UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS COMO RECURSO SOSTENIBLE PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA EN EL CANTÓN GONZALO PIZARRO, SUCUMBÍOS-ECUADOR.

AUTOR(ES):

Ana Paola Garófalo Carrera

Jonathan Alexander Salazar Usama

DOCENTE - TUTOR:

Msc. Danilo Pedro Sarabia Guevara

Puyo - Pastaza - Ecuador

2022

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
(Uno por cada evaluador)

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos.		
Criterios	**Puntaje**	**Argumentos de la calificación**
1. TÍTULO		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	5/5	Sin cambios
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales hallazgos y conclusiones.	3/5	Se sugiere mejorar en los siguientes puntos 1. tanto naturales como jurídicas (**instituciones públicas y privadas**) obligadas por la ley estatal. Incluir en esa afirmación al "individuo y a la sociedad", como ente holístico son parte de la solución del problema. 2. Los desechos domésticos están sujetos **a la obligación** de entregarlos a las autoridades públicas de eliminación de desechos de conformidad con las ordenanzas locales. Al decir obligación quizás se deba preguntar: ¿pueden las empresas privadas manejar y gestionar desechos?, no es claro, se sugiere revisar. 3. Se sugiere leer y revisar de manera general el resumen nuevamente.
3. INTRODUCCION		
Entrega información sobre la temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	20/20	Sin cambios
4. MARCO TEÓRICO		

Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	15/15	Sin cambios
5. METODOLOGIA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordó la información.	15/15	

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y están claramente representados. El texto no repite información entregada en los cuadros y figuras.	25/25	Sin cambios
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	10/10	Sin cambios
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5/5	Sin cambios
VALORACIÓN TOTAL	98/100	

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	**Marque con X**
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	**98/100**

Atentamente,

JESUS ANTONIO BONILLA DE GRACIA

Firmado digitalmente porJESUS ANTONIO BONILLA DE GRACIA
Fecha:2022-03-03 19:01+19:00

_____

Jesús Antonio Bonilla De Gracia

Dado en la ciudad de Puyo, a los 25 días del mes de febrero de 2022.

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
(Uno por cada evaluador)

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos.		
Criterios	**Puntaje**	**Argumentos de la calificación**
1. TÍTULO		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	5/5	
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales hallazgos y conclusiones.	5/5	
3. INTRODUCCION		
Entrega información sobre la temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	20/20	
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	15/15	
5. METODOLOGIA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordó la información.	15/15	

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y están claramente representados. El texto no repite información entregada en los cuadros y figuras.	25/25	
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	10/10	
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5/5	
VALORACIÓN TOTAL	100/100	

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	**Marque con X**
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	100/100

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
SANTIAGO HOMERO CUICHAN PAUCAR

Ing. Santiago Cuichan Paucar M.Sc.
Docente PAR CIEGO

Dado en la ciudad de Puyo, a los 25 días del mes de febrero de 2022.

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Puyo, 02 de febrero de 2022

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente a la estudiante: **Ana Paola Garófalo Carrera**, con C.I. **2200421382**, con el Tema: "**Residuos sólidos urbanos como recurso sostenible para la producción de energía en el cantón Gonzalo Pizarro, Sucumbíos-Ecuador.**", de la carrera de **Ingeniería Ambiental**.

Docente-Tutor del Trabajo de Integración Curricular, **Danilo Sarabia Guevara**, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del **0%**, Informe generado con fecha **02 de febrero de 2022** por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
DANILO PEDRO SARABIA GUEVARA

Danilo Sarabia Guevara MSc.
Docente-Tutor del Trabajo de Integración Curricular

Curiginal

Document Information

Analyzed document	TESIS GARÓFALO SALAZAR.doc (D126905586)
Submitted	2022-02-03T02:51:00.0000000
Submitted by	
Submitter email	dsarabiag@uea.edu.ec
Similarity	0%
Analysis address	dsarabiag.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

W URL: http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/9873/GIRSU-%20ANDREA%20CAROLINA%20NEIRA%20ZULETA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
Fetched: 2021-03-08T19:38:22.2900000 1

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Puyo, 02 de febrero de 2022

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente al estudiante: **Jonathan Alexander Salazar Usama**, con C.I. **2100585799**, con el Tema: "**Residuos sólidos urbanos como recurso sostenible para la producción de energía en el cantón Gonzalo Pizarro, Sucumbíos-Ecuador.**", de la carrera de **Ingeniería Ambiental**.

Docente-Tutor del Trabajo de Integración Curricular, **Danilo Sarabia Guevara**, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del **0%**, Informe generado con fecha **02 de febrero de 2022** por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
DANILO PEDRO SARABIA GUEVARA

Danilo Sarabia Guevara MSc.
Docente-Tutor del Trabajo de Integración Curricular

Curiginal

Document Information

Analyzed document	TESIS GARÓFALO SALAZAR.doc (D126905586)
Submitted	2022-02-03T02:51:00.0000000
Submitted by	
Submitter email	dsarabiag@uea.edu.ec
Similarity	0%
Analysis address	dsarabiag.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

W URL: http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/9873/GIRSU-%20ANDREA%20CAROLINA%20NEIRA%20ZULETA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
Fetched: 2021-03-08T19:38:22.2900000 1

Residuos sólidos urbanos como recurso sostenible para la producción de energía en el cantón Gonzalo Pizarro, Sucumbíos-Ecuador

Ana Paola Garófalo Carrera 1[1]
amb2017040@uea.edu.ec

Jonathan Alexander Salazar Usama [1]
amb2017149@uea.edu.ec

Danilo Pedro Sarabia Guevara, M.Sc [2]
dsarabiag@uea.edu.ec

Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Vida, Carrera de Ingeniería Ambiental

Resumen

Los residuos sólidos municipales contienen fracciones reciclables como plásticos, papeles mixtos, cartones y metales. La demanda de estos materiales está aumentando, algunos factores como el crecimiento poblacional y el desarrollo de actividades comerciales e industriales aportan en su rápida generación. La eliminación de los residuos domésticos es responsabilidad de todas las personas, tanto naturales como jurídicas (instituciones públicas y privadas) obligadas por la ley estatal, por regla general estos son los municipios. Los desechos domésticos están sujetos a la obligación de entregarlos a las autoridades públicas de eliminación de desechos de conformidad con las ordenanzas locales. Analizada la situación con respecto a la gestión de RSU en el cantón Gonzalo Pizarro se ha evidenciado que presenta deficiencias. Es así, que este estudio tuvo por objetivo analizar la producción y características de residuos sólidos aplicando un diseño descriptivo con enfoque cualitativo que permita establecer tecnologías para la recuperación y creación de bienes de valor agregado en el Catón Gonzalo Pizarro, Sucumbíos - Ecuador. Los hallazgos obtenidos en esta investigación presentan alternativas para la gestión y transformación de los RSU a energía. Finalmente se establecen desafíos y recomendaciones para mejorar la gestión.

***Palabras Clave**:* Energía; poder calorífico; tecnologías; recuperación

Abstract

Municipal solid waste contains recyclable fractions such as plastics, mixed paper, cardboard and metals. The demand for these materials is increasing, some factors such as population growth and the development of commercial and industrial activities contribute in its rapid generation. The disposal of domestic waste is the responsibility of all persons, both natural and legal (public and private institutions) obliged by state law, as a rule these are the municipalities. Household waste is subject to the obligation to hand it over to the public waste disposal authorities in accordance with local ordinances. An analysis of the situation with regard to the management of MSW in the canton of Gonzalo Pizarro has

shown that it presents deficiencies. Thus, the objective of this study was to analyze the production and characteristics of solid waste by applying a descriptive design with a qualitative approach to establish technologies for the recovery and creation of value-added goods in Gonzalo Pizarro Canton, Sucumbíos - Ecuador. The findings of this research present alternatives for the management and transformation of MSW to energy. Finally, challenges and recommendations for improving management are established.

***Keywords**:* Energy; calorific value; technologies; recovery

1. INTRODUCCIÓN

En un mundo más globalizado y urbano, así como ambientalmente deteriorado, se estima que alrededor del 60-75% de la población mundial vivirá en áreas urbanas durante el período 2025-2050 (Rondón, Szantó, Pacheco, Contreras & Gálvez, 2016). La disposición final de estos residuos es un tema importante, es un elemento clave para controlar la contaminación ambiental y sus problemas derivados. La gestión sostenible de los RSU requiere de un enfoque holístico que considere a las partes involucradas, sus relaciones y diferentes factores de compleja toma de decisiones, de forma sensata y lógica. Para brindar una alternativa de solución en el cantón Gonzalo Pizarro, Sucumbíos-Ecuador, es necesario realizar un análisis inicial que caracterice la situación actual, describir las tecnologías actuales innovadoras y establecer desafíos en la gestión de los RSU (Salazar & Garófalo, 2021).

Los desechos sólidos se refieren a la variedad de materiales de basura, que surgen de actividades animales y humanas, que se descartan como no deseados e inútiles (Singh, 2019). Los desechos sólidos se generan a partir de actividades industriales, residenciales y comerciales en un área determinada y pueden manejarse de diversas formas. Como tal, los rellenos sanitarios se clasifican típicamente en sitios de desechos sanitarios, municipales, de construcción y demolición o industriales (Kumar & Samadder, 2017).Los desechos se pueden clasificar según el material, como plástico, papel, vidrio, metal y desechos orgánicos (Graziani, 2018). La categorización también puede basarse en el potencial de peligro, incluidos los desechos radiactivos, inflamables, infecciosos, tóxicos o no tóxicos. Las categorías también pueden estar relacionadas con el origen de los residuos, ya sean industriales, domésticos, comerciales, institucionales o de construcción y demolición. Las prácticas de manejo de desechos sólidos pueden diferir para los productores residenciales e industriales, para las áreas urbanas y rurales, y para las naciones desarrolladas y en desarrollo.

