https://doi.org/10.69639/arandu.v13i3.2630

Indicadores de sostenibilidad y análisis multicriterio para la priorización de estrategias de gestión de residuos en una industria manufacturera

Sustainability Indicators and Multicriteria Analysis for Prioritizing Waste Management Strategies in a Manufacturing Industry

Marisol Betty Véliz Aguilar
mvelizaguilar@uteq.edu.ec
https://orcid.org/0000-0002-5632-7219
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Quevedo – Ecuador

Rossy Rodríguez Castro
rlrodriguez@uteq.edu.ec
https://orcid.org/0000-0003-2193-6361
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Quevedo – Ecuador

Darwin Elian Manzaba Lara
dmanzabal@uteq.edu.ec
https://orcid.org/0009-0008-9007-8528
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Quevedo – Ecuador

Mariasol Belén Culcay Véliz
mculcay@uteq.edu.ec
https://orcid.org/0000-0002-9330-8826
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Quevedo – Ecuador

Freddy Jeovanny Fares Vargas
freddyfares@itscv.edu.ec
https://orcid.org/0000-0003-1400-6676
Instituto Superior Tecnológico Ciudad de Valencia
Valencia – Ecuador

Artículo recibido: 10 septiembre 2026- Aceptado para publicación:16 octubre 2026
Conflictos de intereses: Ninguno que declarar.

RESUMEN

La gestión de residuos en la industria manufacturera exige conocer cuánto se genera, cómo se aprovechan los materiales y qué aspectos requieren intervención. Este estudio evaluó la gestión de residuos de una industria manufacturera mediante indicadores de sostenibilidad y análisis multicriterio. La información procedió de visitas técnicas, observación *in situ*, entrevistas semiestructuradas y registros internos de generación, manejo y disposición de residuos. Se evaluaron la tasa de reciclaje, el tiempo de disposición, los residuos reciclables no recuperados, la generación por unidad de producción y el cumplimiento normativo ambiental. Los registros

mostraron una generación de 250 kg/día de residuos orgánicos, 160 kg/día de inorgánicos y 5 kg/mes de residuos peligrosos. La tasa de reciclaje alcanzó el 60 %, mientras que el 40 % de los materiales reciclables permanecía sin recuperar. La generación específica fue de 1,2 kg/1.000 unidades producidas. En la priorización multicriterio, la reducción de residuos mediante el control del desperdicio y el aprovechamiento eficiente de recursos obtuvo un peso relativo de 0,567; la mejora de la separación y el reciclaje interno alcanzó 0,323, y la capacitación del personal, 0,110. Las razones de consistencia superaron 0,10, por lo que este orden se consideró exploratorio. Los indicadores conforman una línea base para evaluar posteriormente los cambios en la generación y recuperación de residuos.

Palabras clave: gestión de residuos, indicadores de sostenibilidad, análisis multicriterio, economía circular, industria manufacturera

ABSTRACT

Waste management in manufacturing requires a clear understanding of the amounts generated, material recovery practices, and areas requiring intervention. This study assessed waste management in a manufacturing company using sustainability indicators and multicriteria analysis. Data were obtained from technical visits, *in situ* observations, semi-structured interviews, and internal records on waste generation, handling, and disposal. The assessment included recycling rate, disposal time, unrecovered recyclable waste, waste generation per unit of production, and environmental regulatory compliance. Records showed the generation of 250 kg/day of organic waste, 160 kg/day of inorganic waste, and 5 kg/month of hazardous waste. The recycling rate was 60%, while 40% of recyclable materials remained unrecovered. Specific waste generation reached 1.2 kg per 1,000 units produced. In the multicriteria prioritization, waste reduction through waste control and efficient resource use received a relative weight of 0.567; improved separation and internal recycling received 0.323, and staff training received 0.110. Consistency ratios exceeded 0.10; therefore, the resulting order was treated as exploratory. The indicators provide a baseline for subsequent assessment of changes in waste generation and material recovery.

