

Valorización Municipal de Residuos Orgánicos Mediante Compostaje: Diseño de un Modelo Integrado en Jiutepec, Morelos, México

Daniel Fernando Moreno Soto ¹, Belem Gabriela Hernández Jaimes ², Alina Juantorena-Ugás ¹ y Jesús del Carmen Peralta-Abarca ^{1,*}

¹ Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, México

² Facultad de Contaduría, Administración e Informática, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, México

* Autor de correspondencia: carmen.peralta@uaem.mx

Desarrollo sustentable (Gestión y reutilización de residuos sólidos)

Recibido: 2 de abril de 2026

Aceptado: 16 de junio de 2026

Publicado: 3 de julio de 2026

DOI: <https://doi.org/10.56845/terys.v5i2.700>

Resumen: La valorización de residuos orgánicos mediante compostaje constituye una alternativa relevante para municipios con alta generación de residuos sólidos urbanos (RSU) y limitada capacidad de disposición final. El objetivo de este estudio fue diseñar un modelo integrado para la operación de una planta municipal de compostaje en Jiutepec, Morelos, México, incorporando validación experimental del proceso, diseño técnico-operativo y evaluación económica. La investigación se desarrolló a través de tres componentes: proyecto ejecutivo, determinación experimental de mezclas de residuos y plan de negocios. Los resultados mostraron que Jiutepec presenta condiciones favorables para la valorización de residuos orgánicos, incluyendo disponibilidad de materia prima e infraestructura municipal asociada. Asimismo, se validó una mezcla de residuos apta para la obtención de compost conforme a la NMX-AA-180-SCFI-2018. Sin embargo, el análisis financiero mostró limitaciones en la rentabilidad del sistema bajo condiciones convencionales de mercado. Se concluye que la propuesta presenta viabilidad técnica y pertinencia ambiental, pero su sostenibilidad depende de continuidad institucional, fortalecimiento operativo y mecanismos complementarios de soporte financiero. El estudio aporta una aproximación integradora aplicable al diseño de estrategias municipales de gestión de residuos orgánicos.

Palabras clave: compostaje, residuos orgánicos, gestión municipal, economía circular, valorización de residuos, desarrollo sustentable

Municipal Valorization of Organic Waste Through Composting: Design of an Integrated Model in Jiutepec, Morelos, Mexico

Abstract: The valorization of organic waste through composting represents a relevant alternative for municipalities with high generation of municipal solid waste (MSW) and limited final disposal capacity. This study aimed to design an integrated model for the operation of a municipal composting facility in Jiutepec, Morelos, Mexico, incorporating experimental validation of the process, technical-operational design, and economic evaluation. The research was structured around three components: executive project development, experimental determination of waste mixtures, and business planning. The findings indicated that Jiutepec exhibits favorable conditions for organic waste valorization, including the availability of raw materials and associated municipal infrastructure. Furthermore, a suitable waste mixture was validated for the production of compost in accordance with the NMX-AA-180-SCFI-2018 standard. However, the financial analysis revealed limitations in the system's profitability under conventional market conditions. It is concluded that the proposed model demonstrates technical feasibility and environmental relevance, although its sustainability depends on institutional continuity, operational strengthening, and complementary financial support mechanisms. This study provides an integrative approach applicable to the design of municipal strategies for organic waste management.

Keywords: composting, organic waste, municipal management, circular economy, waste recovery, sustainable development

Introducción

La gestión de residuos sólidos urbanos (RSU) constituye uno de los principales retos ambientales y operativos para los gobiernos municipales, particularmente en ciudades con alta densidad poblacional. En un estudio realizado por Hernández *et al.* (2025) se plantea que el enfoque de la gobernanza colaborativa permite el fortalecimiento de las capacidades tanto institucionales como técnicas para realizar la gestión de RSU, en concordancia con el marco normativo mexicano, particularmente la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos y la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (México. Congreso de la Unión, 2015a, 2015b).

La problemática incluye la generación creciente de residuos y la limitada disponibilidad de espacios para su disposición final; asimismo, la articulación entre gobierno, tecnología y sociedad resulta clave para avanzar hacia objetivos de

desarrollo sostenible (Pinzón *et al.* 2025). En los RSU la fracción orgánica representa un componente crítico debido a su volumen, rápida degradación y potencial de aprovechamiento bajo esquemas de valorización material. Alcanza alrededor del 44 % y algunos estudios proponen alternativas sostenibles como por ejemplo tratamientos, biológicos, compostaje, biometanización entre otros (Fernández, 2010).

Algunos autores han realizado estudios para evaluar tecnologías de valorización de residuos sólidos urbanos, así como el potencial que pueden tener para ser integrados a bio-refinerías (Ordóñez, *et al.* 2024). En México, la generación de residuos por persona constituye uno de los más altos índices en América Latina, de ahí la urgente prioridad de ejercer acciones encaminadas a la disminución de este y a la mejora de la salud ambiental y de los habitantes (Ortiz, *et al.* 2020). El manejo de residuos orgánicos en nuestro país enfrenta limitaciones estructurales relacionadas con baja separación en la fuente, escasa infraestructura de tratamiento, así como una débil articulación entre gestión ambiental, aprovechamiento productivo y continuidad institucional. En este contexto, el compostaje ha sido reconocido como una alternativa técnicamente viable para transformar residuos biodegradables en productos con valor agronómico (Long *et al.*, 2015), reduciendo simultáneamente la presión sobre los sistemas de disposición final y en algunas investigaciones se demuestra que, con la implementación del compostaje, se contribuye a la generación de beneficios tanto sociales como ambientales y económicos (Coronel y Ramón, 2022).