Los residuos sólidos urbanos (RSU), más comúnmente conocidos como basura o desechos, consisten en artículos de uso diario que usamos y luego tiramos, como empaques de productos, recortes de césped, muebles, ropa, botellas, restos de comida, periódicos, electrodomésticos, pintura y baterías. Esto proviene de nuestros hogares, escuelas, hospitales y negocios. Por otra parte, otra definición también indica que los RSU son los

residuos sólidos resultantes de las actividades municipales, comunitarias, comerciales, institucionales y recreativas, o incidentales a ellas, e incluyen la basura, desperdicios, cenizas, limpieza de las calles, animales muertos, residuos médicos y todos los demás residuos sólidos no industriales (Singh, 2019). La gestión de estos es un servicio fundamental en cualquier sociedad. Sin embargo, antes de presentar el proceso, comencemos con una discusión sobre el material que se maneja: los desechos sólidos (Azevedo et al., 2021). El manejo de desechos sólidos se define como la disciplina asociada con el control de la generación, almacenamiento, recolección, transporte o transferencia, procesamiento y disposición de materiales de desechos sólidos de la manera que mejor aborde el rango de salud pública, conservación, economía, estética, ingeniería y otras consideraciones ambientales (Kanhai et al., 2021). Independientemente del origen, contenido o peligro potencial, los residuos sólidos deben manejarse de manera sistemática para garantizar las mejores prácticas ambientales. Dado que la gestión de residuos sólidos es un aspecto crítico de la higiene ambiental, debe incorporarse en la planificación ambiental (Cárdenas-Ferrer et al., 2019).

Una innovación tecnológica es un producto o proceso nuevo o mejorado cuyas características tecnológicas son significativamente diferentes a las anteriores. Las innovaciones tecnológicas de productos implementadas son productos nuevos (innovaciones de productos) o procesos en aplicación (innovaciones de procesos) que se han introducido en el mercado (Chávez & Moya, 2019). El producto o proceso se considera una innovación si logra ventajas específicas para la empresa en cuestión; estos no tienen por qué ser nuevos desde el punto de vista de otras empresas o del mercado (Álvarez et al., 2020). Las tecnologías innovadoras pueden ser considerados procesos que incluyen la generación, desarrollo e implementación de nuevas ideas o comportamientos. Además, la innovación se concibe como un medio para cambiar una organización, ya sea como una respuesta a los cambios en el entorno externo o como una acción preventiva para influir en el entorno (González-Merizalde et al., 2016). Por lo tanto, la innovación se define aquí de manera amplia para abarcar una variedad de tipos, incluidos nuevos productos o servicios, nuevas tecnologías de proceso, nuevas estructuras organizativas o sistemas administrativos, o nuevos planes o programas pertenecientes a los miembros de la organización (Montoya-Quesada et al., 2020).

El valor energético de la basura puede ser hasta un tercio del carbón, dependiendo del contenido de papel, y el calor desprendido durante la incineración puede recuperarse mediante el uso de un horno revestido de refractario acoplado a una caldera. Las calderas convierten el calor de combustión en vapor o agua caliente, permitiendo así reciclar el contenido energético de la basura (Graziani, 2018). Los incineradores que reciclan la energía térmica de esta manera se denominan plantas de conversión de residuos en energía. En lugar de un horno y una caldera separados, también se puede utilizar un horno de pared de tubos de agua para la recuperación de energía (Rodríguez Martín et al., 2020). Dicho horno está revestido con tubos de acero verticales espaciados lo suficientemente cerca para

formar secciones continuas de pared. Las paredes están aisladas en el exterior para reducir la pérdida de calor. El agua que circula a través de los tubos absorbe calor para producir vapor y también ayuda a controlar las temperaturas de combustión sin la necesidad de un exceso de aire, lo que reduce los costos de control de la contaminación del aire (Kumar & Samadder, 2017).

El crecimiento poblacional ocasiona un incremento de la producción de residuos sólidos urbanos (RSU). Estos residuos se caracterizan por una composición de elementos tóxicos y contaminantes, para una correcta gestión se requiere infraestructura y una gran cantidad de recursos económicos (Niño-Soto & Chávez-Martínez, 2020). Es importante mantener una correcta disposición final de estos residuos; aspectos que permitirán controlar la contaminación ambiental del suelo y cuerpos hídricos. El tratamiento y la eliminación de residuos sólidos es un desafío global para el desarrollo de una sociedad sostenible.

La gestión de los RSU es un problema mundial y lo enfrentan todos los países en desarrollo y sus principales ciudades. El problema se ha visto agravado por un aumento de los productos de desecho como resultado del crecimiento de la población y la urbanización. Los desechos se esparcen en los centros urbanos o se eliminan sin una correcta gestión en áreas bajas o en vertederos abiertos (Costa & Dias, 2020). La falta de una correcta gestión en aspectos como infraestructura para la recolección, transporte, tratamiento y disposición de residuos sólidos han ocasionado que la situación se agrave debido a que se incrementan varios problemas ambientales y de salud (Rodríguez Martín et al., 2020). Estos problemas no son ajenos en el Cantón Gonzalo Pizarro, Provincia de Sucumbíos-Ecuador, es evidente el aumento de emisiones contaminantes y afectaciones a los medios bióticos y abióticos.

Es importante trabajar en una correcta gestión de los RSU que ayude a prevenir consecuencias ambientales nocivas, riesgos para la salud pública y preocupaciones socioeconómicas. El enfoque de mitigación requiere una interpretación ambientalmente sustentable de los residuos para su manejo y tratamiento. La conversión de residuos en energía proporciona una solución a problemas ambientales como la emisión de gases de efecto invernadero y la gestión RSU, contribuyendo así a lograr un medio ambiente verde con una economía que prospera simultáneamente (Allam & Jones, 2018). Con estos antecedentes y problemáticas el presente estudio tuvo como objetivo; i) caracterizar los residuos sólidos urbanos mediante una revisión bibliográfica que permita diagnosticar su situación actual; ii) describir tecnologías innovadoras aplicando una revisión literaria que permita conocer las alternativas para la recuperación de energía a partir de los RSU; iii) contextualizar la importancia del poder calorífico superior e inferior al aplicar alternativas tecnológicas para la recuperación de energía a partir de los RSU; y, iv) establecer desafíos y perspectivas mediante un juicio de expertos que permita mejorar la gestión de los RSU en el Cantón Gonzalo Pizarro.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de estudio

El estudio de revisión bibliográfica se desarrollará en el Cantón Gonzalo Pizarro, esta jurisdicción se localiza en la Provincia de Sucumbíos al norte del territorio ecuatoriano (Figura 1), limítrofe con la república de Colombia. Su cabecera cantonal es la ciudad de Lumbaqui. Tiene una gran variedad de climas, desde el clima tropical hasta clima de páramo. Los ríos más importantes son el Aguarico, Due, Morfeo, Lumbaquí y Dashino. Posee diversidad en sitios naturales de gran belleza escénica enriquecido con alta biodiversidad que contribuye a mantener un equilibrio ecológico (Arrova Gonzales et al., 2020).

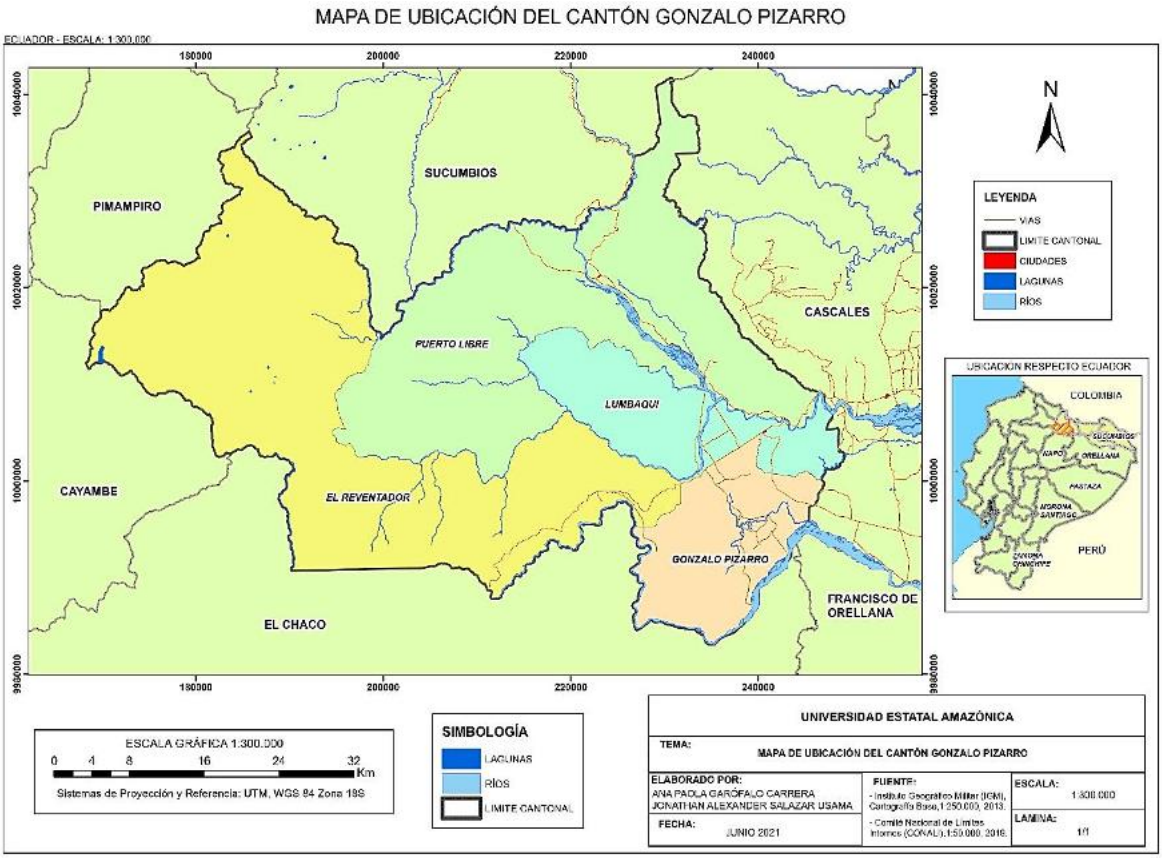


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.