Keywords: waste management, sustainability indicators, multicriteria analysis, circular economy, manufacturing industry

Todo el contenido de la Revista Científica Internacional Arandu UTIC publicado en este sitio está disponible bajo licencia Creative Commons Atribution 4.0 International.

INTRODUCCIÓN

La gestión de residuos constituye uno de los principales desafíos para la sostenibilidad de los sistemas manufactureros, debido a que las actividades productivas generan flujos de materiales que, cuando no son adecuadamente prevenidos, recuperados o valorizados, incrementan el consumo de recursos y los impactos ambientales asociados a la producción. La transición desde esquemas lineales de producción hacia modelos de economía circular requiere que las empresas no se limiten a gestionar los residuos en su etapa final, sino que incorporen estrategias de prevención, reducción, recuperación y aprovechamiento de materiales dentro de sus procesos productivos. Estudios recientes muestran que la reducción de residuos industriales y la optimización de procesos pueden generar simultáneamente mejoras ambientales, operativas y económicas en empresas manufactureras (Battiston et al., 2025; Nikolakis et al., 2024).

La medición del desempeño constituye un elemento fundamental para orientar esta transición. Los indicadores clave de rendimiento o *Key Performance Indicators* (KPI) permiten transformar información operacional y ambiental en variables cuantificables que facilitan el seguimiento de los procesos, la identificación de desviaciones y el establecimiento de objetivos de mejora. En manufactura sostenible, la selección de indicadores debe considerar no solamente su disponibilidad, sino también su capacidad para ser medidos de forma confiable, utilizados en la toma de decisiones y vinculados con acciones concretas de mejora del proceso (Glišić et al., 2024). Asimismo, investigaciones recientes sobre economía circular en el sector manufacturero resaltan la necesidad de establecer conjuntos de KPI capaces de integrar diferentes dimensiones del desempeño y adaptarse al contexto específico de cada organización.

En la gestión de residuos industriales, esta perspectiva resulta especialmente relevante porque un único indicador puede ofrecer una representación parcial del desempeño ambiental. Yang et al. (2023) señalan que la tasa de reciclaje, aunque ampliamente utilizada, no siempre permite representar integralmente la eficiencia de recuperación de recursos, debido a que privilegia la cantidad reciclada sin considerar suficientemente la calidad del aprovechamiento ni otros factores asociados con la sostenibilidad. Por ello, la evaluación de la gestión de residuos requiere integrar indicadores complementarios relacionados con la generación de residuos, recuperación de materiales, eficiencia de los procesos, disposición y desempeño ambiental.

Esta integración de indicadores adquiere mayor utilidad cuando se vincula con mecanismos sistemáticos de apoyo a la toma de decisiones. Los problemas relacionados con sostenibilidad industrial suelen involucrar diversos criterios ambientales, técnicos y operacionales que pueden presentar diferentes niveles de importancia. Los métodos de decisión multicriterio permiten estructurar el análisis de alternativas cuando intervienen simultáneamente diferentes objetivos. Entre estas herramientas, el Proceso Analítico Jerárquico (*Analytic Hierarchy Process*, AHP) ha sido empleado recientemente para apoyar la selección de alternativas de economía circular en

entornos industriales mediante la comparación estructurada de criterios y opciones de intervención (Fernández Ocamica et al., 2025).

La aplicación de métodos multicriterio también cuenta con antecedentes en el contexto ecuatoriano. Riera et al. (2023) integraron análisis multicriterio y herramientas geográficas para establecer criterios destinados a priorizar residuos agroindustriales con potencial de valorización en Ecuador, demostrando la utilidad de este enfoque para problemas donde convergen disponibilidad de residuos, factibilidad de industrialización y factores socioambientales. Estos antecedentes respaldan el uso de herramientas multicriterio como mecanismos complementarios para estructurar decisiones relacionadas con el aprovechamiento y la gestión sostenible de residuos.