El municipio de Jiutepec, Morelos, representa un caso particularmente relevante para este tipo de estrategias. En trabajo realizado por el Gobierno del Estado de Morelos, 2019, se reporta una generación de 140 toneladas diarias de residuos sólidos urbanos, de las cuales el 55.27 % corresponde a fracción orgánica, con una generación per cápita de 1.47 kg/hab/día, una de las más elevadas del estado. A ello se suma la existencia de residuos de poda y jardinería generados por actividades municipales y urbanas, así como la presencia de usuarios potenciales del producto final, como viveristas y actividades vinculadas al mantenimiento de áreas verdes (Moreno, 2025).

Diversas experiencias internacionales y regionales han mostrado que el fracaso de muchas plantas de compostaje no se debe únicamente a limitaciones técnicas del proceso, sino a problemas de continuidad operativa, selección tecnológica inadecuada, débil análisis de mercado, baja calidad del producto y falta de soporte institucional (Hernández, 2025). En consecuencia, el diseño de una planta municipal de compostaje requiere un enfoque integrador que articule validación técnica, diseño operativo, estructura organizacional y análisis económico.

Bajo esta perspectiva, el presente estudio tuvo como objetivo diseñar un modelo técnico-operativo y económico para una planta municipal de compostaje en Jiutepec, Morelos, México, a partir de la integración de validación experimental del proceso, diseño funcional del sistema y análisis de viabilidad económica. La novedad del trabajo radica en la articulación de componentes experimentales, operativos y financieros dentro de una propuesta orientada a la gestión pública municipal de residuos orgánicos.

Compostaje municipal y valorización de bioresiduos

En los últimos años, el compostaje municipal se ha reconocido como una de las estrategias más eficientes para desviar la fracción orgánica de los residuos sólidos municipales, de los rellenos sanitarios. En estudios se muestran que de los residuos municipales generados en ciudades latinoamericanas del 40 al 60 % corresponde a materia orgánica susceptible de compostaje. Esto representa una oportunidad para la recuperación de nutrientes, para reducir emisiones de gases de efecto invernadero y además con el objetivo de disminuir los costos en la disposición final (Silva *et al.*, 2024). La valorización de bioresiduos mediante el compostaje, permite transformar residuos de diferentes tipos tanto de poda y restos vegetales como de alimentos. Estos productos se convierten en productos con valor agronómico. Los sistemas descentralizados de compostaje han mostrado ventajas como, por ejemplo: en la reducción de costos de transporte, en la participación de la sociedad en la separación en origen y en la contribución a la seguridad alimentaria urbana (Alves *et al.*, 2024). Por otro lado, algunos análisis concluyen que el compostaje puede integrarse con otras tecnologías como la producción de biogás y la digestión anaerobia, generando esquemas de biorefinería urbana con un mayor aprovechamiento de residuos orgánicos (Marten y Cook, 2024).

Compostaje municipal y economía circular

La economía circular propone sistemas donde los residuos se conviertan en recursos. El compostaje municipal permite dentro de este contexto uno de los mecanismos más directos para cerrar ciclos de materia orgánica entre las ciudades

y la agricultura. La composta generada a partir de residuos orgánicos es rica en fertilizantes minerales aprovechables que permiten reducir la dependencia a los fertilizantes comerciales y disminuir la huella de carbono de los sistemas agroalimentarios (Aguado *et al.*, 2025). La integración entre el compostaje municipal y la agricultura urbana es un modelo práctico y prometedor de la economía circular en las ciudades. Algunos autores proponen métodos innovadores de conversión microbiana que transforman estos residuos en productos valiosos como biocombustibles, ácidos orgánicos y enzimas, promoviendo así una gestión sostenible de los residuos y contribuyendo a una bioeconomía circular (Kavya *et al.*, 2024). Otros investigadores comparten que aún existen limitaciones metodológicas para la evaluación integral de la circularidad de los sistemas de compostaje, en especial en países en desarrollo, donde se deben incorporar indicadores tanto económicos, como ambientales y sociales. La valorización de bioresiduos mediante compostaje contribuye directamente a los objetivos de economía circular al recuperar nutrientes y materia orgánica para uso agrícola (Aguado *et al.*, 2025).

Calidad de la composta producida

La calidad de la composta constituye uno de los factores más importantes para garantizar su aceptación comercial y su aplicación agrícola segura. La calidad de la composta depende fundamentalmente de aspectos como: la separación adecuada de residuos en el origen, la relación carbono/nitrógeno, el tipo de material estructurante utilizado, control de temperatura durante la fase termófila, tiempo de maduración, contenido de metales pesados y contaminantes emergentes. En algunas experiencias de compostaje municipal se han obtenido compostas con elevada estabilidad biológica, parámetros agronómicos adecuados para uso agrícola y bajos niveles de metales pesados. Se ha demostrado que los sistemas descentralizados pueden producir materiales comparables a los obtenidos en instalaciones industriales cuando existe una adecuada gestión operacional (Alves *et al.*, 2024). Se enfrentan desafíos como contaminación por metales y compuestos metálicos persistentes (Xiaoxia *et al.*, 2023). Algunos estudios advierten sobre riesgos asociados a residuos farmacéuticos, microplásticos, genes de resistencia a antibióticos *et al.* contaminantes emergentes. Otros estudios de composta muestran una buena calidad sanitaria, ausencia de fitotoxicidad y bajos contenidos de elementos potencialmente tóxicos, lo que garantiza su uso en la agricultura sin representar ningún riesgo para la salud humana ni para el medio ambiente (Álvarez *et al.*, 2024). Esta situación ha impulsado el fortalecimiento de los sistemas de control de la calidad y el monitoreo ambiental (Pajura, 2024).