Fuente: Realizado por: Ana Garófalo.., Jonathan Salazar.

El cantón se conformó el 25 de agosto de 1986, inicialmente pertenecía a la Provincia de Napo y luego formó parte de la Provincia de Sucumbíos en 1989 y para el 4 de julio del 1990 fue declarado Cantón. Políticamente se encuentra dividido en cuatro parroquias: una urbana (cabecera cantonal) y tres rurales. Limita al norte con el Cantón Sucumbíos, al sur con el cantón El Chaco, Provincia de Napo, al este con el Cantón Cascales y al oeste con los cantones Cayambe (Pichincha) y Pimampiro (Imbabura) (Valenzuela & Loachamín,

2017).

2.2 Metodología

El diseño metodológico será exploratorio y descriptivo con un enfoque cualitativo, lo que permitirá realizar un estudio de procesos analíticos, teórico e histórico. El principal instrumento a utilizar será la revisión bibliográfica, esta técnica permitirá analizar literatura gris y científica en lo referente a la caracterización de residuos sólidos, descripción de tecnologías innovadoras para la recuperación de energía y contextualización de la importancia del poder calorífico superior e inferior al aplicar alternativas tecnológicas para la recuperación de energía a partir de los residuos sólidos urbanos en el cantón Gonzalo Pizarro. Finalmente, para establecer los desafíos y perspectivas se aplicará una técnica denominada juicio de expertos.

2.2.1 Caracterización, descripción y contextualización

Para responder a los tres primeros objetivos se desarrolló una revisión bibliográfica de literatura gris y científica (Nicolás & Ramos, 2019). Esto nos permitirá presentar un resumen completo de investigaciones anteriores sobre el tema de estudio y sus primeros tres objetivos específicos. En lo que respecta a la literatura científica se revisará artículos académicos, libros y otras fuentes relevantes de calidad. En el proceso se utilizarán parámetros de búsqueda con palabras claves (Tabla 1). La revisión permitirá enumerar, describir, resumir, evaluar objetivamente y aclarar el objeto en estudio. Esto proporcionará una base teórica para la investigación y ayudará a determinar la naturaleza de la misma.

Como se manifestó, en el estudió se utilizó literatura gris, este tipo de documentos se utiliza para describir una amplia gama de información diferente que se produce fuera de los canales tradicionales de publicación y distribución, y que a menudo no está bien representada en las bases de datos de indexación. Esta información es producida generalmente por niveles de gobierno, negocios e industria en formatos electrónicos e impresos no controlados por publicaciones comerciales. En este caso se revisan documentos disponibles en la biblioteca municipal del Gobierno Autónomo Descentralizado del Catón Gonzalo Pizarro.

Tabla 1. Fuentes de búsqueda de Información.

Bibliografía científica	
Parámetros de búsqueda	**Bases de datos.**
Residuos + sólidos + recuperación + energía	Scopus, Web of Science, Scielo y Redalync.
Waste + solids + recovery + energy	
Bibliografía gris.	
Titulo	**Fuente**

Planes referentes al tema	Gobiernos Autónomos Descentralizados y Ministerios.
Informes referentes al tema	

Fuente: Adaptado de (Mestanza-Ramón & Jiménez-Caballero, 2021)

2.2.2 Desafíos y perspectivas

Para responder el último objetivo de establecer desafíos y perspectivas se empleará una técnica muy utilizada en procesos investigativos denominada "Juicio de Expertos" (Mestanza-Ramón & Jiménez-Caballero, 2021; Mestanza et al., 2018). Esta técnica es muy sencilla de aplicar. Se basa esencialmente en proporcionar un juicio basado en un conjunto específico de criterios y/o experiencia que se ha adquirido en un área de conocimiento específica. Puede ser proporcionado por cualquier grupo o persona con educación, conocimiento, habilidad, experiencia o capacitación especializada. Esta base de conocimientos puede ser proporcionada por un miembro del equipo del proyecto, o por varios miembros del equipo del proyecto, o por un líder de equipo o líderes de equipo. En nuestro estudio se considerará a profesionales y técnicos con alta experiencia en el tema de estudio (Tabla 2).

Tabla 2. Expertos en el tema de estudio.

Expertos en tema de estudio		
Actor social	**Profesión**	**Relación con la zona**
Juan Maldonado C.	PhD (c). Ingeniería ambiental	Director de Ambiente GAD
Paulina Poma	PhD (c) Química	Investigador U Valladolid
Ana Paola Garófalo Carrera	Investigador	UEA alumno / morador de la zona
Jonathan Alexander Salazar	Investigador	UEA alumno / morador de la zona
Danilo Pedro Sarabia Guevara	Profesor	Profesor tutor artículo

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para una mejor comprensión de los resultados, éstos se han organizado de forma que responderán a cada uno de los objetivos establecidos en el presente estudio. En una primera parte se caracteriza los RSU; seguidamente, se describen las tecnologías innovadoras las cuales permiten conocer las alternativas para la recuperación de energía a partir de los RSU; así mismo, se contextualiza la importancia del poder calorífico superior e inferior al aplicar alternativas tecnológicas para la recuperación de energía a partir de los RSU; Finalmente, se presentan los desafíos y perspectivas para mejorar la gestión de los RSU en

el Cantón Gonzalo Pizarro.

3.1 Caracterización de los residuos sólidos urbanos

Cada año, el mundo genera alrededor de 2010 millones de toneladas de RSU, y al menos el 33 % no se manipula de manera ambientalmente racional. El cantón Gonzalo Pizarro en la Provincia de Sucumbíos-Ecuador, por ejemplo, tenía poco conocimiento sobre la gestión de desechos sólidos y su jerarquía cuando comenzó. Esa así que, la tasa de generación promedio estimada es de 0,41 kg/hab*día. Para calcular esta tasa se consideró la producción per cápita, los residuos generados diariamente, población total y el porcentaje de cobertura del servicio de recolección. La cantidad diaria de residuos generada en el cantón fue de 3525 kg/día en el 2010, esto ha presentado un incremento en la producción estimada al 2021 de 4576 kg/día. Y, se estima que para el año 2025 esta producción llegue a su máximo de 5031 kg/día.

La composición de los desechos solidos en el cantón son los siguientes: el 69,5% corresponde a residuos orgánicos; 6,4 % a plástico; 5,3% a cartón; 3,7% a papel; 3,5% a vidrio; 3,1 a Chatarra, 0,2% a residuos peligrosos; y, 8,3 a varios. La situación financiera del GAD de Gonzalo Pizarro destinada a la gestión de los RSU es deficiente. Esto se debe a la tasa cobrada a la ciudadanía por el servicio, la cual, no cubre los costos que representa una correcta gestión y disposición final. Según los datos informados en el relleno sanitario no existe un aprovechamiento de los residuos que pueden tener un segundo uso. Sin embargo, la situación de la gestión de residuos sólidos ha evolucionado continuamente durante los últimos años.

Es evidente que queda mucho por hacer para implementar prácticas efectivas de manejo de desechos sólidos en el Cantón Gonzalo Pizarro. Un aumento de los productos de desecho como resultado del aumento de la población y la urbanización ha empeorado la situación. Los RSU no gestionados se están convirtiendo en una fuente de muchos problemas en la zona de estudio. La recolección, almacenamiento y transporte de los residuos, que son componentes críticos para el tratamiento y manejo de los residuos sólidos, son los que deben mejorar su gestión. La segregación de residuos se está convirtiendo en un asunto cada vez más importante ya que diferentes tipos de materiales de desecho requieren diferentes formas de manipulación.

Una cadena de suministro de conversión de residuos en energía no es solo una forma útil de generar energía, sino que también proporciona una solución combinada al problema, como la gestión de residuos, la emisión de GEI, lo que ayuda a lograr un entorno verde y una economía próspera. Gonzalo Pizarro es uno de los cantones más poblados en la provincia de Sucumbíos, con una población de 8599 habitantes. Los combustibles fósiles no renovables convencionales se explotan intensamente para satisfacer estas necesidades energéticas, que representan una grave amenaza para las generaciones futuras. Además, la mala gestión de los RSU, que no implica la separación de los residuos, la no utilización de tecnologías de punta y el vertido, ha tenido como consecuencia la contaminación

ambiental.