En la empresa manufacturera analizada se generan residuos orgánicos, inorgánicos y peligrosos asociados con diferentes etapas del proceso productivo. El diagnóstico identificó limitaciones en la segregación de materiales reciclables, un aprovechamiento restringido de los residuos orgánicos y la ausencia de un sistema consolidado de indicadores para evaluar la gestión. Estas condiciones dificultan la identificación de brechas de desempeño y la definición de prioridades sustentadas en información cuantificable.

El estudio integra la caracterización de los residuos, indicadores de sostenibilidad y análisis multicriterio para priorizar estrategias de gestión. La evaluación incorpora variables relacionadas con recuperación de materiales, tiempo de disposición, residuos reciclables no recuperados, generación por unidad de producción y cumplimiento ambiental, ampliando el análisis respecto al uso aislado de la tasa de reciclaje.

El objetivo de esta investigación fue evaluar la gestión de residuos de una industria manufacturera mediante indicadores de sostenibilidad y análisis multicriterio, con el propósito de identificar brechas de desempeño y priorizar estrategias orientadas a la reducción de residuos y al mejoramiento de la gestión ambiental**.**

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en la industria Tabacalera La Francey, ubicada en el cantón El Empalme, provincia del Guayas, Ecuador. Se realizó un estudio descriptivo orientado a evaluar las prácticas de gestión de residuos asociadas al proceso productivo y establecer indicadores para identificar oportunidades de mejora en el desempeño ambiental y operativo.

La información se obtuvo mediante visitas técnicas a las instalaciones, observación *in situ* de los procesos, entrevistas semiestructuradas al personal vinculado con la producción y la gestión de residuos, y revisión de registros internos sobre generación, manejo y disposición. El análisis cuantitativo se sustentó en los datos con trazabilidad suficiente en la documentación examinada. Las observaciones de campo y las entrevistas aportaron información para describir las prácticas de segregación, almacenamiento, aprovechamiento y disposición.

Diagnóstico de la gestión de residuos

El diagnóstico comprendió la observación del proceso productivo, la identificación de los residuos generados en sus diferentes etapas y la revisión de las prácticas empleadas para su segregación, almacenamiento, aprovechamiento y disposición. La información obtenida mediante observación directa se contrastó con los registros disponibles y con la información proporcionada por el personal de la planta.

Los residuos identificados se clasificaron de acuerdo con su naturaleza en orgánicos, inorgánicos y peligrosos. Para esta etapa se consideraron los registros disponibles sobre generación de residuos y las condiciones observadas durante su manejo. Los registros de residuos sólidos y líquidos se examinaron junto con las prácticas de recolección, almacenamiento y disposición observadas durante las visitas técnicas.

Selección y evaluación de indicadores

A partir del diagnóstico se seleccionaron cinco indicadores directamente relacionados con la gestión de residuos: tasa de reciclaje, tiempo de disposición de residuos, proporción de residuos reciclables no recuperados, generación de residuos por unidad de producción y cumplimiento normativo ambiental.

La forma de cálculo o expresión de cada indicador se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1

Indicadores utilizados para evaluar la gestión de residuos

Indicador	Expresión de cálculo	Unidad	Dirección favorable
Tasa de reciclaje	Residuos reciclados / residuos totales generados × 100	%	Incrementar
Tiempo de disposición de residuos	Tiempo transcurrido hasta su disposición	días	Reducir
Residuos reciclables no recuperados	Residuos reciclables no recuperados / residuos reciclables generados × 100	%	Reducir
Generación de residuos por unidad de producción	Residuos generados / unidades producidas	kg/1.000 unidades	Reducir
Cumplimiento normativo ambiental	Requisitos cumplidos / total de requisitos evaluados × 100	%	Incrementar

Para cada indicador se consideraron el valor correspondiente a la situación diagnosticada y la meta establecida. La brecha se determinó mediante la diferencia entre ambos valores, considerando la dirección favorable definida en la Tabla 1.

Priorización multicriterio de las estrategias

Para complementar la evaluación mediante indicadores se utilizó el Proceso Analítico Jerárquico (*Analytic Hierarchy Process*, AHP) como herramienta de apoyo para priorizar estrategias de gestión de residuos. El problema se estructuró en tres niveles: objetivo, criterios de decisión y alternativas de intervención.

