

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“FACTIBILIDAD DE GENERACIÓN DE ENERGÍA A PARTIR  
DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN LA PROVINCIA  
DE HUAMANGA”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Ambiental



**Autora:**

Dayanne Astril Trelles Cruz

**Asesor:**

Mtr. Ing. MSc. Abby Solange Da Cruz Rodriguez

Lima - Perú

2022

## DEDICATORIA

Este trabajo de investigación significa la culminación de una etapa lleno de esfuerzo y fortaleza, es por ello, que quiero dedicarlo a Dios; por ser un pilar y apoyo importante, dotándome de buena salud. Asimismo, dedicarlo a mis padres, que sin su esfuerzo y aliento no hubiera podido lograr todo lo que siempre anhelaron para mi futuro. Finalmente, dedicar con mucho cariño a mis hermanos, quienes son fuente de alegría y apoyo emocional inconmensurable.

## AGRADECIMIENTO

Agradezco enormemente a mis padres y hermanos por alentarme a cumplir mis metas y por su apoyo en todos los aspectos de mi vida. De igual manera, agradecer a mis tías y primos que con su compañía fueron un sostén. También quiero agradecer a mi asesora quien me guió, encaminó, corrigió y me dio su tiempo durante el desarrollo del presente trabajo de investigación.

## Tabla de contenido

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>1</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>2</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES .....</b>	<b>7</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>8</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>10</b>
I.1. Realidad problemática .....	10
I.2. Justificación.....	13
I.3. Marco teórico .....	14
<i>I.3.1. Tipos de Incineración .....</i>	<i>17</i>
<i>I.3.2. Fundamentos Térmicos .....</i>	<i>19</i>
I.4. Antecedentes .....	20
<i>I.4.1. Antecedente internacional .....</i>	<i>20</i>
<i>I.4.2. Antecedentes nacionales .....</i>	<i>23</i>
I.5. Marco conceptual.....	24
<i>I.5.1. Residuos Sólidos .....</i>	<i>24</i>
<i>I.5.2. Clasificación de Residuos Sólidos .....</i>	<i>25</i>
<i>I.5.3. Disposición Final de los Residuos Sólidos .....</i>	<i>26</i>
<i>I.5.4. Identificación de los Puntos de Disposición Final de los Residuos Sólidos Urbanos en la Provincia de Huamanga .....</i>	<i>27</i>
<i>I.5.6. Efectos Inadecuados de la mala disposición de Residuos Sólidos Urbanos .....</i>	<i>30</i>
<i>I.5.7. Demanda Energética .....</i>	<i>31</i>
<i>I.5.8. Fundamentos para la caracterización de los Residuos Sólidos .....</i>	<i>32</i>
I.6. Formulación del problema .....	33
I.7. Objetivos.....	33
<i>I.7.1. Objetivo general.....</i>	<i>33</i>
<i>I.7.2. Objetivo específico .....</i>	<i>33</i>
I.8. Hipótesis .....	34
<i>I.8.1. Hipótesis general .....</i>	<i>34</i>
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA .....</b>	<b>35</b>
II.1. Tipo de investigación .....	35
<i>II.1.1. Propósito.....</i>	<i>35</i>
<i>II.1.2. Enfoque .....</i>	<i>35</i>
<i>II.1.3. Alcance .....</i>	<i>35</i>
<i>II.1.4. Diseño.....</i>	<i>35</i>
II.2. Población y muestra .....	36
<i>II.2.1. Población .....</i>	<i>36</i>
<i>II.2.2. Muestra .....</i>	<i>36</i>
II.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos .....	36
<i>II.3.1. Técnicas .....</i>	<i>36</i>

II.3.2. Instrumentos .....	37
II.4. Procedimiento .....	38
II.5. Análisis de datos .....	40
II.6. Aspectos éticos .....	41
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS.....</b>	<b>43</b>
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>64</b>
IV.1. Discusión .....	64
IV.1.1. Limitaciones .....	64
IV.1.2. Interpretaciones .....	64
IV.1.3. Implicancias .....	66
IV.2. Conclusiones.....	67
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>70</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>75</b>
ANEXO 1 .....	75
ANEXO 2 .....	76
ANEXO 3 .....	76
ANEXO 4 .....	77
ANEXO 5 .....	78
ANEXO 6 .....	79

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Botaderos en la provincia de Huamanga .....	27
Tabla 2 Relleno Sanitario de la en la provincia de Huamanga.....	28
Tabla 3 Relleno Sanitario de la provincia de Huamanga .....	29
Tabla 4 Botaderos de la provincia de Huamanga .....	30
Tabla 5 Conversión de unidades.....	39
Tabla 6 Artículos de la Revisión .....	43
Tabla 7 Generación de los Residuos Sólidos Domiciliarios y No Domiciliarios.....	50
Tabla 8 Generación de Residuos Sólidos No Domiciliarios en la provincia de Huamanga .....	52
Tabla 9 Generación de Residuos Sólidos Domiciliarios en la provincia de Huamanga .....	53
Tabla 10 Generación Percápita de los Residuos Sólidos en la provincia de Huamanga.....	54
Tabla 11 Clasificación de los Residuos Sólidos Urbanos en la provincia de Huamanga .....	55
Tabla 12 Composición porcentual de los Residuos Sólidos Urbanos de la provincia de Huamanga .....	56
Tabla 13 Poder Calorífico Inferior de los Residuos Sólidos Urbanos.....	58
Tabla 14 Conversión de Unidades del Poder Calorífico Inferior .....	59
Tabla 15 Generación de Energía Eléctrica Diaria .....	60
Tabla 16 Generación de Energía Eléctrica Anual .....	61
Tabla 17 Energía generada por Incineración .....	61
Tabla 18 Generación de energía diaria mediante la Incineración de los Residuos Sólidos Urbanos de la provincia de Huamanga .....	62
Tabla 19 Tabla Comparativa de Poder Calorífico Inferior.....	63

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Proceso de incineración.....	16
Figura 2	Relleno Sanitario de Huamanga.....	29
Figura 3	Imagen del Relleno Sanitario de Huamanga en Operación .....	29
Figura 4	Procedimiento del Análisis de datos .....	40
Figura 5	Porcentajes de generación de los Residuos Sólidos Domiciliarios y No Domiciliarios tn/años en la provincia de Huamanga.....	51
Figura 6	Porcentaje de Composición de los Residuos Sólidos Urbanos de la provincia de Huamanga.....	57

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Producción per cápita .....	39
Ecuación 2 Porcentaje de Composición .....	39
Ecuación 3 Volumen .....	39
Ecuación 4 Densidad .....	39
Ecuación 5 Generación de Energía Eléctrica Anual.....	39

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo desarrollar la factibilidad de Generación de energía a partir de los Residuos Sólidos Urbanos en la Provincia de Huamanga, puesto que la problemática que aqueja esta provincia con respecto a la gestión de los residuos sólidos posee muchos puntos de quiebre, pues los impactos que genera un relleno sanitario, la acumulación de residuos sólidos, la falta de espacio territorial y la baja calidad ambiental son razones importantes a tratar. Este trabajo de investigación fue netamente descriptivo, utilizando como técnica el análisis documental, como herramienta la ficha de registro y tomando como unidad de análisis a los Residuos Sólidos Urbanos de la provincia de Huamanga utilizados para la caracterización y cuantificación la capacidad calorífica. Los resultados fueron, en cuanto a la Generación de energía diaria del Poder Calorífico Inferior fue de 23.1374 MW/día y la Producción de energía diaria mediante el Proceso de Incineración fue de 51.7359 MW/día. Llegando a la conclusión, de que el proyecto es factible ya que supera el Poder Calorífico Inferior de referencia, asimismo se podría recomendar implementar una planta de incineración en la provincia de Huamanga debido que tiene muchos beneficios, en mejorar la calidad de vida de los residentes como en la calidad ambiental de la provincia de Huamanga.

**Palabras clave:** Residuos sólido, factibilidad, incineración, energía.

## ABSTRACT

The objective of this research work is to develop the feasibility of Power Generation from Urban Solid Waste in the Province of Huamanga, since the problem that this province afflicts with respect to the management of solid waste has many breaking points, since the impacts generated by a sanitary landfill, the accumulation of solid waste, the lack of territorial space and the low environmental quality are important reasons to deal with. This research work was purely descriptive, using documentary analysis as a technique, the registration form as a tool and taking as a unit of analysis the Urban Solid Waste of the province of Huamanga used for the characterization and quantification of the caloric capacity. The results were, in terms of the daily energy generation of the Lower Calorific Power, it was 23.1374 MW/day and the daily energy production through the Incineration Process was 51.7359 MW/day. Concluding that the project is feasible since it exceeds the Lower Calorific Value of reference, it could also be recommended to implement an incineration plan in the province of Huamanga because it has many benefits, in improving the quality of life of residents. as in the environmental quality of the province of Huamanga.

**Keywords:** Solid waste, feasibility, incineration, energy.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### I.1. Realidad problemática

En la actualidad, la urbanización se acrecentó de manera considerable, lo cual favoreció el incremento exponencial en la generación de los Residuos Sólidos Urbanos, en un periodo corto (Harris-Lovett et al., 2019, p. 259). Por tal motivo, la gestión de los Residuos Sólidos Urbanos es un tema que causa preocupación por su mala gestión, puesto que pone en riesgo a la salud de la población; asimismo causa cambios bruscos en los recursos naturales, aire, agua, suelo, flora y fauna (Singh, 2014, p. 417).

