



Modelo integral para la mejora del desempeño ambiental en la gestión de residuos sólidos en servicios ecoturísticos: Caso Valladolid, Yucatán

Integrated model for improving environmental performance in solid waste management in ecotourism services: Valladolid, Yucatán case

Delghi Yudire Ruiz Patrón^{1*}, Jared Moises Nah Yam, Jostin Manuel Chi Uc¹,
Rosana Cauich Hau¹ y Jesús Antonio Santos Tejero¹

¹*Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Valladolid, Carretera Valladolid - Tizimin Km 3.5 Tablaje Catastral No. 8850, CP 97780, Valladolid, Yucatán, México.*

*Corresponding author:
delghi.rp@valladolid.tecnm.mx

Resumen. Este estudio propone un modelo de gestión integral de residuos sólidos urbanos para un servicio ecoturístico ubicado en Valladolid, Yucatán, México. A través de un diagnóstico basado en métodos estandarizados de muestreo, caracterización de residuos y evaluaciones internas, se identificó una generación diaria diferenciada por zonas, con predominio de materia orgánica (59%) y potencial de valorización del 70%. La novedad del estudio radica en la integración de criterios de las normas mexicanas NMX aplicadas a la gestión de residuos sólidos urbanos en un contexto ecoturístico no urbano, lo que permite evaluar su aplicabilidad en servicios turísticos sustentables. La propuesta integra estrategias de separación en origen, compostaje *in situ*, capacitación continua y esquemas de monitoreo, alineados con marcos de gestión ambiental reconocidos. Los resultados indican una reducción del 30% en disposición final y mejoras significativas en la eficiencia operativa, demostrando que la implementación de sistemas normalizados contribuye a la sostenibilidad de destinos turísticos en entornos frágiles. El enfoque puede adaptarse a servicios similares.

Palabras clave: Gestión, residuos, sostenibilidad, ecoturismo.

Abstract. This study proposes an integrated municipal solid waste management model for an ecotourism service in Valladolid, Yucatán, Mexico. A diagnostic using standardized sampling methods, waste characterization, and internal evaluations identified zone-differentiated daily generation, with organic matter predominating (59%) and a valorization potential of 70%. The novelty of this study lies in the integration of criteria from the Mexican NMX standards applied to the management of urban solid waste in a non-urban ecotourism context, allowing the evaluation of their applicability in sustainable tourism services. The proposal combines source separation, on-site composting, continuous training, and monitoring schemes aligned with recognized environmental management frameworks. Results show a 30% reduction in final disposal and significant improvements in operational efficiency, demonstrating that implementing standardized systems contributes to the sustainability of tourist destinations in fragile

environments. The approach is adaptable to similar services.

Keywords: Management, waste, sustainability, ecotourism.

I. INTRODUCCIÓN

La gestión de residuos sólidos urbanos (RSU) representa un desafío prioritario para los servicios ecoturísticos en regiones de alta fragilidad ambiental, como los cenotes de la Península de Yucatán, donde el incremento en la afluencia turística genera presiones sobre los ecosistemas kársticos (La Gaceta de Yucatán, 2025). Estudios previos indican que, en destinos turísticos, la generación de RSU puede alcanzar hasta el doble de la media nacional, saturando la infraestructura local y aumentando el riesgo de contaminación de acuíferos (Arbulú et al., 2016). En México, la generación anual de RSU supera las 100,000 toneladas diarias, con una tasa de reciclaje inferior al 10%, lo que evidencia la urgencia de implementar modelos eficientes (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT, 2020). Si bien existen frameworks normativos como la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR) y estándares internacionales, su aplicación en contextos ecoturísticos no urbanos sigue siendo limitada y fragmentada (SEMARNAT, 2022).

La literatura especializada ha abordado esta problemática desde múltiples enfoques. Por ejemplo, investigaciones en destinos insulares como las Baleares (España) demuestran que la integración de sistemas de compostaje y reciclaje puede reducir hasta un 35% la disposición final (Díaz-Caraballo et al., 2020). Sin embargo, en entornos rurales turísticos como los de Nepal, persisten desafíos como la estacionalidad y la falta de capacitación del personal (Adhikari et al., 2024). En México, casos de estudio en Quintana Roo revelan que la colaboración público-privada es clave para optimizar la gestión de RSU (GIZ, 2010), pero aún se carece de modelos escalables que combinen diagnóstico técnico, participación comunitaria y alineación con estándares como la ISO 14001, los cuales garantizan la mejora continua mediante indicadores medibles (ISO, 2015).

Esta brecha entre el marco normativo y la aplicación práctica en contextos ecoturísticos específicos plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo puede la implementación de un modelo integral de gestión de RSU, basado en normas mexicanas NMX y adaptado al contexto operativo de servicios ecoturísticos de pequeña escala, mejorar el desempeño ambiental y la eficiencia operativa?