Tabla 2

Estructura jerárquica empleada para la priorización de estrategias

Nivel	Elementos considerados
Objetivo	Mejorar la gestión de residuos
Criterios	Eficiencia en reciclaje; tasa de reciclaje; cumplimiento normativo; impacto ambiental
Alternativa A	Mejora de la separación manual de residuos y fomento del reciclaje interno
Alternativa B	Reducción de residuos mediante el control del desperdicio de materiales y el aprovechamiento eficiente de recursos
Alternativa C	Capacitación y sensibilización continua del personal en gestión de residuos y prácticas sostenibles

Las comparaciones por pares se realizaron mediante la escala fundamental del AHP propuesta por Saaty (1986), con valores comprendidos entre 1 y 9. Los valores 1, 3, 5, 7 y 9 representan, respectivamente, igual importancia, importancia moderada, fuerte, muy fuerte y extrema; los valores 2, 4, 6 y 8 corresponden a juicios intermedios.

A partir de las matrices de comparación por pares se recalcularon las prioridades relativas de los criterios y las alternativas. La coherencia de los juicios se examinó mediante el índice de consistencia (CI) y la razón de consistencia (CR). Se adoptó **CR ≤ 0,10** como umbral convencional de referencia para valorar la consistencia de las matrices (Saaty, 1986).

Tratamiento de los datos

La información se organizó mediante cantidades, porcentajes, tiempos e indicadores relativos a la producción. Los valores correspondientes a la situación diagnosticada se compararon con las metas establecidas para determinar las brechas de desempeño.

En el análisis multicriterio se calcularon los pesos relativos de los criterios y las alternativas, junto con los índices de consistencia de las matrices de comparación. La priorización se interpretó considerando tanto los pesos obtenidos como los valores de CR.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de la generación y gestión de residuos

El diagnóstico identificó residuos orgánicos, inorgánicos y peligrosos asociados con las actividades productivas. Los orgánicos estuvieron constituidos principalmente por hojas de tabaco defectuosas o no aprovechables; los inorgánicos incluyeron cartón, plástico, madera y materiales de embalaje; mientras que los peligrosos se relacionaron con productos químicos empleados en las actividades de limpieza.

Tabla 3

Caracterización de los residuos generados en la industria evaluada

Tipo de residuo	Principales componentes	Generación reportada	Manejo registrado
Orgánicos	Hojas de tabaco defectuosas o no aprovechables	250 kg/día	Compostaje interno
Inorgánicos	Cartón, plástico, madera y materiales de embalaje	160 kg/día	Entrega a gestor externo
Peligrosos	Residuos asociados con productos químicos de limpieza	5 kg/mes	Almacenamiento y retiro por empresa especializada

Entre las corrientes cuantificadas diariamente, los residuos orgánicos alcanzaron 250 kg/día y los inorgánicos 160 kg/día. Los residuos peligrosos fueron registrados en una unidad temporal diferente, con 5 kg/mes; por esta razón, no se calculó una distribución porcentual conjunta que exigiera transformar la periodicidad original de los registros.

El compostaje interno presentaba un control limitado del proceso, mientras que la gestión de los residuos inorgánicos alcanzaba una tasa de reciclaje del 60 %. La presencia de mecanismos de aprovechamiento no elimina las oportunidades de mejora detectadas en el diagnóstico. Battiston et al. (2025) sostienen que la evaluación de residuos industriales debe vincular su reducción con el desempeño de los procesos y utilizar indicadores capaces de mostrar las áreas susceptibles de intervención. Su modelo de desempeño circular, aplicado en una empresa manufacturera, integra la reducción de residuos con la optimización del proceso y la evaluación de sus implicaciones ambientales, económicas y sociales. En el caso analizado, la cantidad de residuos orgánicos y la recuperación parcial de los inorgánicos justifican el seguimiento simultáneo de la generación y del aprovechamiento.

