

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial

Tesis

**Análisis de la aplicación de la economía circular en
la gestión de residuos sólidos municipales del
distrito de Punta de Bombón, Islay, Arequipa**

Oscar Alejandro Holguin Bocardo

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Industrial

Arequipa, 2025

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Dr Ing. Edwin Paucar Palomino
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 10 de noviembre de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

**Análisis de la aplicación de la economía circular en las altas en gestión de residuos sólidos
municipales del distrito de Punta de Bombón, Islay, Arequipa**
Autor:

1. **Oscar Alejandro Holguin Bocardo** –EAP. Ingeniería Industrial

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 19 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores SI NO
Nº de palabras excluidas (**en caso de elegir "SI"**): 20
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

**La firma del asesor obra en el archivo original
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)**

Cc.
Facultad
Oficina de Grados y Títulos
Interesado(a)

Agradecimientos

A mi familia, por ser mi base y mi inspiración.

A mis padres, por su amor y enseñanzas, que guiaron cada paso de este camino.

A mi esposa, por tu apoyo incondicional, paciencia y por ser mi compañera en este recorrido.

Y a mi hija, mi mayor motivación y razón para seguir adelante.

Esta tesis es el resultado de su amor y estímulo constante.

Gracias por todo.

Dedicatoria

A mi familia, cimiento de mi vida y fuente de inspiración:

A mis padres, por su amor, guía y sacrificio, que han hecho posible este logro.

A mi esposa, por ser mi compañera, mi apoyo incondicional y mi motivación en cada paso de este camino.

Y a mi hija, mi razón más grande para seguir creciendo y esforzándome cada día.

Esta tesis es para ustedes, con todo mi amor y gratitud.

Índice

Agradecimiento.....	iv
Dedicatoria.....	v
Resumen.....	x
Abstract.....	xi
Introducción.....	xii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	13
1.1 Planteamiento y formulación del problema.....	13
1.1.1 Problema general.....	14
1.1.2 Problemas específicos.....	14
1.2 Objetivos.....	15
1.2.1 Objetivo general.....	15
1.2.2 Objetivos específicos.....	15
1.3 Justificación.....	15
1.3.1 Justificación práctica.....	15
1.3.2 Justificación social.....	15
1.3.3 Justificación económica.....	16
1.3.4 Justificación por conveniencia.....	16
1.4 Delimitación del proyecto.....	16
1.4.1 Delimitación temporal.....	16
1.4.2 Delimitación conceptual.....	17
1.5 Hipótesis y variables.....	17
1.5.1 Variable independiente.....	17
1.5.2 Variable dependiente.....	17
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	19
2.1 Antecedentes de la investigación.....	19
2.2 Bases teóricas.....	29
2.3 Definición de términos.....	33
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	34
3.1 Tipo de Investigación.....	34
3.2 Alcance.....	34
3.3 Población y muestra.....	34
3.3.1 Población.....	34

3.3.2 Muestra	35
3.4 Técnicas de recolección.....	35
3.5 Instrumento de recolección de datos	35
3.6 Determinación del manejo de residuos sólidos	35
3.7 Determinación de la producción per cápita proyectada	36
3.8 Determinación de la cantidad de residuos sólidos producidos.....	37
3.9 Evaluación la potencialidad de la aplicación de la economía circular y la valorización de los residuos sólidos del distrito de Punta de Bombón	37
3.10 Análisis de la Información.....	38
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	39
4.1 Presentación de resultados.....	39
4.2 Discusión de los resultados	61
CONCLUSIONES	64
RECOMENDACIONES.....	65
REFERENCIAS.....	66

Índice de Tablas

Tabla 1. Operacionalización de las variable	18
Tabla 2. Lista de chequeo para establecer el manejo de residuos sólidos	36
Tabla 3. Lista de chequeo para establecer el manejo de residuos sólidos completa	39
Tabla 4. Producción per cápita de residuos sólidos proyectada para el año 2024	46
Tabla 5. Producción per cápita de residuos sólidos proyectada para el año 2040 (16 años).....	47
Tabla 6. Población proyectada para el año 2040 (16 años)	48
Tabla 7. Cantidad de residuos sólidos proyectados para el año 2040 (16 años).....	49
Tabla 8. Composición de cada tipo de residuos sólidos obtenidos en el distrito de Punta de Bombón y proyectados hasta el año 2040 (en toneladas)	50
Tabla 9. Costo aproximado del programa de segregación de residuos sólidos	52
Tabla 10. Costos fijos para la instalación del sistema de compostaje	54
Tabla 11. Costos operativos para la instalación del sistema de compostaje	54
Tabla 12. Análisis costo-beneficio de la instalación del sistema de compostaje.....	55
Tabla 13. Costos fijos para la instalación del sistema de valorización de plástico, papel y cartón.....	57
Tabla 14. Costos operativos para la instalación del sistema de valorización de plástico, papel y cartón	57
Tabla 15. Valores de venta de plástico, papel y cartón una vez acondicionados	58
Tabla 16. Análisis costo-beneficio de la instalación del sistema de valorización de plástico, papel y cartón	59
Tabla 17. Análisis costo-beneficio de la valorización total de residuos sólidos considerando el programa de segregación	60
Tabla 18. Matriz de consistencia	73

Índice de Figuras

Figura 1. Barrido y limpieza de espacios públicos	40
Figura 2. Movilidad y apoyo para barrido y limpieza de espacios públicos	41
Figura 3. Almacenamiento residuos sólidos	42
Figura 4. Recolección de residuos sólidos.....	43
Figura 5. Residuos sólidos seleccionados en el botadero	43
Figura 6. Ubicación del botadero.....	45
Figura 7. Botadero del distrito de Punta de Bombón.....	45
Figura 8. Pila, parva o camellón	53
Figura 9. Compactadora para plástico, papel y cartón.....	56

Resumen

El presente trabajo se realizó con el fin de analizar la aplicación de la economía circular en la gestión de residuos sólidos municipales del distrito de Punta de Bombón, Islay, Arequipa. Teniendo en cuenta los procesos considerados en la normativa vigente, se estableció que, del total de nueve, cuatro de ellos no se cumplían, los cuales son: segregación, valorización, transferencia y tratamiento. Por otro lado, los cinco procesos que sí se cumplían se hacían de manera regular y, en algunos casos, transgrediendo la normativa legal, como es el caso de la disposición final que se realizaba en un botadero. Con respecto a la proyección de la producción per cápita de residuos sólidos, se partió del valor obtenido en el año 2019, el cual corresponde a 0,520 kg/hab-día. Aplicando la proyección del 1 %, se estimó que para el año 2024 el valor sería de 0,547 kg/hab-día, mientras que para el año 2040 alcanzaría un 0,641 kg/hab-día. De esta forma, se proyectó que la cantidad de residuos sólidos generados en el año 2024 sería de 1362,89 t; asimismo, para el año 2040 llegaría a 1644,75 t. Con respecto a la composición porcentual de los residuos sólidos, basado en su caracterización, el 63,01 % (858,79 t) eran orgánicos, mientras que el 5,95 % (84,09 t) correspondía a plástico y el 2,74 % (37,34 t) a papel y cartón, siendo estos dos últimos los residuos considerados para el proceso de valorización. En el caso de los residuos orgánicos, considerando el principio de reutilización en la economía circular y luego del proceso de valorización, se obtuvieron saldos favorables desde el primer año de la implementación del sistema de compostaje; el mismo resultado, en cuanto a tiempo y saldo positivo, se generó con el plástico, papel y cartón, cuyo proceso de comercialización se incluyen en los principios de la economía circular.

Palabras clave: residuos sólidos, compostaje, valorización, economía circular, gestión.

Abstract

This study aimed to analyze the application of the circular economy in municipal solid waste management in the Punta de Bombón district, Islay, Arequipa. Considering the processes considered in current regulations, it was established that, of the nine processes, four were not met: segregation, recovery, transfer, and treatment. On the other hand, the five processes that were met were carried out in a regular manner and, in some cases, violated legal regulations, as is the case with final disposal in a landfill. Regarding the projection of per capita solid waste production, the value obtained in 2019 is based on the value obtained, which corresponds to 0.520 kg/inhabitant-day. Applying the 1% projection, it was estimated that by 2024 the value would be 0.547 kg/inhabitant-day, while by 2040 it would reach 0.641 kg/inhabitant-day. Thus, the amount of solid waste generated in 2024 was projected to be 1,362.89 tons; likewise, by 2040 it would reach 1,644.75 tons. Regarding the percentage composition of solid waste, based on its characterization, 63.01% (858.79 tons) was organic, while 5.95% (84.09 tons) corresponded to plastic and 2.74% (37.34 tons) to paper and cardboard, the latter two being the waste considered for the valorization process. In the case of organic waste, considering the principle of reuse in the circular economy and after the valorization process, favorable balances were obtained from the first year of implementation of the composting system; the same result, in terms of time and positive balance, was generated with plastic, paper, and cardboard, whose marketing process is included in the principles of the circular economy.

Keywords: solid waste, composting, recovery, circular economy, management.

Introducción

La problemática asociada al manejo de residuos sólidos se ha hecho bastante común a nivel mundial. Sin embargo, varias ciudades en diferentes partes del mundo han empezado a considerar la generación de estos residuos como una posibilidad de desarrollo económico, con la obtención de recursos a través de actividades lucrativas que, a su vez, mejoran la calidad ambiental en las comunidades. En este contexto, cobran relevancia las tendencias relacionadas a la economía circular, cuyo concepto general se refiere a la posibilidad de reutilizar los residuos generados dentro de un proceso como insumo para otro, reduciendo la cantidad de gasto de capital y materia prima, y generando beneficios ambientales significativos.

Ese mismo criterio puede ser aplicado al manejo de los residuos sólidos municipales, los cuales, debido a su volumen, resultan ser una posibilidad mucho mayor que la generada por las industrias. Si bien es cierto que existen diferentes componentes de estos residuos sólidos, en la mayoría de los casos la presencia de materia orgánica potencia la posibilidad de desarrollar sustancias útiles para la agricultura. Asimismo, la reutilización de materiales como plástico, papel y cartón permite implementar procesos de comercialización, que a la larga generan beneficios económicos a las poblaciones. Por estas razones, es importante establecer el potencial que tiene el distrito de Punta de Bombón para aplicar la economía circular con base en la generación de los residuos sólidos que produce y considerando la posibilidad de la valorización de los mismos.

En ese contexto se desarrolló la presente tesis, la cual está estructurada en cuatro capítulos: el Capítulo I incluye el planteamiento, formulación, objetivos e hipótesis, justificación y delimitación del estudio, mientras que el Capítulo II corresponde al marco teórico, compuesto por los antecedentes de la investigación, las bases teóricas y la definición de términos. Por su parte, el Capítulo III incluye la metodología utilizada para el logro de los objetivos planteados y el Capítulo IV muestra los resultados obtenidos para cada uno de los objetivos. Adicionalmente, se presentan la discusión y las conclusiones según los hallazgos obtenidos, culminado con las referencias utilizadas para la investigación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento y formulación del problema

A nivel mundial, el problema de los residuos sólidos es uno de los más complicados de resolver, debido fundamentalmente a que su cantidad se incrementa año a año, y la disposición final de los mismos no es la adecuada, sobre todo en países en vías de desarrollo, donde se realiza en botaderos, generando en muchos casos daños al ambiente. Además, muchos de estos botaderos pueden generar grandes cantidades de gases de efecto invernadero, incrementando el problema del cambio climático. Otros problemas asociados corresponden a la generación de vectores de enfermedades que causan daño a las poblaciones que viven en el entorno de los mencionados botaderos (Bouida et al., 2025).

En los países de América Latina y el Caribe, la problemática respecto a la gestión de residuos sólidos es especialmente compleja, debido a que muchos de estos países presentan altos índices de pobreza y, en muchos casos, realizan un proceso de “reciclamiento” de residuos sólidos sin ningún tipo de control, lo cual genera problemas de salud a los grupos sociales que se involucran en esta actividad. A pesar de ello, se resalta la visión de considerar a los residuos sólidos como una fuente de ingreso económico a partir de la comercialización de los mismos, lo cual incluye uno de los principios de la economía circular (Castillo et al., 2025). Para Rodríguez et al. (2020), la economía circular aplicada al manejo de residuos sólidos municipales representa una alternativa viable para países desarrollados y en vías de desarrollo; sin embargo, en estos últimos es muy deficiente su análisis, sobre todo en países de América Latina. Por otro lado, Ambaye et al. (2024) analizaron la aplicación de tecnologías emergentes para el manejo de residuos sólidos municipales, todos ligados a la economía circular, mientras que Vines et al. (2023) establecieron metodologías generalizadas para poder analizar la posibilidad de aplicación de la economía circular al manejo de residuos sólidos municipales.

El Perú está considerado dentro de los países de América Latina donde se presenta la problemática mencionada sobre el reciclaje informal de los residuos sólidos. En este país, de acuerdo con la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, D. L. N.º 1278, uno de los procesos considerados en la misma corresponde a la valorización de los residuos, es decir, establecer el valor económico que permite el reúso de los mismos,

principalmente relacionado con materia orgánica, plástico, papel, cartón y otros. A pesar de que se encuentra incluida en la normativa, son muy pocas las gestiones municipales que toman en serio esta posibilidad. Considerar la economía circular en la gestión de los residuos sólidos permitiría ver los residuos sólidos no como desechos, sino como insumos o materia prima para diferentes procesos o, incluso, solo para la comercialización de estos. La economía circular brinda la base suficiente para que el manejo de residuos sólidos se convierta en una posibilidad de ingresos económicos que beneficien a otras acciones dentro de las actividades municipales.

En el distrito de Punta de Bombón, que corresponde a la provincia de Islay, en la región Arequipa, se ha observado varias deficiencias respecto a la gestión de residuos sólidos por parte de las autoridades municipales. Una de las más severas fue la existencia de un botadero de residuos sólidos donde no se realizaba ningún tipo de control ambiental; en ellos se observó la presencia de “recicladores” que extraían los residuos sólidos para comercializarlos, sin ningún tipo de control o aplicación de medidas de seguridad. Con el presente trabajo de investigación se pretendió establecer cuál es el potencial que se tiene sobre la comercialización o reutilización de los residuos generados en el distrito de Punta de Bombón, incluyendo los criterios de economía circular y considerando, sobre todo, su proceso de valorización.

1.1.1 Problema general

¿Es posible realizar el análisis de la aplicación de la economía circular en la gestión de residuos sólidos municipales del distrito de Punta de Bombón, Islay, Arequipa?

1.1.2 Problemas específicos

- ¿Se puede desarrollar un análisis de los procesos de la gestión de residuos sólidos municipales en el distrito de Punta de Bombón?
- ¿Se logrará determinar la producción per cápita de residuos sólidos generados en el distrito de Punta de Bombón?
- ¿Se logrará determinar la composición porcentual de los residuos sólidos generados en el distrito de Punta de Bombón?
- ¿Se podrá determinar el potencial de valorización en el entorno de economía circular de los residuos sólidos generados en el distrito de Punta de Bombón?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Analizar la aplicación de la economía circular en la gestión de residuos sólidos municipales del distrito de Punta de Bombón, Islay, Arequipa.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analizar los procesos de la gestión de residuos sólidos municipales en el distrito de Punta de Bombón.
- Determinar la producción per cápita de residuos sólidos generados en el distrito.
- Determinar la composición porcentual de los residuos sólidos generados en el distrito de Punta de Bombón.
- Determinar el potencial de valorización en el entorno de economía circular de los residuos sólidos generados en el distrito de Punta de Bombón.