La segregación de desechos de fracciones inertes y con alto contenido de humedad puede maximizar la posibilidad de la ruta térmica y otras posibles opciones de tratamiento en los países en desarrollo. La fracción orgánica de los RSU tiene un alto poder calorífico que puede recuperarse utilizando una tecnología adecuada de procesamiento y tratamiento de residuos y puede utilizarse adecuadamente. La conversión de residuos en energía puede ser una mejor opción para el tratamiento de residuos; ya que no solo proporciona una ruta para el tratamiento de desechos, sino que al mismo tiempo aborda cuestiones claves como el uso de la tierra, la demanda de energía y la dependencia excesiva de los combustibles fósiles. Se han sugerido aumentos importantes en el uso de tecnologías de conversión de residuos en energía, pero esto depende del lugar, el medio ambiente, la geografía y otras consideraciones socioeconómicas. En el siguiente apartado se presentan tecnologías termoquímicas y bioquímicas para la gestión de RSU y un posible aprovechamiento.

3.2 Tecnologías innovadoras para recuperar energía a partir de los RSU

La biomasa se puede utilizar directamente como combustible o transformarse en gas o líquido para utilizarla como recurso energético. La energía se puede recuperar de los RSU mediante dos tipos principales de conversiones (a) Conversión termoquímica (b) Conversión bioquímica. La Tabla 1 enumera las tecnologías disponibles para la generación de energía a partir de desechos.

Tabla 1 . Diferentes tecnologías utilizadas para la gestión de RSU

Nombre de la tecnología	Productos principales	Limitación	Producción de energía	Referencias
Incineración	Calor, cenizas de fondo, cenizas volantes	Contaminación del aire, cenizas de fondo y producción de cenizas volantes	usando calor	(Wang et al., 2018)
Pirólisis	Calor, biocarbón, bioaceite	Alta inversión de capital	Usando pirolisis, aceite como materia prima.	(Sipra et al., 2018)
Gasificación	Calor, gas de síntesis, alquitrán	Alta inversión de capital	Usando gas de síntesis	(Nakamura et al., 2016)
Digestión anaeróbica	Biogás, digestato	La aireación requiere un	Uso de biogás	(Kumar & Samadder, 2020)

		alto costo de energía		
Compostaje	Calor, compost	Proceso que consume mucho tiempo	Usando calor	(Smith & Aber, 2018)

Los métodos de conversión termoquímica emplean el principio básico de la descomposición de los desechos orgánicos por la acción del calor. Esto incluye la conversión de biomasa en biocombustibles. Rara vez la conversión termoquímica implica una adición química y, dentro de un período de tiempo limitado, puede utilizar una variedad de materias primas. Este grupo incluye procedimientos como la incineración, la pirólisis y la gasificación, entre muchos otros.

La conversión bioquímica implica el uso de microorganismos, sus enzimas asociadas o una gama de productos químicos para lograr la utilización de la gama limitada de biomasa disponible. La productividad de este proceso es limitada, y un aumento de la productividad requeriría una mayor inversión en términos de capital, como la instalación de reactores más grandes. La cantidad de productos que se pueden derivar de este proceso suele ser de uno a pocos, y para aumentar la cantidad de productos, se necesitarían cultivos microbianos adicionales y enzimas asociadas. El proceso es sensible a la temperatura ambiente y, en algunos casos, la exposición directa a la luz solar puede reducir el rendimiento del proceso. Los lodos de biomasa a menudo se producen como un producto de desecho secundario en este proceso. A continuación, se describen los procesos termoquímicos y bioquímicos:

3.2.1 Incineración

La incineración es una tecnología bien establecida que ofrece un modelo económico para la extracción de energía térmica. En el proceso de incineración, el componente combustible se hace reaccionar con el oxígeno a temperaturas superiores a los 800 °C, lo que produce energía térmica, gases y cenizas (Lino & Ismail, 2017). Implica principalmente la combustión controlada de residuos con recuperación de calor para producir vapor, que a su vez genera electricidad (Materazzi & Foscolo, 2019). Un área de instalación pequeña, un alto rendimiento y una mayor reducción en el volumen de desechos es la razón por la que se prefiere este método (Wang et al., 2018).

El rendimiento neto de energía de este proceso está determinado por la densidad, la composición, el contenido de humedad y el porcentaje de materiales inertes presentes en los desechos. La ceniza, un subproducto de la combustión de desechos sólidos que normalmente es inerte, se puede utilizar para fabricar cemento, materiales de construcción y otros productos. Las plantas de incineración requieren de monitoreo y tratamiento de los gases de escape, lo que conlleva altos costos, convirtiéndolas en uno de sus principales inconvenientes (Rajcoomar & Ramjeawon, 2017).

Existe evidencia de experimentos para analizar el avance de la energía y evaluar el impacto del sistema de incineración en el medio ambiente y su potencial en la recuperación de energía. Presentaronn un análisis de la emergía avanzada y el impacto ambiental de los RSU cuando pasan por el ciclo de vapor en una planta de incineración y valorización energética para la regeneración de electricidad. Para identificar los componentes y la magnitud de la destrucción de emergía, se determinaron indicadores de desempeño termodinámico. Usando estos indicadores, concluyeron que la destrucción total de energía en la planta podría reducirse potencialmente en un 8,4 % aumentando la eficiencia de los componentes de la planta que son responsables de la destrucción de energía.

3.2.2 Pirólisis

La pirólisis es el sistema de degradación de residuos térmicos que ocurre en ausencia total de aire y crea productos en tres estados, como residuos sólidos de carbono (biocarbón), líquidos como en (bioaceite) y gases no condensables (Sipra et al., 2018). Los productos de pirólisis varían en rendimiento y composición debido a diferentes parámetros, incluida la forma de la materia prima, el tipo de reactor y la composición, etc (Lewandowski et al., 2019).

Un estudio demostró que la generación de gas de síntesis mediante pirólisis de RSU con dolomita como catalizador. La producción de gas de síntesis varió en el rango de 47–67% mol. El resultado mostró que el uso de dolomita tuvo un gran impacto en el rendimiento del gas de síntesis y su composición. También demostraron que las temperaturas más altas dieron mayores rendimientos (Sipra et al., 2018). La energía se puede generar mejor utilizando el proceso de pirólisis que con los incineradores de RSU convencionales, ya que se producen niveles más bajos de óxidos de nitrógeno (NO_X) y óxidos de azufre (SO_x) en los procesos de pirólisis debido a las atmósferas inertes (Veses et al., 2020).

3.2.3 Gasificación

La gasificación implica el uso de calor y un entorno reducido en oxígeno para la oxidación parcial de materia prima a base de carbono para producir energía. En este proceso, con un suministro controlado de oxígeno y alta temperatura, la materia prima residual se convierte en productos gaseosos. Esto sucede a través de una serie de procesos que incluyen una combinación de gases combustibles, cantidades menores de carbón, cenizas y gas de síntesis. Para generar gas enriquecido con hidrógeno, el proceso de gasificación es potencialmente una estrategia efectiva y limpia. En general, los métodos de gasificación se clasifican según el tipo de gasificador y el medio de oxidación (Ramos et al., 2019).

La gasificación ocurre a una temperatura generalmente más alta que el pirólisis: 550–900 °C para la gasificación con aire y 1000–1600 °C si se usa oxígeno puro, gas enriquecido con oxígeno o vapor. Como un bien valioso, este proceso produce gas de síntesis, mientras que la formación de alquitrán es uno de los grandes problemas asociados

con la gasificación (Dong et al., 2018). Los alquitranes, halógenos y compuestos alcalinos se liberan dentro del gas producto en el proceso de gasificación y pueden causar problemas ambientales y técnicos (Ibrahimoglu et al., 2017).

En un estudio se investigó la ruta de conversión termoquímica para generar energía a partir de RSU y residuos sólidos plásticos (PSW) mediante cogasificación por plasma (Mazzoni & Janajreh, 2017). Utilizaron una mezcla específica de residuos como materia prima en un ciclo combinado de gasificación por plasma integrado. Utilizaron aire como gas principal y oxígeno o vapor como corriente secundaria. Llegaron a la conclusión de que la mejor eficiencia general se observó solo con la gasificación por plasma de aire puro de RSU. También notaron un aumento en las mezclas de desechos una vez que se elevó la proporción de gas oxígeno a gas plasma. La planta mostró una eficiencia de alrededor del 38% como su mejor desempeño, y se obtuvo usando oxígeno puro como gas plasma y usando 70% RSU y 30% SW plástico como materia prima. Además, máxima eficiencia de 21.

3.2.4 Digestión anaeróbica (DA)

La digestión anaeróbica (DA) requiere microorganismos para biodegradar la materia orgánica en ausencia de oxígeno. El biogás rico en metano y el digestato cultivable son los principales productos de DA. Pero la DA de lodos tradicional es insostenible debido al período de digestión más largo, lo que resulta en un mayor consumo de energía. Para abordar este problema, ahora se utilizan varias tecnologías de pretratamiento, como mecánica, química, biológica y fisicoquímica. Esto ha aumentado la producción de metano y, como resultado, la producción de energía del proceso DA también ha aumentado (Pandey et al., 2021). La digestión anaeróbica proporciona muchas ventajas tecnológicas, como una baja demanda de energía operativa, producción de fertilizantes y recuperación potencial de electricidad. Además, es una tecnología muy versátil que maneja una amplia variedad de residuos orgánicos y emisiones olorosas (Lee et al., 2019).