Sostenibilidad económica de plantas municipales de compostaje

Las plantas municipales de compostaje tienen costos operativos asociados a: la recolección diferenciada, el transporte de los residuos, la mano de obra, actividades de trituración y volteo, el control de lixiviados y la comercialización de la composta. La sostenibilidad económica constituye un desafío constante y fundamental, la cual puede mejorar significativamente cuando se consideran los beneficios indirectos como, por ejemplo: ahorros por la reducción de disposición en rellenos sanitarios, la disminución de emisiones de metano, la producción de fertilizantes orgánicos, la generación de empleo verde y la recuperación de materiales valorizables (Arce y Torres, 2024). Los modelos descentralizados y comunitarios presentan menores requerimientos en la inversión inicial y pueden ser particularmente atractivos para municipios pequeños y medianos. En contraste, las plantas centralizadas ofrecen economías de escala, pero requieren mayores inversiones en infraestructura y logística (Alves *et al.*, 2024).

Materiales y Métodos

El estudio se desarrolló bajo un enfoque aplicado, integrando elementos técnicos, operativos y económicos para el diseño de un modelo de compostaje municipal. La investigación se estructuró en tres componentes principales: i) elaboración de un proyecto ejecutivo, ii) determinación experimental de mezclas óptimas de residuos para compostaje y iii) elaboración de un plan de negocios para la operación del sistema.

Área de estudio

El estudio se desarrolló en el municipio de Jiutepec, Morelos, México, donde se evaluó la viabilidad técnica y económica de una planta municipal de compostaje para el aprovechamiento de residuos orgánicos urbanos y de jardinería. La investigación consideró condiciones locales de generación de residuos, infraestructura disponible y contexto operativo municipal.

Diseño experimental del compostaje

El diseño experimental incluyó dos tratamientos principales: residuos de poda combinados con residuos de comida procesada y residuos de poda combinados con estiércol bovino. Cada tratamiento fue evaluado mediante tres réplicas independientes, además de un grupo control constituido exclusivamente por residuos de poda. Las unidades experimentales correspondieron a pilas de compostaje con dimensiones aproximadas de 1.5 m de ancho por 3.0 m de longitud, cuyos volúmenes oscilaron entre 3.45 y 3.94 m³ para los tratamientos evaluados.

El proceso de compostaje tuvo una duración aproximada de 80 días. La temperatura, humedad y pH fueron monitoreados diariamente durante la primera semana; entre la segunda y cuarta semana las mediciones se realizaron cada tres días; y posteriormente, después del primer mes, se efectuaron dos veces por semana hasta la finalización del proceso. Al concluir el periodo de compostaje se realizó la caracterización fisicoquímica del producto obtenido conforme a los criterios establecidos en la NMX-AA-180-SCFI-2018.

Análisis estadístico

El tratamiento de los datos incluyó estadística descriptiva y análisis inferencial. Para las variables con distribución normal se aplicó análisis de varianza mediante modelo lineal general (ANOVA), mientras que para las variables sin distribución normal se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

Integración técnico-económica

Los resultados experimentales fueron incorporados al diseño técnico-operativo y económico de la planta de compostaje. La validación de mezclas y la caracterización del compost permitieron establecer parámetros de operación, estimar capacidades de procesamiento y definir criterios para el análisis financiero del modelo propuesto para el contexto municipal de Jiutepec.

Resultados y Discusión

Como parte del componente experimental, se evaluaron tres tratamientos de compostaje basados en distintas combinaciones de residuos orgánicos de origen municipal, con el objetivo de identificar la mezcla más adecuada para la obtención de un compost conforme a la NMX-AA-180-SCFI-2018. Los tratamientos y residuos utilizados fueron los siguientes (Tabla 1).

Tabla 1. Diseño experimental de los tratamientos de compostaje evaluados

Tratamiento	Residuos utilizados	Composición	Objetivo del tratamiento
T1	Mezcla de residuos de poda y jardinería.	Una capa de hojarasca de aproximadamente 5 cm y una capa de poda de entre 15 y 20 cm de alto.	Evaluar el desempeño del compostaje con residuos lignocelulósicos municipales.
T2	Mezcla de residuos de poda y restos de comida procesada.	Una capa de hojarasca de aproximadamente 5 cm, seguida de una capa de restos de comida procesada de entre 5 y 10 cm de alto y una capa de poda de entre 15 y 20 cm de alto.	Evaluar el efecto de incorporar residuos orgánicos procesados sobre la calidad del compost.
T3	Mezcla de residuos de poda y heces fecales de ganado vacuno.	Una capa de hojarasca de aproximadamente 5 cm, seguida de una capa de heces fecales de ganado vacuno de entre 5 y 10 cm de alto y una capa de poda de entre 15 y 20 cm de alto.	Evaluar el efecto de incorporar heces de ganado vacuno sobre la calidad agronómica del compost.