Indicadores de desempeño y brechas de mejora

Los cinco indicadores seleccionados presentaron diferencias entre la situación diagnosticada y las metas establecidas. La tasa de reciclaje alcanzó el 60 %, cinco puntos porcentuales por debajo del valor propuesto. El tiempo de disposición fue de tres días, frente a

una meta de dos. La generación específica se situó en 1,2 kg de residuos por cada 1.000 unidades producidas, con un valor objetivo de 1,0 kg/1.000 unidades.

Tabla 4

Situación diagnosticada y metas de los indicadores de gestión de residuos

Indicador	Situación diagnosticada	Meta	Brecha requerida	Dirección de mejora
Tasa de reciclaje	60 %	65 %	+5 pp	Incrementar
Tiempo de disposición	3 días	2 días	−1 día	Reducir
Residuos reciclables no recuperados	40 %	35 %	−5 pp	Reducir
Generación de residuos por unidad de producción	1,2 kg/1.000 unidades	1,0 kg/1.000 unidades	−0,2 kg/1.000 unidades	Reducir
Cumplimiento normativo ambiental*	80 %	85 %	+5 pp	Incrementar

Nota**.** pp = puntos porcentuales. *El cumplimiento normativo ambiental corresponde al valor basal reportado; no fue posible recalcularlo de manera independiente con la documentación disponible.

La tasa de reciclaje presentó una diferencia de cinco puntos porcentuales respecto de la meta propuesta. De manera complementaria, el 40 % de los residuos reciclables permanecía sin recuperar, proporción que debía disminuir al 35 %. Ambos indicadores describen el aprovechamiento de materiales desde perspectivas opuestas y sitúan la separación y recuperación entre las áreas susceptibles de mejora.

La tasa de reciclaje, sin embargo, no debe utilizarse de manera aislada para valorar el desempeño de un sistema de gestión. Yang et al. (2023) demostraron que una evaluación sustentada únicamente en la cantidad reciclada puede ofrecer una representación incompleta de la transición hacia modelos circulares, debido a que no incorpora adecuadamente la calidad y eficiencia de la recuperación de recursos. Los autores proponen ampliar la evaluación mediante indicadores que consideren distintas dimensiones del desempeño. Esta consideración respalda el uso conjunto de la tasa de reciclaje con generación específica, residuos no recuperados, tiempo de disposición y cumplimiento ambiental.

La generación específica alcanzó 1,2 kg de residuos por cada 1.000 unidades producidas, frente a una meta de 1,0 kg/1.000 unidades. Este indicador introduce una dimensión distinta al reciclaje porque relaciona la cantidad generada con el nivel de producción. Nikolakis et al. (2024) señalan que la evaluación de estrategias circulares en manufactura requiere incorporar métricas del proceso que permitan cuantificar los cambios asociados con el consumo de recursos y la generación de residuos. La reducción de este indicador permitiría valorar posteriormente si las acciones implementadas disminuyen los residuos en relación con la actividad productiva.

El tiempo de disposición fue de tres días y se estableció una meta de dos. Aunque este indicador no mide directamente la cantidad generada, permite seguir la eficiencia operativa del manejo posterior. Glišić et al. (2024) destacan que los KPI utilizados en procesos manufactureros deben responder a criterios de mensurabilidad, capacidad de acción, confiabilidad y oportunidad.

El tiempo de disposición cumple una función operativa dentro del sistema de seguimiento al expresar una variable cuantificable sobre la cual pueden establecerse acciones y metas.

El cumplimiento normativo ambiental presentó un valor basal reportado del 80 % y una meta del 85 %. Los documentos examinados señalan las auditorías internas y los registros normativos como fuentes de información para este indicador, aunque no especifican el número total de requisitos evaluados ni aquellos que fueron cumplidos. El 80 % se conservó como valor reportado, sin efectuar un recálculo independiente.

El análisis conjunto evita reducir la evaluación ambiental a una sola medida. Battiston et al. (2025) plantean precisamente la necesidad de integrar indicadores para valorar la circularidad y el desempeño de la gestión de residuos a escala empresarial. La combinación utilizada en este estudio diferencia la generación, recuperación, disposición y cumplimiento, proporcionando una lectura más amplia de las condiciones diagnosticadas.

