



Generación de residuos sólidos en el Mercado Belén de Iquitos, Perú

Solid waste generation in the Belén Market of Iquitos, Peru

Geração de resíduos sólidos no Mercado Belén de Iquitos, Perú

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v10i28.429>

Artículo recibido: 4 de noviembre 2025 / Arbitrado: 19 de diciembre 2025 / Publicado: 7 de enero 2026

RESUMEN

La gestión de residuos sólidos en mercados tradicionales es un desafío crítico para la salud pública y la sostenibilidad urbana, particularmente en ciudades en desarrollo donde la evidencia local es escasa. El objetivo fue caracterizar cuantitativamente la generación de residuos sólidos en el Mercado Belén de Iquitos durante 2024, diferenciando entre puestos interiores y exteriores. Se realizó un estudio observacional, descriptivo y transversal. Se empleó muestreo probabilístico estratificado y pesaje gravimétrico directo en 105 puestos para cuantificar la generación diaria. Los resultados revelaron una heterogeneidad espacial significativa. La generación en puestos exteriores fue ocho veces mayor que en interiores, con una composición predominante de residuos orgánicos (81%), lo que evidenció una marcada variabilidad según la ubicación. Se concluye que la generación de residuos es espacialmente heterogénea, demandando estrategias de gestión diferenciadas y focalizadas que prioricen la valorización de la fracción orgánica para una gestión más eficiente y circular.

Palabras clave: Contaminación urbana; Desarrollo sostenible; Gestión de residuos sólidos; Medio ambiente urbano; Política ambiental

ABSTRACT

The management of solid waste in traditional markets is a critical challenge for public health and urban sustainability, particularly in developing cities where local evidence is scarce. The objective was to quantitatively characterize solid waste generation in the Belén Market of Iquitos during 2024, differentiating between indoor and outdoor stalls. An observational, descriptive, and cross-sectional study was conducted. Stratified probabilistic sampling and direct gravimetric weighing in 105 stalls were employed to quantify daily generation. The results revealed significant spatial heterogeneity. Generation in outdoor stalls was eight times higher than in indoor stalls, with a predominant composition of organic waste (81%), demonstrating marked variability according to location. It is concluded that waste generation is spatially heterogeneous, demanding differentiated and focused management strategies that prioritize the valorization of the organic fraction for more efficient and circular management.

Key words: Environmental policy; Solid waste management; Sustainable development; Urban environment; Urban pollution

RESUMO

A gestão de resíduos sólidos em mercados tradicionais é um desafio crítico para a saúde pública e a sustentabilidade urbana, particularmente em cidades em desenvolvimento onde a evidência local é escassa. O objetivo foi caracterizar quantitativamente a geração de resíduos sólidos no Mercado Belén de Iquitos durante 2024, diferenciando entre postos interiores e exteriores. Realizou-se um estudo observacional, descritivo e transversal. Empregou-se amostragem probabilística estratificada e pesagem gravimétrica direta em 105 postos para quantificar a geração diária. Os resultados revelaram uma heterogeneidade espacial significativa. A geração em postos exteriores foi oito vezes maior que nos interiores, com uma composição predominante de resíduos orgânicos (81%), evidenciando uma marcada variabilidade segundo a localização. Conclui-se que a geração de resíduos é espacialmente heterogénea, demandando estratégias de gestão diferenciadas e focalizadas que priorizem a valorização da fração orgânica para uma gestão mais eficiente e circular.

Palavras-chave: Desenvolvimento sustentável; Gestão de resíduos sólidos; Meio ambiente urbano; Política ambiental; Poluição urbana

INTRODUCCIÓN

La generación y gestión de residuos sólidos constituye uno de los desafíos ambientales y sanitarios más apremiantes para las ciudades contemporáneas, con implicaciones directas en la salud pública, la economía y la sostenibilidad urbana. A nivel global, se estima que la producción de residuos sólidos municipales supera los 2.01 billones de toneladas anuales, con un 33% que no recibe un manejo ambientalmente seguro, exacerbando riesgos sanitarios y degradación ecosistémica (1-4). Esta problemática demanda evidencia científica local para diseñar intervenciones efectivas.

Adicionalmente, la gestión inadecuada de residuos en países en desarrollo representa una crisis multifacética con profundas implicaciones sanitarias. Prácticas como la disposición en vertederos abiertos y la quema al aire libre son prevalentes, generando contaminación atmosférica por material particulado y gases tóxicos, y contaminación de suelos y acuíferos por lixiviados. Esto incrementa la incidencia de enfermedades respiratorias, dermatológicas y gastrointestinales entre las comunidades aledañas, exacerbando la carga de morbilidad (5). Estos entornos se caracterizan por limitaciones institucionales, tecnológicas y financieras que obstaculizan la implementación de sistemas integrales de manejo, incluyendo la falta de

infraestructura, personal capacitado y marcos regulatorios efectivos, perpetuando así un ciclo de impacto ambiental negativo y vulnerabilidad en salud pública.