Los resultados obtenidos coinciden con lo reportado en estudios previos sobre compostaje de residuos orgánicos, donde la calidad final del compost y la sostenibilidad operativa del sistema dependen no solo de la composición de la mezcla, sino también de la estabilidad del proceso, el control de variables y la capacidad institucional para sostener la operación en el tiempo (Lozada *et al.*, 2020; Soto-Paz *et al.*, 2017; López *et al.*, 2005). En este sentido, el caso de Jiutepec

refuerza la necesidad de abordar el compostaje municipal desde una perspectiva integrada, más allá de su dimensión exclusivamente técnica.

Evaluación del compost terminado

El compost producido fue evaluado mediante parámetros establecidos en la NMX-AA-180-SCFI-2018, incluyendo humedad, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, carbono orgánico total, relación C/N y nutrientes. La evaluación permitió determinar la compatibilidad del producto con criterios de calidad para su aprovechamiento agrícola y urbano. En la Tabla 2 se muestran los parámetros de calidad del producto y en la Tabla 3 los resultados promedio de los parámetros fisicoquímicos.

Tabla 2. Parámetros evaluados durante el proceso y en el Compost terminado

Parámetro	Unidad	Evaluación	
		Durante el proceso de compostaje (DPC) o Producto final (compost)	Criterio o Referencia
Temperatura	°C	DPC	Seguimiento del proceso
pH	-	DPC/Compost	NMX-AA-180-SCFI-2018
Humedad	%	DPC	NMX-AA-180-SCFI-2018
Materia orgánica	%	compost	NMX-AA-180-SCFI-2018
Relación C/N	-	compost	NMX-AA-180-SCFI-2018
Conductividad eléctrica	μS/cm	compost	NMX-AA-180-SCFI-2018
Nitrógeno (N)	mg/kg	compost	Análisis de calidad
Fósforo (P)	mg/kg	compost	Análisis de calidad
Potasio (K)	mg/kg	compost	Análisis de calidad
Zinc	mg/kg	compost	Análisis de calidad
Cobre	mg/kg	compost	Análisis de calidad
Hierro	mg/kg	compost	Análisis de calidad
Manganeso	mg/kg	compost	Análisis de calidad

Los resultados fisicoquímicos muestran que los tratamientos evaluados presentaron valores de pH dentro del intervalo de referencia considerado por la NMX-AA-180-SCFI-2018. Sin embargo, se observaron limitaciones en el contenido de carbono y materia orgánicos, así como valores elevados de conductividad eléctrica en algunas mezclas. Los tratamientos con incorporación de estiércol mostraron mayor concentración de potasio y algunos micronutrientes en comparación con las mezclas que incorporaron residuos de comida procesada. Estos resultados indican que el producto obtenido presenta potencial de aprovechamiento, aunque requiere ajustes en la formulación y control del proceso para mejorar su calidad agronómica y su alineación con los criterios normativos aplicables. En contraste, el factor agua no mostró un efecto estadísticamente significativo sobre las variables analizadas, lo que sugiere que, bajo las condiciones evaluadas, su influencia fue menor en comparación con la composición de los tratamientos.

La validación experimental permitió identificar una mezcla de residuos técnicamente viable para la obtención de compost con características compatibles con los criterios de calidad evaluados. Este resultado constituye uno de los principales aportes del estudio, ya que proporciona una base técnica para la operación de la planta y reduce la incertidumbre asociada a la selección de materias primas y a la calidad del producto final. El análisis estadístico complementó esta validación al permitir comparar el comportamiento de las variables químicas evaluadas entre tratamientos. En términos generales, la mayoría de las variables no mostraron diferencias significativas, lo que sugiere una composición relativamente estable del compost entre mezclas. No obstante, se identificaron diferencias significativas en la concentración de calcio y potasio, lo que indica que la composición de los tratamientos sí influyó selectivamente en algunos componentes del valor agronómico del producto. La síntesis de estos resultados se presenta en la Tabla 4.

Tabla 3. Resultados promedio de parámetros fisicoquímicos del compost obtenido en los tratamientos evaluados