Este trabajo de investigación estableció como lugar de estudio a la provincia de Huamanga, en el departamento de Ayacucho, la cual, con el paso del tiempo ha variado en su economía, población y demografía; originando así, el aumento de sus Residuos Sólidos Urbanos, y por consecuencia, la preocupación de cómo gestionarlos.

La disposición final de los Residuos Sólidos Urbanos de la provincia de Huamanga, en algunos distritos se da en lugares inadecuados como botaderos, considerándolos puntos críticos, en dónde no se aplica un manejo adecuado a los Residuos Sólidos Urbanos (Defensoría del Pueblo, 2016).

De modo que, se buscó la implementación de una tecnología limpia para la disminución de la cantidad y aprovechamiento de los Residuos Sólidos Urbanos.

Para un adecuado proceder durante la gestión de Residuos Sólidos Urbanos, es importante seguir ciertos pasos, primero la segregación por parte de la sociedad, la recolección desde los puntos adecuados, el transporte, almacenamiento adecuadamente, el reciclaje y/o reutilización dependiendo del estado del residuo y al final, el tratamiento y la disposición final en un lugar adecuado para cada tipo de Residuos Sólidos Urbanos (Urraca y Silva, 2016, p.26).

Un ejemplo de gestión de los Residuos Sólidos Urbanos ha sido por años los rellenos sanitarios; que si bien, con un tratamiento adecuado podría minimizar los impactos que su implementación genera, no se podrá minimizar los gases de efecto invernadero calentamiento global, ya sea en la salud de la población o en los ecosistemas naturales (Herrera, Rojas y Anchía, 2018, p.96). Sin embargo, el 9 de diciembre del 2017, el Ministerio del Ambiente (MINAM) inauguró el relleno sanitario en la provincia de Huamanga, con la finalidad de mitigar la afectación de la calidad del suelo, agua y la salud de la población (MINAM, 2017). No obstante, este relleno, con el pasar de los años y una mala gestión, provocaría la liberación excesiva de los gases de efecto invernadero, agravando el fenómeno natural del efecto invernadero, lo cual, provocaría grandes cambios climáticos y por su puesto el calentamiento global (García, 2017, p.5).

Debido a esto, se buscó que los procesos de rellenos sanitarios u otros como inyección subterránea sea sustituido por métodos como la incineración, esta debe cumplir con criterios como buena eficiencia de combustión, destrucción y remoción de gases tóxicos, respetando los límites permisibles para la emisión de partículas y con un adecuado monitoreo. Sin embargo, como en todo proceso existe un pro y contra, en este método el impedimento previsto es la humedad de los residuos orgánicos, pues provoca la disminución de la temperatura en la cual se está trabajando, baja la capacidad calorífica de los residuos, genera una deficiencia energética (Montiel y Perez,2019, p.281).

Por otro lado, la generación de energía en base a los Residuos Sólidos Urbanos alargaría la vida útil de los rellenos sanitarios, dándoles una mejora y solucionando la falta de espacio para la implementación de estos. (Berríos, 2016, p.490).

Si se requiere mejoras en la gestión de los Residuos Sólidos Urbanos, se necesita de alianzas entre gobiernos internacionales, nacionales y locales, donde se comprometan a invertir en proyectos y estudios relacionados a esta problemática social-ambiental,

compartiendo proezas y resultados para tener una mejora continua y masiva (Sáez, Urdaneta y Joheni, 2014, p.133).

Los mecanismos de tecnologías para la transformación los Residuos Sólidos Urbanos a energía pueden ser: incineración, gasificación y combustión. La incineración de los Residuos Sólidos Urbanos, es un proceso en la que interviene las altas temperaturas, puesto que, si existe una carencia de temperatura, el proceso no será efectivo, es decir no se llevará a cabo la oxidación química (proceso exotérmico) (Herrera, Rojas y Anchía, 2018, p.101). Una de las plantas que pueden ser usadas son las de cogeneración, las cuales convierten la biomasa en energía eléctrica o térmica (García, 2017, p.3). Por otro lado, la combustión genera energía calorífica, la cual después de un proceso es usada para la generación de energía eléctrica, este proceso solo se puede realizar si existe un exceso de oxígeno (Herrera, Rojas y Anchía, 2018, p.101).

Mientras que, en el proceso de gasificación, se aprovecha el gas que contiene la energía química, la cual, con anterioridad se encontraba en el residuo (Sánchez, 2012, p.9). Este método, puede ser usado como combustible, con ayuda de una turbina de vapor y una caldera conectados al gasificador o un dispositivo como motores o turbinas de gas (Arena, 2011, p.626). Este método también es nombrado como oxidación parcial de sólidos carbonosos que, al pasar por todo un proceso, los Residuos Sólidos Urbanos pasan a ser una mezcla gaseosa compuesta por  $H_2O$ ,  $CO$ ,  $N_2$ ,  $H_2$ ,  $CO_2$ , y  $CH_4$  (Montiel y Pérez, 2019, p.274).

La preocupación por el cambio climático fue un incentivo para que los países se reúnan en asambleas, deliberaciones de Copenhague, cumbres, conferencias, las etc. Dando como resultado pactos, alianzas, directivas de vertederos, protocolos, como los de Kioto, y sobre todo políticas que fueron grandes estímulos para desarrollar energías renovables teniendo como objetivo inhibir las consecuencias del cambio climático y de esta manera conservar los recursos naturales (Arena, 2011, p.637).

Los residuos, provenientes de los domicilios, no solo está caracterizado por ser orgánico, sino también se puede incluir desechos industriales y comerciales (Moratorio, Rocco y Castelli, 2012, p.1). Por lo que, se considera que son fuentes que pueden proveer energía si pasan por un proceso adecuado. (Quillos S., Escalante N., Sánchez D., Quevedo L., & De La Cruz A., 2018, p.322).

## **I.2. Justificación**

Este trabajo de investigación se realizó con la finalidad de estudiar la factibilidad de generación de energía a partir de los residuos sólidos urbanos en la provincia de Huamanga. Según los autores Baptista Lucio, Pilar; Hernández Sampieri, Roberto y Fernández Collado, Carlos en el año 2000 en su libro “Metodología de la investigación”; para la evaluación de una investigación se requiere definir lo siguientes criterios:

- Conveniencia

Servirá para crear una referencia en otros estudios que tienen por finalidad desarrollar e implementar una planta de energía a partir de los Residuos Sólidos Urbanos. Además, se espera que este tema sea estudiado, analizado y tratado con urgencia, ya que los impactos generados por los rellenos sanitarios dañan las reacciones bioquímicas de un ecosistema y la salud de los seres humano. Actualmente, esta problemática está a la deriva y olvidada; sin embargo, este trabajo de investigación nos presenta una solución dada por una tecnología limpia, la cual conlleva a una economía circular, pues el principal insumo será el conjunto de residuos sólidos urbanos generados en la provincia de Huamanga. Asimismo, beneficiará a la población, ya que disminuye el volumen de residuos sólidos urbanos, la contaminación y la calidad ambiental será óptima.

- Relevancia

Es trascendental porque pone en evidencia la problemática de la gestión de los residuos sólidos urbanos en la provincia de Huamanga por parte de las autoridades

pertinentes. Asimismo, pone en manifiesto el desinterés de la población al no segregarlos en sus domicilios. En caso se ponga en práctica este trabajo de investigación, beneficiará al sistema de gestión de residuos urbanos en la provincia de Huamanga, los problemas de la calidad ambiental y la falta de espacio territorial para la implantación de un relleno sanitario se solucionará paulatinamente.

- Implicancias Prácticas

La información plasmada a lo largo del desarrollo de este trabajo de investigación tendrá un uso esencial, ya que se usará como una guía que plasme datos de relevancia, verídicos y analizados debidamente. Si resultase no factible, entonces se sabrá qué se debe de buscar otra solución para la problemática planteada.

- Valor Teórico

Con este trabajo de investigación damos a conocer una metodología para la generación de energía y la caracterización energética de los residuos sólidos urbanos de la provincia de Huamanga, lo cual no se ha desarrollado con anterioridad, por ello se cumple con el enfoque de originalidad e innovación cubriendo algunas brechas de conocimiento.

### **I.3. Marco teórico**

La incineración, es un proceso que consiste en oxidación exotérmica de los residuos sólidos, los cuales pasan por una reacción de combustión (Gardiner, 1999). Este proceso, de homogeneidad se da en la fase gas, sucediendo de ante mano en la reacción de superficie. (Yeager, 1973).

En la combustión de residuos sólidos ocurre la fracción volátil del sólido, siendo esta el primer fenómeno, en la que el sólido es destilado y se oxida. El segundo fenómeno, es la fracción del carbón, aquí se controla la combustión gracias al oxígeno. (Beard, et al., 1980).

Además, se puede definir como proceso en el cual el residuo sólido, cambia sus características, tanto físicas como químicas, pasando por tratamientos térmicos. Las ventajas de este proceso son las siguientes:

- Residuo producto de este procedimiento térmico, resulta no ser peligroso ni podrá perjudicar a la población ni al medio ambiente.
- Es una opción para la disposición final de residuos del tipo infeccioso y peligroso.
- Es de fácil implementación, instalación y manejable.
- Su mantenimiento es relativamente menos costoso a diferencia de otras tecnologías a fines a esta.
- Posee altos valores de conversión de residuo a energía.
- Posee un costo de inversión bajo, a comparación de las demás tecnologías de conversión.
- Trabaja con variedad de tipos de residuos
- Posee antecedentes de buen funcionamiento en varios países.

