la economía circular propone un enfoque en el que los recursos se reutilizan y reciclan [24]-[26].

En el contexto de las cafeterías industriales, esto significa transformar los residuos orgánicos en productos que puedan volver a ser utilizados, cerrando el ciclo de producción y consumo [26]. Al adoptar este modelo, no

solo se minimizan los desechos, sino que se promueve un uso más eficiente de los recursos disponibles [24], [25].

Una de las soluciones más efectivas para la gestión de residuos orgánicos en este contexto es la implementación de biodigestores aeróbicos [11], [21]. Estos sistemas se encargan de descomponer los residuos orgánicos a través de procesos biológicos, generando biogás, que puede ser utilizado como fuente de energía, y composta, que es un fertilizante natural rico en nutrientes [27]. De esta manera, las cafeterías industriales pueden no solo reducir su huella de carbono, sino también generar energía renovable y contribuir a la salud del suelo [27], [28].

La producción de composta a partir de residuos orgánicos no solo ayuda a mitigar el problema de los desechos, sino que también ofrece beneficios característicos para el ambiente [11]. Al utilizar la composta en jardines, espacios verdes y cultivos agrícolas, se mejora la calidad del suelo, se retiene la humedad y se reduce la necesidad de fertilizantes químicos, lo que promueve un ciclo más saludable y sostenible en la producción de alimentos [28].

Por lo tanto, la generación de residuos es un reto que requiere atención urgente, especialmente en sectores como el de las cafeterías industriales, donde los residuos orgánicos son abundantes. Al adoptar prácticas sostenibles y modelos de economía circular, estas industrias pueden transformar su impacto ambiental.

La implementación de biodigestores aeróbicos y la producción de composta son pasos clave en este proceso, permitiendo que los residuos se conviertan en recursos y cerrando el ciclo de producción de manera efectiva [29], [30]. De esta forma, no solo se aborda el problema de los desechos, sino que se contribuye a un futuro más sostenible y respetuoso con el entorno.

B. IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

En el área de las cafeterías dentro de empresas manufactureras se observa una notable acumulación de residuos orgánicos generados por los trabajadores. Al concluir sus comidas, los empleados depositan los desperdicios en contenedores destinados a la separación de desechos. Posteriormente, la empresa se encarga de gestionar estos residuos, enviándolos a diversos proveedores

encargados de su recolección, quienes deben transportarlos al relleno sanitario.

Este proceso no solo impacta en la generación de residuos sólidos, sino que también afecta negativamente el métrico interno de la empresa, incrementando los costos asociados a la disposición de desechos por tambos y ocasionando un impacto ambiental. La gestión ineficiente de estos residuos representa un desafío que requiere atención para optimizar tanto la sostenibilidad operativa como la responsabilidad ambiental de la organización.

Por esta razón, es importante desarrollar investigación encaminada a descomponer y aprovechar los residuos orgánicos generados en las cafeterías industriales mediante sistemas como lo es un biodigestor aeróbico, con el que se esperan reducciones en un 70 % de los residuos producidos, para convertirlos en composta que sirva en los campos agrícolas.

Esta aplicación presenta múltiples beneficios, como lo es la disminución de la cantidad de residuos orgánicos que se envían a los rellenos sanitarios. Al convertir estos desechos en composta y al reducir la cantidad de residuos en vertederos, se disminuyen las emisiones de metano y otros gases nocivos asociados a la descomposición anaeróbica.

Por otra parte, al reducir la cantidad de residuos que se envían a vertederos, las empresas pueden disminuir los costos asociados a la recolección y disposición de desechos. Transformar los residuos orgánicos en productos útiles como composta permite a las empresas crear nuevos flujos de ingresos.

Asimismo, la investigación en biodigestores aeróbicos puede llevar al desarrollo de tecnologías y metodologías más eficientes para la gestión de residuos orgánicos, potenciando la competitividad de la empresa, y puede abrir oportunidades para la capacitación y el desarrollo de habilidades en el personal, promoviendo un entorno de aprendizaje continuo.

II. METODOLOGÍA

En esta sección se muestran los materiales y la metodología implementada para la descomposición y aprovechamiento de los residuos orgánicos generados en las cafeterías de diez empresas manufactureras en Ciudad Juárez mediante un biodigestor aeróbico.

A. MATERIALES

Los materiales requeridos para este proyecto son un biodigestor aeróbico, residuos orgánicos, actinomicetos, agua, palas/espátulas y tubería de desagüe.