Parámetro	Poda + comida 1	Poda + comida 2	Poda + comida 3	Poda + estiércol 1	Poda + estiércol 2	Poda + estiércol 3	Criterio NMX-AA-180-SCFI-2018 Valor de referencia
pH	8.34	8.5	7.89	7.84	8.05	7.56	6.5 -8.5
Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	5000	6038	6000	4042	3416	3500	$\leq 4000 \mu\text{S}/\text{cm}$ (rango típico: 500 – 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$)
Carbono orgánico (%)	4.69	4.38	6.21	4.54	3.73	5.40	10 – 30 %
Materia orgánica (%)	8.08	7.55	10.71	7.82	6.43	9.31	30 – 60 %
Nitratos (NO_3) mg/kg (ppm)	43	30	33	77	61	28	10 – 150 mg/kg (dependiendo del grado de madurez)
Fósforo Olsen (mg/kg)	135	156	397	244	168	453	< 100 mg/kg → bajo 100– 300 mg/kg → medio 300 mg/kg → alto
Relación C/N	15 - <20	20 $\leq$ 25	20 $\leq$ 25	15 - <20	20 $\leq$ 25	20 $\leq$ 25	10 - 20
Macronutrientes (mg/kg)							
Magnesio (Mg)	688	983	1875	909	989	1922	1,000 – 5,000 mg/kg
Calcio (Ca)	4026	3950	7488	3205	2960	4736	10,000 – 40,000 mg/kg
Sodio (Na)	1081	1142	607	721	781	389	< 5,000 mg/kg
Potasio (K)	3495	3350	3157	5611	5427	5555	5,000 – 30,000 mg/kg
Micronutrientes (mg/kg)							
Zinc	7.93	19.70	53.93	19.73	23.82	66.63	50 – 500 mg/kg
Cobre	3.16	1.98	1.78	6.19	2.79	9.01	20 – 200 mg/kg
Hierro	57.13	26.98	343.80	43.72	33.19	176.57	5,000 – 50,000 mg/kg

Tabla 4. Resultados del análisis estadístico de las variables evaluadas en el compost

Variable	Tipo de distribución	Prueba aplicada	Estadístico	p	gl	Desv. Est.	Interpretación
% Carbono orgánico	Normal	ANOVA	F = 1.90	0.306	7	1.158	Sin diferencia significativa
% Materia orgánica	Normal	ANOVA	F = 1.89	0.307	7	1.9	Sin diferencia significativa
Fósforo Olsen	Normal	ANOVA	F = 0.13	0.933	7	133.3	Sin diferencia significativa
Magnesio	Normal	ANOVA	F = 0.77	0.584	7	558	Sin diferencia significativa
Calcio	Normal	ANOVA	F = 11.85	0.036	7	2739	Diferencia significativa
Sodio	Normal	ANOVA	F = 2.44	0.242	7	310	Sin diferencia significativa.
Potasio	Normal	ANOVA	F = 31.13	0.009	7	1036	Diferencia significativa
Zinc	Normal	ANOVA	F = 0.39	0.768	7	19.9	Sin diferencia significativa
Nitratos	No normal	Kruskal-Wallis	H= 1.22	0.748	3	111.7	Sin diferencia significativa
Cobre	No normal	Kruskal-Wallis	H= 4.14	0.247	3	2.7	Sin diferencia significativa
Hierro	No normal	Kruskal-Wallis	H= 2.47	0.480	3	121.7	Sin diferencia significativa

Los resultados obtenidos indican que la composición de las mezclas evaluadas influyó selectivamente en la calidad química del compost. Aunque la mayoría de las variables presentó un comportamiento similar entre tratamientos, las diferencias observadas en calcio y potasio sugieren que la incorporación de determinados residuos puede modificar el valor agronómico del producto final.

Estos hallazgos coinciden con estudios previos que señalan que la composición de los materiales de entrada influye en las propiedades fisicoquímicas del compost y en la disponibilidad de nutrientes (Lozada *et al.*, 2020; Soto-Paz *et al.*, 2017). En particular, la variación observada en calcio y potasio confirma que la selección de residuos constituye un factor relevante para optimizar la calidad del compost y su potencial de aprovechamiento.

Desde una perspectiva operativa, los resultados obtenidos permitieron identificar mezclas con comportamiento adecuado para su incorporación en el modelo propuesto, aportando criterios técnicos para la selección de materias primas y el diseño de la planta municipal.

En términos económicos, el proyecto no mostró rentabilidad bajo los supuestos financieros evaluados. Sin embargo, este resultado debe interpretarse en el contexto de la gestión pública de residuos, donde los beneficios asociados a la reducción de residuos enviados a disposición final, el aprovechamiento de materiales orgánicos y la generación de productos con potencial de uso local constituyen elementos relevantes para la toma de decisiones. En consecuencia, la sostenibilidad del modelo depende no solo de indicadores financieros, sino también de continuidad institucional, fortalecimiento operativo y mecanismos complementarios de financiamiento.

Aporte del modelo técnico-operativo

La viabilidad de una planta municipal de compostaje no depende únicamente del desempeño biológico del proceso, sino de la articulación entre validación técnica, operación, administración y continuidad institucional. En este sentido, el modelo propuesto integra la selección de residuos, la validación experimental del compostaje, la evaluación del producto final, la definición de parámetros operativos y el análisis económico del sistema. La Figura 1 sintetiza esta relación y muestra el flujo técnico-operativo propuesto para la valorización municipal de residuos orgánicos en Jiutepec.

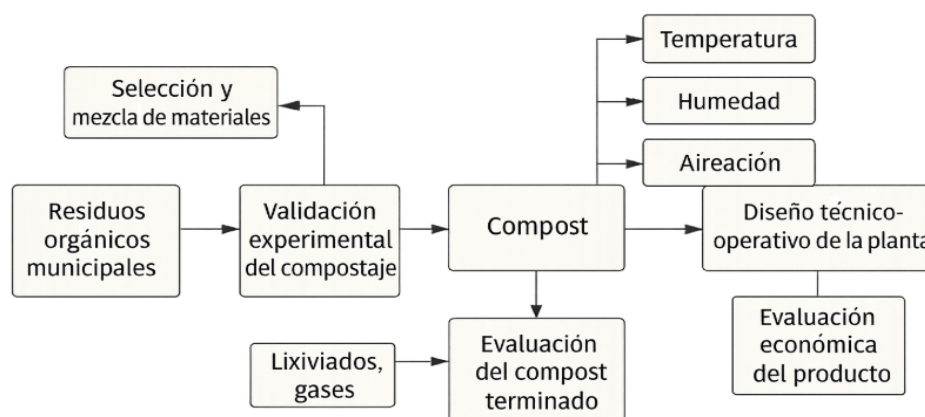


Figura 1. Integración técnico-operativa y económica del modelo propuesto.