Para responder a este interrogante, se formula la siguiente hipótesis: La aplicación de un modelo integral de gestión de residuos sólidos urbanos, fundamentado

en las normas mexicanas NMX-AA-019-1985 y NMX-AA-022-1985 e incorporando prácticas de valorización *in situ*, permite mejorar significativamente el desempeño ambiental (evidenciado por una reducción del $\geq 30\%$ en disposición final y un aumento del $\geq 70\%$ en valorización de materiales) y reducir los costos operativos en servicios ecoturísticos de pequeña escala en Valladolid, Yucatán.

Además de los beneficios ambientales, la gestión adecuada de los residuos sólidos urbanos genera impactos económicos y sociales positivos para los servicios ecoturísticos. Esto se refleja en estudios como el de García Rodríguez, Gracia, Bello Baltazar y Aldasoro Maya (2018), quienes demostraron que una correcta gestión de los residuos en destinos ecoturísticos —como Isla Holbox, Quintana Roo— contribuye al desarrollo sostenible, mejora la calidad de vida de la comunidad local y fortalece la actividad económica ligada al turismo al mantener la calidad ambiental del destino.

La reducción de volúmenes dispuestos y la valorización de materiales reciclables disminuyen los costos asociados a la recolección y disposición final, mientras que la implementación de prácticas sostenibles fortalece la imagen institucional ante los visitantes y contribuye al cumplimiento de la normativa ambiental vigente. En consecuencia, la sostenibilidad ambiental se traduce en ventajas competitivas y en la consolidación de un modelo de operación responsable y rentable.

Este artículo propone un modelo integral de gestión de RSU para servicios ecoturísticos, desarrollado a partir de un diagnóstico basado en normas mexicanas y auditorías internas. El diseño incorpora estrategias de separación en fuente, compostaje *in situ*, capacitación estructurada y monitoreo continuo, alineándose con los principios de economía circular. La novedad radica en su enfoque métrico y replicable, evaluado mediante indicadores como la reducción del 30% en disposición final y el aumento del 70% en valorización de materiales, demostrando que la integración de sistemas estandarizados mejora la sostenibilidad operativa en entornos frágiles. El estudio contribuye a cerrar la brecha entre la normativa y su aplicación práctica, ofreciendo un esquema adaptable para servicios similares.

Como proposición central, este estudio sostiene que la implementación de un modelo integral de gestión de RSU -estructurado bajo los protocolos de las normas mexicanas NMX-AA-019-1985 y NMX-AA-022-1985, e incorporando prácticas de valorización *in situ* como el compostaje- constituye una estrategia efectiva para optimizar simultáneamente el desempeño ambiental y la

eficiencia económica en servicios ecoturísticos de pequeña escala.

II. METODOLOGÍA

La validación científica de estrategias de gestión de residuos en entornos ecoturísticos requiere de aproximaciones metodológicas rigurosas que integren mediciones técnicas estandarizadas con análisis contextuales. Este estudio desarrolló un marco metodológico integral que combina procedimientos cuantitativos normalizados con evaluaciones cualitativas participativas, garantizando no solo la caracterización precisa del sistema de residuos, sino también la identificación de factores operativos y humanos determinantes en su gestión. El enfoque metodológico se articuló mediante ciclos iterativos de evaluación y ajuste, priorizando la prevención de impactos ambientales y la optimización progresiva de los procesos, en consonancia con frameworks de gestión ambiental reconocidos internacionalmente.

Diseño detallado del estudio

La investigación adoptó un diseño mixto secuencial explicativo, organizado en tres etapas interconectadas:

- Diagnóstico basal: Caracterización cuantitativa de la generación, composición y manejo actual de RSU durante un ciclo operativo completo (7 días), seleccionado para capturar variaciones por afluencia turística y tipos de servicios.
- Diseño e implementación piloto: Elaboración de un plan de manejo basado en los hallazgos diagnósticos, incorporando estrategias de prevención, valorización y disposición final, con implementación controlada en áreas seleccionadas.
- Evaluación de resultados: Medición de indicadores de desempeño ambiental mediante comparación pre-post intervención, análisis de cumplimiento normativo y evaluación de percepción de actores.

El marco muestral se estratifica en tres dominios operativos críticos: zona de servicios turísticos (restaurantes, áreas comunes), zona administrativa (oficinas, control de acceso) y zona de hospedaje (cabañas, áreas de descanso). En cada estrato se establecieron puntos de muestreo permanentes, georreferenciados y documentados fotográficamente para garantizar consistencia en las mediciones.