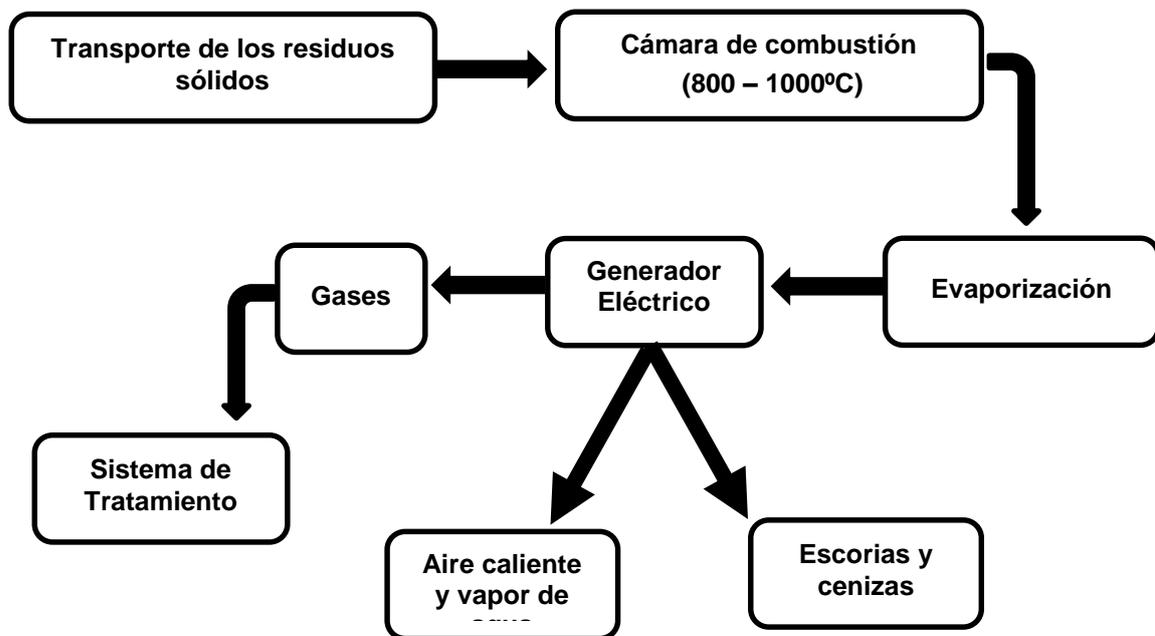
Por otro lado, las desventajas del proceso de incineración son las siguientes:

- Emisiones que tienen que ser tratados y gestionados por ser muy significativos.
- Publicidad negativa, haciendo que los ciudadanos estén inconformes con su implementación.
- En cuanto a la inversión, frente a los rellenos, es cara.
- Aguas como residuo, que deben ser tratadas con urgencia.
- Residuos que poseen bajas capacidades caloríficas.
- Requiere de una implementación de una maquinaria que absorba las cantidades de agua, previa a la incineración, porque predomina los residuos orgánicos.

El proceso más común de entre todos los procesos de incineración de residuos sólidos, es el siguiente:

**Figura 1**

**Proceso de incineración**



Fuente: Elaboración propia.

- Transporte de los residuos sólidos desde sus diversos puntos de recolección hasta la planta incineradora. Estos residuos pasan por un proceso de pesado, aplastado y reducción volumétrica (lo cual incrementa la capacidad de combustión).
- La cámara al cual se dispondrán los residuos ya procesados previamente, están a una temperatura de 800 – 1000°C. En esta cámara sucederá el proceso de combustión.
- En las cámaras anteriores, existe la presencia de tubos, los cuales están provistos de agua. El agua al aumentar su calor empieza a cambiar de estado, de líquido a gaseoso. En este proceder ya se puede corroborar la disminución del volumen de los residuos, en un casi 90%.

- El vapor producto del proceder anterior, es transportado a gran velocidad, utilizando la presión, mediante turbinas, las cuales, están acopladas a un generador eléctrico.
- Como residuo de este proceso se generan gases, estos pasan a un sistema de tratamiento, en donde son monitoreados, controlados y limpiados, con la finalidad de limpiar los gases de los contaminantes dañinos y peligrosos para el medio ambiente.
- Solo aquellos gases que están totalmente limpiados de contaminantes, serán expulsados a la atmósfera a través de una chimenea, lo que se espera es la salida de aire caliente y vapor de agua.
- El otro producto final de este proceso son las escorias y las cenizas, estas son aprovechadas en la industria de cementos, debido a que no resultan ser peligrosos ni infecciosos.

### **I.3.1. Tipos de Incineración**

Existen tres tipos de sistemas en el proceso de incineración entre ellos consideramos a la incineración de horno en lecho fluido, en horno de parrilla y en un horno rotativo.

El primer tipo de sistema es la incineración de horno en lecho fluido, tiene la finalidad de intercambiar calor regenerativo, este sistema posee una forma cilíndrica y están recubiertos por un material refractante, colocado de manera vertical. (Acuña, J., 2002, pág. 1). Este sistema se alimenta de residuos sólidos con un poder calorífico interior bajo, asimismo lodos, fangos y biomasa, estos son mezclados con un lecho de arena silíceo y caliza, lecho de óxido de aluminio o carbonato de calcio; el lecho se encuentra en la parte inferior. Mediante un mecanismo de inyección se inserta al proceso para que actúe como un favorecedor para la combustión y hace al lecho más fluido, es inyectado por la parte inferior. (Fernández A., 2007).

En este sistema de horno en lecho fluido encontramos el Lecho Fluizado Burbujeante, en este proceso se calienta el lecho a unos 600 grados centígrados, cuando este haya alcanzado los 850 grados centígrados se procede a combinar el lecho y los residuos, provocando así la combustión de este último con ayuda de la inyección de aire, de esta manera se logra 0.2% de escoria, se consigue un valor energético que va de 1600 a 4200 kcal/kg y se neutraliza dentro del horno al Cloruro de hidrógeno, Fluoruro de hidrógeno y Óxidos de Azufre. (Rubio A. & Mengual C., 2017)

Por otro lado, también se encuentra al Lecho Fluidizado Circulante, el cual es resultado de una mejora al Lecho Fluidizado Burbujeante, en este caso el aire inyectando va aumentando su velocidad, haciendo que parte de los gases de combustión existentes se expulsan juntamente con el material del lecho y logrando que la distribución del lecho se de manera uniforme en toda la cámara de combustión, si los gases de combustión se escapasen fuera del sistema, estos pasan a un ciclón. Este tipo de horno en lecho fluido es efectivo para los residuos sólidos que poseen alto valor calorífico (Jiménez C., 2012).

Mientras que el Recolcing type, es un tipo de horno que se mantiene en continuo movimiento de agitación rotativo, el nivel del aire inyectado es no uniforme, los residuos como las escorias son retiradas por los lados del lecho, todo ello va ocurriendo en un gradiente térmico, variando de 850°C a 950°C en la cámara de combustión, sin embargo en la zona en dónde se encuentra el lecho fluidizado se seca, volatiliza y combustiona los residuos insertados, en esta zona la temperatura se mantiene en los 650°C. (Fernández A., 2007).

El segundo tipo de sistema es el Horno de Parrilla, este proceso es el más conocido tiene la factibilidad de alimentarse por 3 a 5 toneladas de residuos por hora, los cuales poseen un valor calorífico inferior que va de 1400 a 4500 kcal/kg. La alimentación es dada por residuos sólidos no triturados. En este sistema se hace uso de una parrilla rotativa que pase mueve dentro del horno que a medida que va avanzando va disminuyendo su altura, estas

parrillas son hechos a base de metal, la refrigeración se da mediante el agua, la pendiente es de unos 25 grados aproximadamente, la inyección de aire es primaria e inyectada por la parte inferior con una velocidad alta, el mantenimiento genera una inversión alta (Pala H., 2006). La finalidad de uso de este sistema es triturar los residuos y así lograr un aprovechamiento completo, su aplicación es amplia a todo tipo de residuo. Pero no para materiales que se puedan fundir.

El tercer tipo de sistema es el Horno Rotativo, es una cámara de combustión alimentada por variedad de residuos sólidos o líquidos difíciles de tratar, los cuales están dentro de la cámara por unos 30 o 90 minutos en la cámara, siendo este tiempo un parámetro variable, Su cámara de combustión generalmente es cilíndrico y cerrado con una pendiente ligera, este cilindro va girando aproximadamente 10 rev/min la recubierta de las paredes es por un material refractario, este movimiento de rotación va variando y consecutivamente el movimiento del aire va variando de direccionamiento, en cuanto a los gases de combustión generados pasan a la segunda cámara, en la cual se mezcla con los otros gases de combustión generados previamente, de este modo se va logrando una combustión completa sin emisiones. La refrigeración es mediante agua o aire. (Pala H., 2006).

### **I.3.2. Fundamentos Térmicos**

#### **A. Combustión con aire en exceso**

El uso de aire es imprescindible para la efectividad de la combustión, puesto que, muchas veces resulta complicado homogenizar a los residuos, por ser de distintos tipos. No obstante, el uso en exceso de esta sustancia química ( $O_2$ ) puede generar un efecto adverso en el proceso de combustión, ya que, al aumentar este gas, aumentan los gases dentro de la chimenea y, por ende, disminuye la temperatura lograda (Estrademadoyro J, 2015).

Por otra parte, como se ha podido observar el oxígeno es un gas que ayuda en el control de la temperatura dentro de la chimenea y ayuda a mantener bajo control la producción de los malos olores.