Limitaciones de rentabilidad y alcance de la viabilidad económica

La validación de mezclas de residuos y la caracterización del compost permitieron definir parámetros de operación, estimar rendimientos de producción y establecer condiciones para la comercialización del producto. Estos elementos se integraron en el análisis económico del sistema, incluyendo estimación de costos, proyección de ingresos y evaluación de indicadores financieros. Esta integración permitió vincular la viabilidad técnica del proceso con su factibilidad operativa y su desempeño económico en el contexto de gestión municipal.

A continuación, se presenta el análisis económico del modelo propuesto, el cual permite identificar sus limitaciones en términos de rentabilidad bajo condiciones convencionales de mercado (Tabla 5). Para esta evaluación se consideró una inversión inicial de \$2,967,700.00 MXN, costos fijos mensuales de \$101,400.00 MXN y costos variables mensuales de \$56,100.00 MXN. Asimismo, se estimó una producción de 20 toneladas mensuales de composta (20,000 kg/mes), con un costo unitario de \$6.10 MXN/kg y un precio de venta de \$7.93 MXN/kg, equivalente a \$7,930.00 MXN por tonelada. El análisis se realizó para un horizonte de 3 años y con una tasa de descuento del 10 %, lo que permitió estimar el punto de equilibrio, el VAN y el ROI del proyecto. Los resultados muestran que una proporción significativa del gasto mensual

corresponde a salarios y que la operación del sistema se encuentra cercana a su punto de equilibrio. Los indicadores financieros obtenidos evidencian una rentabilidad insuficiente para recuperar la inversión en el horizonte de evaluación considerado, con un ROI de 0.53 % y un VAN de -\$2,828,928.4 MXN. Estos resultados indican que, bajo las condiciones analizadas, el proyecto presenta viabilidad técnica y operativa, pero enfrenta limitaciones para alcanzar sostenibilidad financiera bajo un esquema convencional de mercado.

Tabla 5. Resultados técnicos y económicos clave del modelo propuesto.

Componente	Resultado	Interpretación
Validación técnica	Se identificó una mezcla apta para producir compost de calidad.	El proceso mostró viabilidad técnica.
Cumplimiento normativo	Compost evaluado conforme a NMX-AA-180-SCFI-2018.	El producto mostró condiciones compatibles con los criterios de calidad evaluados.
Operación del sistema	La planta puede estructurarse con base en recursos y flujo operativo definidos.	Existe viabilidad operativa.
Inversión inicial	\$2,967,700.00 MXN	Corresponde al capital requerido para la puesta en marcha del proyecto.
Costos fijos mensuales	\$101,400.00 MXN	Representan los gastos permanentes de operación del sistema.
Costos variables mensuales	\$56,100.00 MXN	Dependen del volumen de producción y operación mensual.
Producción estimada	20 t/mes (20,000 kg/mes)	Define la capacidad de producción considerada en la evaluación financiera.
Precio de venta	\$7.93 MXN/kg (\$7,930.00 MXN/t)	Valor de comercialización estimado para la composta producida.
Punto de equilibrio	19.8 toneladas	El sistema opera con margen estrecho, cercano al mínimo necesario para cubrir costos.
Estructura de costos	52.83 % del gasto mensual corresponde a salarios.	La mano de obra representa el principal costo operativo.
Horizonte de evaluación	3 años	Periodo considerado para estimar la rentabilidad del proyecto.
Tasa de descuento	10 %	Parámetro utilizado para calcular el valor presente de los flujos esperados.
ROI	0.53 %	El retorno sobre la inversión es bajo en el escenario evaluado.
VAN	-\$2,828,928.40 MXN	El proyecto no genera valor financiero neto bajo los supuestos evaluados.

No obstante, estos resultados no invalidan la propuesta, sino que redefinen el marco bajo el cual debe ser evaluada. A diferencia de un negocio privado convencional, una planta municipal de compostaje cumple funciones ambientales, territoriales y de gestión pública que no pueden reducirse exclusivamente a criterios de rentabilidad financiera inmediata. En este caso, la utilidad del sistema radica en su capacidad para reducir la presión sobre el sistema de residuos, procesar materiales biodegradables a nivel local y generar un producto con potencial de aprovechamiento dentro del entorno municipal.

Los hallazgos del presente estudio coinciden con lo reportado por (Soto-Paz, *et al.* 2017), respecto a que múltiples experiencias latinoamericanas de compostaje, han enfrentado limitaciones por deficiencias en adaptación tecnológica, calidad del producto y sostenibilidad operativa. En el caso de Jiutepec, Morelos, México, estos elementos se abordan parcialmente mediante la validación experimental del compost y el diseño funcional de operación, aunque persisten desafíos en la consolidación económica del sistema. La discusión sobre viabilidad debe desplazarse desde una lógica

estrictamente mercantil hacia una lógica de sostenibilidad operativa e impacto territorial. Esto implica que la permanencia del modelo dependerá de factores como: continuidad administrativa, fortalecimiento institucional, educación ambiental, mercado local del producto y acceso a mecanismos complementarios de financiamiento público o mixto.