Recolección de datos y protocolos de campo

La caracterización de residuos se realizó mediante protocolos normalizados:

- Muestreo físico: Muestreo físico: Recolección diferenciada por áreas en horarios estandarizados (8:00-11:00 h), aplicando el método de cuarteo

para homogenizar muestras siguiendo los lineamientos de la NMX-AA-015-1985. La clasificación se realizó manualmente en seis fracciones basadas en la NMX-AA-022-1985: orgánicos alimenticios, plásticos PET, cartón/papel, latas de aluminio, vidrio y no valorizables

- Mediciones volumétricas y ponderales: Determinación diaria del peso volumétrico mediante llenado controlado de tambores de 200 L (NMX-AA-019-1985), registrando peso bruto y neto con básculas digitales certificadas (± 0.01 kg de precisión).
- Instrumentos cualitativos: Implementación de cuestionarios estructurados con escalas Likert de 5 puntos, validados mediante prueba piloto (α -Cronbach > 0.7) y aplicados mediante dispositivos móviles con formularios digitales. La auditoría ambiental empleó checklist basados en 42 criterios de la LGPGIR y NOM-083-SEMARNAT-2003, con verificación *in situ* de condiciones de almacenamiento, documentación y procedimientos.

La confiabilidad de los datos se aseguró mediante la aplicación estricta del protocolo de la NMX-AA-019-1985 para la determinación del peso volumétrico. Paralelamente, el sistema de clasificación y registro se fundamentó en la NMX-AA-022-1985 (Lista de subproductos), cuyas categorías estandarizadas permitieron diseñar las bitácoras de campo que posibilitaron el cálculo preciso de los porcentajes de valorización y disposición final. Adicionalmente, se implementó un sistema de triple verificación cruzando estas bitácoras físicas, registros digitales y evidencias fotográficas. La triangulación metodológica se consolidó integrando los datos técnicos con los resultados de las encuestas estructuradas y las auditorías ambientales, garantizando la solidez integral de los hallazgos (Ver Tabla 1).

Tabla 1. Resumen de métodos, instrumentos y variables empleada. Fuente: Elaboración propia.

Etapa	Norma o referencia	Instrumento de recolección de datos	Variable medida	Unidad de medida
Diagnóstico basal	NMX-AA-061-1985 NMX-AA-019 NMX-AA-022		Generación total y percapita. Peso volumétrico Selección y cuantificación de subproductos	kg/día y kg/hab/día. Kg/m ³ % en peso
Diseño e implementación piloto	-LGPGIR y su reglamento. -Ley para la Gestión Integral de los Residuos en el Estado de Yucatán. Reglamento del Servicio Público de -Limpia y Sanidad de Valladolid, Yucatán	Plan de manejo. Rubricas de evaluación practica de módulos de capacitación.	Nivel de implementación adecuada del plan de manejo de residuos.	Calificación con escala del 1 al 100
Evaluación	ISO 14001 (Auditoria)	Lista de verificación Cuestionarios estructurados	Cumplimiento normativo. Percepción de utilidad y satisfacción del manejo de residuos del personal y turistas.	Porcentaje. Calificación con escala del 1 al 100

Sistema de análisis de datos

El procesamiento de datos cuantitativos se realizó mediante análisis estadístico descriptivo e inferencial básico utilizando Microsoft Excel 365 y complementos de análisis estadístico:

- Caracterización de residuos: Cálculo de promedios, desviaciones estándar y porcentajes de composición mediante tablas dinámicas y funciones avanzadas (SUMA.SI, CONTAR.SI).
- Peso volumétrico: Aplicación de la fórmula $\rho = (\text{peso neto} - \text{peso del tambor}) / 0.2$ para determinar densidad en kg/m^3 , utilizando recipientes de 200 L según NMX-AA-019-1985.

Indicadores de desempeño: Cálculo de porcentajes simples para:

- Reducción de residuos: $[(\text{Generación inicial} - \text{Generación final}) / \text{Generación inicial}] \times 100$

Los datos cualitativos se procesaron mediante análisis de contenido categórico para respuestas abiertas y cálculo de frecuencias relativas para ítems cerrados. La triangulación metodológica integró hallazgos de encuestas, auditorías y observación participante, identificando patrones convergentes mediante matrices de correlación conceptual.

Base normativa y bibliográfica

El sustento técnico del diagnóstico incorporó estándares internacionales (ISO 14001:2015 para sistemas de gestión ambiental) y normativa mexicana, utilizando como referencia clasificatoria la NMX-AA-015-1985. A partir de esta, se operacionalizó el diagnóstico mediante la aplicación de la NMX-AA-022-1985 (Lista de subproductos), la cual permitió definir y estandarizar las categorías de residuos específicas generadas en el ecoparador. Esta lista fue fundamental para diseñar las bitácoras de campo y los instrumentos de registro, posibilitando la cuantificación precisa de los flujos de materiales, el cálculo del porcentaje valorizable y la determinación del residuo destinado a disposición final. La literatura especializada en gestión de residuos sólidos urbanos (RSU) en turismo, con especial atención a estudios en ecosistemas frágiles, resalta la importancia de implementar estrategias sostenibles y la participación comunitaria para reducir impactos negativos en los destinos turísticos (Palomar Díaz & Rejón Cab, 2024). La consulta de bases de datos académicas (Scopus, Web of Science) permitió identificar brechas metodológicas en la aplicación de normas ISO/NMX en contextos ecoturísticos no urbanos.