Se ha comprobado que, cuando se mantiene la chimenea a temperaturas mejores a 790°C, produce olores fétidos; por otro lado, si la temperatura es superior a los 980°C se puede llegar a minimizar los COV, furanos, dioxinas, etc. (Tchobanoglous G., 2008)

## **B. Combustión Estequiométrica**

La combustión estequiométrica se da cuando se trabaja con aire seco y las proporciones entre el hidrógeno y carbono, son de 34.56 kg y 4.31 kg respectivamente. Para ello, se tiene que ajustar los valores de hidrógenos, sustrayendo el octavo del porcentaje del hidrógeno de los residuos que se poseía al inicio. (Tchobanoglous G., 2008)

### **I.4. Antecedentes**

#### **I.4.1. Antecedente internacional**

Según Medina, Palacios y Nebra en el año 2019; en su investigación “Three municipal solid waste gasification technologies analysis for electrical energy generation in Brazil”, cuyo objetivo fue analizar el estudio potencial de la generación de electricidad mediante la gasificación de los residuos sólidos urbanos en la ciudad de Santo André, mediante tres tecnologías de TPS Termiska Processer AB, Carbogas y Energos. La metodología a usar fueron los datos encontrados en la ciudad de Santo André- Sao Paulo, su generación per cápita de residuos urbanos es de 0.73 kg hab/día; lo que predice que la producción diaria es de 494 toneladas. Para la caracterización de los residuos sólidos urbanos fue usado el método de gravimetría. Llegando a la conclusión, de que los Residuos Sólidos Urbanos de Santo Andrés, poseen alto porcentaje de contenido de humedad siendo el 39.74%, por ende, se requiere hacer uso de un pretratamiento. Mediante este trabajo de investigación se plantea

la posibilidad de que los resultados obtenidos por gasificación e incineración son relativamente eficaces y parecidos. Es evidente que, las tecnologías a bajo costo son las tecnologías de energía limpia, si bien, cubre necesidades de la población, por otro lado, se gestiona los residuos sólidos.

De acuerdo con los autores, Assi, Bilo, Zanoletti, Ponti, Valsesia, La Spina, Zacco y Bontempi en el año 2019, en su estudio nombrado “Zero-waste approach in municipal solid waste incineration: Reuse of bottom ash to stabilize fly ash”, los cuales plantearon como objetivo, presentar una metodología de complemento para el proceso de incineración de los Residuos Sólidos Urbanos. Usando como metodología cuatro tipos de cenizas, las volantes de carbón (CFA), los gases de combustión Desulfurización (FGD), MSWI FA y MSWI BA se utilizaron en este trabajo. En esta investigación se recolectaron de centrales térmicas, plantas incineradoras de residuos sólidos municipales de Brescia, y cada una alcanza una capacidad de 880 toneladas de cenizas de Residuos Sólidos Urbanos. Llegando a la conclusión de que este estudio es viable y queda demostrado al comparar las concentraciones elementales en soluciones de lixiviación que se detectan en las cenizas no tratadas y los materiales estabilizados obtenidos, que muestran la reducida solubilidad del Zn y Pb lixiviable. Además de ser de fácil implementación en una planta de incineración con un enfoque de desperdicio cero, ya que, todo sub producto es reutilizado.

En base a la investigación “Assessment of waste incineration power with considerations of subsidies and emissions in China” de los autores He y Lin en el año 2019, que tenía por objetivo, analizar dos tópicos: los subsidios requeridos y las reducciones de emisiones, que se da en todo proceso de incineración de los Residuos Sólidos Urbanos en China. Usando la metodología de la recopilación de información de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático de las plantas eléctricas del este, centro y oeste de China (Shanghai Jinshan, Wuhan Jiangbei West y de Chengdu Xiangfu). Llegaron a la conclusión, de esta investigación fue que la capacidad instalada y el tratamiento anual

de Residuos Sólidos Urbanos de diferentes plantas no son similares. La capacidad mínima instala de la planta de Shanghai Jinshan es de 15 MW, y su capacidad de tratamiento de residuos es el más bajo de todos. La planta de Chengdu Xiangfu es aquella que requiere más cantidad de residuos sólidos, siendo esta considerada la planta que genera mayor energía eléctrica. Además, se evidenció que existe una diferencia del precio de la eliminación de residuos, la planta de Shanghai posee el doble de la tarifa de la planta de Chengdu.

Conforme a la investigación realizada por Montiel y Pérez en el año 2019, cuyo título fue “Generación de energía a partir de residuos sólidos urbanos. Estrategias termodinámicas para optimizar el desempeño de centrales térmicas”, se plantearon el objetivo de estudiar la relación existente entre la humedad y la relación equivalente combustible-aire en el proceso termoquímico al generar energía de Residuos Sólidos Urbanos. Empleando la metodología siguiente: en primer lugar, describir los caracteres químicos que poseen los Residuos Sólidos Urbanos generados en la ciudad de Medellín Colombia, luego se realiza un análisis de la tecnología que se usará para la generación de energía, para luego describir el modelo termoquímico usado en el proceso que ese eligió, finalmente se realiza la planificación de la simulación en base a los parámetros considerados en el análisis inicial. Dando como conclusión de que la humedad es una característica de los residuos que impide a las plantas de generación de energía limpia tener resultados eficientes, ya que, la presencia de agua disminuye considerablemente la capacidad calórica, la eficiencia energética y exergética, disminuyendo así la temperatura de todo el proceso. Por tal motivo, se requiere necesariamente un evaporador de humedad.

La investigación “Electricity generation potential from solid waste in three Colombian Municipalities” de los autores Alzate, Restrepo y Jaramllo realizado en 2018, tuvo por objetivo estudiar dos tecnologías de conversión: incineración (conversión térmica) y digestión anaerobia (conversión biológica). Siguiendo la siguiente metodología: lo primero que se identificó fue a los tres municipios de Colombia (Pato, Andes y Guayatá) a los cuales

se les iba a estudiar, luego se procedió a elegir la tecnología a desarrollar en los tres casos. Luego, se evaluó a la zona rural y urbana, se caracterizó los residuos obtenidos de cada municipalidad, estableciendo relaciones y diferencias. Concluyendo que, la incineración de los Residuos Sólidos Urbanos genera más energía que por digestión anaeróbica, sin embargo, se observó que Guayatá registraba una baja producción de Residuos Sólidos Urbanos, lo cual afectaría la cantidad de energía generada en ambas opciones tecnológicas.

#### **I.4.2. Antecedentes nacionales**

Con respecto a la investigación realizada por Quillos, et al., en el año 2018, titulada como “Residuos sólidos domiciliarios: caracterización y estimación energética para la ciudad de Chimbote”; cuyo objetivo fue evaluar la caracterización de los Residuos Sólidos Domiciliarios en la ciudad de Chimbote para determinar su potencial energético. Cuya metodología fue tener un total de 60 muestras (viviendas), las cuales fueron estudiadas. De estas 60 viviendas tomadas, el porcentaje de contribución de residuos es de 24.1%, los cuales pertenecen al estrato socioeconómico alto; por otro lado, el porcentaje de contribución de residuos del estrato socioeconómico medio es de 32.4%; por último, el porcentaje de contribución de residuos del estrato bajo es de 43.4%. Obteniendo como conclusiones, que el hallazgo del valor per cápita del componente de residuos orgánicos fue de 69.03% y 3.97% corresponde al componente de residuos sólidos. Además, se estimó que la generación de energía de los residuos sólidos domésticos fue un total de 15,33 MW aproximadamente, lo cual permitió que el valor se pueda estimar dentro de 10 años dando como resultado 16,60 MW, esto evidencia la incrementación de energía en un 8%.

Según, Ortiz J. en el año 2017, en la investigación: “Diseño de una central eléctrica de biomasa conectado a la red eléctrica Puno, en el cerro de Cancharani - departamento de Puno”, que tenía por objetivo diseñar una central eléctrica de biomasa de manera conceptual conectada a una red. Usando la siguiente metodología: En primer lugar, se seleccionó el tipo

de combustible a usar, se estudió la disponibilidad de biomasa en Puno, se realizó la recolección de los residuos; asimismo, se realizó la segregación y la tipificación de los mismo. Luego se analizó la participación económica y financiera, para luego pasar a la obtención del biogás, medir su temperatura, pH, toxicidad. Concluyendo que, el uso de combustible fósil genera una problemática en la calidad de vida – ambiente de los seres vivos, se optó por elegir una tecnología limpia y medioambiental amigable – viable. La buena administración de los residuos generaría buenos impactos tanto en la economía y en el ambiente no solo para el aprovechamiento energético, sino, también para el reciclaje. La producción energética de Puno, a base de biomasa, es una opción que amortigua el gasto anual tanto para la limpieza de la ciudad como para tener un ingreso nuevo.

## **I.5. Marco conceptual**

### **I.5.1. Residuos Sólidos**

En base al Decreto Legislativo N° 1278 cuya denominación es la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos completo, los residuos sólidos que engloban sustancias o productos, ya sea en estado netamente sólido o parcialmente sólido, siendo incluidos los residuos provenientes de los eventos de la naturaleza. Los cuales, según a la norma nacional del Perú se está obligado a disponer de dicho residuo, para que en consecuencia no genere riesgos en el tópico de la salud y del ambiente. Un adecuado manejo de estos, conformaría al sistema los siguientes procesos: disminución sustancial de residuos, segregación (en la fuente), reutilización, acopio, mercantilización, envío, el manejo y la disposición (SINIA, 2016).

El residuo sólido es todo material proveniente de actividades dentro de una fábrica, institución, industria, etc. Además, son producto de una actividad de consumo, limpieza o uso de las personas y son destinadas al abandono (Britton, 2008).

Los residuos sólidos son sustancias, objetos que fueron desechados en algún momento por sus propietarios, ya que estos no los consideraban útiles ni provechosos; siendo aquellos propietarios la comuna urbana generados por actividad antropológica, procesos de consumo, limpieza de espacios públicos, establecimientos de salud tanto públicas y privadas (Gaggero y Ordoñez, 2005).