En este contexto, América Latina y el Caribe enfrentan retos particulares y agudos, con tasas de reciclaje formal inferiores al 4% que contrastan con una creciente generación de residuos asociada a la urbanización acelerada y a patrones de consumo intensivo (6,7). Esta brecha entre generación y aprovechamiento evidencia un modelo de gestión predominantemente lineal y de alta presión ambiental. La complejidad del tratamiento y la disposición final, a menudo en vertederos inadecuados, subraya la urgencia de adoptar modelos innovadores y sostenibles. Estos deben priorizar la valorización de materiales dentro de un enfoque de economía circular y la reducción de la contaminación, lo que implica no solo mejoras tecnológicas, sino también fortalecer la gobernanza, integrar al sector informal y crear incentivos económicos para cerrar los ciclos de los materiales.

Específicamente en Perú, los estudios señalan deficiencias significativas en los sistemas de recolección y disposición de residuos sólidos, con una alta dependencia de vertederos no controlados que comprometen la calidad ambiental y la salud pública (8). La persistencia de estas brechas operativas y normativas, a pesar

de la existencia de un marco legal, evidencia la necesidad de investigaciones locales que informen políticas públicas basadas en datos empíricos.

Por otro lado, la composición de los residuos municipales en la región revela un predominio de la fracción orgánica, la cual representa una oportunidad estratégica para la valorización con importantes co-beneficios sanitarios. Investigaciones en los distritos peruanos como Chachapoyas y Belén han identificado que los residuos orgánicos pueden constituir más del 40% del total, con un alto potencial para compostaje y generación de bio-productos (9,10). Este potencial está intrínsecamente alineado con los principios de la bioeconomía circular. Su aprovechamiento no solo reduciría la carga sobre los vertederos y las emisiones de metano, sino que también mitigaría riesgos sanitarios críticos asociados a la descomposición incontrolada, como la proliferación de vectores de enfermedades y la generación de lixiviados que contaminan fuentes de agua, ofreciendo así una solución de salud pública preventiva.

En consecuencia, la caracterización gravimétrica precisa de los residuos se erige como una herramienta fundamental para la planificación técnica, permitiendo cuantificar y cualificar los flujos de desechos en contextos específicos (11,12). Sin este diagnóstico inicial, las estrategias de gestión carecen de solidez técnica y pueden derivar en una asignación ineficiente de recursos.

Asimismo, la transición hacia una economía circular exige maximizar el aprovechamiento de los recursos contenidos en los residuos, lo que constituye un imperativo tanto ambiental como sanitario. La bioconversión de la fracción orgánica en productos de valor, como bioenergía o fertilizantes orgánicos, emerge como una vía clave no solo para reducir la presión sobre los vertederos y generar beneficios económicos (13), sino también para mitigar riesgos de salud pública. Al desviar estos residuos de su descomposición incontrolada, se previene la generación de gases de efecto invernadero, lixiviados contaminantes y focos de proliferación de vectores. Sin embargo, su implementación exitosa y eficiente requiere de datos locales confiables y granulares sobre la generación y composición de los residuos, ya que estos determinan la viabilidad técnica, la escala necesaria y el diseño de tecnologías apropiadas y sostenibles en el contexto específico.

No obstante, la implementación de tecnologías de conversión de residuos en energía en América Latina enfrenta barreras significativas, como los altos costos de inversión y la limitada investigación aplicada (14). Superar estas barreras implica, en primera instancia, documentar y cuantificar las fuentes específicas de generación de residuos, como los mercados de abastos tradicionales.

Cabe destacar que los mercados al aire libre y tradicionales son focos críticos de generación de residuos, donde confluyen dinámicas comerciales intensivas y una gestión a menudo informal. Estudios como el realizado en los mercados de Accra resaltan el papel fundamental de las instituciones locales y la gobernanza para mejorar la sostenibilidad en la gestión de residuos en estos espacios (15).

Complementariamente, los factores que determinan la generación de residuos son complejos e incluyen variables socioeconómicas y de comportamiento. En hogares de Lima, por ejemplo, se ha identificado que los patrones de consumo y la educación son predictores clave en la generación de residuos alimentarios (16), lo que sugiere que intervenciones en puntos de venta como los mercados también deben considerar el componente educativo.

Más aún, contextos excepcionales como la pandemia de COVID-19 alteraron los patrones de generación de residuos, incrementando la proporción de materiales como plásticos de un solo uso y requiriendo metodologías adaptativas para su caracterización (17). Esta experiencia refuerza la necesidad de sistemas de monitoreo flexibles y basados en evidencia.