La Gestión de Residuos Orgánicos en plantas de compostaje municipales pueden constituir una alternativa viable, contribuyendo a la generación de subproducto (compost), que es un valor agregado importante en la agricultura y además permite reducir el volumen de los mismos en los rellenos sanitarios, sin embargo aunque existen aún limitaciones en este campo, también se puede identificar un panorama económico que puede ser favorable y fortalecerse con la integración de factores técnicos, comerciales, organizativos y legales. La viabilidad depende de cubrir las necesidades financieras, permitir las remuneraciones y la distribución de utilidades (Gallo, 2025).

Contribución del estudio

En conjunto, el estudio aporta un modelo integrado para la valorización municipal de residuos orgánicos que articula validación experimental del compostaje, diseño técnico-operativo y evaluación económica dentro de una misma propuesta de gestión. Esta integración permite generar criterios técnicos para la selección de residuos, definir parámetros operativos y aportar elementos de apoyo para la toma de decisiones en proyectos municipales orientados al aprovechamiento de residuos orgánicos bajo principios de economía circular.

Conclusiones

El municipio de Jiutepec presenta condiciones favorables para la implementación de estrategias de valorización de residuos orgánicos mediante compostaje, debido a la disponibilidad de materia prima, infraestructura asociada y potencial de aprovechamiento local del producto generado.

La evaluación experimental permitió identificar mezclas de residuos con desempeño adecuado para la producción de compost, aportando evidencia técnica para la selección de materias primas y el diseño operativo de una planta municipal de compostaje.

Los resultados muestran que la composición de los residuos influye en determinados parámetros de calidad del compost, particularmente en nutrientes asociados a su valor agronómico, lo que confirma la importancia de la formulación de mezclas dentro del proceso.

Aunque el análisis financiero evidenció limitaciones de rentabilidad bajo criterios convencionales de evaluación privada, el proyecto mantiene relevancia como infraestructura ambiental orientada a la reducción de residuos, la valorización de materia orgánica y el fortalecimiento de la gestión municipal.

El modelo integrado propuesto constituye una herramienta aplicable para apoyar la planificación de sistemas municipales de compostaje, al vincular validación experimental, diseño operativo y evaluación económica dentro de un mismo esquema de gestión.

Agradecimientos y financiamiento: A SECIHTI por financiar el Proyecto 2023-000002-01NACF-10010 del Programa de Maestría en Ingeniería Ambiental y Tecnologías Sustentables, en la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México.

Declaración sobre uso de la IA: Los autores declaran que utilizaron la herramienta de inteligencia artificial Grammarly (<https://app.grammarly.com>) exclusivamente con fines de corrección de estilo y mejora de la redacción del manuscrito. Esta herramienta no sustituyó la contribución intelectual de los autores.

Bibliografía

Aguado, S., Cotler, H., Astier, M., & Padilla-Rivera, A. (2025). Evaluation methodologies for circular economy in municipal composting and urban agriculture: A literature review with focus on Latin America. *Circular Economy and Sustainability*, 5, 3255–3280. <https://doi.org/10.1007/s43615-025-00582-8>