B. MÉTODO

Esta investigación se realizó respaldada por una metodología que consta de siete etapas mostradas en la [Figura 1](#) y descritas enseguida.

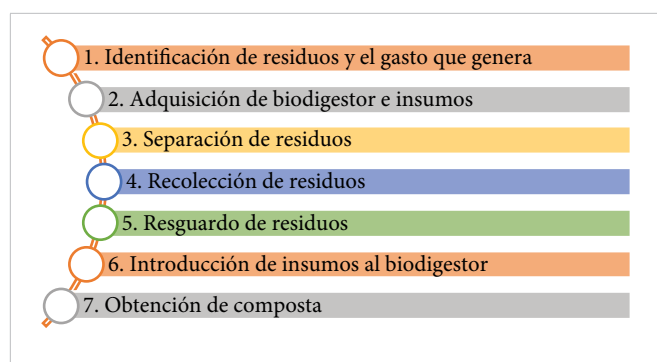


Figura 1. Diagrama de la metodología propuesta.

Se llevó a cabo una encuesta en diez empresas manufactureras de Ciudad Juárez, Chihuahua. Durante las visitas, se entrevistó a los ingenieros ambientales de cada planta, los cuales mostraron las áreas destinadas a los residuos orgánicos, así como el flujo de desechos provenientes de las cafeterías. Además, se recopiló información sobre la cantidad total de residuos orgánicos generados diariamente en cada empresa, al igual que el gasto generado en el proceso.

2. ADQUISICIÓN DE BIODIGESTOR E INSUMOS

Se buscó en Ciudad Juárez la colaboración con una empresa que cuente con biodigestor para realizar las pruebas correspondientes. Asimismo, se adquirieron actinomicetos, que son un grupo de bacterias grampositivas, que se caracterizan por su capacidad para descomponer materia orgánica.

3. SEPARACIÓN DE RESIDUOS

En las empresas manufactureras, se designó un área específica para la disposición de los residuos orgánicos generados en la cafetería. Para facilitar este proceso, se instruyó a los trabajadores a separar los desechos antes de su disposición, mediante capacitaciones impartidas

por el área de EHS (siglas en inglés de Salud, Seguridad y Medio Ambiente). Una vez que el personal terminaba sus alimentos, se dirigía al área de lavado de la cafetería, donde retiraba plásticos y huesos de los desechos. Después, colocaba su charola en el espacio correspondiente para que el personal de cocina realizara la separación final de los residuos en los tambos asignados.

4. RECOLECCIÓN DE RESIDUOS

Se llevó a cabo la recolección de los residuos orgánicos previamente separados por el personal. Previamente, se estableció un cronograma para la recolección de residuos, asegurando que se realizara en intervalos adecuados para evitar la acumulación y el deterioro de los materiales; se utilizó contenedores adecuados y etiquetados para la recolección, garantizando que los residuos orgánicos fueran transportados de manera segura y eficiente; se verificó que los residuos estuvieran correctamente separados y almacenados en los contenedores designados y, una vez recolectados, los residuos orgánicos se transportaron al biodigestor correspondiente.

5. RESGUARDO DE RESIDUOS

Los residuos se colocaron en tambos de 200 litros para trasladarlos a un área asignada con refrigeración con el fin de que este material no sufriera descomposición por el calor. Se resguardaron diariamente durante una semana para seguir su proceso de transformación a composta.

6. INTRODUCCIÓN DE INSUMOS AL BIODIGESTOR

El biodigestor cuenta con un proceso controlado por medio de instrucción de trabajo y manuales para el operador. En la actividad únicamente se colocaron 10 kg de residuos orgánicos, ya con la separación de desechos que no son procesados, como huesos, pellejos y plástico. A la vez, se introdujeron 2 litros de agua para que el proceso de digestión en el biodigestor se llevara a cabo de manera efectiva y la composta saliera con la consistencia adecuada.