La fracción orgánica de los Residuos Sólidos Municipales se ha convertido en un sustrato adecuado para la DA ya que es de fácil acceso y tiene un alto contenido de humedad (Vasco-Correa et al., 2018). Sin embargo, los rendimientos de metano de la digestión anaeróbica de lodos siguen siendo bajos en comparación con otros tipos de desechos orgánicos. La codigestión se ha identificado como una solución a este problema. En este proceso, se agrega al lodo un cosustrato con alto potencial de metano, que ajusta varios factores como el pH, la relación C/N, la humedad, la disponibilidad de nutrientes. Además, la materia orgánica y los nutrientes de los desechos finalmente se transforman en digestato, que se utiliza para el rendimiento de los cultivos. Otro estudio analizó la huella de las emisiones de carbono y la energía debido a la DA de los RSU y han confirmado que el tratamiento con microondas antes de la DA disminuye el consumo de energía y minimiza la emisión de carbono (Van Fan et al., 2018).

3.2.5 Compostaje

El proceso de compostaje se centra en la degradación biológica aeróbica de la materia orgánica, creando desechos y estiércol estabilizados. El compostaje de material orgánico de RSU tiene numerosos beneficios ambientales, incluida la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y la producción de compost que puede utilizarse potencialmente como fertilizante orgánico (Smith & Aber, 2018). Además, el calor producido durante la descomposición se puede utilizar para la recuperación de energía. La temperatura, la aireación, las concentraciones de humedad, la proporción C/N, el tamaño de las partículas, el pH y el nivel de compactación, junto con otros factores, afectan la eficacia del compostaje.

En otro estudio se ha experimentado y notado que el compostaje fue mejorado por bacterias inoculadas, *Bacillus subtilis* y *Pseudomonas aeruginosa*, y zeolita natural clinoptilolita (Grgić et al., 2019). Esta mezcla perfecta amplió la fase termófila, mejoró la aireación y la permeabilidad al agua. Además, numerosos estudios han demostrado que las prácticas de compostaje tienen un efecto importante en la mineralización de nitrógeno, la producción de cultivos, la utilización de nitrógeno, la restauración, etc. Además, durante el proceso de compostaje pueden surgir numerosos problemas ambientales, como la formación de gases picantes o tóxicos, polvo, etc., lo que plantea riesgos para la salud o causa molestias a los residentes cercanos (Lin et al., 2019).

3.3 Importancia del poder calorífico superior e inferior al aplicar alternativas tecnológicas para la recuperación de energía a partir de los RSU

La gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU) presenta un desafío importante a nivel mundial. Para su aprovechamiento como fuente de energía es imprescindible el conocimiento de su poder calorífico. De hecho, se puede medir experimentalmente con un calorímetro de bomba de oxígeno. Este proceso es, sin embargo, costoso. Los desechos son un combustible desafiante debido a su naturaleza heterogénea, bajo poder calorífico, alto contenido de humedad y emisiones potencialmente dañinas. Comprender las características de su combustible es la piedra angular del desarrollo exitoso de un proyecto de conversión de residuos en energía. Es el primer paso en el camino hacia la implementación del proyecto, la mitigación del desafío de los desechos y la generación de energía verde.

El Valor Calorífico Neto es el contenido energético de los residuos tal como están, es decir, que contienen toda la humedad. La humedad, o contenido de agua, naturalmente, no contiene energía. Por lo tanto, el requerimiento de materia prima de combustible de desecho es mayor por el porcentaje de contenido de humedad, por ejemplo, 50% de humedad significa que la materia prima se duplica en comparación con el combustible con un contenido de humedad del 0% definido por términos tales como Valor Calorífico Superior o Valor Calorífico Bruto.

Es fundamental contar con datos de poder calorífico precisos y confiables para el diseño, operación y mantenimiento de una planta. Sin embargo, no todas las instalaciones de gestión de RSU están equipadas con bombas calorimétricas para determinar los poderes

caloríficos (Nanda & Berruti, 2021). La medición experimental del poder calorífico es tediosa y requiere habilidades técnicas avanzadas para manejar el equipo. Los sistemas de inteligencia artificial son ampliamente aceptados como una tecnología que puede hacer frente a problemas no lineales. Estas técnicas de vanguardia se utilizan para predecir el complejo procedimiento de estimación del poder calorífico de los RSU (Van Fan et al., 2021).

El poder calorífico superior (también conocido como valor calorífico bruto o energía bruta) de un combustible se define como la cantidad de calor liberado por una cantidad específica (inicialmente a 25°C) una vez que se quema y los productos han vuelto a una temperatura de 25 °C, que tiene en cuenta el calor latente de vaporización del agua en los productos de combustión. El alto poder calorífico de algunos materiales contenidos en los residuos y su contenido de humedad afecta la capacidad del proceso. En particular, la presencia de plásticos afecta negativamente al proceso de incineración: un aumento del poder calorífico significa una reducción de la capacidad de la planta de incineración. El rendimiento del incinerador puede verse limitado tanto por razones puramente mecánicas como por sobrecarga térmica y mecánica. El estrés térmico se puede calcular a partir del poder calorífico de los residuos alimentados al incinerador.

Entre las principales fórmulas para la predicción del PCS de los residuos sólidos urbanos, existen una serie de trabajos derivados de conceptos termoquímicos. La correlación de Wilson (Wilson, 1972) se basó en los tipos de carbono presentes (carbón orgánico e inorgánico), los poderes caloríficos del carbono y el azufre y la formación de agua. Meraz et al. (2003) despreciaron el carbono inorgánico en su modelo, lo que lo hace menos confiable en el caso de una concentración importante. En el 2016 se explotaron 193 datos experimentales para el desarrollo y validación de una nueva ecuación. Emplearon el análisis de regresión múltiple como método de modelado (Shi et al., 2016). En general, estos modelos se basaron en la regresión clásica, a excepción de otro estudio (Meraz et al., 2003), quienes utilizaron conceptos termoquímicos, a expensas del método de inteligencia computacional como el formalismo de programación genética. De hecho, este último tipo es capaz de resolver problemas utilizando estrategias evolutivas (Oliveira et al., 2018). Además, los RSU son una mezcla heterogénea de materiales. Como resultado, la predicción de PCS basada en un solo tipo de desecho parece difícil y no puede generalizarse para todas las categorías.

El poder calorífico inferior (también conocido como poder calorífico neto) de un combustible se define como la cantidad de calor liberado al quemar una cantidad específica (inicialmente a 25 °C) y devolver la temperatura de los productos de combustión a 150 °C, lo que supone el calor latente de vaporización del agua en los productos de reacción no se recupera. Dado que las propiedades de combustión del combustible varían en función del PCI, también deben hacerlo las soluciones técnicas. Es así, que en el proceso de combustión de una central de residuos se deben optimizar dos rangos de PCI diferentes

para garantizar la combustión completa del combustible residual, la producción de energía maximizada y las emisiones minimizadas. Con esto cada rango es capaz de manejar una amplia variedad de combustibles residuales con contenidos de humedad fluctuantes. Y deja espacio para cambios en la calidad de la materia prima del combustible residual a lo largo del tiempo.

Las grandes calderas de combustión de biomasa tienen rendimientos entre el 85 y más del 100 % del poder calorífico inferior del combustible. Se pueden alcanzar eficiencias de más del 100 % condensando los gases de combustión del proceso de combustión. Especialmente si se utilizan combustibles húmedos (hasta un 55 % de humedad del peso total), la eficiencia puede ser alta. Los sistemas de calderas para la producción de calor solo se pueden combinar con bombas de calor impulsadas por calor. La fuente de calor para la bomba de calor puede ser el gas de combustión (fuente de calor interna) o fuentes de calor externas como exceso de calor residual

3.4 Desafíos y perspectivas para la gestión de los RSU

Es necesario fortalecer la posición actual de la gestión de desechos sólidos en los países en desarrollo, debido a que las mejores y más adecuadas técnicas para la recolección de RSU para su eliminación no se encuentran en la práctica adecuada. Además, existe una escasez de conciencia y disponibilidad de profesionales capacitados para la gestión de RSU. Los principales desafíos para la gestión adecuada de los RSU incluyen la recolección y segregación inadecuadas de los RSU. Además, la ausencia de reciclaje y la falta de instalaciones de tratamiento se suman a los problemas ya presentes.

El avance y la implementación de nuevas tecnologías que podrían transformar los desechos en productos se han visto inhibidos por una capacitación/conciencia ambiental limitada junto con una baja motivación. Además de esto, la actitud de la sociedad hacia los residuos también es un obstáculo importante para optimizar la gestión de residuos sólidos. El sector de la gestión de residuos debe tener una gestión de residuos deseable y eficaz y esquemas corporativos lucrativos. Se podrían aplicar sanciones financieras si los servicios de gestión de residuos no funcionan de manera eficiente. Aumentar el reciclaje, la recuperación y la reutilización de los residuos y su uso como recurso debe ser el objetivo a largo plazo de los investigadores. De ahí la necesidad de mejorar la educación y la formación en todos los niveles. Además, el valor de la gestión de residuos y el impacto de la gestión ineficaz de los residuos en la salud y el medio ambiente deben reconocerse a nivel mundial, lo que ayudará a formar ciudadanos responsables que puedan considerar los residuos como una oportunidad para los recursos y, por lo tanto, ayudar a gestionar los residuos adecuadamente.