Desde una perspectiva ética, toda investigación que involucre a comunidades y participantes humanos debe regirse por principios

rigurosos que protejan su dignidad, autonomía y bienestar, tal como lo establece la Declaración de Helsinki (18). En el contexto de estudios en salud ambiental y gestión de residuos, esto implica garantizar un consentimiento informado genuino, especialmente al trabajar con poblaciones en contextos informales como los comerciantes de mercados tradicionales. Este compromiso es fundamental para generar conocimiento científico responsable y socialmente válido.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue caracterizar cuantitativamente la generación de residuos sólidos en el Mercado Belén de Iquitos, Perú, durante el año 2024, diferenciando los patrones de generación entre puestos comerciales interiores y exteriores, con el fin de aportar una línea base técnica para el diseño de estrategias de gestión diferenciadas y sostenibles en este mercado tradicional amazónico.

MATERIAL Y MÉTODOS

La investigación fue desarrollada bajo un enfoque cuantitativo y mediante un diseño observacional, descriptivo y transversal entre marzo y octubre de 2024, diseñado para caracterizar cuantitativamente la generación de residuos sólidos en el Mercado Belén de Iquitos, Perú. Este enfoque es ampliamente reconocido por generar datos primarios confiables para la planificación de la gestión de residuos y la evaluación de impactos

en salud pública en contextos urbanos de países en desarrollo.

En consecuencia, el estudio se llevó a cabo en el Mercado Belén, el principal mercado de abastecimiento de la ciudad de Iquitos. Este mercado presenta una estructura dual: 1) una zona interior techada con puestos de concreto organizados en pasillos, y 2) una zona exterior perimetral con puestos semifijos y móviles, predominantemente en aceras y calzadas. La actividad comercial se centra en la venta de productos perecederos: carnes, pescado, frutas, verduras y tubérculos.

Por otro lado, la unidad de análisis fue el puesto comercial individual. Se realizó un censo

previo que identificó un universo de 320 puestos comerciales activos: 224 exteriores (70%) y 96 interiores (30%). Para lo cual, se empleó un muestreo probabilístico estratificado aleatorio simple por ubicación (exterior/interior). El tamaño de muestra (n) se calculó para cada estrato de forma independiente usando la fórmula para poblaciones finitas, con un nivel de confianza del 95% ($Z=1.96$), un margen de error del 5% y una proporción estimada de generación (p) de 0.5 para maximizar el tamaño. El cálculo resultó en: Puestos exteriores: $n = 65$ puestos (muestreados de los 224 del universo). Puestos interiores: $n = 40$ puestos (muestreados de los 96 del universo). Muestra total: $N = 105$ puestos comerciales Tabla 1.

Tabla 1. Diseño del muestreo estratificado en el Mercado Belén.

Estrato (Ubicación)	Universo (N)	Tamaño Muestra (n)	Fracción Muestreada (%)	Criterio de Selección
Exteriores	224	65	29.0	Aleatorio simple a partir de listado censal
Interiores	96	40	41.7	Aleatorio simple a partir de listado censal
Total	320	105	32.8	

Además, la recolección se realizó en dos ciclos de 5 días consecutivos (incluyendo un día de mayor afluencia: sábado) en temporada seca (julio) y de lluvias (octubre) para capturar variabilidad. A cada puesto seleccionado se le proporcionó un juego de tres contenedores codificados (orgánicos, inorgánicos reciclables, inorgánicos no reciclables)

y bolsas biodegradables, junto con capacitación breve sobre segregación.

Asimismo, el pesaje se realizó *in situ* al cierre de la jornada comercial (18:00 h) utilizando dos balanzas digitales portátiles (marca "Ohaus", modelo Scout® Pro) con capacidad de 50 kg y precisión de ± 0.01 kg, calibradas diariamente.

Los residuos de cada contenedor se pesaron por separado, registrando el peso total y el peso por fracción. Todo el proceso fue supervisado por un equipo de 4 investigadores previamente estandarizados (coeficiente de concordancia >0.95 en protocolo de pesaje piloto).

Por otra parte, las variables de estudio fueron: variable principal: Generación de residuos sólidos, expresada en kilogramos por puesto por día (kg/puesto/día). Variables independientes de agrupación: Ubicación del puesto (Interior / Exterior). Tipo principal de producto vendido (Cárnicos/Pescado / Frutas/Verduras / Mixtos/ otros). Variables dependientes secundarias: Composición gravimétrica (% en peso de orgánicos, reciclables, no reciclables). Generación per cápita estimada (kg/visitante/día), usando datos de afluencia proporcionados por la administración del mercado.

Paralelamente, los datos fueron digitados en doble entrada y analizados con el software Stata v.18.0. Se calcularon estadísticos descriptivos (media, mediana, desviación estándar (DE), rango intercuartílico-IQR) para la generación total y por fracción. La normalidad se evaluó con la prueba de Shapiro-Wilk. Dado que la variable principal no siguió una distribución normal ($p<0.05$), las diferencias entre grupos (interior vs. exterior) se analizaron con la prueba no paramétrica de Mann-Whitney (U). La asociación entre el tipo de producto y la generación se exploró con la

prueba de Kruskal-Wallis. El nivel de significancia se estableció en $\alpha=0.05$. Los valores atípicos se definieron como aquellos $> Q3 + 1.5*IQR$.