### **I.5.2. Clasificación de Residuos Sólidos**

Existen variedad de formas de cómo clasificar a los residuos sólidos; por ejemplo, según su origen: Residuos domiciliarios (Originados en una vivienda, limpieza pública, industrias, comercios), residuos sanitarios (originados de centros de salud , laboratorios o establecimientos afines), residuo voluminoso (son recolectados de manera particular, no como normalmente sería debido a sus grandes dimensiones), residuos comerciales (precedentes dentro del proceso de distribución de todo tipo de consumo), residuos institucionales (proporcionados por centros de educación, centros de salud, reclusorios, instituciones públicas y privadas), residuos de servicios municipales (residuos producto de las actividades realizadas en una municipalidad, funcionamiento o mantenimiento de algún área), residuos industriales (provenientes de acciones dentro de una industria y deben ser manejados con cuidado), residuos universales (siendo estos los más riesgosos para el ambiente y la salud, producidos en viviendas), residuos agrícolas (derivados del accionar del sector agricultura, pero están dentro del urbanismo) (Bertolino, 2007).

Lo que se genera en una sociedad da nociones claras del tamaño de la población, nivel de vida, desarrollo económico, hábitos y el tiempo en las que se generan. De mono que, se los residuos sólidos urbanos son clasificados en orgánicos e inorgánico (Gaggero y Ordoñez, 2005).

Los residuos sólidos orgánicos derivan principalmente de la comida que la población consume a diario, poseen fuertes olores, que atraen insectos, roedores, animales afines y que

además son fuente de proliferación de vectores. Por otra parte, los residuos inorgánicos, no son originarios de la naturaleza, pues provienen del sector industrial y participan en procesos comerciales.

### **I.5.3. Disposición Final de los Residuos Sólidos**

La gestión de los residuos sólidos urbanos es una problemática compleja, sobre todo en la etapa de disposición final, lo cual es común en los países en vía de desarrollo. En cuanto a Perú, la centralización de su gobierno, desarrollo de variedad de industrias en función, gran cantidad de gente en las zonas urbanas, incremento de uso de materiales de un uso único (Estrademadoyro J., 2015). Agravando aún más la disminución del crecimiento económico y la falta de gobernanza gubernamental con respecto a la aplicación de normativas referente a este tema o simplemente ejecuciones de proyectos que no poseen viabilidad en diferentes contextos (Pala M. 2006). La baja concientización existente entre la población agrava este problema; debido a que, no cumplen ciertos criterios antes de la disposición final de los residuos sólidos y no desean revertir esta situación, pues no se presenta ningún proyecto de inversión referente al aprovechamiento de los residuos sólidos después a su disposición final.

Para poder disponer de los Residuos Sólidos en el Perú eventualmente se hacen usos de instalaciones de ingeniería, los cuales son los Rellenos Sanitarios y los Botaderos.

Según el Decreto Legislativo N° 1278, que establece la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, el Relleno Sanitario es una infraestructura que se basa principalmente en teorías de ingeniería con un enfoque sanitario y ambiental que dispone de los residuos. Estas infraestructuras pueden ser construidas a un nivel superficial o bajo tierra.

Por otro lado, MINSA en el 2018 sostiene que los Rellenos Sanitarios son alternativas de almacenamiento de residuos que ocupan un menor volumen, ya que se cumplen diversos parámetros de control como la cantidad y la tipología de los residuos, la ventilación de gases,

evitando de esta manera la generación malos olores, el drenaje de los lixiviados producidos por los residuos.

Paralelamente, los botaderos, en base la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos son puntos de acopios informales, reguladas al margen de la ley, las cuales pueden ser cerradas o clausuradas por la municipalidad en jurisdicción. Suelen estar ubicadas las vías públicas, zonas rurales o baldías, estas generan un impacto negativo que pone en riesgo la salud y la calidad ambiental de los pobladores.

Los botaderos son lugares de acopio de los residuos sólidos que carecen de control alguno ya que no existe una compactación ni manejo de los olores y lixiviados generados, la falta de control provoca la aparición de personas que reciclas y crían cerdos, poniendo en riesgo su salud y la contaminación ambiental (OEFA, 2011).

#### **I.5.4. Identificación de los Puntos de Disposición Final de los Residuos Sólidos Urbanos en la Provincia de Huamanga**

##### **A. Botaderos**

###### *Tabla 1*

*Botaderos en la provincia de Huamanga*

<b>Botaderos</b>				
<b>En funcionamiento</b>		<b>Desuso</b>	<b>Fecha</b>	
<b>Nómina</b>	<b>Fecha de inicio</b>	<b>Nómina</b>	<b>Inicio</b>	<b>Fin</b>
Orccohuasi	01/01/2017	Ccochapampa	1999	2003
		Uchuypampa	2010	2017

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2019.

##### **B. Rellenos Sanitarios**

El Relleno Sanitario de la provincia de Huamanga fue inaugurado el 9 de diciembre del año 2017, el cual fue diseñado y contraído para crear una mejor zona de disposición final de

los residuos saludos de

los habitantes de la provincia de Huamanga, y consecuentemente, lograr una mejora en su calidad de vida. De esta manera se reemplazó el botadero de Uchuypampa el cual operaba desde el 2010 y cerró sus instalaciones el 2017.

**Tabla 2**

*Relleno Sanitario de la en la provincia de Huamanga*

Nómina	Ubicación			Referencia	Extensión
	Provincia	Distrito	Localidad		
Relleno Sanitario de la provincia de Huamanga	Huamanga	Tambillo	Lindipampa	A 7,3 Km de la ciudad de Lindipampa	13.32 hectáreas

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2019.

### **I.5.5. Disposición final de los Residuos Sólidos Urbanos en la Provincia de Huamanga**

#### **A. Relleno Sanitario**

Una adecuada gestión integral de los residuos sólidos, consiste en cuatro procesos, donde la primera es la prevención – minimización, reutilización – reciclaje, tratamiento y disposición final. En esta última etapa se es necesario el confinamiento y el aislamiento de los residuos de forma segura y salubre tanto para el ambiente como para la población de la provincia de Huamanga, eventualmente se opta por una infraestructura de ingeniería denominado relleno sanitario. En este caso, el Relleno Sanitario de la provincia de Huamanga, el cual fue inaugurado el 09 de diciembre del 2017 por el MINAM, teniendo una extensión de 13.32 hectáreas en la zona de Lindipampa, cubriendo las necesidades de 200 252 pobladores aproximadamente (MINAM, 2017). De esta manera clausurando el Botadero de Uchuypampa.

**Tabla 3**

*Relleno Sanitario de la provincia de Huamanga*

Nombre	Provincia	Distritos	Población
Relleno Sanitario de la provincia de Huamanga	Huamanga	Ayacucho	99 427
		Carmen Alto	28 252
		Jesús de Nazareno	18 492
		San Juan Bautista	49 034
		Tambillo	5 047
<b>Total</b>			<b>200 252</b>

Fuente: Instituto Nacional De Estadística e Informática, 2018 (Censo Nacional del 2017 - Perú).

**Figura 2**

*Relleno Sanitario de Huamanga*



Fuente: MINAM, 2017

**Figura 3**

*Imagen del Relleno Sanitario de Huamanga en Operación*



Fuente: MINAM, 2017

## B. Botaderos

Se encontró que los distritos de Acos Pinchos, Andrés Avelino Cáceres Dorregaray, Quinua y Santiago de Pischa, disponen sus residuos sólidos en 2 botaderos.

**Tabla 4**

*Botaderos de la provincia de Huamanga*

Nómina del Botadero	Provincia	Distrito	Población
Botadero Ccastillo	Huamanga	Quinua	5 083
		Santiago de Pischa	1 427
<b>Total</b>			<b>6 510</b>
Botadero Huamampampa	Huamanga	Andrés Avelino Cáceres	28 472
		Dorregaray	
		Acos Vinchos	4 383
<b>Total</b>			<b>32 855</b>

Fuente: Instituto Nacional De Estadística e Informática, 2018 (Censo Nacional del 2017 - Perú).

### I.5.6. Efectos Inadecuados de la mala disposición de Residuos Sólidos Urbanos

Según a Jaramillo, 2002 y Bonfanti, 2004; existen varios riesgos consecuentes de la mala disposición de los residuos sólidos en la población como: El mal manejo de los residuos son fuente de enfermedades, ya que son punto de acopio de los vectores, los cuales transmiten enfermedades, agravando los síntomas de las enfermedades de vías directas. Además de causar riesgos en los personales de limpieza o población que esté en contacto con los residuos. Otro riesgo, son aquellos causados por animales, insectos o algún portador de microorganismos, bacterias, virus, hongos y otros afines a ellos, los cuales de manera indirecta transmiten enfermedades en la población. Finalmente, este problema está cada día más descontrolada y abarcando grandes áreas, deteriorando los paisajes naturales como los cuerpos de agua, los cuales son fuente de recolección de los residuos producidos de varias actividades humanas, la cual, a lo largo de este tiempo, los cuerpos de agua se han convertido

en vertederos habituales por su abundancia, el agua es fuente de productos químicos, productos hechos de metal, papeles, cartones, plásticos, materiales sanitarios, etc. Esta fuente es tan primordial para el desarrollo humano, por ello, es el mayor riesgo durante el mal manejo de los residuos sólidos. Otro paisaje deteriorado son los suelos, generando el desgastamiento de los suelos y el mal aspecto estético de los pueblos o ciudades, en los cuales están involucrados, desvalorizando el terreno, envenenando el suelo con los lixiviados. De igual manera es importante señalar, la contaminación del aire, ya que los rellenos sanitarios establecidos en lugares a cielo abiertos son causa de problemas respiratorios en los pobladores cercanos a los establecimientos de los rellenos sanitarios o botaderos ilegales. Además, se va empeorado con la quema de la basura, provocando polvo y humos dañando los ojos, garganta, pulmones y otros de la población adyacente.