7. OBTENCIÓN DE COMPOSTA

Terminado el proceso de digestión, el dispositivo de seguridad interno del biodigestor corta el suministro de energía y, posteriormente, se mueve el residuo obtenido por medio de una tubería de 6 pulgadas de diámetro. Para esto, el trabajador colocó esos residuos dentro de

moldes con el fin de iniciar con el secado a temperatura ambiente y empaclar la composta.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. IDENTIFICACIÓN DE RESIDUOS Y EL GASTO QUE GENERA

En la [Tabla 1](#) se muestran los resultados de las cantidades de residuos que generan (en kilogramos) las

diez empresas evaluadas, de manera diaria y mensual, así como el costo anual (en pesos mexicanos) por disposición de estos residuos. Es importante mencionar que las empresas caso de estudio en esta investigación fueron elegidas por cercanía y disponibilidad de acceso. Asimismo, como dato, las empresas encargadas de la disposición cuentan con certificación por parte de SEMARNAT y deben generar un manifiesto donde indique la final disposición de los desechos generados.

TABLA 1
CANTIDAD DE RESIDUOS GENERADOS Y EL GASTO GENERADO

EMPRESA	KG DIARIO	KG MENSUAL	TAMBORES PARA DISPOSICIÓN	COSTO POR DISPOSICIÓN (MXN)	
				MENSUAL	ANUAL
1	54	1620	8.1	6885	82 620
2	28	840	4.2	3570	42 840
3	22	660	3.3	2805	33 660
4	19	570	2.85	2422.5	29 070
5	30	900	4.5	3825	45 900
6	12	360	1.8	1530	18 360
7	16	480	2.4	2040	24 480
8	20	600	3	2550	30 600
9	26	780	3.9	3315	39 780
10	21	630	3.15	2677.5	32 130
Total	248	7440	37.2	31 620	379 440

Adicional al alcance de esta investigación, se recomendó a las empresas que, después de la separación, los residuos inorgánicos fueran enviados a centros de reciclaje para su adecuado tratamiento y reutilización.

El área de cafetería es responsable del control y supervisión del proceso de separación de residuos, asegurando que se cumplan las pautas establecidas. Un ejemplo de esto se observa en la [Figura 2](#).

Además, el departamento de EHS de las empresa realiza capacitaciones periódicas para todos los trabajadores, enfocándose en la importancia de la gestión adecuada de los residuos y en las técnicas de separación. Estas actividades han permitido sensibilizar al personal sobre la relevancia de cada tipo de residuo y han mejorado la efectividad del proceso de separación. En la [Figura 3](#) se muestra un ejemplo de cómo se presenta esta separación.



Figura 2. Separación de residuos orgánicos e inorgánicos por el área de cafetería.



Figura 3. Recipientes utilizados para la separación de los residuos en una de las empresas manufactureras de Ciudad Juárez.

Muchas empresas están adoptando prácticas más sostenibles y responsables con el medio ambiente, lo que incluye la capacitación en la gestión de residuos. Entre los temas abordados están los procedimientos para el manejo y disposición adecuada de los residuos orgánicos, como el uso de compostaje o biodigestor, y se ofrecen incentivos para fomentar la participación de los empleados en estas prácticas.

4. RECOLECCIÓN DE RESIDUOS

Una vez finalizado el proceso de separación, los residuos orgánicos fueron recolectados en contenedores específicos y etiquetados adecuadamente para facilitar su identificación. El transporte de los residuos se realizó en vehículos preparados para mantener la integridad y frescura de los materiales, garantizando que lleguen en condiciones óptimas al biodigestor.

En el establecimiento, los residuos son recibidos y almacenados temporalmente en el cuarto frío, lo que minimiza el riesgo de descomposición y malos olores. Esto logró no solo mantener la calidad de los residuos orgánicos, sino también contribuir a la eficiencia del proceso de digestión anaeróbica en el biodigestor.

5. RESGUARDO DE RESIDUOS

Los tambos de 200 litros en los que se almacenaron los residuos orgánicos, se resguardaron durante una semana en el cuarto frío, como se muestra en la [Figura 4](#).



Figura 4. Cuarto frío donde se guardaron los residuos orgánicos generados.

Esta etapa permitió mantener los residuos en condiciones para la obtención de composta. Se resguardó un aproximado de 1500 kg, suma de lo generado por una semana de las diez empresas consideradas.

6. INTRODUCCIÓN DE INSUMOS AL BIODIGESTOR

En esta etapa se inició el proceso de introducción de los residuos orgánicos al biodigestor para la descomposición aeróbica, el agua y los actinomicetos. La [Figura 5](#) muestra un ejemplo del proceso.



Figura 5. Ejemplo de la introducción de insumos al biodigestor aeróbico para la obtención de composta.

En este proceso se obtuvo composta por partes, al colocar 10 kg de residuos orgánicos en cada corrida del proceso.