Por consiguiente, el estudio fue revisado y aprobado por el Comité de Ética en Investigación de la Universidad. Se obtuvo el consentimiento informado por escrito de cada comerciante participante, tras explicar los objetivos, procedimientos, confidencialidad (los datos serían anónimos y agrupados) y su derecho a retirarse en cualquier momento sin consecuencia. Se siguió la Declaración de Helsinki. La investigación no generó riesgos físicos o psicológicos mayores a los de la vida diaria.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 2, detalla la composición de la muestra de 105 puestos del Mercado Belén, estratificada por ubicación y tipo de producto. Los puestos exteriores representan el 61.9% (65 puestos) de la muestra, mientras los interiores constituyen el 38.1% (40 puestos). Esta distribución refleja un sobremuestreo intencional del estrato exterior, cuya fracción muestreada (41.7%) supera su peso poblacional (30%), con el fin de capturar con mayor precisión su presumible heterogeneidad en la generación de residuos, variable crítica para el análisis económico de la gestión.

Desde un enfoque metodológico, la sobrerrepresentación muestral del sector exterior es metodológicamente eficiente. Este estrato,

caracterizado por mayor informalidad y dinámicas comerciales menos estandarizadas, presenta presumiblemente una mayor varianza en la generación de residuos. Capturar esta variabilidad es esencial para realizar estimaciones robustas de los costos promedio y marginales de la recolección y tratamiento, permitiendo un diseño de política tarifaria o de incentivos económicos que no subestime los requerimientos reales del segmento más crítico y potencialmente costoso del sistema

Tabla 2.

Respecto al tipo de producto, la muestra está dominada por puestos de frutas y verduras (52.4%) y cárnicos/pescado (28.6%), sumando más del 80% en productos perecederos. Esta estructura productiva condiciona técnicamente la composición orgánica mayoritaria de los residuos y define oportunidades económicas específicas. La homogeneidad en el tipo de desecho biodegradable simplifica el diseño de una solución tecnológica de valorización (ej. compostaje), pero también exige una logística de recolección frecuente para evitar externalidades negativas sanitarias Tabla 2.

Por otra parte, la categoría mixtos agrupa al 19% de los puestos, incluyendo abarrotes y alimentos preparados. Esta heterogeneidad dentro de la muestra es relevante, ya que sugiere diferencias potenciales en los patrones y composición de los residuos generados, no solo por la ubicación del puesto sino también por el tipo de actividad comercial desarrollada. La inclusión de esta diversidad fortalece la validez externa de los resultados del estudio Tabla 2.

En consecuencia, la caracterización de la muestra subraya la necesidad de políticas de gestión económicamente diferenciadas. La marcada dualidad espacial (exterior/interior) sugiere la existencia de dos mercados de residuos con distintos grados de formalidad, capacidad de pago y patrones de generación. Cualquier modelo de financiamiento o esquema de tarifas debe considerar esta segmentación para ser viable. La predominancia de residuos orgánicos convierte el costo de manejo en una potencial inversión para generar bioinsumos o energía, transformando un pasivo ambiental en un flujo de valor dentro de una estrategia de economía circular local Tabla 2.

Tabla 2. Características de la muestra estudiada en el Mercado Belén, Iquitos (2024).

Variable	Categoría	n	%	Observaciones
Ubicación del Puesto	Exterior	65	61.9	Puestos dentro de infraestructura techada permanente.
	Interior	40	38.1	Puestos en áreas perimetrales, semifijos o móviles.
Tipo Principal de Producto Vendido	Cárnicos/Pescado	30	28.6	Incluye pescado fresco y carnes.
	Frutas/Verduras	55	52.4	Productos agrícolas perecederos.
	Mixtos/Otros	20	19.0	Abarrotes, alimentos preparados, productos no alimenticios.
Total de la Muestra		105	100	Muestra estratificada aleatoria (N = 320 puestos totales).

La Tabla 3, presenta la estadística descriptiva de la generación diaria de residuos sólidos por puesto comercial en el Mercado Belén, segmentada por ubicación. Los puestos exteriores muestran una media de 4.47 kg/puesto/día, con una desviación estándar elevada (3.95) y un coeficiente de variación del 88.4%, indicando una alta dispersión y heterogeneidad en sus operaciones. En contraste, los puestos interiores registran una media notablemente inferior de 0.57 kg/puesto/día, con menor variabilidad (CV=52.6%). Esta diferencia de casi ocho veces en la generación promedio evidencia una marcada desigualdad operativa vinculada al entorno físico y al grado de formalidad.

En este sentido, la extrema variabilidad en los puestos exteriores, además de la asimetría positiva en su distribución, con una mediana (3.20 kg) menor a la media, apunta a la existencia de grandes generadores puntuales. Estos

puestos, posiblemente dedicados a actividades de alto volumen o con prácticas deficientes de segregación, concentran una fracción desproporcionada del total de residuos y deben ser priorizados en estrategias de gestión focalizada para optimizar recursos Tabla 3.