- Alves, D., Villar, I., & Mato, S. (2024). Community composting strategies for biowaste treatment: Methodology, bulking agent and compost quality. *Environmental Science and Pollution Research*, 31, 9873–9885. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-25564-x>
- Álvarez-Alonso, C., Pérez-Murcia, M. D., Sánchez-Méndez, S., Martínez-Sabater, E., Irigoyen, I., López, M., Nogués, I., Paredes, C., Orden, L., & Bustamante, M. Á. (2024). Municipal solid waste management in a decentralized composting scenario: Assessment of the process reproducibility and quality of the obtained composts. *Agronomy*, 14(1), 54. <https://doi.org/10.3390/agronomy14010054>
- Arce García, I. Y., & Torres-Salazar, M. C. (2024). Valorization of urban solid waste: An integrated and sustainable approach. *RAN Revista Academia y Negocios*, 10(2), 193–209. <https://doi.org/10.29393/RAN10-12VRIM20012>
- Cao, X., Williams, P. N., Zhan, Y., Coughli, S. A., McGrath, J. W., Chin, J. P., & Xu, Y. (2023). Municipal solid waste compost: Global trends and biogeochemical cycling. *Soil & Environmental Health*, 1(4), 100038. <https://doi.org/10.1016/j.seh.2023.100038>
- Coronel, A. S., & Ramón, G. M. (2022). Planta de compostaje y reciclaje para la gestión de residuos sólidos en Río Blanco, Ecuador. *Dominio de las Ciencias*, 8(1), 222–247. <http://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/index>
- Fernández, R. J. (2010). *Optimización de la digestión anaerobia seca de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU) en reactores en fases de temperatura* [Tesis de doctorado, Universidad de Cádiz]. <http://hdl.handle.net/10498/15833>
- Gallo Cifuentes, S. A. (2025). *Evaluación de sostenibilidad económica, técnica y ambiental en sistemas de compostaje municipales para el diseño de estrategias de acceso a incentivos ambientales por aprovechamiento y reducción de GEI* [Informe de prácticas para optar el título de Ingeniero Sanitario, Universidad de Antioquia]. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/server/api/core/bitstreams/3de55e06-495e-4f95-b805-e5f7b008d1db/content>
- Gobierno del Estado de Morelos. (2019). *Programa estatal de la gestión y manejo integral de residuos sólidos urbanos y de manejo especial en Morelos*.
- Hernández, Q. F., Sánchez, H. L., Alba, H. E., Lobato, B. M., & Sandoval, S. F. (2025). Gobernanza colaborativa; estrategia para la gestión pública de los residuos sólidos urbanos (RSU). *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 9(4), 3418–3440. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i2
- Kavya, Vashisht, M., Jain, B., & Shrivastava, S. (2024). Transforming waste into wealth: A review on microbial conversion of organic municipal wastes to value-added products. *Discover Environment*, 2, 112. <https://doi.org/10.1007/s44274-024-00144-z>
- Long, Y. Y., Fang, Y., Zhang, C., Du, Y., Shentu, J., & Shen, D. S. (2015). Degradation of polychlorinated biphenyls by sequential anaerobic-aerobic composting. *Water, Air, and Soil Pollution*, 226(3). <https://doi.org/10.1007/S11270-015-2333-6>
- López Ricalde, C. D., López-Hernández, E. S., & Ancona Peniche, I. (2005). Desarrollo sustentable o sostenible: Una definición conceptual. *Horizonte Sanitario*, 4. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=457845044002>
- Lozada, P. T., Rebellón, L. F. M., Giraldo, C. A., Zapata, K. F., & Paz, J. S. (2020). Efecto de la incorporación de pasto estrella sobre el mejoramiento del proceso y la calidad del producto del compostaje de biorresiduos. *Revista EIA*, 17(33), 1–11. <https://doi.org/10.24050/reia.v17i33.1352>
- Marten, B., & Cook, S. (2024). Exploring resource recovery from diverted organics: Life cycle assessment comparison of options for managing the organic fraction of municipal solid waste. *Science of the Total Environment*, 954, 175960. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175960>
- México. Congreso de la Unión. (2015a). *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*. Diario Oficial de la Federación. <https://www.gob.mx/profepa/documentos/ley-general-del-equilibrio-ecologico-y-la-proteccion-al-ambiente-63043>
- México. Congreso de la Unión. (2015b). *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*. Diario Oficial de la Federación. <https://www.gob.mx/profepa/documentos/ley-general-para-la-prevencion-y-gestion-integral-de-los-residuos-62914>
- Moreno Casco, J., & Moral Herrero, R. (2008). *Compostaje*. <https://books.google.com/books/about/Compostaje.html?hl=es&id=V2x2hEfBbbo>
- Moreno Soto, D. F. (2025). *Diseño del modelo de negocios sustentable para la Planta de Compostaje del Ayuntamiento de Jiutepec* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma del Estado de Morelos].
- Moyano Castillejo, L. E. (2017). *Plan de negocio* (1a ed., Vol. 1). Macro. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=j7wtDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT5&dq=plan+de+negocios+&ots=buXpDmyCk&sig=uhGJIWHfSIZC7gfqFD-wP0pEbEg#v=onepage&q&f=false>
- Ordóñez, L. L., Gómez, D. R., & Ramírez, H. M. (2024). Análisis bibliométrico de tecnologías para la valorización de residuos sólidos urbanos y su potencial en el contexto colombiano. *Ingeniería y Competitividad*, 26(2). <https://doi.org/10.25100/ivc.v26i2.13225>
- Ortiz, R. P., Burgos, L. S., & Rivera, A. R. (2020). Generación, reciclaje y disposición final de los principales residuos en México, 2000–2014. *Gestión y Ambiente*, 23(1), 73–87. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10233412>
- Pajura, R. (2024). Composting municipal solid waste and animal manure in response to the current fertilizer crisis: A recent review. *Science of the Total Environment*, 912, 169221. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169221>
- Pinzón Candelario, F. (Comp.). (2025). *Gestión ambiental y desarrollo rural: Innovaciones para un futuro sostenible*. Sello Editorial UNAD. https://www.researchgate.net/profile/Sello-Editorial-Unad/publication/395449482_Gestion_ambiental_y_desarrollo_rural_innovaciones_para_un_futuro_sostenible/links/68c44adb9534473a6d4a84aa/Gestion-ambiental-y-desarrollo-rural-innovaciones-para-un-futuro-sostenible.pdf#page=22
- Silva Martínez, R. D., Díaz Jiménez, L., Aguilar Juárez, O., & Hernández, S. C. (2024). Characterization of municipal solid waste with the perspective of biofuels and bioproducts recovery in Northeast Mexico. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 26, 3665–3680. <https://doi.org/10.1007/s10163-024-02069-4>
- Soto-Paz, J., Oviedo-Ocaña, R., Torres-Lozada, P., Marmolejo-Rebellón, L. F., & Manyoma-Velásquez, P. C. (2017). Composting of biowaste: Research trends and relevance in developing countries. *DYNA*, 84(203), 334–342. <https://doi.org/10.15446/DYNA.V84N203.61549>