4. CONCLUSIONES

La conversión de residuos en energía mediante procesos termoquímicos parece ser una solución prometedora. Asimismo, dada su diversidad y heterogeneidad, el conocimiento de

la composición de los residuos es fundamental. De hecho, existen tres tipos de determinación de la composición: análisis físico, próximo y último. La caracterización física clasificó a los RSU como componentes degradables derivados de la biomasa, tales como alimentos, madera, algodón, papel, cartón, etc.; o no degradables provenientes de combustibles fósiles, como plásticos, caucho, etc. El análisis proximal implica la determinación del porcentaje de humedad, carbono fijo, materia volátil y ceniza. El análisis final informa sobre la cantidad de carbono (C), hidrógeno (H), nitrógeno (N), azufre (S) y oxígeno (O). Además, características térmicas como el poder calorífico, en particular el poder calorífico superior (HHV), son un factor clave para el diseño de plantas WTE. Sin embargo, la determinación experimental es costosa.

En el cantón Gonzalo Pizarro es fundamental fomentar la correcta gestión de residuos, esto implica, la generación de un sistema que preserve los recursos útiles y ayude a la sociedad a pasar del vertido de desechos a la recuperación de recursos. La segregación de los desechos en la fuente y el uso de instalaciones dedicadas al procesamiento de desechos para separar los materiales reciclables serán claves para lograr una producción más limpia. Hay problemas significativos con respecto a la participación pública en la gestión de residuos, así como la falta de rendición de cuentas en la comunidad hacia los residuos; por lo tanto, se debe fomentar la conciencia de la comunidad.

Teniendo en cuenta los impactos generales asociados con el vertido, el concepto de recuperación de recursos a través de tecnologías de conversión de residuos en energía como objetivo a largo plazo allanaría el camino para una producción más limpia. Los recientes avances tecnológicos han hecho más eficiente la gestión de residuos y más factible la recuperación de energía. La pirólisis y la gasificación, así como las vías bioquímicas, como el compostaje y la digestión anaeróbica, han aumentado la eficiencia de la recuperación de energía. Los métodos bioquímicos son menos dañinos para el medio ambiente pero más susceptibles a los factores ambientales. Los avances en las tecnologías térmicas y bioquímicas han allanado el camino para procesos de recuperación de energía más eficientes y rentables. Además, a diferencia de los combustibles fósiles, los desechos sólidos municipales están ampliamente disponibles en todo el mundo y, por lo tanto, la gestión eficaz de dichos desechos ayudará a mitigar los problemas de gestión de desechos y contribuirá a la recuperación de energía.

REFERENCIAS

Allam, Z., & Jones, D. S. (2018). Towards a circular economy: A case study of waste conversion into housing units in Cotonou, Benin. *Urban Science*, *2*(4), 118.

Rondón Toro, E., Szantó Narea, M., Pacheco, J. F., Contreras, E., & Gálvez, A. (2016). Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios.

Álvarez, J. C. E., Prado, L. T. P., Lafebre, L. M. V., & Barros, M. R. Q. (2020). Impacto del covid-19 en el emprendimiento del sector turístico en el Ecuador. *Dominio de Las Ciencias*, *6*(3), 1352–1367.

Arrova Gonzales, K., Angamarca Monar, M., & Moreira Chiriap, J. (2020). Biodiversidad y turismo: Una propuesta para mejorar la economía, Parque Nacional Yasuní. *Green World Journal*, *3*(2), 2. https://doi.org/https://www.greenworldjournal.com/doi-016-ka-2020

Azevedo, B. D., Scavarda, L. F., Caiado, R. G. G., & Fuss, M. (2021). Improving urban household solid waste management in developing countries based on the German experience. *Waste Management*, *120*, 772–783. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.11.001

Cárdenas-Ferrer, T. M., Santos-Herrero, R. F., Contreras-Moya, A. M., Rosa-Domínguez, E., & Domínguez-Núñez, J. (2019). Propuesta metodológica para el sistema de gestión de los residuos sólidos urbanos en Villa Clara. *Tecnología Química*, *39*(2), 471–488.

Chávez, A. Y., & Moya, F. V. (2019). Enfoques innovadores de educación ambiental con el aprovechamiento de residuos orgánicos urbanos. *Cátedra*, *2*(2), 111–132.

Costa, I. M., & Dias, M. F. (2020). Evolution on the solid urban waste management in Brazil: A portrait of the Northeast Region. *Energy Reports*, *6*, 878–884.

Dong, J., Tang, Y., Nzihou, A., Chi, Y., Weiss-Hortala, E., & Ni, M. (2018). Life cycle assessment of pyrolysis, gasification and incineration waste-to-energy technologies: Theoretical analysis and case study of commercial plants. *Science of the Total Environment*, *626*, 744–753.

González-Merizalde, M. V., Menezes-Filho, J. A., Cruz-Erazo, C. T., Bermeo-Flores, S. A., Sánchez-Castillo, M. O., Hernández-Bonilla, D., & Mora, A. (2016). Manganese and Mercury Levels in Water, Sediments, and Children Living Near Gold-Mining Areas of the Nangaritza River Basin, Ecuadorian Amazon. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, *71*(2), 171–182. https://doi.org/10.1007/s00244-016-0285-5

Graziani, P. (2018). Economía circular e innovación tecnológica en residuos sólidos: Oportunidades en América Latina. *Books*.

Grgić, D. K., Domanovac, M. V, Domanovac, T., Šabić, M., Cvetnić, M., & Bulatović, V. O. (2019). Influence of Bacillus subtilis and Pseudomonas aeruginosa BSW and Clinoptilolite addition on the biowaste composting process. *Arabian Journal for Science and Engineering*, *44*(6), 5399–5409.

Ibrahimoglu, B., Cucen, A., & Yilmazoglu, M. Z. (2017). Numerical modeling of a downdraft plasma gasification reactor. *International Journal of Hydrogen Energy*, *42*(4), 2583–2591.

Kanhai, G., Fobil, J. N., Nartey, B. A., Spadaro, J. V, & Mudu, P. (2021). Urban Municipal Solid Waste management: Modeling air pollution scenarios and health impacts in the case of Accra, Ghana. *Waste Management*, *123*, 15–22. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.01.005

Kumar, A., & Samadder, S. R. (2017). A review on technological options of waste to energy for effective management of municipal solid waste. *Waste Management*, *69*, 407–422.

Kumar, A., & Samadder, S. R. (2020). Performance evaluation of anaerobic digestion technology for energy recovery from organic fraction of municipal solid waste: A review. *Energy*, *197*, 117253.

Lee, S. Y., Sankaran, R., Chew, K. W., Tan, C. H., Krishnamoorthy, R., Chu, D.-T., & Show, P.-L. (2019). Waste to bioenergy: a review on the recent conversion technologies. *Bmc Energy*, *1*(1), 1–22.

Lewandowski, W. M., Januszewicz, K., & Kosakowski, W. (2019). Efficiency and proportions of waste tyre pyrolysis products depending on the reactor type—A review. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, *140*, 25–53.

Lin, L., Xu, F., Ge, X., & Li, Y. (2019). Biological treatment of organic materials for energy and nutrients production—Anaerobic digestion and composting. In *Advances in Bioenergy* (Vol. 4, pp. 121–181). Elsevier.

Lino, F. A. M., & Ismail, K. A. R. (2017). Incineration and recycling for MSW treatment: Case study of Campinas, Brazil. *Sustainable Cities and Society*, *35*, 752–757.

Materazzi, M., & Foscolo, P. U. (2019). The role of waste and renewable gas to decarbonize the energy sector. In *Substitute Natural Gas from Waste* (pp. 1–19). Elsevier.

Mazzoni, L., & Janajreh, I. (2017). Plasma gasification of municipal solid waste with variable content of plastic solid waste for enhanced energy recovery. *International Journal of Hydrogen Energy*, *42*(30), 19446–19457.

Meraz, L., Domínguez, A., Kornhauser, I., & Rojas, F. (2003). A thermochemical concept-based equation to estimate waste combustion enthalpy from elemental composition☆. *Fuel*, *82*(12), 1499–1507.

Mestanza-Ramón, C., & Jiménez-Caballero, J. L. (2021). Nature Tourism on the Colombian—Ecuadorian Amazonian Border: History, Current Situation, and Challenges. In *Sustainability* (Vol. 13, Issue 8). https://doi.org/10.3390/su13084432

Mestanza, C., Saavedra, H. F., Gaibor, I. D., Zaquinaula, M. A., Váscones, R. L., & Pacheco, O. M. (2018). Conflict and impacts generated by the filming of Discovery Channel's reality series "Naked and Afraid" in the Amazon: A Special case in the Cuyabeno Wildlife Reserve, Ecuador. *Sustainability (Switzerland)*, *11*(1). https://doi.org/10.3390/su11010050

Montoya-Quesada, E., Villaquirán-Caicedo, M. A., & de Gutiérrez, R. M. (2020). Materiales vitrocerámicos obtenidos a partir de residuos sólidos tales como cenizas, escorias y vidrio: revisión. *Informador Técnico*, *84*(2), 227–248.

Nakamura, S., Kitano, S., & Yoshikawa, K. (2016). Biomass gasification process with the tar removal technologies utilizing bio-oil scrubber and char bed. *Applied Energy*, *170*, 186–192.