1.3 Justificación

1.3.1 Justificación práctica

La generación de residuos sólidos municipales representa uno de los desafíos más urgentes en materia ambiental. Tradicionalmente, estos residuos han sido tratados como un problema que debe ser eliminado, lo cual ha dificultado el desarrollo de soluciones sostenibles. Sin embargo, al reconsiderarlos como insumos aprovechables dentro del modelo de economía circular, se abre la posibilidad de transformar un pasivo ambiental en una fuente de recursos reutilizables. Esta transformación no solo facilitaría la reducción del volumen de residuos, sino que también permitiría crear nuevos procesos productivos y cadenas de valor que generen beneficios tangibles tanto para la gestión pública como para la sociedad civil. Por lo tanto, este estudio no solo analiza una problemática, sino que también plantea una alternativa viable para mejorar la eficiencia en el manejo de residuos en el distrito de Punta de Bombón.

1.3.2 Justificación social

Desde una perspectiva social, la presente investigación adquiere relevancia al enfocarse en un problema que incide directamente en la salud y calidad de vida de la población. El mal manejo de los residuos sólidos no solo afecta el entorno ambiental, sino que también incrementa los riesgos sanitarios para los habitantes, especialmente en sectores vulnerables. Al proponer un enfoque basado en la valorización de estos

residuos, se busca no solo mitigar el impacto ambiental, sino también ofrecer una herramienta de inclusión y mejora económica para grupos sociales que viven en situación de pobreza. La implementación de procesos circulares podría involucrar a estos sectores en actividades productivas vinculadas al reciclaje, la transformación de materiales y otras formas de aprovechamiento, lo que permitiría mejorar sus condiciones de vida y generar empleo digno y sostenible.

1.3.3 Justificación económica

La dimensión económica del estudio se relaciona estrechamente con las anteriores, ya que plantea la posibilidad de convertir los residuos sólidos en activos productivos mediante su reutilización, reciclaje o comercialización. Este enfoque representa una estrategia innovadora para fomentar el desarrollo local, al incentivar actividades económicas vinculadas a la gestión sostenible de residuos. En contextos como el de Punta de Bombón, donde el turismo estacional influye considerablemente en la generación de residuos, implementar un modelo económico basado en la economía circular permitiría aprovechar estos picos de producción como una oportunidad de negocio. La monetización de los residuos a través de su valorización puede, además, reducir los costos municipales asociados a su manejo, lo cual representa una ganancia tanto para las arcas públicas como para los actores privados involucrados.

1.3.4 Justificación por conveniencia

La elección del distrito de Punta de Bombón como espacio geográfico para la presente investigación se justifica también por razones de conveniencia. Este distrito presenta características particulares, como una alta generación de residuos en temporada de verano por el turismo y una notable disminución durante el resto del año, lo que plantea un reto interesante para la construcción de un modelo de economía circular adaptable a condiciones fluctuantes. Además, se cuenta con los recursos técnicos, humanos y logísticos necesarios para desarrollar la investigación de manera eficiente. Estas condiciones hacen viable y pertinente la realización del estudio, permitiendo obtener resultados aplicables tanto a nivel local como extrapolables a otros contextos similares.

1.4 Delimitación del proyecto

1.4.1 Delimitación temporal

El estudio se realizó durante los meses de junio a setiembre del 2024.

1.4.2 Delimitación conceptual

El presente trabajo de investigación se basó en determinar el potencial de los residuos sólidos generados en el distrito de Punta de Bombón para efectuar el proceso de valorización, tomando en cuenta los criterios de la economía circular. Para ello, se consideraron los valores obtenidos por la caracterización de residuos sólidos realizada por la Municipalidad Distrital de Punta de Bombón, y aplicando los cálculos y análisis de costos para ver la posibilidad y la rentabilidad de los procesos de valorización mencionados.

1.5 Hipótesis y variables

Hipótesis general

Es posible realizar el análisis de la aplicación de la economía circular en la gestión de residuos sólidos municipales del distrito de Punta de Bombón, Islay, Arequipa.

Hipótesis específica 1

Es posible desarrollar un análisis de los procesos de gestión de residuos sólidos municipales en el distrito de Punta de Bombón, considerando lo establecido en la normativa legal vigente, y la observación de la realidad aplicada en el distrito.

Hipótesis específica 2

Se puede determinar la producción per cápita de residuos sólidos generados en el distrito de Punta de Bombón, esto a partir de la caracterización de residuos sólidos en el distrito.

Hipótesis específica 3

Se puede determinar la composición porcentual de residuos sólidos generados en el distrito de Punta de Bombón a partir de la caracterización de residuos sólidos del distrito.

Hipótesis específica 4

Se puede determinar el potencial de valorización de los residuos sólidos generados en el distrito de Punta de Bombón en el entorno de la economía circular.

1.5.1 Variable independiente

Economía circular.

1.5.2 Variable dependiente

Gestión de residuos sólidos municipales.

Tabla 1. *Operacionalización de las variables*

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
Variable independiente Economía circular	Económica	Cantidad en soles de ingresos anuales obtenidos por la valorización de residuos.
	Ambiental	Porcentaje de residuos valorizados respecto al total generado (%).
	Social	Número de empleos directos e indirectos generados en actividades de reciclaje y valorización.
Variable dependiente Gestión de residuos sólidos municipales	Recolección y transporte	Número de veces por semana de hogares atendidos; porcentaje de cobertura del servicio de recolección (% de hogares atendidos).
	Tratamiento (Compostaje)	Cantidad de toneladas de residuos orgánicos tratadas anualmente.
	Disposición final	Cantidad de toneladas de residuos sólidos dispuestos

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Antecedentes internacionales

Montoya et al. (2024) investigaron sobre el análisis termoeconómico de un modelo de economía circular para biomasa en América del Sur que produce biofertilizantes y biogás a partir de residuos sólidos urbanos. Se mencionó que el modelo de economía lineal ha provocado muchos impactos asociados al aumento de la población urbana y la generación de residuos sólidos municipales a nivel mundial. A través de la digestión anaeróbica, la bioeconomía circular de la biomasa (metanogénica) proporciona un combustible (biogás) y un biofertilizante ambientalmente sostenible. Esta investigación teórico-descriptiva propuso un modelo económico circular basado en el diseño de biorrefinerías utilizando biomasa reciclada en áreas urbanas. El modelo considera un mínimo de 1,8 millones de personas para generar aproximadamente 650 toneladas/día para su aplicación. La configuración de biorrefinería del modelo consta de 12 biodigestores de 5400 m³ de capacidad unitaria y un motor de encendido por chispa de 2 MW. El modelo se valida empleando un estudio de caso en las principales ciudades urbanas de América del Sur: Brasil, con cerca de 161 000 m³/día de biogás y 3100 toneladas/día de biofertilizante, y Paraguay, con 10 000 m³/día de biogás y 500 toneladas/día de biofertilizante, son los que presentan mayor y menor potencial energético, respectivamente. La tasa interna de retorno de la inversión en el caso de estudio rondó el 69 %. El modelo de economía circular propuesto reduce las emisiones de gases de efecto invernadero y los impactos ambientales de los residuos sólidos urbanos; además, se estimó el impacto ambiental utilizando diferentes indicadores de equivalencia entre energía eléctrica verde y huella de carbono evitada.

Por su parte, Ordoñez et al. (2024) hicieron su estudio sobre el análisis bibliométrico de tecnologías para la valorización de residuos sólidos municipales y su potencial en el contexto colombiano. Mencionaron que el crecimiento constante de la generación de residuos urbanos a nivel mundial ha generado una creciente necesidad de abordar su gestión de manera sostenible. A pesar de la probada efectividad de la conversión de estos residuos en energía en varios países, su implementación en Colombia aún se encuentra en sus etapas iniciales. En este estudio se realizó un análisis bibliométrico y una revisión sistemática de la literatura para evaluar las tecnologías de

valorización de residuos sólidos urbanos y su potencial integración en biorrefinerías en el contexto colombiano. Entre las tecnologías identificadas destacaron la incineración, la gasificación, la pirólisis, la digestión anaeróbica y la recuperación de gases de relleno sanitario. La digestión anaeróbica surgió como una opción atractiva debido a su versatilidad. Sin embargo, existe un imperativo reconocido de elegir dinámicamente las tecnologías, considerando la diversidad de contextos y condiciones específicas de Colombia. Adicionalmente, la gasificación y la pirólisis aparecieron como opciones viables, cada una con sus propias ventajas y desafíos, lo que refleja la complejidad y variabilidad en la gestión de residuos. En cuanto a la recuperación de gases de relleno sanitario, se enfatizó su importancia como una instalación esencial en rellenos sanitarios controlados, desestimando su consideración como una alternativa independiente. Si bien la literatura sugiere que la incineración es percibida como menos favorable en términos sociales, económicos y ambientales, es crucial reconocer la dinámica y especificidad de cada situación. La elección de tecnologías debe ser adaptativa y guiada por un enfoque contextual que considere la heterogeneidad en la composición de los residuos, la infraestructura disponible y otros factores que varían significativamente de un escenario a otro. Este enfoque dinámico y adaptativo es esencial para abordar la complejidad de la gestión de los residuos urbanos y encontrar soluciones sostenibles en el contexto colombiano.

También Pérez et al. (2024) evaluaron las iniciativas de mitigación para sistemas simultáneos de contaminación del aire y residuos sólidos urbanos, con un enfoque de dinámica de sistemas. Ellos señalaron que, en el esfuerzo global por alcanzar el desarrollo sustentable y mejorar la calidad de vida de la población, se han implementado numerosas políticas, como las destinadas a reducir la contaminación del aire o gestionar los residuos sólidos urbanos (RSU). Sin embargo, estas políticas se diseñaron sin tener en cuenta su impacto simultáneo en la salud humana y el ecosistema de la misma ciudad. En el estudio se implementó una metodología de dinámica de sistemas para simular sistemas coexistentes de contaminación del aire y gestión de RSU, así como sus correspondientes políticas y planes de descontaminación, a fin de investigar su influencia en la salud humana y el ecosistema, y proponer mejoras de políticas basadas en el entorno. El caso de estudio correspondió a Temuco y Padre Las Casas (TPLC). Los resultados mostraron que TPLC requería un enfoque de políticas integradas que incluya el aumento del reemplazo de equipos y tecnologías avanzadas

para la gestión de RSU para lograr reducciones de los impactos en la salud humana de aproximadamente el 10 %.

Igualmente, Pardo et al. (2024) publicaron su estudio sobre la valorización de la biomasa lignocelulósica residual en América del Sur. En dicha investigación mencionaron que la biomasa lignocelulósica residual (RLB) era un recurso valioso que puede ayudar a abordar problemas ambientales al servir como una alternativa a los combustibles fósiles y como materia prima para producir diversas moléculas de valor agregado. Para obtener una comprensión integral del uso de los residuos lignocelulósicos en América del Sur, se realizó una revisión durante los últimos 4 años. La revisión se centró en la generación de energía, la producción de biocombustibles, la obtención de moléculas de plataforma (como etanol, hidroximetilfurfural, furfural y ácido levulínico) y otros materiales de interés. La revisión encontró que Brasil, Colombia y Ecuador tenían la mayor cantidad de fuentes de RLB, siendo los residuos de cultivos de caña de azúcar, palma aceitera y arroz los más destacados. En América del Sur, la RLB se utilizó para producir biogás, gas de síntesis, hidrógeno, bioaceite, biodiésel, biomasa torrefacta, pellets y briquetas de biomasa. La molécula de valor agregado más estudiada y producida fue el etanol, seguido del furfural, el hidroximetilfurfural y el ácido levulínico. Otras aplicaciones de interés que se han desarrollado con RLB incluyeron la obtención de carbón activado y nanomateriales. En América del Sur se han logrado avances significativos en la utilización de RLB y algunos países han sido más proactivos en la regulación de su uso. Sin embargo, aún queda mucho por aprender sobre el potencial de RLB en cada país. Esta revisión proporcionó una perspectiva actualizada sobre la tipificación y valorización de la biomasa residual en América del Sur y analizó el nivel de investigación y tecnología que se estaba aplicando en la región. Esta información resulta útil para futuras investigaciones sobre RLB en América del Sur.

Del mismo modo, Pereira et al. (2024) estudiaron el impulso de la economía circular: valorización de un residuo de carbón industrial para convertirlo en carbón activado con potenciales aplicaciones medioambientales como adsorbentes. Los investigadores sostuvieron que la pirólisis de residuos enriquecidos con carbono, como los que se producen en actividades agroforestales o industriales, se ha postulado como una tecnología emergente para promover la producción de biocombustibles, contribuyendo a la economía circular y minimizando los residuos. Sin embargo, durante los procesos de pirólisis se genera un residuo de fracción sólida. Este trabajo tuvo como

objetivo estudiar la viabilidad de estos residuos para desarrollar materiales carbonosos porosos que puedan utilizarse para aplicaciones medioambientales. Se activaron con KOH diversos residuos de carbón vertidos por una fábrica de pirólisis industrial. En concreto, los residuos de carbón procedían de la pirólisis de hueso de aceituna, astillas de pino y acacia, combustible de residuos gastados y tripas artificiales de celulosa. Se estudiaron los cambios en las características texturales, estructurales y de composición tras el proceso de activación mediante isotermas de adsorción-desorción de N₂, microscopía electrónica de barrido, FTIR, análisis elemental y XPS. Se desarrolló una gran porosidad, SBET dentro de 776–1186 m² g⁻¹ y volumen de poro de 0,37–0,59 cm³ g⁻¹ con 70–90 % de contribución de microporos. Los carbones activados se utilizaron para la adsorción de CO₂, lo que llevó a captaciones máximas de CO₂ de 90–130 mg g⁻¹. Hubo una buena correlación entre la captación de CO₂ con la microporosidad y los grupos superficiales oxigenados de los carbones activados. Además, también se evaluó su capacidad de adsorción de contaminantes en solución acuosa. Concretamente, se estudió la adsorción de metales pesados acuosos, es decir, Cd, Cu, Ni, Pb y Zn, y contaminantes orgánicos de preocupación emergente como cafeína, diclofenaco y acetaminofeno.

Otra investigación en este campo fue desarrollada por Awino y Aritz (2024), quienes abordaron la gestión de residuos sólidos en el contexto de la jerarquía de residuos y los marcos de la economía circular, explicando que las poblaciones en crecimiento y el consumo impulsan los desafíos de la gestión de residuos sólidos (SWM). La globalización del transporte, la producción de alimentos y el comercio, incluido el comercio de residuos, distribuye los riesgos en todo el mundo. Utilizando conceptos de jerarquía de residuos (WH; reducir, reutilizar y reciclar) y economía circular (CE), se actualizó un marco conceptual de residuos utilizado por organizaciones internacionales para evaluar las prácticas de SWM. También se identificaron los pasos clave y los factores importantes, así como las partes interesadas, que son características esenciales para una SWM efectiva. Dentro de este marco conceptual actualizado, se evaluaron cualitativamente las estrategias y prácticas globales de SWM, identificando oportunidades, barreras y mejores prácticas. De esta forma, se halló que, aunque unos pocos países excepcionales cumplen con el programa de residuos cero, a la mayoría les va mal, como lo demuestran los altos volúmenes de generación, incineración y eliminación de residuos (vertimientos a cielo abierto, vertederos). En el norte global, las estrategias y prácticas de SWM dependen en gran

medida de tecnologías, herramientas económicas, marcos regulatorios, educación y compromiso social para aumentar la conciencia de las partes interesadas y mejorar la inclusión y la participación. Sin embargo, en el sur global, muchos Gobiernos asumen la responsabilidad legal exclusiva de la SWM, buscando eliminar los desechos como una “molestia” pública. La separación y el reciclaje en el sur global son implementados principalmente por economías “informales” en las que las necesidades de subsistencia impulsan la recuperación de materiales reciclables. Las herramientas importadas y regionalmente inapropiadas, las limitaciones económicas, las políticas y la gobernanza débiles, el comercio de residuos, la participación no inclusiva de las partes interesadas, las limitaciones de datos y la conciencia pública limitada siguen planteando importantes desafíos para la gestión ambiental y de residuos en todas las naciones. En el contexto del marco, se concluyó que las mejores prácticas de todo el mundo pueden usarse para guiar la toma de decisiones a nivel global. A pesar de las variaciones en los impulsores y las necesidades entre las regiones, las naciones tanto del norte como del sur global necesitan mejorar el cumplimiento de WH y CE, y mejorar la asociación, la conciencia y la participación de las partes interesadas durante todo el proceso de SWM. Las asociaciones entre el norte y el sur global podrían gestionar mejor los desechos comercializados, reducir los impactos adversos y mejorar la sostenibilidad y la equidad ambiental global, apoyando a los objetivos de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas.