7. OBTENCIÓN DE COMPOSTA

En la [Figura 6](#) se puede observar ejemplo de la composta obtenida.



Figura 6. Ejemplo de composta obtenida.

La composta obtenida, considerando los 1500 kg de residuos orgánicos procesados, fue de 500 kg, los cuales fueron solicitados por el dueño del biodigestor, quien cuenta con cultivos.

Cabe mencionar que en México predominan los sistemas anaeróbicos debido a su mayor eficiencia en la producción de biogás y la reducción de patógenos. Sin embargo, la adopción de tecnologías aeróbicas para compostaje está en aumento, especialmente en proyectos comunitarios y agrícolas que buscan mejorar la calidad del suelo y reducir la dependencia de fertilizantes químicos. En este sentido, la Secretaría del Medio Ambiente [31] ha promovido el uso de estos biodigestores en zonas rurales de la Ciudad de México.

Estos sistemas benefician a aproximadamente 150 personas y 25 hogares, tratando más de 175 toneladas de desechos orgánicos al año. Además, se ha evitado la emisión de 123 toneladas de CO₂ equivalente a la atmósfera, sustituyendo el uso de leña por biogás y produciendo abono orgánico para fertilizar hasta 127 hectáreas de sembradíos [31].

IV. CONCLUSIONES

El presente estudio sobre el aprovechamiento de residuos orgánicos en cafeterías industriales de Ciudad Juárez a través de un biodigestor aeróbico ha demostrado que esta metodología no solo es viable, sino también altamente beneficiosa tanto para el medio ambiente como para la economía local.

En primer lugar, se evidenció que la implementación de biodigestores aeróbicos puede transformar de manera efectiva los residuos orgánicos generados en las cafeterías en un recurso valioso: la composta. Este proceso no solo reduce la cantidad de desechos que terminan en los vertederos, sino que también contribuye a la mejora de la calidad del suelo, promoviendo prácticas agrícolas sostenibles en la región.

Además, los resultados obtenidos subrayan la importancia de la sensibilización y formación del personal en el manejo de estos sistemas, lo que puede incrementar la eficiencia del proceso y fomentar una cultura de sostenibilidad dentro de las empresas.

Las cafeterías industriales, al adoptar este modelo, pueden no solo cumplir con normativas ambientales, sino también mejorar su imagen corporativa y atraer a un consumidor cada vez más consciente.

Finalmente, se recomienda la implementación de políticas públicas que incentiven la utilización de biodigestores en la industria alimentaria, así como la promoción de iniciativas de cooperación entre el sector privado y las autoridades locales para facilitar el desarrollo de proyectos de economía circular. La adopción de estas prácticas podría resultar en un impacto positivo en la gestión de residuos y en el bienestar ambiental de Ciudad Juárez.

REFERENCIAS

- [1] S. Kharola *et al.*, “Exploring the green waste management problem in food supply chains: A circular economy context”, *J. Clean. Prod.*, vol. 351, n.º 7, p. 131355, 2022, doi: [10.1016/j.jclepro.2022.131355](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131355).
- [2] H. Hettiarachchi, J. N. Meegoda y S. Ryu, “Organic waste buyback as a viable method to enhance sustainable municipal solid waste management in developing countries”, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 15, n.º 11, pp. 1-15, 2018, doi: [10.3390/ijerph15112483](https://doi.org/10.3390/ijerph15112483).
- [3] R. Khan, F. Anwar, F. M. Ghazali y N. A. Mahyudin, “Valorization of waste: Innovative techniques for extracting bioactive compounds from fruit and vegetable peels - A comprehensive review”, *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, vol. 97, p. 103828, oct. 2024, doi: [10.1016/j.ifset.2024.103828](https://doi.org/10.1016/j.ifset.2024.103828).