Priorización multicriterio de las estrategias

El análisis multicriterio consideró cuatro criterios: eficiencia en reciclaje, tasa de reciclaje, cumplimiento normativo e impacto ambiental. Las alternativas fueron: **A)** mejora de la separación manual y del reciclaje interno; **B)** reducción de residuos mediante el control del desperdicio y el aprovechamiento eficiente de recursos; y **C)** capacitación y sensibilización continua del personal.

La revisión de las comparaciones por pares identificó discrepancias entre dos valores consignados y sus respectivas justificaciones. En la comparación entre eficiencia en reciclaje y cumplimiento normativo se registró un valor de 5, aunque la justificación asignaba mayor importancia al cumplimiento normativo. La misma situación se presentó entre tasa de reciclaje y cumplimiento normativo.

Tabla 5

Consistencia de las matrices de comparación

Matriz evaluada	CR	Resultado respecto al umbral
Criterios originales	0,268	> 0,10
Criterios con corrección documental	0,184	> 0,10
Alternativas	0,254	> 0,10

Las tres razones de consistencia superaron el umbral de 0,10 adoptado en el análisis. Por esta razón, los pesos obtenidos se interpretaron con carácter exploratorio y no como una jerarquización AHP concluyente. La matriz de alternativas produjo el orden presentado en la Tabla 6.

Tabla 6

Prioridad relativa de las estrategias de gestión de residuos

Orden	Estrategia	Peso relativo
1	Reducción de residuos mediante control del desperdicio y aprovechamiento eficiente de recursos (B)	0,567
2	Mejora de la separación manual y del reciclaje interno (A)	0,323
3	Capacitación y sensibilización continua del personal (C)	0,110

La reducción de residuos obtuvo el mayor peso relativo (0,567), seguida de la mejora de la separación y el reciclaje interno (0,323) y de la capacitación del personal (0,110). La aplicación de AHP en decisiones de sostenibilidad industrial exige considerar simultáneamente las prioridades y la coherencia de los juicios. Fernández Ocamica et al. (2025) utilizaron AHP como mecanismo de apoyo para comparar alternativas de economía circular mediante criterios ambientales, económicos y técnicos. Su aplicación muestra la utilidad del método para estructurar decisiones en las que intervienen dimensiones con diferente importancia relativa. En este estudio, la inconsistencia registrada limita la fuerza de la jerarquización, pero no impide utilizar el orden obtenido como evidencia complementaria del diagnóstico.

La aplicación de herramientas multicriterio para problemas relacionados con residuos también cuenta con antecedentes en Ecuador. Riera et al. (2023) combinaron análisis multicriterio y sistemas de información geográfica para seleccionar residuos agroindustriales con potencial de valorización. El estudio incorporó diferentes criterios para apoyar una decisión que no podía resolverse mediante una única variable. Este antecedente respalda el empleo de análisis multicriterio en contextos ecuatorianos, aunque la calidad de los resultados depende de la consistencia de los juicios incorporados al modelo.

Integración del diagnóstico, los indicadores y la priorización

La caracterización de los residuos, los indicadores de desempeño y el análisis multicriterio coincidieron en señalar la reducción de residuos y la recuperación de materiales como los principales ámbitos de intervención.

La reducción en la fuente se relacionó con una generación de residuos orgánicos de 250 kg/día y una generación específica de 1,2 kg/1.000 unidades, frente a una meta de 1,0 kg/1.000 unidades. La alternativa B, centrada en el control del desperdicio y el aprovechamiento eficiente de recursos, ocupó la primera posición en el análisis multicriterio. La concordancia entre el diagnóstico y el orden obtenido refuerza la pertinencia de intervenir sobre la generación de residuos, aunque el peso AHP debe interpretarse con cautela debido a la consistencia de la matriz.