Por su parte, Halkos y Aslanidis (2024) investigaron sobre cómo la crisis de los residuos alteró el entendimiento común: del fordismo a la economía circular y el desarrollo sostenible. En su estudio, mencionaron que, a medida que la proliferación de residuos se convierte en un problema aparente en la Unión Europea (UE), hay dos formas de hacer frente a su generación: la economía circular (EC) y los principios y estrategias de desarrollo sostenible. El estudio tuvo un enfoque socioeconómico de la gestión sostenible de residuos (SWM), con comprensión de las externalidades negativas de la gestión de residuos sólidos municipales (RSU) y la gestión de residuos domésticos peligrosos (HHW). La discusión sobre la adopción de una sostenibilidad fuerte o débil cubrió la brecha sobre qué política era mejor para copiar con residuos. Por lo tanto, la SWM debería ser una estrategia central para los formuladores de políticas que abordan la crisis de los desechos. La generación de residuos también crea una gran cantidad de externalidades negativas para el medioambiente; sin embargo, un aspecto peculiar y virtuoso de los residuos fue la capacidad de generar energía a partir de ellos. La

conversión de residuos en energía (WtE) ha sido descuidada debido a la aparición de otras crisis como el crecimiento exponencial de la población, la urbanización, la industrialización, las turbulencias económicas, el COVID-19 y la guerra. El estudio contribuyó a la literatura existente al profundizar en los impactos de los residuos en la vida de las personas y la transición del camino lineal al circular.

Asimismo, Paes et al. (2024) estudiaron la intervención en la gestión de residuos para impulsar la economía circular y mitigar el cambio climático en Brasil. Las innovaciones en la gestión de residuos sólidos municipales (RSU) pueden conectar mejor la economía circular (CE) y el cambio climático (CC), ya que tienen muchas compensaciones, especialmente en los países en desarrollo. Los estudios informan sobre las principales barreras a la innovación en la gestión de residuos sólidos urbanos que limitan una economía más circular (EC) y respuestas climáticas, pero se sabe poco sobre los posibles caminos para la innovación. Por lo tanto, este artículo tuvo como objetivo identificar los principales facilitadores de las innovaciones en la gestión de residuos sólidos urbanos. Se seleccionaron cuatro municipios de Brasil porque presentaron acciones altamente innovadoras en el MSWM que redujeron las compensaciones entre CE y CC. Con base en un análisis del desempeño económico, ambiental y operativo de los cuatro RSU, se encontraron reducciones de gases de efecto invernadero (GEI-CO₂ eq por habitante) de hasta un 90 % y menores costos de gestión de residuos por habitante en comparación con el promedio nacional. Cuatro habilitadores principales hicieron posibles las innovaciones para acelerar las transiciones hacia una economía más circular y baja en carbono en los municipios: capacidad local, colaboración intergubernamental, gestión de residuos sólidos con socios locales y educación ambiental que promueva la participación social. Esta investigación contribuyó al desarrollo de un método para identificar habilitadores en varios niveles del sistema y proponer enfoques y prácticas tecnológicas que permitan la innovación en la gestión de RSU. Estas medidas pueden servir como subsidio para la disrupción circular y como base para la intervención en RSU, especialmente en los países en desarrollo.

Además, Khaire et al. (2024) elaboraron un artículo titulado “Valorización de residuos sólidos municipales en la economía circular”, donde indicaron que los desechos sólidos generados a través de actividades antropogénicas como agrícolas, alimentarias, industriales, médicas y químicas, se clasifican como desechos sólidos municipales (RSU). La gestión de estos residuos mediante el vertido en vertederos y la

quema incontrolada provoca la contaminación del suelo, el aire y el agua. La gestión inadecuada de estos RSU es perjudicial para el medioambiente y la salud humana. Por lo tanto, han evolucionado varios enfoques físicos, químicos y biológicos para abordar el problema de los RSU. Sin embargo, en los últimos tiempos los residuos han evolucionado como una oportunidad para generar compuestos de alto valor debido a su rica composición química. Aunque los métodos biológicos como la digestión anaeróbica se utilizan desde hace mucho tiempo para convertir el estiércol del ganado en biogás, se han desarrollado varios métodos físicos y químicos como la pirólisis, la gasificación, la licuefacción hidrotermal, el hidrocraqueo y la oxidación húmeda. Si bien se abordan las limitaciones y ventajas de la valorización de los RSU para lograr la futura economía circular, se analizaron los diferentes residuos generados en diversos países y las tecnologías disponibles para su adecuada gestión.

A su vez, Dodigović (2024) redactó un artículo denominado “Fiabilidad de los vertederos municipales de residuos sólidos en el marco del eurocódigo”, en el que mencionó que los fallos en las pendientes de los vertederos de residuos sólidos municipales (RSU) pueden tener consecuencias importantes para la economía, el medioambiente y la salud humana. Una posible causa del fracaso de los taludes es la confiabilidad insuficiente, como resultado de un diseño inadecuado. La práctica habitual en el diseño de vertederos de RSU implica la utilización de códigos geotécnicos establecidos, como el Eurocódigo 7 (EC7), para realizar evaluaciones de estabilidad de taludes. Teniendo en cuenta la heterogeneidad sustancial de los RSU en relación con el suelo, surgen preguntas sobre la justificación de tal enfoque en el diseño de vertederos de RSU. Este estudio examinó la idoneidad de aplicar EC7 en el diseño de vertederos de RSU, analizando la estabilidad y confiabilidad de los taludes de los vertederos en varias alturas, ángulos de talud frontal, enfoques de diseño y clases de consecuencias. Se encontró que, en la mayoría de los casos considerados, el EC7 no garantizaba un nivel adecuado de confiabilidad para los taludes de los vertederos de RSU. Por lo tanto, se sugirió complementar el EC7 con pautas específicas para incorporar los RSU en los análisis geotécnicos a fin de lograr la confiabilidad estructural deseada. La adopción de esta estrategia no solo mejorará la confiabilidad del diseño de los vertederos, sino que también promoverá el desarrollo de soluciones que sean económica y ambientalmente sostenibles.

Del mismo modo, Herrador (2024) evaluó el primer marco de economía circular de Camboya. En su estudio, indicó que la economía circular era una solución

prometedora para que una amplia gama de partes interesadas, incluidas empresas, gobiernos y la sociedad en general, enfrenten serias preocupaciones ambientales (Crome et al., 2023) a fin de abordar el agotamiento de recursos, la degradación ambiental y la generación de desechos. Como la economía de Camboya depende en gran medida de la extracción de recursos y de industrias orientadas a la exportación (por ejemplo, la industria textil y la agricultura contribuyen significativamente al PIB), genera residuos sustanciales [fundamentalmente, residuos sólidos municipales (RSU), pero también residuos industriales, de construcción y demolición (PNUD, 2022)] y la contaminación. Para abordar estos problemas, el Gobierno demostró un compromiso más fuerte con el desarrollo sostenible al integrar los principios de la EC en una política nacional. Primero, este artículo exploró los problemas ambientales actuales del país. Luego, evaluó la estrategia y el plan de acción de CE del país. Como hallazgo principal, se discutieron las barreras potenciales, las perspectivas de colaboración internacional y las recomendaciones de implementación para catalizar los desafíos en oportunidades, cubriendo las brechas observadas en la estrategia y plan de acción de CE del país, y siguiendo tendencias prominentes. Por último, concluyó que, a pesar de los obstáculos, la EC tiene el potencial en el país de proporcionar beneficios socioeconómicos, incluida la creación de empleo, la resiliencia, una menor dependencia de las importaciones y una mejor salud pública. De esta forma, el artículo analizó las políticas junto e hizo una revisión bibliográfica. Representa el primer trabajo sobre este tema, por lo que es útil para los inversores extranjeros, el mundo académico y los responsables de la formulación de políticas.

Igualmente, Bandh et al. (2024) publicaron el artículo titulado “Gestión de residuos y economía circular”. En dicho estudio comentaron que la gestión de residuos y la economía circular son dos conceptos interrelacionados que promueven enfoques sostenibles para la sostenibilidad ambiental. El primero tiene como objetivo reducir los riesgos ambientales, la producción y la eliminación de residuos mediante el reciclaje, la reutilización y la eliminación adecuada; mientras que el segundo busca crear productos sostenibles, reducir los residuos y aumentar la eficiencia para abordar los desafíos ambientales, económicos y sociales. Al adoptar estos principios, se puede crear un sistema de circuito cerrado para reciclar y transformar residuos en nuevos productos, lo que reduce la huella ambiental, crea empleos y respalda industrias ecológicas. La gestión de residuos juega un papel crucial en la economía circular, pues permite crear un sistema sostenible que reduce los residuos y los transforma en nuevos productos,

acorde con las tres R de la economía circular: reducir, reutilizar y reciclar, los cuales son principios fundamentales que deben guían las acciones de las personas. Al reducir los residuos mediante embalajes mínimos y electrodomésticos de bajo consumo, se puede minimizar eficazmente el impacto medioambiental. El reciclaje ofrece numerosos beneficios, incluido el ahorro de energía, la creación de empleo y la reducción de los costos de las materias primas. La gestión de residuos y la economía circular son dos conceptos críticos que promueven enfoques sostenibles. Al adoptar estos principios, se podría crear un futuro más sostenible para todos y para las generaciones futuras.

Antecedentes nacionales

Castillo et al. (2025) publicaron el estudio “Estimación del potencial de valorización de residuos sólidos urbanos bajo un enfoque de bioeconomía: contribución al logro de los ODS 11 y 12 en la ciudad de Chachapoyas, Amazonas, Perú”, en el cual se plantearon como objetivo analizar la caracterización de los residuos sólidos urbanos (RSU) de la ciudad de Chachapoyas, Perú, explorando su potencial de transformación e identificando los desafíos económicos y sociales para mejorar su valorización. La investigación se centró en proponer un modelo bioeconómico que promueva la gestión sostenible de los residuos alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 11 y 12. Se realizó una caracterización detallada de los RSU utilizando la “Guía para la Caracterización de residuos sólidos urbanos”, del Ministerio del Ambiente del Perú. La recolección de datos incluyó muestreo físico, segmentación socioeconómica y evaluación de impacto ambiental. Además, se realizaron análisis operativos y financieros para evaluar los resultados de la valorización de residuos orgánicos e inorgánicos. Esta investigación presentó un modelo bioeconómico adaptado al contexto específico de la ciudad de Chachapoyas, abordando desafíos locales como las limitaciones de infraestructura e ineficiencias en la gestión de residuos. Al integrar la participación comunitaria y tecnologías innovadoras, el estudio proporcionó soluciones escalables y sostenibles para las ciudades en desarrollo. La caracterización de los RSU identificó que el 41,75 % de los residuos eran orgánicos, con alto potencial de compostaje, mientras que el 15,3 % correspondía a residuos inorgánicos reciclables. La aplicación del modelo bioeconómico permitió reducir en un 50 % los residuos enviados al relleno sanitario y evitó la emisión de 4602 toneladas de CO₂ eq en el 2023. El modelo generó ingresos combinados por US\$ 407 372,30 por concepto de compost orgánico y materiales reciclados, además de apoyar la creación de 60 puestos de trabajo.

Por su parte, La Cruz et al. (2025) estudiaron el aprovechamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos para la recuperación de áreas degradadas en Chilca, Perú. Indicaron que el tratamiento de los residuos sólidos urbanos (RSU) en el Perú y algunas partes del mundo era aún incipiente, debido principalmente a la falta de tecnologías implementadas para valorizar estos residuos. Otra causa importante en el Perú era la falta de estudios para el tratamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORM). Los objetivos de este trabajo fueron: (i) determinar la generación de FORMU, (ii) producir compost de calidad y (iii) estimar la tasa de aplicación para la recuperación de superficies degradadas. Se utilizaron herramientas e instrumentos adquiridos al Instituto de Ingeniería Sanitaria de FIUBA y al Ministerio del Ambiente para la medición de parámetros fisicoquímicos y estimaciones ambientales. Los resultados mostraron una generación de RSU per cápita de 0,472 kg/hab/día, de los cuales el 42,87 % estuvo compuesto por FORMU o fracción orgánica de RSU; se determinó una disponibilidad factible de materia orgánica para compostaje de 6783,79 t/año. El experimento de compostaje se realizó con residuos segregados en la planta de tratamiento de RSU, instalando pilas de compostaje con estructurantes (WE) constituidas por virutas, aserrín y residuos de jardinería, y sin estructurantes (NS). A pesar de las condiciones climáticas desfavorables de la región, la madurez y las propiedades fisicoquímicas del compost fueron similares a los compost de RSU registrados en otros lugares, con pocas diferencias entre NS y WE. La principal limitación de la calidad del compost fue la concentración de metales pesados Cd, Pb y Zn, que se encontraban cerca o por encima de los límites establecidos en varias normativas, pero se puede reducir significativamente segregando la FORSU en origen. Se utilizaron límites anuales y límites de carga acumulada para aplicaciones de 10 años. Las dosis precautorias calculadas fueron 25 t/ha/año y 85 t/ha para 10 años en peso seco; corrigiendo por contenido de humedad, la dosis precautoria fue de 40 t/ha/año en peso húmedo. Dependiendo de la fracción orgánica de RSU disponible, de la producción de compost y de la dosis de precaución, se podría recuperar con compost entre 60 y 80 ha/año de áreas agrícolas degradadas y viveros de plantaciones forestales; utilizando dosis menores, es posible cubrir una superficie mayor. El trabajo aportó información valiosa para elaborar un plan de gestión integral de RSU, cerrando el ciclo de producción, tratamiento y aprovechamiento beneficioso.

Asimismo, Renan, et al. (2024) investigaron sobre el futuro sostenible: gestión de residuos sólidos y desarrollo sostenible en la Amazonía peruana. Dicho estudio fue

importante porque permitió reflexionar y buscar una gestión exitosa de los residuos sólidos para alcanzar el desarrollo sostenible en la región amazónica del Perú, como una forma constante de protección de la salud y la vida; al mismo tiempo, constituyéndose en un incentivo para las economías familiares. El estudio buscó establecer una relación entre la gestión de residuos sólidos y el desarrollo sostenible en la Amazonía peruana. El tipo de investigación fue básica, con un diseño no experimental, alcance correlacional y transversal. Se trabajó con una población de 8000 mil usuarios y una muestra de 1000. La técnica de recolección de datos fue la encuesta y se utilizó como instrumento el cuestionario. Los resultados demostraron que el nivel de gestión de residuos sólidos era bajo en un 60,1 %. El nivel de desarrollo sostenible también era bajo, con un 52,5 %. Existía una correlación positiva baja y significativa entre las dimensiones condiciones externas permanentes, condición institucional, tratamiento de residuos, recolección-transporte y disposición final de la variable gestión de residuos sólidos y la variable desarrollo sostenible con un coeficiente rho de Spearman de 0,342; 0,325; 0,063; 0,226 y 0,239, y un p-valor de 0,000, nivel de significancia de 0,001. Se concluyó que sí existía una correlación positiva baja y significativa entre la variable gestión de residuos sólidos y el desarrollo sostenible en la Amazonía peruana, con un rho de Spearman de 0,309 y un p-valor de 0,000, el cual es $< 0,01$; lo demás solo presenta una variabilidad del 30 % entre variables.