### **I.5.7. Demanda Energética**

Actualmente la necesidad por obtener energía se ha vuelto una prioridad pues es un insumo que abastece a varias actividades económicas antropológicas; por ende, se ha convertido en símbolo de crecimiento económico para todo país de hoy en día, sobre todo en Perú, pues mejora la calidad de vida de todas las ciudades gracias a las industrias y mineras existentes en este país.

Al pasar de los años el consumo de energía variará incrementando su cantidad de 5800MW a unos 12300 MW para el 2015, incrementando el Producto Interno Bruto (Chonlón R., 2016). La asociación a la demanda energética es la contaminación ambiental, por ello se requiere de una apolítica ambiental sustentable.

### **I.5.8. Fundamentos para la caracterización de los Residuos Sólidos**

#### **A. Densidad**

Para la determinación de la densidad, se hace uso de un cilindro que contenga agua, luego se introduce el montón de residuos sólidos, con los que se quiere trabajar. Obteniendo que suba el nivel de agua.

#### **B. Composición física**

A un vertedero o en este caso a una planta de incineración, se provee de distintos residuos sólidos, con variedad de composición física, los cuales clasificamos en papel, vidrio, hueso, metal, cartón, plástico, etc. Los cuales mayormente son reaprovechados considerando la disminución del volumen de los Residuos Sólidos Urbanos, cuidado medioambiental, cuidado adecuado de la energía y de los recursos naturales. Debido, a la composición de cada tipo de residuo sólido urbano se puede conocer también su forma de reutilización.

#### **C. Peso específico**

Esta propiedad se refiere al peso del Residuos Sólidos Urbanos por volumen, este dato es importante conocer para la valoración de masa y la valoración del volumen en total de cada Residuos Sólidos Urbanos que llega al vertedero o planta de incineración. Una limitación existente es la falta de homogeneidad entre los pesos de los residuos sólidos urbanos compactados y no compactados.

#### **D. Poder Calorífico**

Valor de calor que genera un cuerpo al pasar por distintos procesos. Existen dos tipos de poder calorífico, en el cual en uno considera la corrección de la propiedad de la humedad,

y en el otro simplemente lo obvia. Estos son el poder calorífico superior y el poder calorífico interior respectivamente.

## **I.6. Formulación del problema**

La población de la provincia de Huamanga genera grandes volúmenes de residuos sólidos urbanos año tras año, los cuales no son debidamente segregados ni valorizados, por el contrario, son acumulados en el Relleno Sanitario de la provincia de Huamanga. A la fecha, se sabe que está en proceso de colapso y que la emisión de los gases de efecto invernadero degradan la calidad ambiental de la población aledaña y agravan el calentamiento global.

Por ello, se busca aplicar tecnologías limpias como la incineración de estos Residuos Sólidos Urbanos, de modo que se aprovecharía para la generación de energía eléctrica. Por lo tanto, se emplea la siguiente pregunta de investigación: ¿Es factible la generación de energía a partir de los residuos sólidos urbanos en la provincia de Huamanga?

## **I.7. Objetivos**

### **I.7.1. Objetivo general**

Realizar un análisis de factibilidad de generación de energía a partir de residuos sólidos urbanos en la provincia de Huamanga.

### **I.7.2. Objetivo específico**

- Identificar una metodología sustentable de generación de energía a partir de residuos sólidos urbanos.
- Identificar los tipos y cantidad de residuos sólidos urbanos generados en la provincia de Huamanga, en el periodo del año 2017.
- Cuantificar la capacidad calórica de los residuos sólidos urbanos en la provincia de Huamanga, en el periodo del año 2017.

- Calcular la factibilidad de generación de energía a partir de los residuos sólidos urbanos de la provincia de Huamanga.

## **I.8. Hipótesis**

El presente trabajo de investigación considera el apartado de hipótesis debido a que, se quiere demostrar un hecho; por tal motivo, se plantea explicaciones tentativas mediante proposiciones, basándose en la teoría existente (Hernández R., p.104). Al corroborar o negar una hipótesis, se da paso a nuevas investigaciones que modifiquen el conocimiento adquirido, surgiendo así nuevas hipótesis. (Davis, 2008). En esta oportunidad, se optó por redactar una hipótesis afirmativa; sin embargo, no siempre es verdadero (Ludo C. 2012, p.50).

### **I.8.1. Hipótesis general**

El análisis de la generación de energía a partir de los residuos urbanos en la provincia de Huamanga es factible.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### II.1. Tipo de investigación

#### II.1.1. Propósito

El propósito es de tipo descriptivo; puesto que, se realizó la caracterización, clasificación y capacidad calórica de los residuos sólidos urbanos de la provincia de Huamanga y así poder resolver la problemática.

#### II.1.2. Enfoque

Según la naturaleza de los datos está orientado a tener un enfoque cuantitativo, por la recopilación de información y los cálculos realizados.

El enfoque cuantitativo se define como la recolección de datos, basado en el análisis estadístico y medición numérica con la finalidad de comprobar la hipótesis. (Hernández, Fernández y Baptista, 2014)

#### II.1.3. Alcance

Es descriptivo, por ello obtuvo información de la caracterización, clasificación y cálculos de la capacidad calórica de los residuos sólidos urbanos de la provincia de Huamanga.

Se define como alcance descriptivo a la medición y evaluación de distintos aspectos, dimensiones o componentes que interactúan con dicho fenómeno que se investigó, mediante una serie de cuestiones evaluándolas de manera independiente con la finalidad de describir lo que se investiga. (Hernández, Fernández & Baptista, 2014, p. 57)

#### II.1.4. Diseño

El diseño es no experimental, ya que no fue necesario el uso de un laboratorio o instrumentos específicos, tampoco se manipuló una variable independiente con la intención de analizar la implicancia sobre las variables dependientes. (Hernández, Fernández y

Baptista, 2014) Asimismo, tendrá un tipo de diseño de investigación transversal, ya que, se basa en hechos reales en un periodo determinado.

## **II.2. Población y muestra**

### **II.2.1. Población**

La población es la cantidad total de los Residuos Sólidos Urbanos de la provincia de Huamanga, representada por 66 388.65 t/año de residuos sólidos.

### **II.2.2. Muestra**

La muestra es la cantidad de Residuos Sólidos Urbanos de la provincia de Huamanga para la caracterización y cuantificación de la capacidad calórica, representada por 39 340.83 t/año de residuos sólidos. Asimismo, los sectores abarcados son los distritos de Acos Vinchos, Andrés Avelino Cáceres Dorregaray, Ayacucho, Carmen Alto, Jesús de Nazareno, San Juan Bautista, Santiago de Pischa y Quinua.

## **II.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos**

### **II.3.1. Técnicas**

Este apartado consiste en las distintas formas o maneras de recolección de datos usando determinados medios empleados para el almacenamiento de datos (Arias, 2006, p.146). Se aplica la técnica de análisis documental.

#### **II.3.1.1. Análisis documental**

Se aplicó la técnica de análisis documental para identificar una metodología sustentable de generación de energía a partir de Residuos Sólidos Urbanos, en el cual se recopila y analiza toda la información y datos encontrados.

También, se recopiló data de los Residuos Sólidos Urbanos de la provincia de Huamanga del Sistema de Información para la Gestión de Residuos Sólidos – SIGERSOL, para luego procesar los datos.

Como este trabajo de investigación es no experimental se va a limitar a los hechos que han ocurrido de manera independiente sin ningún tipo de manipulación externa.

### **II.3.2. Instrumentos**

Los instrumentos son herramientas; por lo que, son considerados de ayuda en toda investigación; pues, logra que el investigador analice ciertos aspectos que se sujetan a distintas condiciones (Tamayo 2006, p. 119).

Se utilizó la matriz de consistencia y la ficha de registro como instrumentos.

#### **II.3.2.1. Matriz de consistencia**

Este instrumento sirve para reconocer, clasificar, priorizar y definir conceptos, variables, dimensiones, con relación al objeto que se va a estudiar, ver ANEXO 1 (Giesecke Sara Lafosse, 2020)

#### **II.3.2.2. Ficha de registro**

Este instrumento agrupa, organiza y consigna datos que servirán en el desarrollo del presente trabajo de investigación. (López, 2002). Se considera a la **Tabla 6** Artículos de la Revisión.

#### **II.3.2.2. Unidad de Análisis**

La unidad de análisis es la cantidad de Residuos Sólidos Urbanos de la provincia de Huamanga utilizados para la caracterización y cuantificación de la capacidad calórica, proveniente de 8 distritos de la provincia de Huamanga, los cuales fueron Acos Vinchos, Andrés Avelino Cáceres Dorregaray, Ayacucho, Carmen Alto, Jesús de Nazareno, San Juan Bautista, Santiago de Pischa y Quinua.

#### **II.3.2.3. Medios**

Cada investigación usa una determina, técnica, cada técnica posee instrumentos y, por ende, tienen medios por los cuales, se recolecta la información (Bavaresco, 2006, p. 95). Los medios utilizados fueron revistas científicas como: Redalyc, Scielo, Google académico,

ScienceDirect y Dialnet para determinar la metodología para la generación de energía a partir de los Residuos Sólidos Urbanos a utilizar. En cuanto a la información de los Residuos Sólidos Urbanos de la provincia de Huamanga, el medio utilizado fue la recopilación de datos del Sistema de Información para la Gestión de los Residuos Sólidos.