Nanda, S., & Berruti, F. (2021). Municipal solid waste management and landfilling technologies: a review. *Environmental Chemistry Letters*, *19*(2), 1433–1456.

Nicolás, A. M. B., & Ramos, P. R. (2019). Investigación-acción y aprendizaje basado en proyectos. Una revisión bibliográfica. *Perfiles Educativos*, *41*(163), 127–141.

Niño-Soto, A., & Chávez-Martínez, S. (2020). Metabolismo urbano: Reflexiones sobre el crecimiento urbano y el consumo energético. *AUS [Arquitectura/Urbanismo/Sustentabilidad]*, *27*, 80–85.

Oliveira, V. P. L., de Souza, E. F., Le Goues, C., & Camilo-Junior, C. G. (2018). Improved representation and genetic operators for linear genetic programming for automated

program repair. *Empirical Software Engineering*, *23*(5), 2980–3006.

Pandey, A. K., Gaur, V. K., Udayan, A., Varjani, S., Kim, S.-H., & Wong, J. W. C. (2021). Biocatalytic remediation of industrial pollutants for environmental sustainability: Research needs and opportunities. *Chemosphere*, *272*, 129936.

Rajcoomar, A., & Ramjeawon, T. (2017). Life cycle assessment of municipal solid waste management scenarios on the small island of Mauritius. *Waste Management & Research*, *35*(3), 313–324.

Ramos, A., Monteiro, E., & Rouboa, A. (2019). Numerical approaches and comprehensive models for gasification process: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *110*, 188–206.

Rodríguez Martín, A., Palomo Zurdo, R. J., & González Sánchez, F. (2020). *Transparencia y economía circular: análisis y valoración de la gestión municipal de los residuos sólidos urbanos*.

Shi, H., Mahinpey, N., Aqsha, A., & Silbermann, R. (2016). Characterization, thermochemical conversion studies, and heating value modeling of municipal solid waste. *Waste Management*, *48*, 34–47.

Singh, A. (2019). Managing the uncertainty problems of municipal solid waste disposal. *Journal of Environmental Management*, *240*, 259–265.

Sipra, A. T., Gao, N., & Sarwar, H. (2018). Municipal solid waste (MSW) pyrolysis for bio-fuel production: A review of effects of MSW components and catalysts. *Fuel Processing Technology*, *175*, 131–147.

Smith, M. M., & Aber, J. D. (2018). Energy recovery from commercial-scale composting as a novel waste management strategy. *Applied Energy*, *211*, 194–199.

Valenzuela, P. R. M., & Loachamín, R. C. (2017). Composición y estructura de quirópteros de una localidad piemontana de la cordillera nororiental de Ecuador. *ACI Avances En Ciencias e Ingenierías*, *9*(15).

Van Fan, Y., Klemeš, J. J., Lee, C. T., & Perry, S. (2018). Anaerobic digestion of municipal solid waste: Energy and carbon emission footprint. *Journal of Environmental Management*, *223*, 888–897.

Van Fan, Y., Varbanov, P. S., Klemeš, J. J., & Romanenko, S. V. (2021). Urban and industrial symbiosis for circular economy: Total EcoSite Integration. *Journal of Environmental Management*, *279*, 111829.

Vasco-Correa, J., Khanal, S., Manandhar, A., & Shah, A. (2018). Anaerobic digestion for bioenergy production: Global status, environmental and techno-economic implications, and government policies. *Bioresource Technology*, *247*, 1015–1026.

Veses, A., Sanahuja-Parejo, O., Callén, M. S., Murillo, R., & García, T. (2020). A combined two-stage process of pyrolysis and catalytic cracking of municipal solid waste for the production of syngas and solid refuse-derived fuels. *Waste Management*, *101*, 171–179.

Wang, Y., Zhang, X., Liao, W., Wu, J., Yang, X., Shui, W., Deng, S., Zhang, Y., Lin, L., & Xiao, Y. (2018). Investigating impact of waste reuse on the sustainability of municipal solid waste (MSW) incineration industry using emergy approach: A case study from Sichuan province, China. *Waste Management*, *77*, 252–267.

ANEXOS

MARCO TEÓRICO

El volumen y la complejidad crecientes de los desechos asociados con la economía moderna representan un riesgo grave para los ecosistemas y la salud humana. Cada año, se recolectan aproximadamente 11,2 mil millones de toneladas de desechos sólidos en todo el mundo y la descomposición de la proporción orgánica de los desechos sólidos está contribuyendo alrededor del 5 por ciento de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (Sánchez-Muñoz et al., 2019). Cada año, se recolectan aproximadamente 11,2 mil millones de toneladas de desechos sólidos en todo el mundo. De todas las corrientes de desechos, los desechos de equipos eléctricos y electrónicos que contienen sustancias peligrosas nuevas y complejas representan el desafío de más rápido crecimiento tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo (Montiel-Bohórquez & Pérez, 2019).

La mala gestión de los desechos, que van desde los sistemas de recolección inexistentes hasta la eliminación ineficaz, causa contaminación del aire, del agua y del suelo. Los vertederos abiertos e insalubres contribuyen a la contaminación del agua potable y pueden causar infecciones y transmitir enfermedades. La dispersión de escombros contamina los ecosistemas y las sustancias peligrosas de los desechos electrónicos o la basura industrial ejercen presión sobre la salud de los habitantes de las ciudades y el medio ambiente (Gutiérrez, 2017).

Residuos sólidos.

Los desechos sólidos se refieren a la variedad de materiales de basura, que surgen de actividades animales y humanas, que se descartan como no deseados e inútiles (Singh, 2019). Los desechos sólidos se generan a partir de actividades industriales, residenciales y comerciales en un área determinada y pueden manejarse de diversas formas. Como tal, los rellenos sanitarios se clasifican típicamente en sitios de desechos sanitarios, municipales, de construcción y demolición o industriales (Kumar & Samadder, 2017). Los desechos se pueden clasificar según el material, como plástico, papel, vidrio, metal y desechos orgánicos (Graziani, 2018). La categorización también puede basarse en el potencial de peligro, incluidos los desechos radiactivos, inflamables, infecciosos, tóxicos o no tóxicos.

Las categorías también pueden estar relacionadas con el origen de los residuos, ya sean industriales, domésticos, comerciales, institucionales o de construcción y demolición. Las prácticas de manejo de desechos sólidos pueden diferir para los productores residenciales e industriales, para las áreas urbanas y rurales, y para las naciones desarrolladas y en desarrollo (Gutiérrez, 2017).

Residuos sólidos urbanos.

Los residuos sólidos urbanos (RSU), más comúnmente conocidos como basura o basuras, consisten en artículos de uso diario que usamos y luego tiramos, como empaques de productos, recortes de césped, muebles, ropa, botellas, restos de comida, periódicos, electrodomésticos, pintura y baterías. Esto proviene de nuestros hogares, escuelas, hospitales y negocios. Por otra parte, otra definición también indica que los RSU son los residuos sólidos resultantes de las actividades municipales, comunitarias, comerciales, institucionales y recreativas, o incidentales a ellas, e incluyen la basura, desperdicios, cenizas, limpieza de las calles, animales muertos, residuos médicos y todos los demás residuos sólidos no industriales (Singh, 2019).

Los RSU son generados por hogares, oficinas, hoteles, tiendas, escuelas y otras instituciones. Los principales componentes de los RSU son los desechos de alimentos, papel, plástico, trapos, metal y vidrio, aunque los desechos de demolición y construcción a menudo se incluyen en los desechos recolectados, al igual que pequeñas cantidades de desechos peligrosos, como bombillas eléctricas, baterías, piezas de automóviles. y medicamentos y productos químicos desechados (Cohen, Halfon, & Schwartz, 2021). Los RSU son una materia prima de precio negativo, abundante y esencialmente renovable. La composición de los RSU puede variar de una comunidad a otra, pero las diferencias generales no son sustanciales (Kaur, Bharti, & Sharma, 2021).

Otro tipo de RSU, quizás el componente de más rápido crecimiento en muchos países desarrollados, son los desechos electrónicos que incluyen equipos de computación, televisores, teléfonos y una variedad de otros dispositivos electrónicos desechados. La preocupación por este tipo de residuos va en aumento (Singh, 2019; Yang & Ali, 2019). El plomo, mercurio y cadmio se encuentran entre los materiales de interés en los dispositivos electrónicos, y es posible que se requieran políticas gubernamentales para regular su reciclaje y eliminación (Cohen et al., 2021).

Gestión de los residuos sólidos urbanos.

La gestión de residuos sólidos es un servicio fundamental en cualquier sociedad. Sin embargo, antes de presentar el proceso, comencemos con una discusión sobre el material que se maneja: los desechos sólidos (Azevedo, Scavarda, Caiado, & Fuss, 2021). El manejo de desechos sólidos se define como la disciplina asociada con el control de la generación, almacenamiento, recolección, transporte o transferencia, procesamiento y disposición de materiales de desechos sólidos de la manera que mejor aborde el rango de salud pública, conservación, economía, estética, ingeniería y otras consideraciones ambientales (Kanhai, Fobil, Nartey, Spadaro, & Mudu, 2021). Independientemente del origen, contenido o peligro potencial, los residuos sólidos deben manejarse de manera sistemática para garantizar las mejores prácticas ambientales. Dado que la gestión de residuos sólidos es un aspecto crítico de la higiene ambiental, debe incorporarse en la planificación ambiental (Cárdenas-Ferrer, Santos-Herrero, Contreras-Moya, Rosa-Domínguez, & Domínguez-Núñez, 2019).