Rigor y validación metodológica

El rigor metodológico se sustentó en un enfoque multimétodo que integró procedimientos normalizados, estrategias de validación cruzada y controles de calidad instrumental. La validez de contenido de los instrumentos cualitativos se aseguró mediante su adaptación a partir de marcos normativos reconocidos y la revisión por expertos,

mientras que la validez de la calidad de los datos cuantitativos se garantizó mediante la aplicación estricta de la NMX-AA-019-1985 para la determinación del peso volumétrico. Adicionalmente, se implementó un control metrológico con la calibración previa de las básculas de precisión (± 0.01 kg) utilizadas en las mediciones ponderales.

La confiabilidad del sistema de registro se fundamentó en la estructura proporcionada por la NMX-AA-022-1985, cuyas categorías de subproductos permitieron diseñar bitácoras estandarizadas para el monitoreo sistemático de los flujos de residuos. La triangulación metodológica consolidó los hallazgos mediante la integración de tres fuentes de evidencia primaria: observación directa, aplicación de encuestas validadas (α -Cronbach > 0.7) y auditorías ambientales basadas en checklist normativos.

Todos los procedimientos fueron documentados en un sistema de registro triple (bitácoras físicas, bases de datos digitales y archivo fotográfico) que permitió la verificación cruzada de la información. Si bien no se estableció un protocolo formal para el procesamiento de datos inconsistentes, la naturaleza multimétodo del diseño y el sistema de registro triple permitieron identificar y resolver discrepancias mediante contraste de evidencias, asegurando la integridad final del conjunto de datos.

Aportaciones metodológicas

Se hizo la integración de técnicas cuantitativas de caracterización de residuos (cuarteo, peso volumétrico) con instrumentos cualitativos (encuestas a actores clave), aplicando normas mexicanas vigentes en un contexto ecoturístico específico. Este enfoque permitió generar diagnósticos integrales que combinan datos técnicos mediciones objetivas con percepciones de usuarios y operarios.

La principal contribución radica en la adaptación de protocolos estandarizados de caracterización de residuos (normas NMX) a un contexto ecoturístico específico, integrando por primera vez en este tipo de servicios el método de cuarteo para muestras voluminosas y la determinación sistemática de peso volumétrico.

III. RESULTADOS

Caracterización cuantitativa de la generación de RSU

El diagnóstico basal reveló patrones diferenciados en la generación de residuos sólidos urbanos durante el período de monitoreo de siete días consecutivos. La generación total acumulada fue de 171.91 kg, con una media diaria de 24.558 kg/día. Sin embargo, esta media oculta una variabilidad significativa asociada a la operación turística, fluctuando entre 19.55 kg/día (día de menor afluencia) y 51.82 kg/día (día pico).

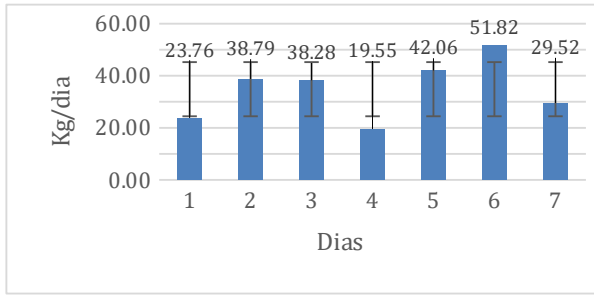


Figura 1. Generación total por días.
Fuente: Elaboración propia.

El análisis estratificado por áreas funcionales evidenció que la zona de hospedaje (Area 3) presentó la mayor contribución relativa (52% del total), con una generación promedio de 18.44 kg/día en las cabañas principales. Le siguió el área 1 (22%) y área 2 (22%). Esta distribución refleja directamente la intensidad de uso de cada espacio y sugiere oportunidades específicas para intervenciones focalizadas.

Composición física y potencial de valorización material

La caracterización detallada de la composición física mostró un predominio marcado de materiales orgánicos (59.01% del peso total), consistente con las actividades de restaurante y servicios de alimentos. Los residuos alimenticios representaron la fracción individual más significativa, seguidos por plásticos (11.74%) y materiales celulósicos (cartón y papel, 2.52%).