- [4] L. Andeobu, S. Wibowo y S. Grandhi, "Artificial intelligence applications for sustainable solid waste management practices in Australia: A systematic review", *Sci. Total Environ.*, vol. 834, p. 155389, ag. 15, 2022, doi: [10.1016/j.scitotenv.2022.155389](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155389).
- [5] R. Rajkumar y C. Kurinjimalar, "Food wastes/residues: Valuable source of energy in circular economy", en *Handbook of Biofuels*, S. Sahay, ed. Academic Press, 2022, cap. 7, pp. 147-163, doi: [10.1016/B978-0-12-822810-4.00007-5](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822810-4.00007-5).
- [6] A. Lahiri, S. Daniel, R. Kanthapazham, R. Vanaraj, A. Thambidurai y L. S. Peter, "A critical review on food waste management for the production of materials and biofuel", *J. Hazard. Mater. Adv.*, vol. 10, p. 100266, may. 2023, doi: [10.1016/j.hazadv.2023.100266](https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2023.100266).
- [7] S. kordoghli, E. Fassatoui, M. Jeguirim, A. A. Zorpas y B. Khiari, "Experimental and feasibility study of bio-waste valorization through pyrolysis for energy and materials production in the concept of circular economy", *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. 187, pp. 279-291, jul. 2024, doi: [10.1016/j.psep.2024.04.101](https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.04.101).
- [8] L. J. Guerra, "Residuos orgánicos y economía circular: una incursión hacia el cambio a un modelo de economía circular en el tratamiento de residuos en empresas cafeteras colombianas", trabajo fin de máster, Universitat Politècnica de València, sept. 18, 2024, [En línea]. Disponible: <https://riunet.upv.es:443/handle/10251/209962>.
- [9] G. Halkos y K. N. Petrou, "Efficient waste management practices : A review", *Munich Pers. Repec Arch.*, n.º 71518, pp. 1-36, 2016. [En línea]. Disponible: <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/71518/>.
- [10] G. Tavill, "Industry challenges and approaches to food waste", *Physiol. Behav.*, vol. 223, p. 112993, sept. 2020, doi: [10.1016/j.physbeh.2020.112993](https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2020.112993).
- [11] A. Macarena Carvalho y L. E. Casas Cirión, "Compostaje y biodigestores como solución al problema de los residuos orgánicos en el medio rural", *Cienc. Lat.*, vol. 6, n.º 4, pp. 990-1013, ag. 2022, doi: [10.37811/cl_rcm.v6i4.2641](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i4.2641).
- [12] A. Z. Yaser et al., "Composting and Anaerobic Digestion of Food Waste and Sewage Sludge for Campus Sustainability: A Review", *Int. J. Chem. Eng.*, vol. 2022, pp. 1-14, jun. 2022, doi: [10.1155/2022/6455889](https://doi.org/10.1155/2022/6455889).
- [13] F. E. Ibarra-Esparza et al., "Implementation of anaerobic digestion for valorizing the organic fraction of municipal solid waste in developing countries: Technical insights from a systematic review", *J. Environ. Manage.*, vol. 347, p. 118993, 2023, doi: [10.1016/j.jenvman.2023.118993](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118993).
- [14] I. R. Abubakar et al., "Environmental Sustainability Impacts of Solid Waste Management Practices in the Global South", *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 19, n.º 19, p. 12717, oct. 2022, doi: [10.3390/ijerph191912717](https://doi.org/10.3390/ijerph191912717).
- [15] P. G. C. Nayanathara Thathsarani Pilapitiya y A. S. Ratnayake, "The world of plastic waste: A review", *Clean. Mater.*, vol. 11, p. 100220, mar. 2024, doi: [10.1016/j.clema.2024.100220](https://doi.org/10.1016/j.clema.2024.100220).
- [16] A. Yépez y F. Viteri, "Enfoques innovadores de educación ambiental con el aprovechamiento de residuos orgánicos urbanos", *Cátedra*, vol. 2, n.º 2, pp. 111-132, may. 2019, doi: [10.29166/catedra.v2i2.1639](https://doi.org/10.29166/catedra.v2i2.1639).
- [17] S. M. Frolov, "Organic Waste Gasification: A Selective Review", *Fuels*, vol. 2, n.º 4, pp. 556-650, dic. 2021, doi: [10.3390/fuels2040033](https://doi.org/10.3390/fuels2040033).
- [18] A. Dhir, S. Talwar, P. Kaur y A. Malibari, "Food waste in hospitality and food services: A systematic literature review and framework development approach", *J. Clean. Prod.*, vol. 270, p. 122861, oct. 2020, doi: [10.1016/j.jclepro.2020.122861](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122861).
- [19] I. Esparza, N. Jiménez-Moreno, F. Bimbela, C. Ancín-Azpilicueta y L. M. Gandía, "Fruit and vegetable waste management: Conventional and emerging approaches", *J. Environ. Manage.*, vol. 265, p. 110510, jul. 2020, doi: [10.1016/j.jenvman.2020.110510](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110510).
- [20] P. Magama, I. Chiyanzu y J. Mulopo, "A systematic review of sustainable fruit and vegetable waste recycling alternatives and possibilities for anaerobic biorefinery", *Bioresour. Technol. Reports*, vol. 18, p. 101031, jun. 2022, doi: [10.1016/j.biteb.2022.101031](https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101031).
- [21] I. R. Chugchilan y W. P. Pazuña, "Estimación del potencial eléctrico de residuos orgánicos mediante el uso de biodigestores experimentales", *G-ner@ndo*, vol. 5, n.º 1, pp. 101-128, jun. 2024, doi: [10.60100/rcmg.v5i1.186](https://doi.org/10.60100/rcmg.v5i1.186).
- [22] S.A. Carmín y C.W. Aquise, "Revisión Sistemática: Impactos Ambientales generados por Desperdicio de Alimentos",