El objetivo principal de la gestión de desechos sólidos es reducir y eliminar los impactos adversos de los materiales de desecho en la salud humana y el medio ambiente para apoyar el desarrollo económico y una calidad de vida superior. Esto debe hacerse de la manera más eficiente posible, para mantener bajos los costos y evitar la acumulación de desechos (Azevedo et al., 2021). En su ámbito, la gestión de residuos sólidos incluye funciones de planificación, administrativas, financieras, de ingeniería y legales. Las soluciones pueden incluir relaciones interdisciplinarias complejas entre campos como salud pública, planificación urbana y regional, ciencias políticas, geografía, sociología, economía, comunicación y conservación, demografía, ingeniería y ciencias de los materiales (Eraso, Lozada, Pinilla, & Fernández, 2021).

La tarea de seleccionar una ruta de recolección óptima es un problema complejo, especialmente para ciudades grandes y densamente pobladas. Una ruta óptima es aquella que da como resultado el uso más eficiente de mano de obra y equipo, y la selección de dicha ruta requiere la aplicación de análisis por computadora que tengan en cuenta todas las variables de diseño en una red grande y compleja (Gutiérrez, 2017). Las variables incluyen frecuencia de recolección, distancia de transporte, tipo de servicio y clima. La recolección

de basura en áreas rurales puede presentar un problema especial, ya que las densidades de población son bajas, lo que genera costos unitarios elevados (Cárdenas-Ferrer et al., 2019).

Una vez recolectados, los residuos sólidos urbanos pueden tratarse para reducir el volumen y el peso total del material que requiere disposición final. El tratamiento cambia la forma de los desechos y los hace más fáciles de manipular. También puede servir para recuperar determinados materiales, así como energía térmica, para su reciclaje o reutilización.

Tecnologías innovadoras.

Una innovación tecnológica es un producto o proceso nuevo o mejorado cuyas características tecnológicas son significativamente diferentes a las anteriores. Las innovaciones tecnológicas de productos implementadas son productos nuevos (innovaciones de productos) o procesos en aplicación (innovaciones de procesos) que se han introducido en el mercado (Chávez & Moya, 2019). El producto o proceso se considera una innovación si logra ventajas específicas para la empresa en cuestión; estos no tienen por qué ser nuevos desde el punto de vista de otras empresas o del mercado (Álvarez, Prado, Lafebre, & Barros, 2020).

Las tecnologías innovadoras pueden ser considerados procesos que incluyen la generación, desarrollo e implementación de nuevas ideas o comportamientos. Además, la innovación se concibe como un medio para cambiar una organización, ya sea como una respuesta a los cambios en el entorno externo o como una acción preventiva para influir en el entorno (González-Merizalde et al., 2016). Por lo tanto, la innovación se define aquí de manera amplia para abarcar una variedad de tipos, incluidos nuevos productos o servicios, nuevas tecnologías de proceso, nuevas estructuras organizativas o sistemas administrativos, o nuevos planes o programas pertenecientes a los miembros de la organización (Montoya-Quesada, Villaquirán-Caicedo, & de Gutiérrez, 2020).

Recuperación de energía

El valor energético de la basura puede ser hasta un tercio del carbón, dependiendo del contenido de papel, y el calor desprendido durante la incineración puede recuperarse mediante el uso de un horno revestido de refractario acoplado a una caldera. Las calderas convierten el calor de combustión en vapor o agua caliente, permitiendo así reciclar el contenido energético de la basura (Graziani, 2018). Los incineradores que reciclan la

energía térmica de esta manera se denominan plantas de conversión de residuos en energía. En lugar de un horno y una caldera separados, también se puede utilizar un horno de pared de tubos de agua para la recuperación de energía (Rodríguez Martín et al., 2020). Dicho horno está revestido con tubos de acero verticales espaciados lo suficientemente cerca para formar secciones continuas de pared. Las paredes están aisladas en el exterior para reducir la pérdida de calor. El agua que circula a través de los tubos absorbe calor para producir vapor y también ayuda a controlar las temperaturas de combustión sin la necesidad de un exceso de aire, lo que reduce los costos de control de la contaminación del aire (Kumar & Samadder, 2017).

Las plantas de conversión de residuos en energía funcionan como quema masiva o sistemas de combustible derivados de la basura. El sistema de quema en masa utiliza toda la basura, sin tratamiento ni preparación previa (Kumar & Samadder, 2017). Un sistema de combustible derivado de desechos separa los desechos combustibles de los no combustibles, como el vidrio y el metal, antes de quemarlos. Si se instala una turbina en la planta, se puede producir vapor y electricidad en un proceso llamado cogeneración (Costa & Dias, 2020).

Los sistemas de conversión de residuos en energía son más costosos de construir y operar que los incineradores simples debido a la necesidad de equipos y controles especiales, personal técnico altamente calificado y sistemas de combustible auxiliares (Di Fraia, Massarotti, & Vanoli, 2018; Leclère et al., 2020). Por otro lado, la venta de vapor o electricidad generados compensa gran parte del costo adicional, y la recuperación de energía térmica de los desechos es una opción viable de gestión de desechos sólidos tanto desde el punto de vista de la ingeniería como desde el punto de vista económico. Aproximadamente el 80 por ciento de los incineradores de basura municipales en los Estados Unidos son instalaciones de conversión de residuos en energía (Gu-Yifán, Li-Yue, Li-Xuyao, Luo-Pengzhou, Wang-Hongtao, Robinson-Zoe, Wang-Xin, Wu-Jiang, & Li-Fengting, 2017).

Poder calorífico superior e inferior

El poder calorífico es una propiedad de una sustancia que describe la cantidad de energía (energía térmica) liberada durante la combustión de una cantidad específica de la sustancia en particular. Por lo general, la sustancia que consideramos aquí es combustible o

alimento (Amen et al., 2021). Hay dos tipos de valores caloríficos: poder calorífico superior (PCS) y poder calorífico inferior (PCI). Estos valores se pueden medir en el laboratorio para cada tipo de combustible utilizado en el sistema del horno. Sin embargo, se deben convertir los valores caloríficos más altos para obtener los valores correctos que deben usarse en la hoja Planta (Maksimuk, Antonava, Krouk, Korsakova, & Kursevich, 2021; Richards, Haycock, Frandsen, & Fletcher, 2021).

El poder calorífico superior (también conocido valor calorífico bruto o energía bruta) de un combustible se define como la cantidad de calor liberada por una cantidad específica (inicialmente a 25 ° C) una vez que se quema y los productos han vuelto a una temperatura de 25 ° C. Podemos determinar el valor calorífico más alto devolviendo todos los productos de combustión a la temperatura de precombustión original (Verduga Salazar, 2020). El poder calorífico más alto es igual al calor termodinámico de combustión porque el cambio de entalpía para la reacción de combustión también asume una temperatura común para los compuestos antes y después de la combustión. Además, si se produce vapor de agua durante la reacción de combustión, se condensa para formar agua líquida (Huang, Chiueh, & Lo, 2021).

El valor calorífico inferior (también conocido como valor calorífico neto) de un combustible se define como la cantidad de calor liberada al quemar una cantidad específica (inicialmente a 25 ° C) y devolver la temperatura de los productos de combustión a 150 ° C, lo que supone el calor latente de vaporización del agua en los productos de reacción no se recupera. Podemos determinar el poder calorífico más bajo restando el calor de vaporización del agua del poder calorífico más alto. Esto incluye cualquier molécula de agua que se forme como vapor. Por tanto, la energía necesaria para vaporizar el agua no se considera una energía térmica considerable (García, Sánchez, & Borja, 2019; Huang et al., 2021).

La diferencia clave entre PCS y PCI es que el PCS se puede determinar llevando todos los productos de combustión a la temperatura original de precombustión mientras se permite que se condense el vapor producido. Mientras tanto, el PCI se puede determinar restando el calor de vaporización del agua del valor calorífico superior (Amen, Hameed, Albashar, Kamran, Hassan Shah, Zaman & Asif, 2021).

Bienes de valor agregado.

Los productos de valor agregado son bienes con un valor mejorado que se deriva de algún proceso o producto adicional. Los productos con valor agregado son comunes en las industrias agrícolas; ciertas prácticas agrícolas y estrategias de procesamiento pueden agregar valor al producto final (Masri, Frisca, Satria, & Bantasyam, 2018). Un producto de valor agregado puede referirse a cualquier producto que haya sido objeto de acciones adicionales o combinado con productos adicionales para aumentar el valor general del producto. Los productos de valor agregado pueden ser evidentes por sí mismos o pueden necesitar ser comercializados (Aslam, Novta, & Rodrigues-Bastos, 2017).

Una definición amplia de valor agregado es agregar valor económicamente a un producto cambiando sus características actuales de lugar, tiempo y forma a características más preferidas en el mercado. El término "valor agregado" describe la mejora económica que una empresa brinda a sus productos o servicios antes de ofrecerlos a los clientes (Masri, Frisca, Satria & Bantasyam, 2018). El valor agregado ayuda a explicar por qué las empresas pueden vender sus bienes o servicios por más de lo que cuesta producir. Agregar valor a los productos y servicios es muy importante, ya que brinda a los consumidores un incentivo para realizar compras, lo que aumenta los ingresos y el resultado final de una empresa (Ramos & Prochnik, 2017).