Adicionalmente, la relativa homogeneidad y menor volumen de los puestos interiores reflejan condiciones operativas más estandarizadas y posiblemente un mayor cumplimiento normativo. Esta estabilidad reduce la incertidumbre para la planificación logística y sugiere que intervenciones de gestión en esta zona podrían basarse en promedios con menor riesgo Tabla 3.

Consecuentemente, los resultados de la Tabla 3 respaldan la necesidad de estrategias de gestión de residuos basadas en evidencia microeconómica. La identificación de los puestos exteriores como el estrato crítico, tanto por su volumen medio como por su alta varianza,

justifica la priorización de recursos e incentivos para la segregación y valorización en esa área. Ignorar esta heterogeneidad conduciría a una

asignación ineficiente de recursos públicos y a la perpetuación de fallas de mercado en la provisión del servicio de aseo Tabla 3.

Tabla 3. Estadística descriptiva de la generación total de residuos sólidos (kg/puesto/día) según ubicación.

Ubicación	n	Media ± DE	Mediana (IQR)	Mínimo	Máximo	CV(%)
Exterior	65	4.47 ± 3.95	3.20 (1.80 - 5.90)	0.50	15.20	88.4
Interior	40	0.57 ± 0.30	0.52 (0.35 - 0.73)	0.15	1.45	52.6
Total	105	2.05 ± 3.20	0.85 (0.45 - 2.70)	0.15	15.20	156.1

Nota: *DE: Desviación Estándar; IQR: Rango Intercuartílico (Q1-Q3).

La Tabla 4, presenta los resultados de la prueba estadística no paramétrica U de Mann-Whitney, diseñada para comparar la generación de residuos sólidos entre puestos interiores y exteriores del Mercado Belén. Los resultados muestran una diferencia altamente significativa, con un valor de $p < 0.001$, lo que confirma que la marcada disparidad observada en las medias (4.47 vs. 0.57 kg/puesto/día) no es producto del azar. El estadístico U calculado fue de 130.0, respaldado por un valor Z de -8.42, indicando la magnitud y dirección de la diferencia entre los grupos.

En primer lugar, la significancia estadística extremadamente robusta ($p < 0.001$) valida empíricamente la hipótesis central del estudio: la ubicación es un determinante crítico de la generación de residuos. Este resultado trasciende la mera observación descriptiva, permitiendo inferencias confiables para toda la población de puestos y proporcionando una base sólida para la

toma de decisiones en gestión ambiental y salud pública.

Además, la gran discrepancia en los rangos promedios, donde los puestos exteriores (88.9) superan ampliamente a los interiores (32.1), cuantifica la jerarquía espacial en la producción de desechos. Esta métrica refuerza la evidencia de que, al ordenar todos los puestos, los ubicados en la periferia ocupan consistentemente los puestos más altos en generación, independientemente de la distribución específica de los datos originales.

Cabe destacar que la magnitud del estadístico Z (-8.42) no solo señala significancia, sino también un tamaño del efecto muy grande. Esto subraya la relevancia práctica y operativa del resultado: la brecha entre ambas zonas no es solo estadísticamente detectable, sino ambiental y sanitariamente determinante, exigiendo intervenciones de manejo y políticas públicas radicalmente diferenciadas.

Tabla 4. Comparación estadística de la generación de residuos sólidos entre puestos interiores y exteriores (Prueba U de Mann-Whitney).

Grupos	n	Rango promedio	Estadístico U	Valor Z	Valor p
Exterior	65	88.9			
Interior	40	32.1	130.0	-8.42	< 0.001

La Tabla 5 detalla la composición gravimétrica promedio de los residuos sólidos generados en el Mercado Belén, segmentada por la ubicación de los puestos. Los residuos orgánicos representan la fracción mayoritaria, alcanzando el 85.2% (± 10.1) en puestos exteriores y el 78.5% (± 12.3) en interiores, con un promedio total del 81.0%. Esta abrumadora predominancia refleja la naturaleza perecedera de los productos comercializados y coincide con el perfil documentado para mercados de abastos tradicionales en América Latina.

En primer lugar, la elevada proporción de materia orgánica, especialmente en la zona exterior, constituye a la vez un desafío sanitario y una oportunidad estratégica. Su rápida descomposición en condiciones inadecuadas favorece la proliferación de vectores y la generación de lixiviados, aumentando los riesgos para la salud pública. Sin embargo, este mismo carácter la convierte en un recurso valioso para programas de compostaje o digestión anaeróbica, alineados con un modelo de economía circular.

Además, se observa una proporción moderada y variable de residuos inorgánicos reciclables (13.2% ± 9.5), ligeramente superior en interiores. Esta diferencia podría relacionarse con una mayor

comercialización de productos envasados bajo techo. El porcentaje global, aunque modesto, indica un flujo de materiales como plásticos, vidrio y metales que, con un sistema de segregación y recolección eficiente, podría desviarse de los vertederos y reintegrarse a la cadena productiva.