La segunda área corresponde a la recuperación de materiales. La tasa de reciclaje fue del 60 %, mientras que el 40 % de los materiales reciclables permanecía sin recuperar. La alternativa A, relacionada con la separación manual y el fortalecimiento del reciclaje interno, ocupó la segunda posición. Yang et al. (2023) advierten que el porcentaje reciclado debe complementarse con medidas que reflejen la eficiencia de recuperación; por ello, el seguimiento conjunto de ambas variables ofrece mayor información que la tasa de reciclaje por sí sola.

La capacitación ocupó la tercera posición en el análisis multicriterio. Su menor peso relativo no implica prescindir de esta acción, sino diferenciarla de las intervenciones directamente relacionadas con la generación y recuperación de materiales. Su función se vincula con la aplicación de prácticas de separación, manejo y seguimiento de los indicadores.

Battiston et al. (2025) relacionan la evaluación integrada de indicadores de circularidad con la reducción de residuos y la optimización de procesos manufactureros. Nikolakis et al. (2024), por su parte, incorporan métricas de proceso para evaluar estrategias de economía circular. Los indicadores utilizados en este estudio establecen una línea base que permitirá contrastar, mediante mediciones posteriores, los cambios asociados con las acciones que se implementen.

Las metas definidas corresponden a valores objetivo y no a resultados posteriores a la intervención. Su cumplimiento deberá verificarse mediante mediciones realizadas bajo condiciones comparables.

CONCLUSIONES

La evaluación mediante indicadores identificó brechas asociadas con la generación y recuperación de residuos. La generación específica de 1,2 kg/1.000 unidades, la tasa de reciclaje del 60 % y el 40 % de materiales reciclables no recuperados constituyen la línea base para el seguimiento de las acciones de mejora.

El análisis multicriterio ubicó en primer lugar la reducción del desperdicio y el aprovechamiento eficiente de los recursos, seguida de la mejora de la separación y el reciclaje interno. Las razones de consistencia superiores a 0,10 limitan el alcance de esta priorización, por lo que el orden obtenido debe interpretarse como apoyo complementario al diagnóstico.

La aplicación posterior del sistema de indicadores permitirá verificar la evolución de la gestión bajo condiciones comparables. Una nueva valoración de las comparaciones por pares será necesaria para mejorar la consistencia del análisis multicriterio y fortalecer su utilidad en futuras decisiones.

REFERENCIAS

Battiston, E., Ren, J., & Mazzi, A. (2025). Sustainable circularity performance indicators to optimize waste management at company level. *Sustainable Futures, 10*, 100897. https://doi.org/10.1016/j.sftr.2025.100897

Fernández Ocamica, V., Zambrana-Vasquez, D., & Díaz Murillo, J. C. (2025). Optimizing circular economy choices: The role of the Analytic Hierarchy Process. *Sustainability, 17*(15), 6759. https://doi.org/10.3390/su17156759

Glišić, M., Veluri, B., & Ramanujan, D. (2024). A bottom-up methodology for identifying key performance indicators for sustainability monitoring of unit manufacturing processes. *Sustainability, 16*(2), 806. https://doi.org/10.3390/su16020806

Nikolakis, N., Catti, P., Chaloulos, A., van de Kamp, W., Puerto Coy, M., & Alexopoulos, K. (2024). A methodology to assess circular economy strategies for sustainable manufacturing using process eco-efficiency. *Journal of Cleaner Production, 445*, 141289. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141289

Riera, M. A., Maldonado, S., & Palma, R. (2023). Multicriteria analysis and GIS applied to the selection of agroindustrial waste: A case study contextualized to the Ecuadorian reality. *Journal of Cleaner Production, 429*, 139505. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139505

Saaty, T. L. (1986). Axiomatic foundation of the Analytic Hierarchy Process. *Management Science, 32*(7), 841–855. https://doi.org/10.1287/mnsc.32.7.841

Yang, C. K., Ma, H. W., Liu, K. H., & Yuan, M. H. (2023). Measuring circular economy transition potential for industrial wastes. *Sustainable Production and Consumption, 40*, 376–388. https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.06.013