2.2 Bases teóricas

Economía circular y residuos sólidos municipales

En los países en desarrollo, donde todavía se emulan modelos lineales de circuito abierto de residuos y contaminación, se ha buscado cambiar las prácticas tradicionales de gestión de residuos. Desde un razonamiento economista-tecnista, se ha considerado que estas prácticas siguen siendo las más adecuada para países con economías de acumulación primaria, además de ser una estrategia válida para acelerar el fin de la fase industrial en los países postindustriales avanzados. Como consecuencia, se han observado altos índices de material orgánico y biomasa desechados en estos países, así como un excesivo despliegue de residuos inorgánicos que pueden suponer daños irreversibles a recursos escasos y vitales. Las prácticas globales actuales en materia de residuos han tenido un impacto conocido y desconocido en el medioambiente y la sociedad. La generación de riqueza a partir de residuos tiene como

objetivo cambiar esta trayectoria hacia un futuro más seguro y sostenible. (Hosseinalizadeh et al., 2022).

Se ha propuesto que la generación de riqueza a partir de residuos es pertinente para la reducción de la pobreza urbana, la mejora ambiental y el desarrollo sostenible. Esto ha venido acompañado de la afirmación de que un cambio fundamental en las prácticas empresariales, comunitarias y gubernamentales es esencial para movilizar empresas viables que generen riqueza a partir de los residuos. Un enfoque para reestructurar los flujos de materiales de la sociedad moderna, de modo que haya una reducción en la dispersión y las emisiones de materiales considerados nocivos, y una concentración de recursos renovables para la producción, es un medio reconocido para generar riqueza a partir de los residuos (Velenturf y Purnell, 2021).

Como la gestión de residuos es un proceso costoso y de múltiples etapas, en los países en desarrollo existe ahora la oportunidad de eludir algunos de los métodos de gestión más dañinos y costosos que prevalecen en muchas naciones industrializadas. Esta perspectiva apunta hacia un enfoque integrador de la gestión ambiental; si tiene éxito en múltiples niveles, puede servir para neutralizar o descarrilar algunos de los actuales enfoques perjudiciales para el desarrollo industrial y urbano. En este sentido, se ha propuesto un enfoque alternativo en una publicación conjunta del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y el Programa Líder de Coordinación de la Gestión de Residuos (Waste CLIC), el cual fue titulado "Hacer riqueza a partir de los residuos", el cual se centró en la mejora de los medios de vida, la eficiencia de los recursos y la gestión de residuos (Noufal et al., 2020).

Considerando la creciente cantidad de residuos sólidos generados por los municipios y el alto costo de su gestión y eliminación, su reducción y reciclaje se han vuelto muy importantes, para lo cual se está estudiando una solución alternativa conocida como "Sistema Residuo Cero". Esta propuesta en gestión y prevención de residuos está dirigida a promover un cambio de hábitos industriales y de consumo para prevenir la producción de residuos que no sean reutilizables, reciclables o compostables. Esto difiere mucho de las prácticas actuales en muchos países desarrollados, donde una gran proporción de los residuos industriales y de consumo se envía a vertederos o a inyección en pozos profundos debido a los bajos costos de estos métodos. El concepto del "Sistema Cero Residuos" es utilizar una alternativa de menor impacto y menos costosa que permita promover cambios en el ciclo de vida de los productos. Una parte integral de un "Sistema Residuo Cero" es avanzar en la

recuperación de recursos, basado en gran medida en principios de ecología industrial y sostenibilidad. Si se eliminan los desechos, también los costos para su eliminación y se pueden reciclar más materiales para regresar a la industria (Ahmed et al., 2023).

Desafíos de la gestión de residuos sólidos municipales

Los desafíos tercero y cuarto se centran en desarrollar formas más sostenibles de lidiar con los residuos. Es necesario ya no depender únicamente de los vertederos, pues son insostenibles y perjudiciales para el medioambiente. La vida útil de un vertedero se puede aumentar si solo se utilizan los recursos que no se pueden reutilizar o regenerar, así como diseñando vertederos y productos para minimizar el impacto ambiental. Un ejemplo de esto sería hacer que todos los materiales orgánicos sean biodegradables, minimizando así la necesidad de utilizar sustancias tóxicas para controlar los lixiviados. El siguiente paso para mejorar la utilización de los recursos es alejarse de la filosofía de eliminación y pasar a la recuperación y el reciclaje de recursos. Esta no será una transición fácil, ya que los métodos actuales de eliminación de residuos son económicamente más simples y eficaces. En la actualidad, una gran cantidad de reciclaje tampoco es sostenible y solo puede justificarse por el beneficio medioambiental. Un ejemplo de esto es el reciclaje de plásticos, pues la demanda económica del producto reciclado es insuficiente para justificar el costo. La industria del reciclaje de plástico también es muy competitiva y el beneficio medioambiental no siempre tendrá prioridad sobre la especulación (Prabawati et al., 2023).

Según Maclaren, existen cinco desafíos clave en la gestión de residuos sólidos municipales. El primero es hacer la transición de un modelo lineal de tomar, fabricar, consumir y tirar a una economía circular que reproduzca el ciclo natural, donde los desechos y subproductos de un proceso se convierten en abono o se regeneran en nuevos productos o en recursos como el calor, combustible o electricidad. MacLaren afirmó que un cambio planificado hacia un sistema circular requeriría coordinación entre fabricantes, organismos reguladores, instituciones educativas y el público en general, a fin de ayudar a determinar el lugar en el cual se aplicarán métodos de producción más limpios para reducir la toxicidad y la cantidad de desechos producidos en cada etapa, e identificar y utilizar subproductos y materiales de desecho como recursos (Van et al., 2021).

Principios y aplicaciones de la economía circular

En una economía circular, los residuos se pueden eliminar reemplazando el concepto de fin de vida útil por la reducción del uso de materiales, la reutilización, la

reciclabilidad y la complejidad de la descomposición biológica. Sin embargo, para que esto sea un éxito se requiere un pensamiento sistemático en las primeras etapas de diseño que pueden imponerse por ley. La consecución de los objetivos de reciclaje de la Unión Europea (UE) para 2025 (65 %) y 2035 (75 %) se centró en el diseño de productos innovadores destinados a reducir el volumen y aumentar la reciclabilidad de los residuos, al tiempo que se logran mejores resultados medioambientales y que sean capaces de competir en mercados globalizados que generen mejores oportunidades laborales (Ali y Shirazi, 2023).

Estrategias de economía circular para residuos sólidos municipales

Se han propuesto una serie de estrategias para la gestión de los RSU en el marco de la economía circular, las cuales pueden dividirse en aquellas que se centran en "cerrar" y aquellas que se centran en "desacelerar". Las estrategias de "cierre" buscan mantener los productos, materiales y recursos circulando dentro de la economía durante el mayor tiempo posible, extrayendo de ellos el máximo valor mientras están en uso, y recuperando y regenerando productos y materiales al final de cada vida útil. Esta es la estrategia más comúnmente percibida para la economía circular. La implementación de estas estrategias implicará un rediseño significativo de los ciclos de vida de los productos y, en algunos casos, cambios en la naturaleza de los propios productos. Las estrategias de "desaceleración", por el contrario, buscan minimizar la generación de residuos en la fuente. Esto puede lograrse mediante la sustitución de materiales/productos o podría implicar cambios más fundamentales en la naturaleza de los patrones de consumo y estilos de vida. Si bien estas estrategias ciertamente no son exclusivas y probablemente deban combinarse hasta cierto punto, comprender la diferencia es importante para el manejo de los RSU (Ambaye et al., 2023).

En el marco de la gestión sostenible de los residuos sólidos, teniendo en cuenta la prohibición de los vertederos de sustancias orgánicas, el Gobierno tenía previsto promover el tratamiento biológico de los residuos sólidos municipales. Este tratamiento se está impulsando con la concesión de una subvención para acelerar las instalaciones de compostaje y producción de biogás. Aunque esta estrategia parece costosa, con grandes necesidades de espacio y largos tiempos de clasificación, se trata de una tecnología prometedora para el futuro. En la fase final de gestión, los residuos del tratamiento de residuos serán depositados en vertederos. En esta etapa, se debería esperar que las condiciones del vertedero hayan mejorado en comparación con la

situación actual, de modo que se pueda minimizar el impacto ambiental. La estrategia de gestión sostenible de residuos sólidos es un programa a largo plazo y su impacto no será demasiado evidente en un corto período. Sin embargo, se tiene que creer que este es el comienzo de un futuro mejor (Yaashikaa et al.2020).

2.3 Definición de términos

Residuos sólidos: para Vargas et al. (2021), son las sustancias, productos o subproductos en estado sólido o semisólido que, al no ser son manejados de forma adecuada, pueden representar riesgos tanto para la salud como para el ambiente.

Economía circular: es un modelo centrado en maximizar los recursos disponibles para que estos permanezcan el mayor tiempo posible en el ciclo productivo, de acuerdo con Machado et al. (2022). El objetivo es reducir todo lo posible la generación de residuos y a aprovechar al máximo aquellos cuya generación no se pueda evitar.

Valorización de residuos sólidos: para Sacristán et al. (2022), significa optimizar sus características a partir de procesos de reutilización, recuperación y reciclado. También hace referencia a un proceso, a una operación cuyo objetivo es darle al residuo una utilidad. Por ejemplo, la sustitución de otros materiales para realizar una función.

Gestión de residuos sólidos: es el proceso de recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los desechos generados por las actividades humanas (Gonzales et al., 2022).

Botadero de residuos sólidos: Valdivia et al. (2022) explicaron que es el lugar donde se disponen los residuos sólidos sin ningún tipo de control; los residuos no se compactan ni cubren diariamente y eso produce olores desagradables, gases y líquidos contaminantes.

Compostaje: es el proceso natural de reciclar materia orgánica, como hojas y restos de comida, para convertirla en un fertilizante valioso que puede enriquecer el suelo y las plantas (Rivas, 2024),

Comercialización de residuos sólidos; según Mojica et al. (2023), abarca la compra y venta de residuos reaprovechables con fines de tratamiento, recuperación y reciclaje mediante procesos de transformación física o fisicoquímica.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1 Tipo de investigación

Existen varios criterios para definir el tipo de investigación:

En relación con su propósito, se clasificó como aplicada, ya que buscó mejorar la comprensión de un aspecto específico de la realidad dentro del ámbito de estudio de una disciplina científica en particular, en este caso, la aplicabilidad de la economía circular al manejo de los residuos sólidos municipales (Bacon, 2020).

Según el diseño de investigación, este tipo de investigación fue no experimental, conocido como posfacto, ya que se basó en la observación completa de los hechos sin modificar ni el entorno ni el fenómeno estudiado, ya que se trató del análisis de la generación de residuos sólidos en un distrito (Bacon, 2020)

En cuanto a su duración en el tiempo, se catalogó como transversal o sincrónica, ya que se limitó a un momento específico o a un segmento de tiempo durante el año con el fin de medir o describir la situación en ese instante (Bacon, 2020).

Según el enfoque en el tipo de datos manejados, se clasificó como cuantitativa, dado que la mayor parte del estudio se centró en la cuantificación y el cálculo de los datos (Bacon, 2020).

Una consideración especial merece el nivel de investigación, que en este caso corresponde a un nivel relacional, pues se analizaron dos variables, pero sin manipular ninguna de ellas (Bacon, 2020).

3.2 Alcance

El presente trabajo de investigación involucró un alcance a nivel distrital, ya que consideró la información generada en el distrito de Punta de Bombón; sin embargo, se pretendió mostrarlo como un modelo que pueda ser aplicado a otros distritos, considerando la misma metodología y los mismos criterios

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

En la presente investigación se consideró a la población como la cantidad total de residuos sólidos generados en el distrito de Punta de Bombón, a partir de los cuales se determinaron los que pueden ser incluidos en la economía circular (Quezada, 2021).

3.3.2 Muestra

En el presente trabajo de investigación se empleó el muestreo censal, pues se consideró para el análisis la totalidad de los residuos sólidos generados en unidad de tiempo (Quezada, 2021).

3.4 Técnicas de recolección

Se utilizó la técnica de la observación.

3.5 Instrumento de recolección de datos

Se empleó la lista de chequeo. También se utilizó una evaluación técnica.

3.6 Determinación del manejo de residuos sólidos

Para poder realizar un diagnóstico de cómo se manejan los residuos sólidos en el distrito de Punta de Bombón, se utilizó lo establecido en la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos (D. L. N.º 1278), que incluyen nueve procesos, los cuales, además, se definen en el Reglamento de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos (D. S. N.º 014-2017-MINAM). Con dichos procesos se construyó la lista de chequeo que se encuentra en la Tabla 2.

Tabla 2. Lista de chequeo para establecer el manejo de residuos sólidos

Proceso de manejo de la ley de gestión integral de residuos sólidos	Nivel de cumplimiento			Observaciones
	Ineficiente	Intermedio	Eficiente	
Barrido y limpieza de espacios públicos				
Segregación				
Almacenamiento				
Recolección				
Valorización				
Transporte				
Transferencia				
Tratamiento				
Disposición final				

Para completar la información de la lista de chequeo propuesta en la Tabla 2, se recurrió a la participación de los miembros de la Subgerencia de Gestión Ambiental de la Municipalidad Distrital de Punta de Bombón y a visitas de campo, para lo cual se consideraron el registro fotográfico y los datos tomados de la fuente directamente.

3.7 Determinación de la producción per cápita proyectada

Conocer la cantidad de residuos sólidos que se generan en el distrito de Punta de Bombón, así como proyectar lo que se generará en el futuro, es de suma importancia para una adecuada planificación de su gestión. Para ello, resultó fundamental determinar la producción per cápita proyectada, la cual se calcula en función a la población proyectada hacia el futuro. En ese sentido, se realizó una proyección población desde el año 2024 con un horizonte de 15 años, utilizando la tasa de crecimiento poblacional porcentual determinada por el INEI (2018) para el distrito. En el caso de la proyección del crecimiento anual de la producción per cápita de residuos sólidos se consideró el valor del 1 % establecido por EPA (2015).

3.8 Determinación de la cantidad de residuos sólidos producidos

El conocimiento acerca de la generación de residuos sólidos posibilita la determinación de diversos aspectos, como la selección de los equipos de recolección más apropiados, la cantidad de personal necesario, la planificación del acondicionamiento y otros aspectos que permiten beneficiarse económicamente de estos, sustentado en la economía circular

Para calcular esta generación, se debe multiplicar la población total por la producción per cápita, proporcionando así la cantidad diaria de residuos sólidos. La producción anual de desechos sólidos se obtiene multiplicando este valor diario por 365 días, representativos de un año.