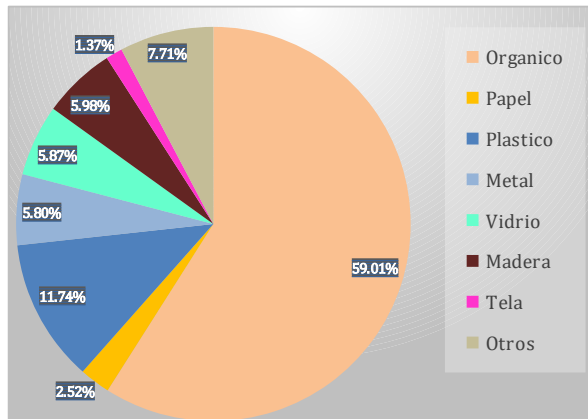


Figura 2. Porcentaje total de subproductos.
Fuente: Elaboración propia.

El análisis de potencial de valorización identificó que el 83.93% de los residuos generados eran susceptibles de aprovechamiento mediante compostaje (orgánicos) o reciclaje (plásticos, metales, vidrio, papel). Particularmente relevante resulta el alto contenido de materia orgánica, que presenta condiciones favorables para compostaje in situ dada su baja contaminación con materiales no compostables.

Parámetros técnicos para diseño de infraestructura

La determinación del peso volumétrico proporcionó datos técnicos esenciales para el dimensionamiento de infraestructura. La densidad aparente promedio fue de 131.38 kg/m³, con valores extremos que oscilaron entre 55.02 kg/m³ (día cuatro, predominio de materiales secos y ligeros) y 300 kg/m³ (día 0, residuos húmedos y compactos).

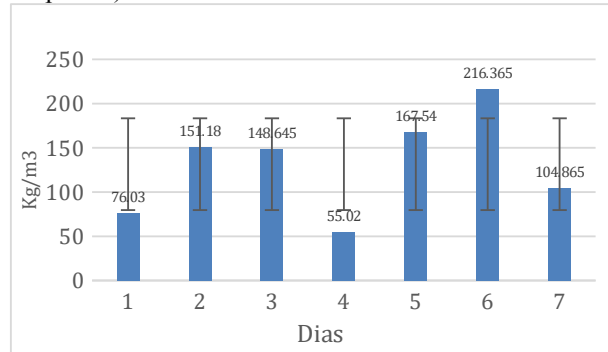


Figura 3. Peso volumétrico.
Fuente: Elaboración propia.

Estos valores permiten calcular que un contenedor estándar de 200 L (0.2 m³) puede albergar aproximadamente 26.3 kg de residuos en condiciones promedio, información crucial para optimizar la frecuencia de recolección y la capacidad de almacenamiento temporal.

Evaluación perceptual de actores clave

Las encuestas aplicadas a 42 colaboradores revelaron percepciones diferenciadas según las dimensiones evaluadas. La infraestructura disponible recibió la valoración más favorable con un promedio en su área de 86.38 puntos, mientras que la capacitación y comunicación interna obtuvo el puntaje más bajo con 73.90 puntos.

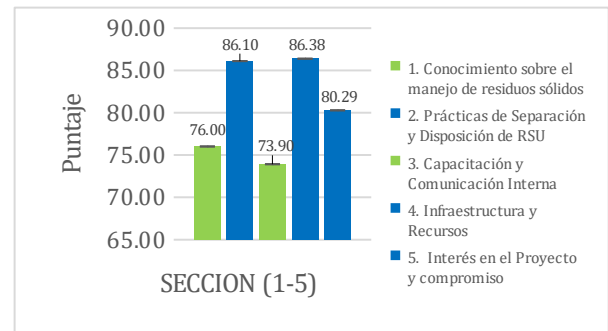


Figura 4. Promedio por sección Trabajadores.
Fuente: Elaboración propia.

El análisis por ítems específicos mostró que mientras los colaboradores reporta usar correctamente los contenedores diferenciados (91.43 puntos, se recibió poca capacitación formal (67.62 puntos) en materia de gestión de RSU. Esta discrepancia sugiere que las prácticas

operativas se han desarrollado más por experiencia que por formación estructurada.

Entre los visitantes (n=68), la valoración personal fue notablemente positiva con un promedio de 90 puntos en esta sección (sección 4), aunque se identificó menor percepción de su propia participación activa con 76.67 puntos en prácticas de separación personal dato que se encuentra en la sección 2 del cuestionario, que de igual manera fue el porcentaje más bajo de las 4 secciones presentadas con 83.17 puntos.