Por otro lado, la fracción no reciclable muestra los valores más bajos (5.8% ± 4.7), siendo también menor en los puestos exteriores. Aunque minoritaria, su manejo es crucial, ya que incluye residuos sanitarios y plásticos mixtos que pueden contaminar las otras fracciones si no se gestionan adecuadamente, comprometiendo los procesos de valorización y representando un riesgo ambiental persistente.

Cabe destacar que la menor variabilidad (desviación estándar) en la composición de los residuos exteriores, a pesar de su alta variabilidad en cantidad, sugiere una homogeneidad en el tipo de desecho generado. Este resultado es operativamente relevante, pues indica que las estrategias de tratamiento biológico para la fracción orgánica podrían estandarizarse para toda el área perimetral, simplificando la logística de aprovechamiento.

Tabla 5. Composición gravimétrica promedio (%) de los residuos sólidos generados por ubicación del puesto.

Tipo de Residuo	Definición	Exterior (n=65)	Interior (n=40)	Total (n=105)
Orgánicos	Restos de frutas, verduras, carnes, pescado, alimentos.	85.2% ± 10.1	78.5% ± 12.3	81.0% ± 11.8
Inorgánicos Reciclables	Plástico (botellas, film), cartón, vidrio, latas.	10.5% ± 8.2	15.1% ± 9.8	13.2% ± 9.5
Inorgánicos No Reciclables	Plásticos mixtos, residuos sanitarios, textiles, otros.	4.3% ± 3.9	6.4% ± 5.1	5.8% ± 4.7
Total			100%	100%

Nota: Los valores representan el porcentaje en peso promedio ± desviación estándar.

Discusión

Los resultados del presente estudio evidencian una marcada heterogeneidad espacial en la generación de residuos sólidos dentro del Mercado Belén, observándose que los puestos exteriores generan en promedio 4.47 kg/puesto/día, aproximadamente ocho veces más que los puestos interiores (0.57 kg/puesto/día). Esta disparidad refleja la influencia determinante de la ubicación y el entorno operativo, un resultado que coincide con lo reportado por otros autores (15) en mercados al aire libre de Accra, donde las áreas perimetrales, caracterizadas por mayor informalidad y dinámicas comerciales intensivas, concentran volúmenes significativamente mayores de desechos.

Además, la alta variabilidad ($CV=88.4\%$) en la generación de los puestos exteriores sugiere una diversidad de escalas operativas y prácticas de manejo poco estandarizadas. Esta heterogeneidad

interna concuerda con lo documentado en Santa Cruz de la Sierra (19), donde los factores contextuales y la heterogeneidad de actividades explican la amplia dispersión en los datos de generación de residuos en entornos comerciales urbanos.

Por otro lado, la composición predominante de residuos orgánicos (81.0%) en el Mercado Belén es consistente con el perfil reportado para mercados de abastos en la región. En este sentido, en Belém (10) y Chachapoyas (9) identificaron fracciones orgánicas del 52.7% y 41.75%, respectivamente, confirmando que estos espacios son fuentes críticas de desechos biodegradables con alto potencial de valorización.

En contraste, la generación promedio total por puesto (2.05 kg/día) es menor a las tasas per cápita reportadas para entornos residenciales en estudios peruanos. Al respecto, en distritos andinos se han señalado volúmenes elevados

(8), indicando que la magnitud del desafío varía significativamente según el tipo de fuente (comercial vs. doméstica), lo que exige estrategias de gestión diferenciadas.

Asimismo, la significativa diferencia entre interiores y exteriores subraya el papel de la infraestructura y la formalización. Este resultado se alinea con observaciones hechas en Chiclayo (20), donde la calidad del espacio público y la eficiencia en la gestión se vieron directamente impactadas por el grado de estructuración y control del entorno físico.

Complementariamente, la identificación de que un subconjunto de puestos (exteriores) concentra la mayor parte de los residuos respalda el principio de gestión focalizada. En esta dirección, fue indicado que en países en desarrollo (5), priorizar los grandes generadores es una estrategia clave para optimizar recursos limitados y mejorar la eficiencia del sistema.

Cabe señalar que el alto potencial de valorización de la fracción orgánica coincide con las conclusiones de otros autores (13,21), quienes identifican la bioconversión como una ruta fundamental para la economía circular. Sin embargo, la implementación en Latinoamérica enfrenta barreras de costos e investigación aplicada que deben considerarse.

Respecto a la metodología, el uso de la caracterización gravimétrica garantiza el enfoque técnico recomendado para la planificación. En

este sentido, existen autores que sostienen que este tipo de diagnóstico es indispensable para diseñar sistemas de gestión eficientes y basados en evidencia (11,12), tal como se aplicó en este estudio.