La producción acumulada de residuos sólidos se determina sumando año tras año los residuos generados durante toda la vida útil, obteniendo así el valor total de residuos potencialmente considerados para la economía circular

3.9 Evaluación la potencialidad de la aplicación de la economía circular y la valorización de los residuos sólidos del distrito de Punta de Bombón

Si bien es cierto que en los conceptos generales la valorización es una parte de la economía circular, esta es considerada de manera especial debido a que está incluido en los nueve procesos establecidos por la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Los criterios de la economía circular aplicado a residuos sólidos involucran cinco modelos o posibilidades de reutilización, que son:

- Modelo de valoración de residuos: involucra residuos utilizados en aplicaciones diferentes, por ejemplo, el aprovechamiento energético de los residuos, reciclaje de materiales de envases, compostaje de residuos orgánicos.
- Modelos circulares: el material es reutilizado en la misma aplicación, por ejemplo, el reúso de agua tratada, escombros recuperados como grava.
- Modelos de extender la vida útil: rediseño de productos y procesos que genere menor impacto ambiental, por ejemplo, envases retornables, fuentes de energía renovable, producción más limpia.
- Modelos de productos como servicios: los servicios son ofrecidos para compartir productos entre usuarios, por ejemplo, bibliotecas públicas, sistema de transporte masivo.

- Modelos de plataforma: uso de tecnología de información y data para optimizar sistemas, por ejemplo, agricultura de precisión, uso de sistemas de transporte digitalizados.

3.10 Análisis de la información

La información que fue recolectada a través de la aplicación del instrumento “Lista de chequeo” (ver Tabla 2) fue procesada utilizando para ello la hoja de cálculo de Excel, versión 22. Lo mismo se utilizó para los cálculos y proyecciones relacionadas con la producción per cápita y los procesos de valorización de los residuos sólidos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Presentación de resultados

Como se mencionó en el Capítulo III, para el análisis de los procesos de gestión de residuos sólidos municipales en el distrito de Punta de Bombón se construyó una lista de chequeo a partir de lo establecido en la Ley De Gestión Integral De Residuos Sólidos (D. L. N.º 1278) y su respectivo reglamento, que corresponde al D. S. N.º 014-2017-MINAM, tomando como base fundamental los procesos que debe constituir la gestión de los residuos sólidos municipales. Como se apreció en la lista de chequeo mencionada, los procesos considerados son nueve, los cuales fueron valorados de manera arbitraria considerando un cumplimiento inexistente, regular y alto. El llenado de la lista de chequeo se realizó mediante la observación directa, y con el apoyo de la Gerencia de Servicios a la Comunidad de la Municipalidad Distrital de Punta de Bombón.

Tabla 3. Lista de chequeo para establecer el manejo del manejo de residuos sólidos

Proceso de acuerdo con normativa	Valoración arbitraria de cumplimiento			Observaciones
	Inexistente	Regular	Alto	
Barrido y limpieza de espacios públicos		X		Cobertura aproximada del 35 %.
Segregación	X			
Almacenamiento		X		Sin las condiciones adecuadas.
Recolección		X		Un camión compactador.
Valorización	X			
Transporte		X		A través del propio camión compactador.
Transferencia	X			
Tratamiento	X			
Disposición final		X		Se realiza en un botadero informal.

En la Tabla 3 se observa la valoración arbitraria de cumplimiento de los procesos establecidos en la normativa vigente respecto al manejo residuos sólidos en el distrito de Punta de Bombón. Del total de los nueve procesos, cuatro son inexistentes, que corresponden a segregación, valorización, transferencia y tratamiento. Asimismo, cinco procesos se cumplen a un nivel regular, que corresponden a barrido y limpieza de espacios públicos, almacenamiento, recolección, transporte y disposición final; de estos últimos se debe mencionar que hay algunos que son calificados como regulares, transgrediendo la normativa vigente, como es el caso de la disposición final que se realiza en un botadero.

Barrido y limpieza de espacios públicos

El proceso de barrido y limpieza de espacios públicos se considera con una valoración de regular, debido a que no se realiza en todo el distrito, sino que está centralizado hacia la zona de la plaza principal y algunas calles aledañas. El proceso considera la participación de 10 trabajadores los cuales cuentan con sus equipos de protección personal (EPP) adecuados y con el apoyo de una movilidad tipo moto carga.



Figura 1. Barrido y limpieza de espacios públicos en el distrito de Punta de Bombón.



Figura 2. Movilidad y apoyo para barrido y limpieza de espacios públicos.

Se ha considerado en la calificación de este proceso un 35 %, porque solo se realiza en los alrededores de la plaza de Armas. Debe mencionarse, además, que hay una buena cantidad de calles que forman parte del distrito pero que no se encuentran pavimentadas y hace difícil que se lleve a cabo el proceso.

Segregación

El proceso de segregación en el distrito de Punta de Bombón es inexistente, lo cual resulta un problema que solucionar respecto al interés de llevar a cabo procesos de valorización de los residuos sólidos. La eficiencia de la valorización depende en gran medida del proceso de segregación de los residuos, especialmente cuando esta se realiza en el punto de generación. Bajo este criterio, la ausencia de segregación en la fuente constituye un problema prioritario que debe ser solucionado a fin de implementar un sistema de valorización efectivo.

Almacenamiento

El proceso de almacenamiento de residuos sólidos en el distrito de Punta de Bombón se realiza de una manera ineficiente. La población utiliza principalmente bolsas de plástico, cajas de cartón y otros recipientes improvisados como contenedores temporales, los cuales son depositados en lugares inapropiados para su recolección. En muchos casos, estos residuos no son entregados directamente al camión recolector.



Figura 3. Almacenamiento residuos sólidos en el distrito de Punta de Bombón.

En la Figura 3 se observa el problema respecto al almacenamiento de los residuos sólidos, que son abandonados al pie de un poste desde donde el trabajador municipal tiene que recogerlo, pero donde convergen diferentes factores, como la presencia de perros callejeros o el esparcimiento de los residuos sobre la vereda, lo cual genera un problema de contaminación en la zona.

Recolección

El proceso de recolección de residuos sólidos en el distrito de Punta de Bombón se realiza con un camión recolector de 8 t, el cual establece un recorrido todos los lunes, miércoles y viernes. Sin embargo, existen lugares en los cuales, debido a la falta de acceso el camión compactador, no se puede ingresar, generándose problemas de recojo de residuos sólidos. Por tanto, la cobertura aproximada es de 95 %.



Figura 4. Recolección de residuos sólidos.

En la Figura 4 se muestra el camión recolector o compactadora que se utiliza en el distrito de Punta de Bombón.

Valorización

En el distrito de Punta de Bombón no se realiza una valorización de los residuos sólidos, salvo lo considerado con la participación de ciertos recicladores informales, quienes recogen fundamentalmente plástico, lo cual no tiene ningún nivel de eficacia, formalidad o salubridad.



Figura 5. Residuos sólidos seleccionados en el botadero del distrito de Punta de Bombón.

La Figura 5 muestra los residuos sólidos que se seleccionan por recicladores informales en el botadero de Punta de Bombón, los cuales son comercializados en la ciudad de Ilo.

Transporte

El transporte de los residuos sólidos generados en el distrito de Punta de Bombón es realizado mediante la misma compactadora hacia la zona del botadero, que se encuentra ubicado en un lugar cercano a la garita de la carretera costanera, en el sur del distrito. Esto resulta inadecuado pues el transporte debería ser realizado por movilidades de mayor tonelaje, lo que permitiría ahorrar combustible y, además, el cuidado de la compactadora, la cual tiene un costo mucho más elevado que un camión de carga común.

Transferencia

En el distrito de Punta de Bombón no existe una planta de transferencia con una infraestructura adecuada a donde sean llevados los residuos sólidos recogidos por la compactadora. Además, las movilidades deben ser mayor tonelaje para ahorrar combustible y proteger la maquinaria existente, sobre todo de la compactadora. En las plantas de transferencia se aprovecharía para verificar la segregación de los residuos, lo cual resultaría importante si es que se pretende implementar un sistema de valorización de residuos sólidos.

Tratamiento

En el distrito de Punta de Bombón no existen procedimientos para el tratamiento de los residuos. Se trata de reducir la peligrosidad de estos para generar el menor daño posible al ambiente y a salud de la población del entorno.

Disposición final

El distrito tiene como disposición final un botadero, conforme a un procedimiento ilegal, ya que la forma establecida de acuerdo con la normativa vigente corresponde a un relleno sanitario. Como se mencionó previamente, existe la actividad de algunos recicladores ilegales que además de recoger los residuos que comercializan, que corresponden fundamentalmente a plásticos, realizan la quema del resto de los residuos, generando un problema de contaminación al aire. La ubicación del mencionado botadero corresponde a 17°13'1.80"S y 71°39'0.24"O hacia el sur del distrito, a 10 km, siguiendo la línea de la costanera sur. Se encuentra 22 m sobre el nivel del mar y a 608 m en línea recta a la línea de playa, lo cual podría generar problemas de contaminación.

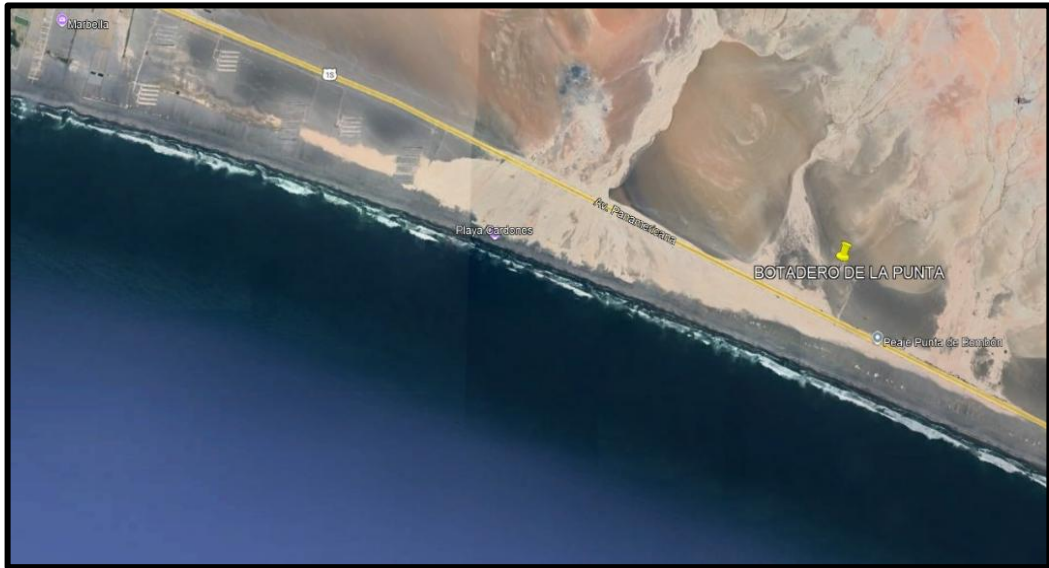


Figura 6. Ubicación del botadero del distrito de Punta de Bombón.



Figura 7. Botadero del distrito de Punta de Bombón.

En el botadero del distrito de Punta de Bombón se observa la actividad de reciclaje y el proceso de quema de los residuos que afecta significativamente el entorno ambiental de la zona, como se muestra en la Figura 7.

Determinación de la producción per cápita proyectada y la cantidad de residuos sólidos

Es de suma importancia poder conocer la cantidad de residuos sólidos que se generan en el distrito de Punta de Bombón y que se generarán a lo largo del tiempo. Para ello, resulta fundamental la determinación de la producción per cápita proyectada,

la cual se calcula considerando la población proyectada del distrito. De esta forma se hace una proyección a partir de la población del año 2024 a 15 años en adelante, considerando la tasa de crecimiento poblacional porcentual determinada por el INEI (2018), que para el distrito de Punta de Bombón corresponde a 0,18 %. Para el caso de la proyección del crecimiento anual de la producción per cápita de residuos sólidos se consideró el valor del 1 % establecido por EPA (2015).

Tabla 4. *Producción per cápita de residuos sólidos proyectada para el año 2024*

Año	Producción per cápita (kg/hab-día)
2019	0,520
2020	0,525
2021	0,530
2022	0,536
2023	0,541
2024	0,547

En la Tabla 4 se observa los valores de producción per cápita de residuos sólidos proyectados para el año 2024; se hace notar que el valor de la producción per cápita para el año 2019 correspondía al resultado de la caracterización de residuos sólidos realizados en el distrito de Punta de Bombón para ese año. Dicha caracterización de residuos sólidos corresponde a la última realizada en el distrito. A eso se le incrementa un 1 % al año que es el valor determinado para países de América Latina y el Caribe en que se incrementa la producción per cápita (EPA, 2015). Así, se estableció que para el año 2024 (en el que se desarrolló el presente trabajo de investigación), la producción per cápita correspondía a 0,547 kg/hab-día.

Tabla 5. *Producción per cápita de residuos sólidos proyectada para el año 2040 (16 años) en el distrito de Punta de Bombón*

Año	Producción per cápita (kg/hab-día)
2024	0,547
2025	0,552
2026	0,558
2027	0,563
2028	0,569
2029	0,574
2030	0,580
2031	0,586
2032	0,592
2033	0,598
2034	0,604
2035	0,610
2036	0,616
2037	0,622
2038	0,628
2039	0,634
2040	0,641

En la Tabla 5 se observa la producción per cápita proyectada para el año 2040, que corresponde al tiempo en el cual se realiza el análisis del presente trabajo de investigación. Se estableció que, para dicho año, la producción per cápita de residuos sólidos para el distrito de Punta de Bombón correspondería a 0,641 kg/hab-día.

Tabla 6. *Población proyectada para el año 2040
(16 años) en el distrito de Punta de Bombón*

Año	Población
2024	6832
2025	6844
2026	6857
2027	6869
2028	6881
2029	6894
2030	6906
2031	6919
2032	6931
2033	6944
2034	6956
2035	6969
2036	6981
2037	6994
2038	7006
2039	7019
2040	7032

En la Tabla 6 se observa la población proyectada para el año 2040 en el distrito de Punta de Bombón. La población considerada para el año 2024 fue tomada a partir de la información brindada por la Gerencia de Servicios a la Comunidad de la Municipalidad Distrital de Punta de Bombón, la cual estableció los valores a partir de los datos del INEI (2018), considerando una tasa de crecimiento poblacional porcentual de 0,18 %; dicho de otra manera, la población crece a un ritmo de 0,18 % cada año. De acuerdo con ello, se estableció que, para el año 2040, la población estimada para el distrito corresponderá a 7032 habitantes.

Tabla 7. Cantidad de residuos sólidos proyectados para el año 2040 (16 años) en el distrito de Punta de Bombón

Año	Producción per cápita (kg/hab- día)	Población	Cantidad de residuos sólidos (toneladas)	
			Por año	Acumulado
2024	0,547	6832	1362,89	1362,89
2025	0,552	6844	1379,00	2741,89
2026	0,558	6857	1395,29	4137,18
2027	0,563	6869	1411,78	5548,97
2028	0,569	6881	1428,47	6977,43
2029	0,574	6894	1445,35	8422,78
2030	0,580	6906	1462,43	9885,22
2031	0,586	6919	1479,71	11364,93
2032	0,592	6931	1497,20	12862,13
2033	0,598	6944	1514,90	14377,03
2034	0,604	6956	1532,80	15909,83
2035	0,610	6969	1550,91	17460,74
2036	0,616	6981	1569,24	19029,98
2037	0,622	6994	1587,79	20617,77
2038	0,628	7006	1606,55	22224,32
2039	0,634	7019	1625,54	23849,86
2040	0,641	7032	1644,75	25494,60

En la Tabla 7 se observa la cantidad de residuos sólidos proyectados (en toneladas) hasta el año 2040, considerando los valores por año. Por ejemplo, se estableció que para el año 2040 se producirán 1644,75 t. También se establecieron los valores acumulados, lo que quiere decir que para el año 2040 se acumulará un total de 25 494,60 t.