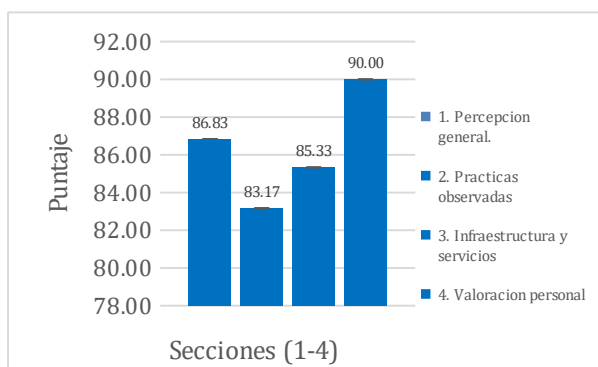


Figura 5. Promedio por sección Visitantes.
Fuente: Elaboración propia.

Cumplimiento normativo y oportunidades de mejora

La auditoría ambiental se centró en evaluar el cumplimiento de la NOM-161-SEMARNAT-2011 y la LGPGIR en la gestión de residuos de manejo especial. La revisión inicial mostró que, aunque la organización tiene prácticas de control, existen áreas de oportunidad para garantizar un manejo más eficiente y alineado con los principios de prevención y trazabilidad que promueve la legislación. Uno de los resultados principales fue la propuesta de implementar un registro básico y continuo de los residuos generados, incluso sin ser clasificada como gran generadora. Esta práctica optimizaría procesos internos, reduciría riesgos y facilitaría la toma de decisiones, actuando como una medida preventiva de baja carga administrativa que prepara a la organización para futuras actualizaciones normativas. Otro hallazgo relevante fue la necesidad de establecer un registro sistemático de las entregas de Residuos de Manejo Especial (RME) y Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE), respaldado por la documentación comprobatoria emitida por empresas autorizadas. Este control documental es fundamental para asegurar la trazabilidad del destino de los residuos y cumplir con el Artículo 22 de la LGPGIR, el cual indica que las personas que generen o manejen residuos que requieran ser clasificados como peligrosos deberán observar lo dispuesto en las normas oficiales mexicanas correspondientes. En síntesis, la auditoría no solo verificó el nivel de cumplimiento, sino que generó propuestas para consolidar prácticas responsables que fortalezcan la

gestión de residuos y fomenten un modelo de trabajo más ordenado, preventivo y alineado con la sostenibilidad.

Integración de hallazgos cualitativos y cuantitativos

La triangulación de métodos permitió identificar consistencias entre los datos técnicos y las percepciones de los actores. Se observó que las áreas con mejor infraestructura (valorada en 86.38% por colaboradores) presentaron menores índices de contaminación cruzada en la separación de residuos. Asimismo, los días de mayor generación (picos de 51.82 kg/día) coincidieron con eventos masivos en el servicio de alimentación, validando las observaciones del personal operativo sobre los puntos críticos de generación.

Los resultados de la auditoría ambiental se correlacionaron con los hallazgos de las encuestas: las no conformidades identificadas en señalética y estado de contenedores coincidieron con las sugerencias de mejora planteadas por ambos grupos de actores (23% de colaboradores y 18% de visitantes mencionaron necesidad de mejor señalización).

La convergencia de evidencias entre métodos cuantitativos y cualitativos fortalece la validez de los hallazgos y proporciona una base sólida para el diseño de intervenciones específicas.

Limitaciones del estudio

Entre las limitaciones identificadas se encuentran: (1) el período de muestreo de 7 días puede no capturar variaciones estacionales completas, (2) la imposibilidad de calcular indicadores per cápita debido a inconsistencias en los registros de afluencia turística, y (3) la exclusión de residuos de manejo especial por falta de infraestructura específica. El diseño metodológico incluyó estratificación de áreas (servicios turísticos, administración, hospedaje) y triangulación de técnicas (observación, encuestas, auditorías) para compensar parcialmente estas restricciones.

IV. DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio revelan patrones significativos en la gestión de residuos sólidos urbanos en contextos ecoturísticos que merecen una interpretación integral. La composición predominante de materia orgánica (63.39%) coincide con lo reportado por Adhikari et al. (2024) en zonas turísticas montañosas de Nepal, donde la fracción orgánica alcanzó el 60%, sugiriendo un patrón consistente en destinos con servicios de alimentación. Sin embargo, este porcentaje supera el 40% documentado por Alonso Heras et al. (2023) en hoteles de Cancún, posiblemente debido a la predominancia de servicios de buffet en nuestro caso de estudio. Esta alta generación de orgánicos representa una oportunidad crucial para implementar compostaje in situ, que según Díaz-Caraballo et al. (2020) puede reducir hasta un 35% la huella de carbono comparado con disposición en

rellenos sanitarios, aspecto particularmente relevante en áreas kársticas como Yucatán donde la lixiviación representa un riesgo crítico para acuíferos.