#### **II.4. Procedimiento**

Actualmente se está viviendo una pandemia mundial, por lo cual, no se puede realizar investigaciones de tipo experimental, puesto que, es fundamental el distanciamiento social para prevenir el contagio del COVID - 19. En este contexto, para el desarrollo de este trabajo de investigación se necesitó los datos de tipo secundario; por ende, el trabajo de investigación es de tipo descriptivo.

Para la realización del trabajo de investigación se distribuyó en cuatro etapas, tomando en cuenta de que la técnica utilizada es la de análisis documental, el instrumento es la matriz de consistencia y ficha de registro, por último, la unidad de análisis es la cantidad de los Residuos Sólidos Urbanos caracterizados y cuantificados para la capacidad calórica.

En la primera etapa, se realizó la recolección de datos, para ello se recopiló principalmente artículos científicos en la base de datos de Redalyc, Scielo, Google académico, ScienceDirect y Dialnet con las siguientes palabras claves: residuos sólidos, generación de energía, incineración, Residuos Sólidos Urbanos. Teniendo como resultado 18 artículos científicos, los cuales sirvieron para la elección de la metodología que se utilizará para la generación de energía a partir de los Residuos Sólidos Urbanos. En la segunda etapa, se identificó la metodología más sustentable para la generación de energía a partir de los Residuos Sólidos Urbanos de la provincia de Huamanga. En la tercera etapa, se realizó la caracterización y la determinación de la cantidad de los Residuos Sólidos Urbanos generados en la provincia de Huamanga. Para ello, se utilizó de las siguientes ecuaciones:

### ***Ecuación 1***

*Producción per cápita*

$$gpc = \frac{\text{Cantidad de Residuos Sólidos al día (Kg)}}{N^{\circ} \text{ total de Personas}}$$

### ***Ecuación 2***

*Porcentaje de Composición*

$$\%C = \frac{\text{Peso de un tipo de Residuo Sólido}}{\text{Peso del total de los Residuos Sólidos}} \times 100\%$$

### ***Ecuación 3***

*Volumen*

$$\text{Volumen (V)} = \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 \times h \text{ (m}^3\text{)}$$

### ***Ecuación 4***

*Densidad*

$$\text{Densidad } D \left(\frac{kg}{m^3}\right) = \frac{\text{Peso diario del Residuo (kg)}}{\text{Volumen del Residuo (m}^3\text{)}}$$

### ***Ecuación 5***

*Generación de Energía Eléctrica Anual*

$$GEa = \text{Generación de Energía Eléct. al día (MW)} \times 360$$

Finalmente, como cuarta etapa, se calculó la capacidad calórica y posteriormente la generación de energética que se puede obtener a partir de los Residuos Sólidos Urbanos de la provincia de Huamanga, para analizar la data y procesar la información para determinar la factibilidad de este trabajo de investigación. Para ello, se utilizó la siguiente tabla:

### ***Tabla 5***

*Conversión de unidades*

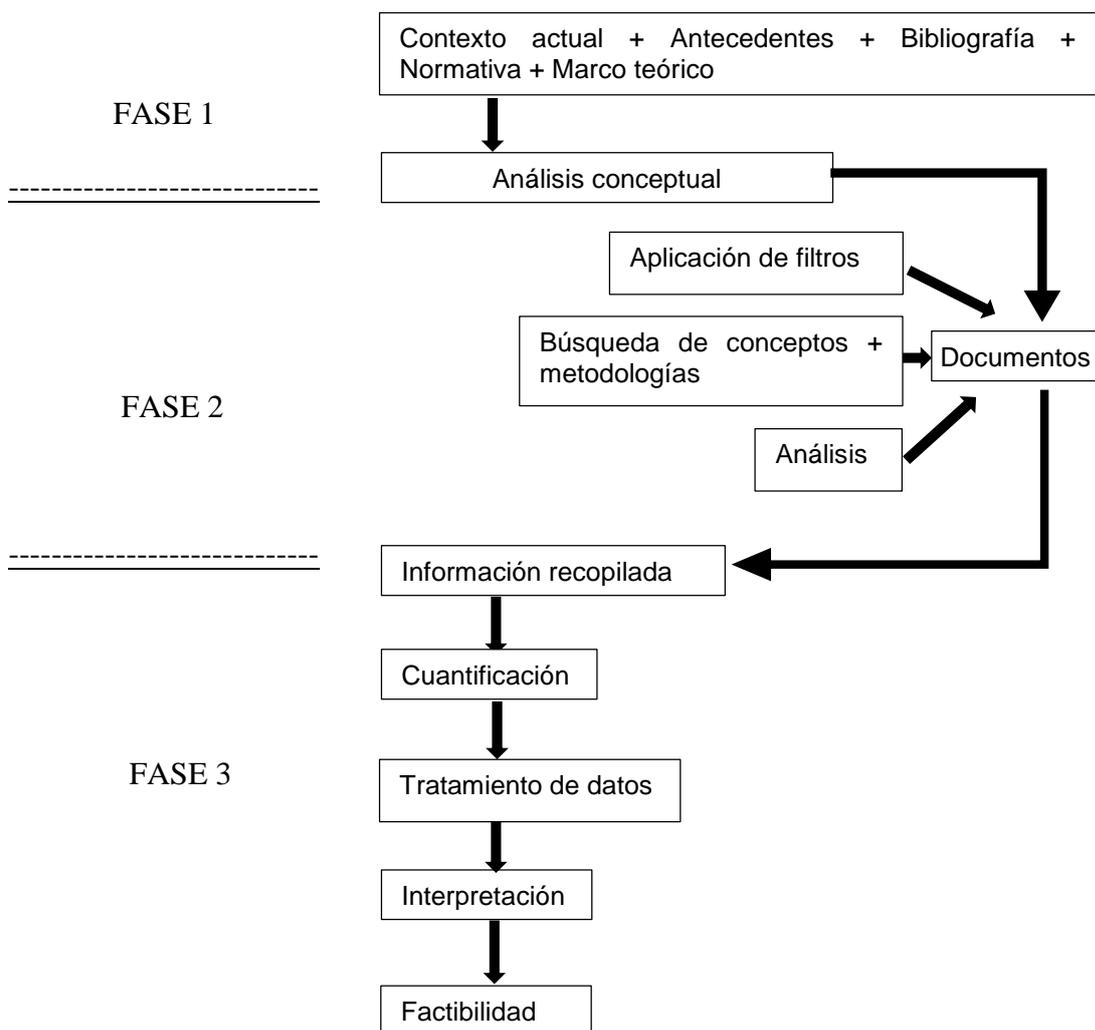
<b>Conversiones</b>	
1 kcal	4 184 J
1 MJ	1 000 000 J
1 MJ	0,000277777777777778 MWh
1 día	24 h
1 año	360 días = 8640 h
1tn	1 000 kg

Nota: En la anterior tabla se muestran las conversiones a emplear para el cálculo de la Generación de Energía Eléctrica de los tipos de Residuos Sólidos Urbanos de la provincia de Huamanga. Fuente: Elaboración propia.

## II.5. Análisis de datos

### *Figura 4*

#### *Procedimiento del Análisis de datos*



Fuente: Elaboración propia

## II.6. Aspectos éticos

Para el desarrollo ético se consideró los siguientes criterios:

- No se usó animales y ni a personas durante el proceso de realización del trabajo de investigación.
- El trabajo de investigación no pone en riesgo al investigador.
- La información recopilada fue proporcionada de fuentes confiables y de alta calidad científica.
- Se sigue con el método científico y se maneja con ética.
- Los resultados obtenidos son fiables y verdaderos.

- El trabajo de investigación no compromete a la investigadora, tanto en el aspecto de la salud, ni en el aspecto legal.

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### III.1. Identificación de una metodología sustentable de generación de energía a partir de residuos sólidos urbanos.

Se realizó una revisión sistemática de distintos artículos, los cuales fueron encontrados en revistas de calidad científica como Redalyc, Dialnet, Scielo, Google académico y ScienceDirect. En la **Tabla 6** se presentan los 18 artículos recopilados y con sus respectivas metodologías.