Determinación la composición porcentual de los residuos sólidos generados en el distrito de Punta de Bombón

Para el cálculo de la composición porcentual de los residuos sólidos generados en el distrito de Punta de Bombón, se tomó en consideración la caracterización de estos realizada en el año 2019, mediante la cual se obtuvieron los porcentajes de cada uno de los tipos de residuos establecidos de acuerdo con el criterio del Ministerio del Ambiente. A partir de ello, se hizo el cálculo sobre el total de residuos proyectados a cada uno de los años a fin de obtener la cantidad en toneladas de residuos de cada tipo.

Tabla 8. *Composición de cada tipo de residuos sólidos obtenidos en el distrito de Punta de Bombón y proyectados hasta el año 2040 (en toneladas)*

Año	Total	No aprovechables (22,34 %)	Residuos orgánicos (63,01 %)	Plástico (5,95 %)	Papel cartón (2,74 %)	Metales (2,54 %)	Vidrio (1,59 %)	Otros (1,83 %)
2024	1362,89	304,47	858,76	81,09	37,34	34,62	21,67	24,94
2025	1379,00	308,07	868,91	82,05	37,78	35,03	21,93	25,24
2026	1395,29	311,71	879,17	83,02	38,23	35,44	22,19	25,53
2027	1411,78	315,39	889,57	84,00	38,68	35,86	22,45	25,84
2028	1428,47	319,12	900,08	84,99	39,14	36,28	22,71	26,14
2029	1445,35	322,89	910,72	86,00	39,60	36,71	22,98	26,45
2030	1462,43	326,71	921,48	87,01	40,07	37,15	23,25	26,76
2031	1479,71	330,57	932,37	88,04	40,54	37,58	23,53	27,08
2032	1497,20	334,47	943,39	89,08	41,02	38,03	23,81	27,40
2033	1514,90	338,43	954,54	90,14	41,51	38,48	24,09	27,72
2034	1532,80	342,43	965,82	91,20	42,00	38,93	24,37	28,05
2035	1550,91	346,47	977,23	92,28	42,50	39,39	24,66	28,38
2036	1569,24	350,57	988,78	93,37	43,00	39,86	24,95	28,72
2037	1587,79	354,71	1000,46	94,47	43,51	40,33	25,25	29,06
2038	1606,55	358,90	1012,29	95,59	44,02	40,81	25,54	29,40
2039	1625,54	363,15	1024,25	96,72	44,54	41,29	25,85	29,75
2040	1644,75	367,44	1036,36	97,86	45,07	41,78	26,15	30,10

En la Tabla 8 se observa la cantidad de residuos sólidos para cada uno de los tipos identificados para el distrito de Punta de Bombón, proyectados hasta el año 2040. Dentro del ítem “otros” se ha incluido a residuos sólidos tales como tetrabrik (envases de doble capa), textiles, cuero, jebe y caucho, los cuales, debido a la pequeña cantidad

en que se generan, se piensa que no deberían ser considerados dentro del proceso de valorización planteado. También se debe hacer notar que el mayor porcentaje corresponde a los residuos orgánicos (63,01 %), seguido por el plástico (5,95 %). Respecto a los no reaprovechables, es el que establece el Ministerio del Ambiente como los residuos que deben tener disposición final en un relleno sanitario, en este caso corresponde a un 22,34 % del total de residuos, lo que hace un promedio aproximado de 335 t por año.

Determinación del potencial de valorización de los residuos sólidos obtenidos en el distrito de Punta de Bombón

Uno de los pasos fundamentales para realizar un proceso de valorización efectivo corresponde a la segregación de los residuos sólidos, el cual debe realizarse en el origen, es decir, en cada uno de los hogares; para ello, es necesario plantear un plan de segregación que involucre la sensibilización, la capacitación y la dación de incentivos a la población a fin de que entreguen los residuos adecuadamente segregados.

El mencionado programa de segregación busca que se entreguen los residuos sólidos orgánicos separados de todos los demás, es decir, tener un depósito contenedor para residuos orgánicos y otro para el resto de residuos; para ello, se pretende que la municipalidad realice la inversión de comprar contenedores de residuos de plástico de dos colores: uno de color verde para colocar los residuos orgánicos y otro de color negro para colocar todos los demás residuos, además de sugerir la utilización de bolsas plásticas al interior de estos contenedores. Esto asegura que el proceso de almacenamiento sea el adecuado ya que al ser entregados directamente por la municipalidad deberá cumplir con las características técnicas necesarias para este proceso. Por otro lado, la recolección debiera variar en su frecuencias estableciéndose que para el día lunes, miércoles y viernes se recojan los contenedores verdes, es decir, los residuos sólidos orgánicos, mientras que para los días martes, jueves y sábado se recojan los contenedores negros, es decir todos aquellos residuos que no corresponden a los orgánicos. Con esto se asegura que exista una segregación inicial y que se reduzca tremendamente el riesgo de contaminación pues los residuos orgánicos tienen una peligrosidad asociada a patogenicidad.

Tabla 9. *Costo aproximado del programa de segregación de residuos sólidos*

Ítem	Costo unitario (soles)	Costo total (soles)
Contenedores	70	280 000
Recojo	25	9125*
Incentivos	5000	60 000*
Total		349 125

* Valor anual

En la Tabla 9 se incluye una aproximación de los costos que debiera asumir el programa de segregación de residuos sólidos en el distrito de Punta de Bombón, se consideran la adquisición de 4000 contenedores, 2000 de color verde y 2000 de color negro. Con respecto a los incentivos, se deja la posibilidad a diferentes alternativas, como sorteos o canjes. Para ello, se considera un presupuesto de 5000 soles mensuales, lo cual incentivará en la participación del proceso de segregación de los pobladores. Se establece un costo total al año de 349 125 soles aproximadamente.

Valorización de la materia orgánica

La puesta en valor de residuos sólidos que puedan ser aplicados a la realidad corresponde a la producción. A partir de estos, una sustancia muy útil para la agricultura denominada compost (Wang et al., 2024), que puede ser utilizada para el enriquecimiento de los terrenos agrícolas o la habilitación de terrenos para programas de reforestación (Marín, 2024).

Existen diferentes metodologías para la obtención de compost a partir de residuos sólidos municipales orgánicos (Usman, 2024); sin embargo, el método aeróbico, a través de la instalación de pilas, parvas o camellones, resulta siendo el más adecuado para realidades como la peruana (Manea et al., 2024). El método fue reportado inicialmente por la Organización Panamericana de la Salud y ha sido ampliamente utilizado en diferentes lugares de América Latina.

Las pilas, parvas o camellones tienen una dimensión de base de 3×3 m, pero se debe considerar 4 m adicionales de cada lado para la movilización de las mismas; por lo tanto, para cada pila parva o camellón se requiere un total de 49 m², valor que se redondea a 50 m². Si se divide la cantidad de toneladas al año que se producen de residuos sólidos orgánicos, que corresponden a 858,76 toneladas entre los 365 días del año, se obtiene un total de 2,35 t o 2352,76 kg; considerando una densidad de 183,68

kg/m³, densidad calculada de la caracterización de residuos sólidos desarrollada por la Municipalidad Distrital de Punta de Bombón, se tiene un total de 12,81 m³, que corresponde al volumen diario generado de residuos sólidos orgánicos; en cada pila, parva o camellón ingresa un total de 6,75 m³, por lo que se conformará un total de dos pilas, parvas o camellones por día.

El tiempo de la maduración para lograr que se produzca el compost corresponde a 90 días aproximadamente. Si se considera que cada pila, parva o camellón ocupa 50 m² en 90 días, ocuparán un total de 4500 m², que sería el requerimiento de terreno efectivo. Deben considerarse terrenos adicionales para poder colocar los lugares de acondicionamiento de los otros tipos de residuos que se van a valorizar, por lo que se sugiere considerar un terreno de 1 ha (10 000 m²), el cual podría estar ubicado cerca del botadero actual realizando las evaluaciones técnicas correspondientes. Debe tenerse en cuenta que debido a que el terreno corresponde a la municipalidad no tendría costo para la propuesta.



Figura 8. Pila, parva o camellón.

Tabla 10. *Costos fijos para la instalación del sistema de compostaje*

Costos operativos	Precios en soles
Trabajadores (5)	180 000
Agua	5000
Mantenimientos diversos	5000
Total x año	190 000

En la Tabla 10 se observan los costos fijos necesarios para la instalación de un sistema de compostaje, en el rubro maquinaria se considera un minicargador frontal para la manipulación de la materia orgánica, se establece un total de 150 000 soles como costos fijos.

Tabla 11. *Costos operativos para la instalación del sistema de compostaje*

Costos fijos	Precios en soles
Obras civiles	50 000
Maquinaria	80 000
Otros	20 000
Total	150 000

En la Tabla 11 se observa la estructura de los costos operativos para la instalación del sistema de compostaje, se considera un total de 5 trabajadores, el valor total corresponde a 190 000 soles anuales.

Respecto a los ingresos, se debe establecer que el costo por tonelada de compost de calidad intermedia se encuentra en 400 soles (precio mercado). Si se considera que la producción para el año 2025 es de 868,91 t, el ingreso por la venta del compost sería de 347 564 soles ese año.

Tabla 12. *Análisis costo-beneficio de la instalación del sistema de compostaje*

Año	Residuos orgánicos (tonelada)	Precio de venta (soles)	Costo fijo (soles)	Costos operativos (soles)	Saldo (soles)
2025	868,91	347 562,49	150 000,00	190 000,00	7562,49
2026	879,17	351 669,98		190 000,00	161 669,98
2027	889,57	355 826,02		190 000,00	165 826,02
2028	900,08	360 031,17		190 000,00	170 031,17
2029	910,72	364 286,02		190 000,00	174 286,02
2030	921,48	368 591,15		190 000,00	178 591,15
2031	932,37	372 947,16		190 000,00	182 947,16
2032	943,39	377 354,65		190 000,00	187 354,65
2033	954,54	381 814,23		190 000,00	191 814,23
2034	965,82	386 326,51		190 000,00	196 326,51
2035	977,23	390 892,12		190 000,00	200 892,12
2036	988,78	395 511,68		190 000,00	205 511,68
2037	1000,46	400 185,84		190 000,00	210 185,84
2038	1012,29	404 915,23		190 000,00	214 915,23
2039	1024,25	409 700,52		190 000,00	219 700,52
2040	1036,36	414 542,36		190 000,00	224 542,36

En la Tabla 12 se observan los cálculos de análisis costo-beneficio de la instalación del sistema de compostaje para el distrito de Punta de Bombón. Se puede observar que desde el primer año, en este caso corresponde al 2025, el saldo es positivo, siendo de 7562,49 soles, cubriendo el total de los costos fijos y los costos operativos de ese año. Después del segundo año, solo se consideran los costos operativos y, en este caso, se obtiene un saldo anual de 161 669,98 soles. Debe mencionarse que debido al incremento de la cantidad de residuos sólidos orgánicos año a año, este valor, con respecto a la producción de compost, va creciendo alcanzando un saldo a favor en el año 2040 de 224 542,36 soles.

En este caso no solo se debe tomar en cuenta el aspecto económico, que de por sí genera un ingreso adicional a la municipalidad, sino además los beneficios que se están prestando respecto a la producción de una sustancia muy útil para agricultura,

haciéndose notar que, además del turismo, la agricultura representa la actividad económica fundamental del distrito. En muchos de los casos se están buscando la ampliación de la frontera agrícola en terrenos que van hacia la zona sur del distrito, donde se requiere el recrecimiento del suelo, para lo que se podría utilizar este compost generado, estableciéndose el principio de reutilización del modelo de economía circular.

Valorización de plástico, papel y cartón

Con respecto a la puesta en valor de plástico, papel y cartón, se les considera juntos debido a que la infraestructura a ser utilizada es la misma. El proceso de valorización en este caso corresponde a la comercialización para que los residuos puedan ser utilizados en procesos industriales en otros lugares del país o incluso en otros países. Para mejorar el proceso de comercialización de estos residuos se propone realizar un acondicionamiento de los mismos, que consiste en la compactación en bloques de 1 t de cada tipo de residuo.



Figura 9. Compactadora para plástico, papel y cartón.

En la Figura 9 se observa una imagen referencial de la compactadora necesaria para el acondicionamiento, tanto del plástico como del papel y cartón. Dicho de otra manera, en la misma maquinaria utilizada para los tres tipos de residuos, el costo aproximado es de 27 000 soles.

Tabla 13. *Costos fijos para la instalación del sistema de valorización de plástico, papel y cartón*

Costos fijos	Precios en soles
Obras civiles	6000
Maquinaria	30 000
Otros	5000
Total	41 000

En la Tabla 13 se observan los costos fijos establecidos para la instalación del sistema de valorización de plástico, papel y cartón. Se debe considerar que el espacio físico para el desarrollo del procedimiento debe ser el mismo que se utiliza para el proceso de compostaje, ya que se cuenta con la disponibilidad del terreno. Las obras civiles corresponden a un sistema de almacenamiento, los residuos plataformas de cemento para la ubicación de la compactadora y otras menores. Dentro de la maquinaria se encuentra la compactadora y un pequeño generador eléctrico para el funcionamiento de la misma. Se tiene un total de 41 000 soles respecto a costos fijos.

Tabla 14. *Costos operativos para la instalación del sistema de valorización de plástico, papel y cartón*

Costos operativos	Precios en soles
Trabajadores (3)	54 000
Agua	1000
Mantenimientos diversos	1000
Total x año	56 000

En la Tabla 14 se observan los costos operativos para la instalación del sistema de valorización de plástico, papel y cartón, se considera un total de tres trabajadores con un sueldo de 1500 soles mensuales, quienes se encargarán de determinar la segregación de plástico, papel y cartón de otro tipo de residuos y la manipulación de la compactadora, además del proceso de carga y descarga para la comercialización. Se tiene un total de 56 000 soles al año respecto a estos costos operativos.

Tabla 15. *Valores de venta de plástico, papel y cartón una vez acondicionados*

Año	Plástico		Papel /cartón		Total
	Cantidad (toneladas)	Costo (soles)	Cantidad (toneladas)	Costo (soles)	
2025	82,05	65 640,27	37,78	52898,34	118538,61
2026	83,02	66 416,01	38,23	53523,49	119939,50
2027	84,00	67 200,91	38,68	54156,03	121356,95
2028	84,99	67 995,09	39,14	54796,05	122791,14
2029	86,00	68 798,66	39,60	55443,63	124242,29
2030	87,01	69 611,72	40,07	56098,86	125710,58
2031	88,04	70 434,39	40,54	56761,84	127196,23
2032	89,08	71266,79	41,02	57432,65	128699,44
2033	90,14	72109,02	41,51	58111,39	130220,41
2034	91,20	72961,20	42,00	58798,15	131759,35
2035	92,28	73823,46	42,50	59493,02	133316,48
2036	93,37	74695,91	43,00	60196,11	134892,02
2037	94,47	75578,66	43,51	60907,51	136486,17
2038	95,59	76471,85	44,02	61627,31	138099,16
2039	96,72	77375,59	44,54	62355,63	139731,22
2040	97,86	78290,02	45,07	63092,54	141382,56

La Tabla 15 muestra los valores de venta del plástico, papel y cartón de acuerdo con la producción de cada año a partir del 2025. El valor de venta establecido para el plástico es de 800 soles la tonelada, mientras que para el papel y cartón es de 1400 soles la tonelada (precios tomados de Ecogreen-Perú y bolsa de residuos sólidos del MINAM).