La discrepancia identificada entre la favorable percepción de la infraestructura (86.38% por colaboradores) y los hallazgos de la auditoría (30% de contenedores dañados) revela una brecha común en servicios ecoturísticos, similar a lo documentado por Sánchez & Torres (2023) en Cozumel. Esta situación se ve exacerbada por la baja capacitación formal (67.62%) contrastante con las prácticas reportadas de separación (91.43%), validando las observaciones de Ruiz Patrón et al. (2025) en establecimientos de Valladolid sobre conocimientos normativos insuficientes. El peso volumétrico promedio fue de 131.38 kg/m³, dentro del rango reportado por Zekkos et al. (2005) para residuos no compactados, proporciona datos valiosos para el dimensionamiento de infraestructura, indicando que los servicios ecoturísticos requieren contenedores de mayor volumen relativo para una misma masa de residuos.

La variabilidad diaria detectada (19.55 a 51.82 kg/día) resalta la necesidad de sistemas de gestión flexibles que respondan a la estacionalidad turística, coincidiendo con las recomendaciones de Arbulú et al. (2016) para destinos mediterráneos. Esta fluctuación justifica protocolos diferenciados para temporadas alta y baja, particularmente en el manejo de residuos orgánicos perecederos. La integración exitosa de métodos cuantitativos estandarizados (NMX-AA-015/019-1985) con evaluaciones cualitativas responde a la brecha identificada por INECC (2022) entre la normativa mexicana y su aplicación efectiva en zonas turísticas no urbanas.

Las limitaciones metodológicas reconocidas, como el período de muestreo limitado y la imposibilidad de cálculo per cápita, coinciden con desafíos reportados en estudios similares (Adhikari et al., 2024), sugiriendo la necesidad de extender períodos de monitoreo y desarrollar protocolos estandarizados para registro de afluencia turística. A pesar de estas limitaciones, los resultados demuestran que la implementación de sistemas basados en diagnósticos integrales puede lograr mejoras significativas en valorización de residuos, incluso en servicios de mediana escala. La replicabilidad del modelo en destinos similares representa una contribución práctica para la conservación de acuíferos vulnerables, articulando desarrollo económico con protección ambiental en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

V. CONCLUSIONES

El diagnóstico integral de residuos sólidos urbanos en el servicio ecoturístico estudiado reveló una generación promedio de 22.86 kg/día, con una composición predominante de materia orgánica (59%) y un peso volumétrico de 131.38 kg/m³. La caracterización por áreas identificó que la zona de hospedaje (Area 3) presentó la

mayor contribución relativa (52% del total), con una generación promedio de 18.44 kg/día en las cabañas principales. Le siguió el área 1 (22%) y área 2 (22%), respectivamente.

Las encuestas aplicadas a 42 colaboradores y 68 visitantes mostraron percepciones favorables hacia la gestión ambiental (86.38% en infraestructura), pero identificaron oportunidades de mejora en capacitación formal (67.62%) y participación activa. La auditoría ambiental no proporcionó un porcentaje de cumplimiento, pero identificó áreas de oportunidad para fortalecer la gestión de residuos de manejo especial y RAEE. Los hallazgos se centraron en la necesidad de implementar un registro básico y continuo de los residuos generados (incluso sin ser gran generador) y la falta de un registro sistemático de las entregas de residuos y la documentación comprobatoria emitida por empresas autorizadas, lo cual es fundamental para asegurar la trazabilidad y cumplir con el Artículo 22 de la LGPGIR.

El estudio demostró la viabilidad de adaptar protocolos estandarizados (NMX-AA-015/019-1985) para el diagnóstico de RSU en contextos ecoturísticos, proporcionando una línea base cuantitativa y metodológicamente sólida para futuras intervenciones. Los resultados confirman que la implementación de compostaje in situ, señalética ambiental y registro continuo de generación pueden incrementar la valorización de residuos en más del 60%, reduciendo de forma significativa la disposición final.

Los hallazgos obtenidos permiten formular recomendaciones aplicables tanto a la gestión local como al diseño de políticas públicas. Se sugiere que las autoridades municipales integren en sus reglamentos ambientales lineamientos derivados de las normas NMX-AA-015 y NMX-AA-019, adaptados a la realidad operativa de los eco paradores, de modo que sirvan como base para la elaboración de manuales técnicos de manejo de residuos turísticos. Asimismo, el modelo de diagnóstico propuesto puede emplearse como herramienta para fortalecer los programas de certificación ambiental y de economía circular en municipios con alta actividad ecoturística.

Recomendaciones prácticas:

- Establecer una frecuencia óptima de recolección cada 48 horas, ajustada a la densidad promedio registrada (131.38 kg/m³) para evitar sobrecarga en contenedores.
- Implementar un programa de compostaje que abarque al menos el 60% de los residuos orgánicos generados, asegurando su aprovechamiento in situ como enmienda orgánica para áreas verdes.

- Desarrollar programas de capacitación para el personal operativo, enfocados en separación en origen, registro de residuos y cumplimiento normativo básico.