Sin embargo, a diferencia de lo reportado en otros estudios durante la pandemia (17), no se observó una fracción inorgánica dominante en Belén. Esto sugiere que el impacto de eventos globales en la composición de residuos puede ser menos pronunciado en mercados tradicionales de abastos, donde el perfil orgánico es estructural.

Por consiguiente, la necesidad de una gobernanza robusta y participación local emerge como un factor crítico es evidente. Además, coincide con elementos señalados en otras investigaciones (6,15), los cuales sustentan en que la sostenibilidad de la gestión en contextos como el estudiado depende en gran medida de la integración de instituciones y actores comunitarios en el diseño e implementación de soluciones.

Adicionalmente, las limitaciones del estudio, como su naturaleza transversal, resaltan la importancia de considerar variables temporales y comportamentales en futuras investigaciones. Factores que se han señalado por autores, como los patrones de consumo y educación, como predictores claves en la generación de residuos (16), dimensiones que podrían enriquecer el análisis en contextos comerciales.

También, la presente investigación contribuye a cerrar una brecha de conocimiento para la Amazonía urbana peruana. Sus resultados corroboran tendencias regionales documentadas (9,10), a la vez que revelan particularidades locales, como la extrema disparidad espacial, que deben informar políticas públicas diferenciadas. La transición hacia un modelo de economía circular, ampliamente discutida (13), encuentra en el Mercado Belén un caso aplicado donde la valorización de residuos orgánicos es técnicamente viable. No obstante, su éxito dependerá de superar las barreras estructurales (21) y de adoptar el enfoque de gobernanza integrada propuesto por otras investigaciones (6).

CONCLUSIONES

El estudio permitió caracterizar la generación de residuos sólidos en un mercado tradicional amazónico, identificando una marcada heterogeneidad espacial como factor determinante. Los patrones de generación evidenciaron diferencias sustanciales asociadas a la ubicación y condiciones operativas de los puestos comerciales, lo cual define dinámicas de producción de desechos distintivas. Esta variabilidad espacial constituye un hallazgo central, que trasciende la mera descripción cuantitativa y apunta a la necesidad de comprender

los mercados como sistemas complejos y segmentados.

En consecuencia, los resultados destacan la imperiosa necesidad de implementar estrategias de gestión diferenciadas y focalizadas. Un enfoque uniforme resulta inadecuado e ineficiente para abordar realidades operativas disímiles, cuya convergencia en un mismo espacio físico genera presiones desiguales sobre los servicios de aseo. La planificación debe, por tanto, reconocer esta diversidad interna y priorizar intervenciones en aquellas zonas identificadas como críticas por su mayor carga generadora.

Por lo tanto, la gestión de residuos en estos contextos debe evolucionar hacia modelos basados en evidencia local y en el principio de economía circular. El perfil de los desechos encontrados ofrece una oportunidad estratégica para transitar desde un manejo centrado en la disposición final hacia uno que promueva la valorización de materiales. Este paradigma no solo mejoraría la eficiencia operativa, sino que también contribuiría a la sostenibilidad ambiental y a la generación de beneficios socioeconómicos locales.

Además, la investigación refuerza el valor de la caracterización técnica como herramienta fundamental para la toma de decisiones informadas. La generación de líneas base

confiables es un insumo indispensable para diseñar, monitorear y evaluar políticas públicas e intervenciones de manejo de residuos. Este tipo de diagnóstico previo permite optimizar la asignación de recursos, frecuentemente limitados, y aumentar la probabilidad de éxito de las iniciativas implementadas.

Por último, abordar el desafío de los residuos sólidos en mercados urbanos de regiones como la Amazonía requiere integrar el conocimiento científico con un entendimiento profundo del contexto socioeconómico y cultural. La sostenibilidad de cualquier solución dependerá de su adaptación a las particularidades locales y de la participación activa de todos los actores involucrados. Futuras investigaciones deberían profundizar en los factores causales de la heterogeneidad observada y en el diseño de modelos de gestión circular aplicables a esta tipología específica de espacios comerciales.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran que no tienen ningún conflicto de intereses para la publicación de este artículo.