Tabla 16. *Análisis costo-beneficio de la instalación del sistema de valorización de plástico, papel y cartón*

Año	Precio de venta (soles)	Costo fijo (soles)	Costos operativos (soles)	Saldo (soles)
2025	118 538,61	41 000,00	56 000,00	21 538,61
2026	119 939,50		56 000,00	63 939,50
2027	121 356,95		56 000,00	65 356,95
2028	122791,14		56 000,00	66 791,14
2029	124 242,29		56 000,00	68 242,29
2030	125 710,58		56 000,00	69 710,58
2031	127 196,23		56 000,00	71 196,23
2032	128 699,44		56 000,00	72 699,44
2033	130 220,41		56 000,00	74 220,41
2034	131 759,35		56 000,00	75 759,35
2035	133 316,48		56 000,00	77 316,48
2036	134 892,02		56 000,00	78 892,02
2037	136 486,17		56 000,00	80 486,17
2038	138 099,16		56 000,00	82 099,16
2039	139 731,22		56 000,00	83 731,22
2040	141 382,56		56 000,00	85 382,56

En la Tabla 16 se observa el análisis costo-beneficio de la instalación del sistema de valorización de plástico, papel y cartón. Desde el primer año, que corresponde al 2025, se observó un saldo positivo de 21 538,61 soles, cubriendo la totalidad del costo fijo; para el segundo año, el saldo corresponde 63 939,50 soles.

Al margen del beneficio económico, se ingresa a un proceso de reutilización mediante la comercialización de los residuos sólidos, siendo otro de los principios de la economía circular aplicada a la gestión de residuos sólidos municipales.

Tabla 17. *Análisis costo-beneficio de la valorización total de residuos sólidos considerando el programa de segregación*

Año	Saldo compostaje (soles)	Saldo plástico, papel y cartón (soles)	Costo de segregación (soles)		Saldo (soles)
			Fijo	Operativo	
2025	7562,49	21 538,61	280 000,00	69 125	320 023,90
2026	161 669,98	63 939,50	320 023,90	69 125	163 539,42
2027	165 826,02	65 356,95	163 539,42	69 125	-1481,45
2028	170 031,17	66 791,14	1481,45	69 125	166 215,86
2029	174 286,02	68 242,29		69 125	173 403,31
2030	178 591,15	69 710,58		69 125	179 176,73
2031	182 947,16	71 196,23		69 125	185 018,39
2032	187 354,65	72 699,44		69 125	190 929,09
2033	191 814,23	74 220,41		69 125	196 909,64
2034	196 326,51	75 759,35		69 125	202 960,86
2035	200 892,12	77 316,48		69 125	209 083,60
2036	205 511,68	78 892,02		69 125	215 278,70
2037	210 185,84	80 486,17		69 125	221 547,01
2038	214 915,23	82 099,16		69 125	227 889,39
2039	219 700,52	83 731,22		69 125	234 306,74
2040	224 542,36	85 382,56		69 125	240 799,92

En la Tabla 17 se observa el análisis costo-beneficio de la valorización total de los residuos sólidos, considerando el programa de segregación establecido. En este caso, se aprecia que el saldo positivo se da a partir del año 2028; sin embargo, se debe tomar en cuenta que se está aplicando modelos de economía circular en la gestión de residuos sólidos del distrito de Punta de Bombón y, además de ello, se está implementando un sistema de segregación de residuos en casa que beneficia significativamente a la calidad de vida y ambiental del distrito.

4.2 Discusión de los resultados

Para Cano et al. (2022), Nogueira et al. (2019) y Bandh et al. (2024), cualquier proceso de gestión de residuos sólidos debe basarse en un marco legal consolidado para el país, en el cual se pretende la aplicación del mismo. Esto permite que los sistemas de gestión de residuos sólidos tengan sostenibilidad en el tiempo y apoyo del futuro político que tenga el país; es por ello que para la realización del diagnóstico respecto a la gestión de residuos sólidos en el distrito de Punta de Bombón se utilizó la normativa nacional correspondiente, la cual involucra a la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos (D. L. N.º 1278) y su respectivo reglamento establecido por D. S. N.º 014-2017-MINAM. Es en esta normativa donde se fija que para el Perú, la gestión de residuos sólidos municipales debe considerar fundamentalmente nueve procesos, los cuales se han mencionado en el instrumento aplicado para el levantamiento de la información de diagnóstico en el presente trabajo de investigación.

Respecto a la caracterización de cada uno de los procesos dentro del distrito de Punta de Bombón, se debe establecer que, por la propia realidad del distrito, no se pueden aplicar de una manera completa. Es el caso del barrido y limpieza de espacios públicos, que se ve limitado por el hecho de que muchas de las avenidas del distrito no se encuentran pavimentadas y hace dificultoso el proceso de barrido. Para Ferronato et al. (2021), esto se observa en países en vías de desarrollo y que no tienen una infraestructura urbana adecuada que conlleva bajos cumplimiento respecto a la gestión de residuos sólidos.

De acuerdo con la legislación peruana, la forma válida para la disposición final de los residuos sólidos corresponden a los rellenos sanitarios. Estas estructuras de construcción civil aseguran el control de dos de los impactos ambientales más fuertes que generan los residuos sólidos: uno de ellos es la generación de lixiviados, un líquido sumamente contaminante que puede percolar y llegar a cuerpos de agua permanente como en este caso sería el mar, y el otro corresponde a la generación de gases de efecto invernadero, específicamente el metano, el cual puede controlarse en un relleno sanitario. Sin embargo, para el distrito de Punta de Bombón se utilizó un botadero en el cual no existe ningún tipo de manejo de los residuos; por el contrario, estos se queman generando contaminación atmosférica severa. Leme et al. (2022) resaltaron la peligrosidad que tiene el mal manejo de la disposición final de residuos sólidos, dependiendo de la naturaleza de los mismos. En este caso se considera que la presencia de materia orgánica es la precursora de la generación de lixiviados; como se ha

observado en el análisis, más del 60 % de los residuos generados en el distrito de Punta de Bombón corresponden a materia orgánica, que se está depositando en relleno sanitario y que no tiene ningún interés respecto al reciclado generado por informales. Por lo tanto, se encuentra generando grandes cantidades de lixiviados que contaminan el lecho marino.

Al respecto, Rodríguez et al. (2020) explicaron la importancia del parámetro denominado producción per cápita para poder planificar y dimensionar adecuadamente los procesos considerados dentro de un sistema de gestión de residuos sólidos municipales, considerando fundamentalmente la economía circular y los procesos de valorización de los mismos. Si bien es cierto que los cálculos deben ser actualizados, la validez de los mismos se mantiene a lo largo del tiempo, ya que la variación no resulta significativa sobre todo si la tendencia hacia el margen de roles hacia el lado positivo, es decir, hacia el incremento más que el decremento de las cantidades calculadas. Por otro lado, Silva et al. (2022) establecieron que la aplicación de la producción per cápita para el desarrollo de las cadenas de valor para el reciclado de residuos sólidos debe ser monitoreada constantemente de acuerdo con lo calculado y obtenido; sin embargo, en la normativa actual, en el Perú solo se solicita que las municipalidades desarrollen el proceso de caracterización de residuos sólidos, que es por el cual se determina la producción per cápita, cada cinco años, impidiendo que se cumpla adecuadamente este seguimiento de los valores de producción per cápita.

Asimismo, Yaashikaa et al. (2020) definieron la importancia de realizar procesos de valorización sobre la materia orgánica generada como residuos sólidos municipales. Indicaron que muchos países donde las actividades no tienen un control adecuado, la generación de materia orgánica corresponde a la que ocupa mayor porcentaje dentro del total de residuos producidos. En el presente trabajo se determinó un porcentaje por encima del 60 %, es decir, más de la mitad de la basura generada corresponde a estos residuos sólidos orgánicos. Por lo tanto, el proceso de compostaje aplicado resulta en la solución de más de la mitad del problema de los residuos sólido. Zeballos y Burbano (2022) resaltaron la importancia del desarrollo de procesos de compostaje en ciudades con entornos agrícolas o con potencial de reforestación, ya que la sustancia resulta bastante beneficiosa para la conservación del suelo y la nutrición del mismo con miras a la instalación de cubierta vegetal.

Tabla 18. *Cumplimiento de los indicadores*

Indicador	Referencia del indicador
Cantidad en soles de ingresos anuales obtenidos por la valorización de residuos.	Tablas 17
Porcentaje de residuos valorizados respecto al total generado (%).	Tabla 8
Número de empleos directos e indirectos generados en actividades de reciclaje y valorización.	Tablas 10 y 14
Número de veces por semana de hogares atendidos, porcentaje de cobertura del servicio de recolección (% de hogares atendidos).	Tres veces por semana y 95 % de cobertura
Cantidad de toneladas de residuos orgánicos tratados anualmente.	Tabla 12
Cantidad de toneladas de residuos sólidos dispuestos.	Tabla 7

En la Tabla 18 se muestra la referencia en la cual se ubica el cumplimiento de los indicadores propuestos en el presente trabajo de investigación.

CONCLUSIONES

1. Considerando los procesos en la normativa vigente, se concluye que, del total de 9, 4 de ellos no se cumplen en el distrito de Punta de Bombón, los mismos que son segregación, valorización, transferencia y tratamiento. Por otro lado, los cinco procesos que sí se cumplen lo hacen de manera regular y, en algunos casos, transgrediendo la normativa legal vigente, como es el caso de la disposición final que se realiza en un botadero.
2. Con respecto a la proyección de la producción per cápita de residuos sólidos para el distrito de Punta de Bombón, se parte del valor obtenido en el año 2019, el cual corresponde a 0,520 kg/hab-día. Aplicando la proyección del 1 %, se establece que para el año 2024 el valor sería de 0,547 kg/hab-día, mientras que para el año 2040 alcanzaría 0,641 kg/hab-día. Con ello se puede proyectar que la cantidad de residuos sólidos que se generarán el año 2024 corresponde a 1362,89 t y se espera que para el año 2040 se genere un total de 1644,75 t.
3. Respecto a la composición porcentual de los residuos sólidos, se consideraron los resultados de la caracterización de residuos sólidos realizados en el distrito de Punta de Bombón, donde se considera un 63,01 % de residuos orgánicos, lo que equivale a 858,79 toneladas, para el año 2024. El 5,95 % corresponde a plástico (81,09 t) y el 2,74 %, a papel y cartón (37,34 t). Estos últimos residuos son considerados para el proceso de valorización.
4. En cuanto a los residuos orgánicos, y considerando el principio de reutilización en la economía circular, se identifican saldos favorables desde el primer año de implementación del sistema de compostaje. En el caso de los residuos de plástico, papel y cartón, se prevé su comercialización como parte de los principios de la economía circular. Luego del proceso de valorización, también se registran saldos positivos desde el primer año de operación del sistema. Asimismo, el análisis costo-beneficio se incluyó la implementación de un programa de segregación, proceso fundamental para desarrollar la valorización. Según los resultados del análisis, este componente genera un saldo positivo a partir del año 2028.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a las autoridades municipales del distrito de Punta de Bombón la construcción de un relleno sanitario que cumpla con las normativas legales vigentes. Esta medida es esencial para asegurar una gestión adecuada de los residuos sólidos, minimizando riesgos para la salud pública y el medioambiente.
2. Se sugiere utilizar la información obtenida como base para implementar el proceso de gestión local de residuos sólidos. En este trabajo de investigación se evidenció que cuatro de los procesos establecidos en la normativa legal sobre el manejo de residuos sólidos no se están cumpliendo. Entre ellos, resalta la valorización, el cual guarda estrecha relación con el objetivo principal de este estudio.
3. Se plantea la necesidad de tomar en consideración los datos recopilados en torno al proceso de valorización, a fin de priorizar su aplicación sobre otros procesos. Esto permitirá no solo la obtención de beneficios económicos, sino también la generación de impactos positivos en los ámbitos social y ambiental.

REFERENCIAS

- AHMED, F., HASAN, S., RANA, M. y SHARMIN N. A conceptual framework for zero waste management in Bangladesh. *International Journal of Environmental Science and Technology* [en línea]. 2022, 20(2), 1887-1904 [fecha de consulta: 10 de julio de 2025]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-022-04127-6>
- ALI, S. y SHIRAZI, F. The paradigm of circular economy and an effective electronic waste management. *Sustainability* [en línea]. 2023, 15(3), 1998-2014 [fecha de consulta: 10 de julio de 2025]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su15031998>
- AMBAYE, T., DJELLABI, R., VACCARI, M., PRASAD, S., AMINABHAVI, T. y RTIMI, S. Emerging technologies and sustainable strategies for municipal solid waste valorization: Challenges of circular economy implementation. *Journal of Cleaner Production* [en línea]. 2023, 423 [fecha de consulta: 15 de julio de 2025]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138708>
- AWINO, F. y APITZ, S. Solid waste management in the context of the waste hierarchy and circular economy frameworks: An international critical review. *Integrated Environmental Assessment and Management* [en línea]. 2024, 20(1), 9-35 [fecha de consulta: 15 de julio de 2025]. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/ieam.4774>
- BABU, R., VERAMENDI, P. y RENE, E. Strategies for resource recovery from the organic fraction of municipal solid waste. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering* [en línea]. 2021, 3 [fecha de consulta: 15 de julio de 2025]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2021.100098>
- BANDH, S., MALLA, F., WANI, S. y HOANG, A. Waste Management and Circular Economy. In *Waste Management in the Circular Economy*. Cham: Springer International Publishing.
- BOUIDA, L., YA'ACOB, F., JAAFAR, M., ABDULLAH, H. y FADHULLAH, W. Human and ecological risk assessment of soil and plants metal contamination in a tropical municipal solid waste dumping site. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal* [en línea]. 2024, 34(1), 34-70 [fecha de consulta: 12 de marzo de 2025]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15320383.2024.2329951>

- CANO, N., IACOVIDOU, E. y RUTKOWSKI, E. Typology of municipal solid waste recycling value chains: A global perspective. *Journal of Cleaner Production* [en línea]. 2022, (336) [fecha de consulta: 12 de junio de 2025]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130386>
- CASTELLANI, P., FERRONATO, N., BARBIERI, J. y TORRETTA, V. Anaerobic digestion or composting? Small-scale plants design and holistic evaluations in a Sub-Saharan African context. *Environmental Development* [en línea]. 2024, 51 [fecha de consulta: 12 de junio de 2025]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2024.101008>
- CASTILLO, P., SANTILLÁN, Y., ÁNGELES, W., RAMÍREZ, C. y GURBILLÓN, M. 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. *Journal of Lifestyle and SDGs Review* [en línea]. 2025, 5(3) [fecha de consulta: 15 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://doi.org/10.47172/2965-730X.SDGsReview.v5.n03.pe04479>
- DODIGOVIĆ, F. y IVANDIĆ, K. Reliability of Municipal Solid Waste Landfills within the Eurocode Framework. *Sustainability* [en línea]. 2023, 16(2), 675. [fecha de consulta: 10 de junio de 2025]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su16020675>
- EPA. Draft Environmental Guidelines Solid Waste Landfills [en línea]. 2015 [fecha de consulta: 10 de agosto de 2024]. Disponible en: www.epa.nsw.gov.au
- FERRONATO, N., et al. Comparison of environmental impacts related to municipal solid waste and construction and demolition waste management and recycling in a Latin American developing city. *Environmental Science and Pollution Research* [en línea]. 2023, 30, 8548–8562 [fecha de consulta: 10 de junio de 2025]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-021-16968-8>
- GONZALES, J. y MORENO, J. La gestión de residuos sólidos y su relación con la cultura ambiental para el desarrollo sostenible y el fortalecimiento de la cultura ambiental. Una revisión. *Hacedor* [en línea]. 2022, 6(2), 44-59 [fecha de consulta: 12 de agosto de 2024]. Disponible en: <https://revistas.uss.edu.pe/index.php/HACEDOR/article/view/2250>
- HALKOS, G. y ASLANIDIS, P. How Waste Crisis Altered the Common Understanding: From Fordism to Circular Economy and Sustainable