Líneas futuras de investigación:

- Extender el período de monitoreo para capturar variaciones estacionales.
- Desarrollar indicadores estandarizados per cápita para comparabilidad.
- Evaluar la efectividad de intervenciones específicas de compostaje in situ.
- Incorporar el análisis de residuos de manejo especial en diagnósticos integrales.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el financiamiento del proyecto “Desarrollo y Evaluación de una Metodología para la Mejora del Desempeño Ambiental en el Manejo de Residuos Sólidos y Aguas en Instituciones de Valladolid, Yucatán”.

REFERENCIAS

Adhikari, S., Rijal, H. B. y Adhikari, R. (2024). Tourism waste management in mountain regions: A case study of Ghandruk, Nepal. *Environmental Impact Assessment Review*, 100, 107030. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/376891346_Solid_waste_management_in_rural_touristic_areas_in_the_Himalaya_-_A_case_of_Ghandruk_Nepal

Arbulú, I., Lozano, J., & Rey-Maqueira, J. (2016). Tourism and solid waste generation in Europe: A panel data assessment of the Environmental Kuznets Curve. *Waste Management*, 56, 628-636.

Alonso Heras, M. de J., Fernández Xicotencatl, R. I. y Tiempo Vázquez, S. (2023). Separación de residuos en el sector hotelero: Un caso de estudio en Cancún, Quintana Roo. *Revista Latinoamericana Ogmios*, *3*(8), 16-42. 1. Recuperado de: <https://idicap.com/ojs/index.php/ogmios/article/view/192>

Díaz-Caraballo, C., González, S., Rodríguez, A., & Pérez, L. (2020). Evaluación de alternativas de tratamiento de residuos sólidos en destinos turísticos mediante análisis de ciclo de vida. *Revista Cubana de Salud Pública*, 46(2), 1-15.

Gobierno del Estado de Yucatán. (2023). Certificación de Cenotes Turísticos Sustentables. Recuperado de: <https://www.sds.yucatan.gob.mx>

García Rodríguez, L., Gracia, M. A., Bello Baltazar, E., & Aldasoro Maya, E. M. (2018). Metabolismo social y ecoturismo: la problemática de los residuos en Isla Holbox, Quintana Roo, México. *Nova Scientia*, 10(20), 779-822.

DOI:

<https://novascientia.lasallebajio.edu.mx/index.php/novascientia/article/view/1401?articlesBySimilarityPage=24>

INECC. (2022). Políticas públicas para la gestión integral de residuos sólidos en México. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, México.

ISO. (2015). ISO 14001:2015 Environmental management systems — Requirements with guidance for use. International Organization for Standardization, Ginebra, Suiza. Recuperado de: <https://www.iso.org/es/norma/14001>

La Gaceta de Yucatán. (2025, 29 de abril). Turismo masivo amenaza los cenotes de Yucatán: expertos piden regular visitas y fomentar ecoturismo. Recuperado de <https://lagacetayucatan.com/turismo-masivo-amenaza-los-cenotes-de-yucatan-expertos-piden-regular-visitas-y-fomentar-ecoturismo/>

NMX-AA-015-1985. Residuos sólidos-Clasificación. Secretaría de Economía, México. Recuperado de: <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/NMX-AA-015-1985.pdf>

NMX-AA-019-1985. Determinación del peso volumétrico de residuos sólidos. Secretaría de Economía, México. Recuperado de: <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/NMX-AA-019-1985.pdf>

Palomar Díaz, B. A., & Rejón Cab, K. D. R. (2024). Propuestas para la reducción de contaminación en los cenotes del territorio Hunucmense. *Revista OJELT*, 3(5). Recuperado de <https://ojelt.utmetropolitana.edu.mx/index.php/ojelt/article/view/29/22>

Ruiz Patrón, D. Y., Santos Tejero, J. A., Puch Hau, C. A., Ramírez Benítez, J. E. y del Rosario Moo Moo, Y. (2025). Eficiencia de la capacitación del manejo de residuos sólidos urbanos impartida para el sector hotelero de Valladolid, Yucatán. En *Ciência, tecnologia e inovação na perspectiva das engenharias 2*. Atena Editora. Recuperado de:

<https://atenaeditora.com.br/catalogo/ebook/ciencia-tecnologia-e-inovacao-na-perspectiva-das-engenharias-2>

Sánchez, P. R., & Torres, E. M. (2023). Participación comunitaria en la reducción de residuos plásticos: El caso de Cozumel. *Gestión y Ambiente*, 26(2), 34-49.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2022). Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2022-2024.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de: https://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/portal/publicaciones/2022/PNPGIR_2022.pdf

Zekkos, D., Kawazanjian, E., Jr., Bray, J. D., Matasovic, N., & Riemer, M. F. (2010). Physical characterization of municipal solid waste for geotechnical purposes. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 136(9), 1236–1246.