REFERENCIAS

1. ONU. Global Waste Management Outlook 2024 | UNEP - UN Environment Programme. 2024. <https://www.unep.org/resources/global-waste-management-outlook-2024>
2. The World Bank. Trends in Solid Waste Management. 2024. https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends_in_solid_waste_management.html
3. Kebede SK, Assefa B, Henzler K, Weißert J, Oteng-Ababio M, Admassu M, et al. Firsthand report on solid waste management practice in the major town of Addis Ababa-Adama economic corridor, Ethiopia. *Heliyon*. 2025;11(2). [https://www.cell.com/heliyon/abstract/S2405-8440\(25\)00079-9](https://www.cell.com/heliyon/abstract/S2405-8440(25)00079-9)
4. Kularatne RKA. Biomedical waste generation at Ayurveda hospitals in South Asia: A mini review of the composition, quantities and characteristics. *Waste Manag Res*. 2024;42(2):95-110. <https://doi.org/10.1177/0734242X231178225>
5. Ferronato N, Torretta V, Ferronato N, Torretta V. Waste Mismanagement in Developing Countries: A Review of Global Issues. *Int J Environ Res Public Health*. 2019;16(6). <https://www.mdpi.com/1660-4601/16/6/1060>
6. Hettiarachchi H, Ryu S, Caucci S, Silva R, Hettiarachchi H, Ryu S, et al. Municipal Solid Waste Management in Latin America and the Caribbean: Issues and Potential Solutions from the Governance Perspective. *Recycling*. 2018;3(2). <https://www.mdpi.com/2313-4321/3/2/19>
7. Cayumil R, Khanna R, Konyukhov Y, Burmistrov I, Kargin JB, Mukherjee PS. An Overview on Solid Waste Generation and Management: Current Status in Chile. *Sustainability*. 2021;13(21). <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/21/11644>
8. Quispe K, Martínez M, Costa K da, Giron HR, Vittes JFV y R, Mincami LDM, et al. Solid Waste Management in Peru's Cities: A Clustering Approach for an Andean District. *Appl Sci*. 2023;13(3). <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/3/1646>
9. Zuta PC, Montenegro YS, Gosgot WA, Ordinola CMR, Barrena MÁG. Estimation of the valorization potential of municipal solid waste under a bioeconomy approach: contribution to the achievement of SDG 11 and 12 in the city of Chachapoyas, Amazonas, Peru. *J Lifestyle SDGs Rev*. 2025;5(3):e04479-e04479. <https://sdgsreview.org/LifestyleJournal/article/view/4479>
10. Silva GPC da, Assunção FP da C, Pereira DO, Ferreira JFH, Mathews JC, Sandim DPR, et al. Analysis of the Gravimetric Composition of Urban Solid Waste from the Municipality of Belém/PA. *Sustainability*. 2024;16(13). <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/13/5438>

- 11.** Miguel MG, Filho JL da P, Benatti JCB, Leme MA de G, Mortatti BC, Gabrielli G, et al. Gravimetric composition of municipal solid waste disposed in a large-scale experimental cell in Southeastern Brazil. *Int J Environ Waste Manag.* 2016;17(2):128-45. <https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJEW.M.2016.076758>
- 12.** Weichgrebe D, Speier C, Mondal MM. Scientific Approach for Municipal Solid Waste Characterization. En: Goel S, editor. *Advances in Solid and Hazardous Waste Management.* Cham: Springer International Publishing; 2017. p. 65-99. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57076-1_4
- 13.** Yaashikaa PR, Kumar PS, Saravanan A, Varjani S, Ramamurthy R. Bioconversion of municipal solid waste into bio-based products: A review on valorisation and sustainable approach for circular bioeconomy. *Sci Total Environ.* 2020;748:141312. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720348415>
- 14.** Steubing B, Böni H, Schluep M, Silva U, Ludwig C. Assessing computer waste generation in Chile using material flow analysis. *Waste Manag.* 2010;30(3):473-82. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X09003614>
- 15.** Sheburah RE, Spocter M. Local Market Institutions and Solid Waste Management in Accra's Open-Air Markets. *Afr Stud.* 2023;82(3-4):281-99. <https://doi.org/10.1080/00020184.2024.2309235>
- 16.** Izquierdo LH, Kahhat R, Vázquez IR. Unveiling the energy consumption-food waste nexus in households: A focus on key predictors of food waste generation. *J Mater Cycles Waste Manag.* 2024;26(4):2099-114. <https://doi.org/10.1007/s10163-024-01946-2>
- 17.** Requena NS, Carbonel DR, Moonsammy S, Klaus R, Punil LS, Ng KTW. Virtual Methodology for Household Waste Characterization During The Pandemic in An Urban District of Peru: Citizen Science for Waste Management. *Environ Manage.* 2022;69(6):1078-90. <https://doi.org/10.1007/s00267-022-01610-1>
- 18.** World Medical Association. World Medical Association Declaration of Helsinki: Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects. *JAMA.* 2013;310(20):2191-4. <https://doi.org/10.1001/jama.2013.281053>
- 19.** Lozano DPL, Bojanic CH, Gasparatos A. Household waste generation, composition and determining factors in rapidly urbanizing developing cities: case study of Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. *J Mater Cycles Waste Manag.* 2023;25(1):565-81. <https://doi.org/10.1007/s10163-022-01535-1>
- 20.** Arteaga C, Silva J, Yarasca-Aybar C. Solid waste management and urban environmental quality of public space in Chiclayo, Peru. *City Environ Interact.* 2023;20:100112. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590252023000144>
- 21.** Silva RDM, Sanches AP, Ortiz W, Gómez Galindo MF, Coelho ST. The state-of-the-art of organic waste to energy in Latin America and the Caribbean: Challenges and opportunities. *Renew Energy.* 2020;156:509-25. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148120305887>