- Development. Circular Economy and Sustainability [en línea]. 2024 [fecha de consulta: 10 de agosto de 2024]. Disponible en: [10.1007/s43615-023-00337-3](https://doi.org/10.1007/s43615-023-00337-3)
- HEREDIA, K., QUEVEDO, A. y ZAFRA, A. A look at the management of municipal solid waste in Latin America. A systematic review. *Journal of Positive School Psychology* [en línea]. 2022, 6(2s), 245-255 [fecha de consulta: 15 de octubre de 2024]. Disponible en: <https://journalppw.com/index.php/jpsp/article/view/10066>
- HERRADOR, M. Assessment of the first-ever circular economy framework of Cambodia: Barriers, international opportunities and recommendations. *Journal of Cleaner Production* [en línea]. 2024, 438 [fecha de consulta: 15 de octubre de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140778>
- HOSSEINALIZADEH, R., SHAKOURI, H. y IZADBAKHS, H. Planning for energy production from municipal solid waste: An optimal technology mix via a hybrid closed-loop system dynamics-optimization approach. *Expert Systems with Applications* [en línea]. 2022, 199 [fecha de consulta: 12 de noviembre de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.116929>
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA (INEI). Censo de Población y Vivienda. 2018.
- KHAIRE, K., MEHARIYA, S. y KUMAR, B. Valorization of Municipal Solid Wastes in Circular Economy. *Waste Management in the Circular Economy* [en línea]. 2024, 35-53 [fecha de consulta: 12 de noviembre de 2024]. Disponible en: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-42426-7_3
- LA CRUZ, H., et al. Use of the Organic Fraction of Urban Solid Waste to Recover Degraded Areas in Chilca, Peru. *Polish Journal of Environmental Studies* [en línea]. 2025, 34(1),151-164 53 [fecha de consulta: 12 de diciembre de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.15244/pjoes/186245>
- LEME, M., et al. Biogás production from the landfilled easily degradable fraction of municipal solid waste: mining strategy for energy recovery. *Biomass Conversion and Biorefinery* [en línea]. 2024, 14, 10947-10958 [fecha de consulta: 2 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13399-022-03264-9>
- MACHADO, J. y SALDAÑA, Y. Manejo de residuos sólidos para reducir la contaminación del medio ambiente: Revisión sistemática. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*. 2022, 6(4), 578-601 [fecha de consulta: 18 de marzo de 2025]. Disponible en: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i4.2605

- MANEA, E., et al. Composting as a Sustainable Solution for Organic Solid Waste Management: Current Practices and Potential Improvements. *Sustainability* [en línea]. 2024, 16(15), 6329 [fecha de consulta: 15 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su16156329>
- MARÍN, E. Manejo de residuos sólidos en zonas urbanas en América Latina. *Revista Científica Visión de Futuro* [en línea]. 2024, 28(2) [fecha de consulta: 15 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://visiondefuturo.fce.unam.edu.ar/index.php/visiondefuturo/article/view/844>
- MINISTERIO DEL AMBIENTE (MINAM). Metodología para la Formulación de Planes integrales de gestión Ambiental de Residuos Sólidos Guía PIGARS. Lima: 2011.
- MINISTERIO SE SALUD. Guía para el cierre de botaderos. Lima: 2014.
- MOJICA, L., JEREZ, C. y PRADO, L. (2023). Aprovechamiento de la materia orgánica para la restauración de zonas verdes de una Institución Educativa en Cúcuta, Norte de Santander [Tesis de licenciatura]. Bogotá: Institución Educativa en Cúcuta, Norte de Santander; 2022 [fecha de consulta: 23 de octubre de 2024]. Disponible en: <https://share.google/3EcNKz11DpZiK7XNk>
- MONTOYA, J., et al. A thermo-economic analysis of a circular economy model for biomass in South America producing biofertilizers and biogas from municipal solid waste. *Renewable Energy* [en línea]. 2024, 225 [fecha de consulta: 10 de abril de 2025]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120254>
- MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE PUNTA DE BOMBÓN. Caracterización de residuos sólidos municipales; Islay Arequipa. 2019
- NISAA, A., KRAUSS, M. y SPUHLER, D. Adapting Santiago Method to Determine Appropriate and Resource Efficient Sanitation Systems for an Urban Settlement in Lima Peru. *Water* [en línea]. 2021, 13(9), 1197-1225 [fecha de consulta: 10 de abril de 2025]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/w13091197>
- NOGUEIRA, V., et al. Health conditions and occupational risks in a novel group: waste pickers in the largest open garbage dump in Latin America. *BMC public health* [en línea]. 2019, 19(1), 1-15 [fecha de consulta: 12 de mayo de 2025]. Disponible en: [10.1186/s12889-019-6879-x](https://doi.org/10.1186/s12889-019-6879-x)
- NOUFAL, M., MAALLA, Z. y ADIPAH, S. Challenges and opportunities of municipal solid waste management system in Homs city, Syria. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Waste and Resource Management* [en línea]. 2020,

- 173(2), 40-53 [fecha de consulta: 10 de abril de 2025]. Disponible en: <https://doi.org/10.1680/jwarm.19.00020>
- ORDOÑEZ, L., GÓMEZ, D. y RAMÍREZ, H. Bibliometric analysis of technologies for municipal solid waste valorization and their potential in the Colombian context. *Ingeniería y competitividad* [en línea]. 2024, 26(2) [fecha de consulta: 8 de noviembre de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.25100/iyc.v26i2.13225>
- ORTIZ, C., et al. Solid waste assessment in a coastal fishing community in Peru. *Marine Pollution Bulletin* [en línea]. 2022, 178 [fecha de consulta: 8 de noviembre de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113632>
- PAES, M., DE OLIVEIRA, J., MANCINI, S. y RIERADEVALL, J. Waste management intervention to boost circular economy and mitigate climate change in cities of developing countries: The case of Brazil. *Habitat International* [en línea]. 2024, 143 [fecha de consulta: 8 de noviembre de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2023.102990>
- PARDO, O., ROSAS, C. y ROMANELLI, G. (2024). Valorization of residual lignocellulosic biomass in South America: a review. *Environmental Science and Pollution Research* [en línea]. 2024, 31, 44575-44607 [fecha de consulta: 8 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-024-33968-6>
- PEREIRA, L., CASTILLO, V., CALERO, M., GONZÁLEZ, S., MARTÍN, M. y SOLÍS, R. Promoting the circular economy: Valorization of a residue from industrial char to activated carbon with potential environmental applications as adsorbents. *Journal of Environmental Management* [en línea]. 2024, 356, 120753 [fecha de consulta: 8 de marzo de 2025]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120753>
- PÉREZ, L., PÉREZ, A. y VÁSQUEZ, Ó. Evaluation of mitigation initiatives for simultaneous air pollution and municipal solid waste systems: A System Dynamics Approach. *Socio-Economic Planning Sciences* [en línea]. 2024, 95, 102010 [fecha de consulta: 15 de marzo de 2025]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.seps.2024.102010>
- PINEDA, J., REYES, C. y RAMÍREZ, J. Subproductos generados en el tratamiento y valorización de residuos sólidos urbanos dentro del concepto de biorrefinería: una revisión sistemática. *Ingeniería y Región* [en línea]. 2021, 25, 60-74 [fecha de

- consulta: 15 de marzo de 2025]. Disponible en: <https://doi.org/10.25054/22161325.2783>
- POMA, P., USCA, M. y TOULKERIDIS, T. Evaluation of the Environmental Impacts Generated by the Management of Urban Solid Waste in the Open Waste Dump in Loreto, Eastern Ecuador. *Applied Technologies* [en línea]. 2023, 29, 466-481 [fecha de consulta: 15 de marzo de 2025]. Disponible en: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-24971-6_33
- PRABAWATI, A., FRIMAWATY, E. y HARYANTO, J. Strengthening stakeholder partnership in plastics waste management based on circular economy paradigm. *Sustainability* [en línea]. 2023, 15(5), 4278 [fecha de consulta: 18 de abril de 2025]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su15054278>
- QUEZADA, L. Metodología de la Investigación-Estadística Aplicada en la Investigación. Empresa Editora Macro: 2021.
- RENAN, S., MABEL, C., EUNICE, M. y KARL, W. The Sustainable Future: Solid Waste Management and Sustainable Development in the Peruvian Amazon. *Journal of Ecohumanism* [en línea]. 2024, 3(8), 1269-1277 [fecha de consulta: 15 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://doi.org/10.62754/joe.v3i8.4810>
- RODRÍGUEZ, A., PALOMO, R. y GONZÁLEZ, F. Transparencia y economía circular: análisis y valoración de la gestión municipal de los residuos sólidos urbanos. *CIRIEC-España* [en línea]. 2020, 99, 233-272. Disponible en: <https://doi.org/10.7203/CIRIEC-E.99.16011>
- SACRISTÁN, L. y URREGO, E. (2022). Programa de reciclaje textil como herramienta para el aprovechamiento y valorización de residuos en la ciudad de Bogotá [Tesis de maestría]. Colombia: Universidad Externado de Colombia; 2022 [fecha de consulta: 23 de abril de 2025]. Disponible en: <https://doi.org/10.57998/bdigital.handle.001.12362>
- SILVA, N., IACOVIDOU, E. y RUTKOWSKI, E. (2022). Typology of municipal solid waste recycling value chains: A global perspective [en línea]. 2022, 336 [fecha de consulta: 12 de abril de 2025]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130386>
- USMAN, S. (2024). Evaluation of local compost methods for soil management in northwestern Nigeria: Advanced scientific theories and economic values. *Bulgarian Journal of Soil Science Agrochemistry and Ecology* [en línea]. 2024,

- 58(2), 46-60 [fecha de consulta: 10 de diciembre de 2024]. Disponible en: [10.61308/NIRX2904](https://doi.org/10.61308/NIRX2904)
- VALDIVIA, I., GARCÍA, G. y MÉNDEZ, C. Los rellenos sanitarios, una solución paliativa a la problemática de residuos sólidos en Zamora, Michoacán, México. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades* [en línea]. 2022, 3(2), 1111-1126 [fecha de consulta: 12 de agosto de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.56712/latam.v3i2.170>
- VAN LANGEN, S., VASSILLO, C., GHISELLINI, P., RESTAINO, D., PASSARO, R. y ULGIATI, S. Promoting circular economy transition: A study about perceptions and awareness by different stakeholders groups. *Journal of Cleaner Production* [en línea]. 2021, 316, 128166 [fecha de consulta: 22 de marzo de 2025]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128166>
- VELENTURF, A. y PURNELL, P. Principles for a sustainable circular economy. *Sustainable Production and Consumption* [en línea]. 2021, 27 [fecha de consulta: 15 de junio de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.02.018>
- VINES, V., PASQUALI, M., GANGULI, S. y MEYER, D. Understanding the trade-offs of national municipal solid waste estimation methods for circular economy policy. *Journal of Cleaner Production* [en línea]. 2023, 412(1) [fecha de consulta: 12 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137349>
- WANG, N., et al. Greenhouse gas emission characteristics and influencing factors of agricultural waste composting process: A review. *Journal of Environmental Management* [en línea]. 2024, 354, 120337 [fecha de consulta: 25 de noviembre de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120337>
- YAASHIKAA, P., KUMAR, P., SARAVANAN, A., VARJANI, S. y RAMAMURTHY, R. Bioconversion of municipal solid waste into bio-based products: A review on valorisation and sustainable approach for circular bioeconomy. *Science of the total environment* [en línea]. 2020, 748 [fecha de consulta: 12 de diciembre de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141312>
- ZEBALLOS, C. y BURBANO, A. Territorial Model for the Management of Riverfront Areas as Public Spaces in Cities with Historical Centers of Monumental Value. The case of Arequipa, Peru.

ANEXOS

Tabla 18. *Matriz de consistencia*

	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	OPERACIONALIZACIÓN		MÉTODO
			VARIABLE	INDICADOR	
¿Es posible realizar el análisis de la aplicación de la economía circular en la gestión de residuos sólidos municipales del distrito de Punta de Bombón, Islay, Arequipa?	<p>Objetivo general Analizar la aplicación de la economía circular en la gestión de residuos sólidos municipales del distrito de Punta de Bombón, Islay, Arequipa.</p> <p>Objetivos específicos</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Analizar los procesos de la gestión de residuos sólidos municipales en el distrito de Punta de Bombón. 2. Determinar la producción per cápita de residuos sólidos generados en el distrito. 3. Determinar la composición porcentual de los residuos sólidos generados en el distrito de Punta de Bombón. 4. Determinar el potencial de valorización en el entorno de economía circular de los residuos sólidos generados en el distrito de Punta de Bombón. 	<p>Se cree posible poder analizar la aplicación de la economía circular en la gestión de residuos sólidos municipales del distrito de Punta de Bombón, para a partir de ello generar lineamientos que permitan su aplicación en el futuro inmediato</p>	INDEPENDIENTE Economía circular	<ul style="list-style-type: none"> - Fases de la economía circular aplicables. - Evaluación bajo criterios de economía circular. 	Búsqueda intensiva
			DEPENDIENTE Gestión de residuos sólidos municipales	<ul style="list-style-type: none"> - Procesos de gestión de residuos sólidos aplicados. - Potencial de valorización de residuos sólidos. 	EPA (2015)

Instrumento

Proceso de manejo de la ley de gestion integral de residuos solidos	Nivel de cumplimiento			Observaciones
	Ineficiente	Intermedio	Eficiente	
Barrido y limpieza de espacios públicos				
Segregación				
Almacenamiento				
Recolección				
Valorización				
Transporte				
Transferencia				
Tratamiento				
Disposición final				

Instrumento de evaluación técnica

Tabla 19. *Producción per cápita histórica y proyectada (kg/hab-día)*

Año	Producción per cápita
2019	
2020	
2021	
2022	
2023	
2024	
2040	

Tabla 20. *Proyección poblacional*

Año	Población proyectada
2024	
2040	

Tabla 21. *Proyección producción total anual y acumulada de residuos sólidos (2024-2040)*

Año	Producción per cápita	Población	Producción total (ton/año)	Acumulado (ton)
2024				
2040				

Tabla 22. *Composición de residuos sólidos*

Componente	Porcentaje (%)
Orgánicos	
No aprovechables	
Plásticos	
Papel y cartón	
Metales	
Vidrio	
Otros	

Tabla 23. *Costos del sistema de manejo de residuos programa de segregación de residuos*

Ítem	Costo unitario (S/)	Costo total (S/)
Contenedores		
Recojo		
Incentivos		
Total		

Sistema de compostaje

- Costos fijos: S/ _____
- Costos operativos anuales: S/ _____

Sistema de valorización de plástico, papel y cartón

- Costos fijos: S/ _____
- Costos operativos anuales: S/ _____

Tabla 24. *Análisis costo-beneficio del sistema de valoración costos del sistema de manejo de residuos programa de segregación de residuos*

Año	Ingresos por valorización (S/)	Costos (fijo + operativo) (S/)	Saldo anual (S/)
2025			
2040			

Tabla 25. *Saldo total neto considerando todos los sistemas*

Año	Compostaje (S/)	Valorización (S/)	Costo segregación (S/)	Saldo total (S/)
2025				
2040				