Fac. de Ing. y Arq., Univ. César Vallejo, tesis de ingeniería, Lima, Perú. [En línea]. Disponible: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/82353?show=full>

- [23] S. Nanda y F. Berruti, “Municipal solid waste management and landfilling technologies: a review”, *Environ. Chem. Lett.*, vol. 19, pp. 1433-1456, 2021, doi: [10.1007/s10311-020-01100-y](https://doi.org/10.1007/s10311-020-01100-y).
- [24] M. Ellacuriaga, J. García-Cascallana y X. Gómez, “Biogas Production from Organic Wastes: Integrating Concepts of Circular Economy”, *Fuels*, vol. 2, n.º 2, pp. 144-167, abr. 2021, doi: [10.3390/fuels2020009](https://doi.org/10.3390/fuels2020009).
- [25] L. A. B. Paes, B. S. Bezerra, R. M. Deus, D. Jugend y R. A. G. Battistelle, “Organic solid waste management in a circular economy perspective – A systematic review and SWOT analysis”, *J. Clean. Prod.*, vol. 239, p. 118086, dic. 2019, doi: [10.1016/j.jclepro.2019.118086](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118086).
- [26] S. Wainaina et al., “Resource recovery and circular economy from organic solid waste using aerobic and anaerobic digestion technologies”, *Bioresour. Technol.*, vol. 301, p. 122778, abr. 2020, doi: [10.1016/j.biortech.2020.122778](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122778).
- [27] T. Chen, S. Zhang y Z. Yuan, “Adoption of solid organic waste composting products: A critical review”, *J. Clean. Prod.*, vol. 272, p. 122712, nov. 2020, doi: [10.1016/j.jclepro.2020.122712](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122712).
- [28] M. Á. Aguilar, “Aprovechamiento de los desechos orgánicos en la elaboración de compost mediante la implementación de un sistema amigable con el ambiente”, trabajo de titulación como ingeniero ambiental, Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil, Ecuador, 2020. [En línea]. Disponible: <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/AGUILAR CAMBA MIGUEL ANGEL.pdf>
- [29] V. M. De la Fuente, G. D. Sanchez, C. A. S. Villalobos, R. A. R. Montano y J. A. M. Sosa, “A Review: Biodigesters and their use for the generation of clean energy”, *2022 IEEE International Conference on Engineering Veracruz (ICEV)*, Boca del Río. Veracruz, México, 2022, pp. 1-8, doi: [10.1109/ICEV56253.2022.9959169](https://doi.org/10.1109/ICEV56253.2022.9959169).
- [30] L. C. Ossa-Carrasquilla, M. A. Correa-Ochoa y L. M. Múnera-Porras, “La paca biodigestora como estrategia de tratamiento de residuos orgánicos”, *Prod. + Limpia*, vol. 15, n.º 2, pp. 71-91, 2021.
- [31] SEDEMA. “Para promover el uso de combustibles limpios y eficientes, instalará Sedema 25 biodigestores en Suelo de Conservación”, 2017. <https://sedema.cdmx.gob.mx/comunicacion/nota/para-promover-el-uso-de-combustibles-limpios-y-eficientes-instalara-sedema-25-biodigestores-en-suelo-de-conservacion>

RECONOCIMIENTOS

Se reconoce a las diez empresas manufactureras de Ciudad Juárez que apoyaron con acceso a sus instalaciones y obtención de datos y que, a petición expresa, se omiten sus nombres.

Asimismo, a la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez por sus facilidades y apoyo.