#### **Tabla 6**

#### *Artículos de la Revisión*

Nº	TÍTULO	TIPO DE METODOLOGÍA	RESULTADOS
1	Generación de energía a partir de residuos sólidos urbanos. Estrategias termodinámicas para optimizar el desempeño de centrales térmicas.	Gasificación	Este estudio nos ofrece estrategias termodinámicas bajo condiciones sub-estequiometrias mediante un modelo en equilibrio termoquímico del proceso de gasificaciones para la conversión de energía de los Residuos Sólidos Urbanos. Además, estudia la relación existente entre la humedad la relación equivalente combustible-aire en el proceso termoquímico. Obteniendo como resultado el potencial energético de los Residuos Sólidos Urbanos de la ciudad de Medellín, Colombia es de 28 a 44 MW eléctricos, siendo 180 ton/día de Residuos Sólidos Urbanos. (Montiel y Pérez, 2019)
2	Electricity generation potential from solid waste in three	Incineración Digestión anaerobia	Se estudió dos tecnologías de conversión: incineración (conversión térmica) y digestión anaerobia (conversión biológica) en tres municipios de Colombia (Pato, Andes y Guayatá). Siendo el resultado que la incineración de los Residuos Sólidos Urbanos genera más energía que por digestión anaeróbica; sin embargo, se observó que Guayatá registraba una baja producción de Residuos Sólidos Urbanos, lo cual

N°	TÍTULO	TIPO DE METODOLOGÍA	RESULTADOS
	Colombian municipalities		afectaría la cantidad de energía generada en ambas opciones tecnológicas. (Alzate, Restrepo y Jaramllo, 2018)
3	Advanced exergy and environmental assessment of the steam cycle of an incineration system of municipal solid waste with energy recovery	Incineración	Se realizó en la ciudad de Santo André en Estado de São Paulo, Brasil, el cual consistió en analizar los valores termodinámicos que poseen los Residuos Sólidos Urbanos en esta ciudad, identificando el potencial de mejora del ciclo de incineración de vapor. Obteniendo como resultado que la reducción de la destrucción de la exergía es de un 8.4% y la reducción de emisiones del CO <sub>2</sub> es de 531 a -224 kg CO <sub>2</sub> eq/MWh (Bhering, Escobar, Martínez, Rúa, Silva, Grillo y Almazán, 2017)
4	Process and technological aspects of municipal solid waste gasification. A review	Gasificación	Evaluó el proceso de la gasificación en los distintos reactores y sus posibles configuraciones. Asimismo, analizando su viabilidad. El resultado de este estudio, fue que en general, esta metodología de incineración, es muy efectiva, debido a que reduce los niveles de gas de efecto invernadero emitidos frente a los sistemas de combustión de parrilla móvil o lecho fluorizado. (Arena, 2011)
5	Emisiones de gases efecto invernadero y contaminantes criterios derivados de diferentes medidas de mitigación en la gestión de RUS del cantón de San José, Costa Rica	Relleno sanitario Incineración Compostaje Tratamiento mecánico biológico	En este artículo de la Revista de Ciencias Ambientales Tropical Journal of Environmental Sciences, nos muestra resultados de las emisiones de gases de efecto invernadero en 4 alternativas de tecnologías del manejo de los residuos sólidos urbanos del cantón de San José en Costa Rica. Estas alternativas son el relleno sanitario, la incineración, el compostaje y el tratamiento mecánico – biológico, usando como referencia el ciclo de vida, flujos de materiales y energía en cada una de las tecnologías. Concluyendo que el método de incineración y tratamiento mecánico – biológico son las alternativas más eficientes y aquellas que producen menos emisiones de gases de efecto invernadero (24% - 30%), siempre y cuando estos procesos pasen por algunas modificaciones. (Herrera, Rojas y Anchía, 2018)

N°	TÍTULO	TIPO DE METODO- LOGÍA	RESULTADOS
6	Estudio comparativo entre las diferentes fuentes de energía eléctrica en Colombia y la generación de electricidad a partir de biomasa	Conceptos	Nos planteó diversas fuentes de energía eléctrica que pueden ser aplicados en Colombia, siendo la generación eléctrica a partir de la biomasa, la opción más sustentable, puesto que este proceso reduce los niveles de emisión del CO <sub>2</sub> . (García, 2017).
7	Modelación de la incineración de Residuos Sólidos Urbanos como alternativa complementaria al relleno sanitario doña Juana en Bogotá.	Incineración	Este artículo presentó una evaluación del proceso de incineración de los Residuos Sólidos Urbanos para la producción de energía en el Relleno Sanitario Doña Juana en Bogotá, como una medida complementaria. Los residuos estudiados fueron los residuos fermentables, papel y cartón, textil, y madera, se analizó sus flujos máxicos y la relación con el proceso de incineración, además en este estudio se usó el software STELLA. Los resultados encontrados fueron que el poder calorífico de los Residuos Sólidos Urbanos es de 2 330 kcal/kg. En base a este resultado se planteó la incineración como un método efectivo, ya que generaría 126, 25 GW/mes, lo cual representa el 45.02% del consumo energético de la población con un tratamiento de pre secado, sin embargo, también se plantea que parte de los residuos orgánicos pasarían por un proceso de compostaje. (Sánchez, 2012, p.9).
8	Potencial energético contenido en los residuos sólidos urbanos. realidad brasileña.	Incineración	Se presentó la realidad brasileña, con respecto a las cantidades de residuos sólidos que se generan, el potencial que posee para hacer biogás y a partir de ello, obtener electricidad. Asimismo, nos habla de la técnica de incineración de la masa de residuos ya segregados para proveer energía eléctrica a la demanda de ciudades. No obstante, Brasil presenta múltiples problemas geográficos, económicos y de gestión ambiental que obstruyen efectuar la gestión adecuada de los residuos sólidos. (Berríos, 2016)

N°	TÍTULO	TIPO DE METODO- LOGÍA	RESULTADOS
9	Incineration of urban solid waste containing radioactive sources	Incineración	Nos explicó los peligros existentes al incinerar Residuos Sólidos Urbanos contaminados con un tipo de componente radioactivo. Además, recomienda que antes del proceso de incineración podría colocarse un método que separe los residuos sólidos urbanos contaminados con radioactivos de los que sirven como alimentador a la Planta de incineración. (Ronchin, Campi y Porta, 2011)
10	Investigating impact of waste reuse on the sustainability of MSW incineration industry using emergy approach: A case study from Sichuan province, China	Incineración	Nos mostró las mejoras en una planta de incineración ubicada en la ciudad de Yibin, provincia de Sichuan en China. Estas mejoras se proponen en 3 escenarios en los cuales se emplea un sistema de cenizas de fondo. Los resultados en general son buenos, siendo el más efectivo el segundo escenario que consistía en un el subsistema de incineración + el subsistema de producción de adoquines de hormigón utilizando un sistema de cenizas como materia prima por la eficiencia de salida positiva y su beneficio económico. Siendo, el índice de mejora ambiental 0.451. (Wang, Zhang, Liao, Yang, Shui, Deng, Zhang, Lin, Xiao, Yu, Peng, 2018)
11	Comparison between landfill gas and waste incineration for power generation in Astana, Kazakhstan	Incineración	Este estudio analizó la pre factibilidad existente de la generación de energía a través de un proceso de incineración frente al uso de un vertedero en la ciudad de Astana en Kazajistán. El valor per cápita en cuanto a los Residuos Sólidos Urbanos, es de 1.39 kg, y la producción en general diaria es de 700 toneladas. Los resultados obtenidos fueron que al implementar una planta de incineración se estaría reduciendo en 160 000 tn de GEI por año. (Inglezakis, Rojas y Kim, 2015)

N°	TÍTULO	TIPO DE METODOLOGÍA	RESULTADOS
12	Design and performance evaluation of a new waste incineration power system integrated with a supercritical CO <sub>2</sub> power cycle and a coal-fired power plant	Incineración	Se implementó una alternativa al proceso de incineración, el cual constituye en la implementación de un ciclo de energía de CO <sub>2</sub> supercíclico y una central eléctrica de carbón. Este proceso se basa en el calentamiento de agua por el vapor producido en la caldera y este a su vez permite que el ciclo supercíclico de CO <sub>2</sub> gane energía, esto hace que el uso del calor de energía sea en cascada. Trae como resultado el 8.34% de efectividad en comparación de una planta de energía sin esta modificación. En cuanto a la potencia neta el adicional es de 3.33 MW. Además, la eficiencia total de exergía y la eficiencia de exergía de los desechos a la electricidad se incrementan en 0,43 y 7,88 puntos porcentuales respectivamente. Este sistema puede ser usado bajo diferentes tipos de calderas, todos estos beneficios dan por sentado la factibilidad y la rentabilidad de este sistema. (Chen, Zhang, Wu, Xu y Liu, 2020)
13	Economic assessment and energy model scenarios of municipal solid waste incineration and gas turbine hybrid dual-fueled cycles in Thailand	Incineración Gasificación	Se evaluó la economía y el modelo energético de las diferentes técnicas de conversión centrales eléctricas híbridas de doble combustible que utilizan Residuos Sólidos Urbanos y otro combustible de alta calidad como el gas natural. Se consideró que los ciclos híbridos de doble combustible proporcionan eficiencias eléctricas más altas que las de una central eléctrica de un solo combustible separada de turbina de gas independiente. Debido a que las centrales eléctricas híbridas en Bangkok cubren el 8% del consumo total de la ciudad eléctrica frente a los 2.5%. Además, estas poseen un período de amortización corto (5 años) y reduce los niveles de CO <sub>2</sub> en un 3% en comparación con las actuales centrales térmicas. (Udomsri, Martin y Fransson. 2010)
14	Technical assessment of the CLEERGAS moving grate-based process for energy generation from municipal solid waste	Gasificación Incineración	Noa presentó un análisis técnico del sistema de gasificación-combustión, que consiste en la combustión parcial y la gasificación de la energía recibida de los Residuos Sólidos Urbanos en una parrilla móvil que produce gas natural sintético seguido de la combustión completa del gas natural sintético generado en un cámara y caldera adyacentes. Esto permite que se tenga un mayor control de las emisiones del NO <sub>x</sub> . (Lusardi1, Kohn, Themelis y Castaldi, 2014)

N°	TÍTULO	TIPO DE METODO- LOGÍA	RESULTADOS
15	Three municipal solid waste gasification technologies analysis for electrical energy generation in Brazil	Gasificación	Analizó el estudio potencial de la generación de electricidad mediante la gasificación de los residuos sólidos urbanos en la ciudad de Santo André, mediante tres tecnologías de TPS Termiska Processer AB, Carbogas y Energos. Se asumió dos sistemas de conversión de energía: un motor de combustión interna y un ciclo de energía de vapor. Los resultados mostraron que a mayor eficiencia de la generación de electricidad (30%) y también el menor costo de la energía eléctrica producida (65,22 MWh-1) cuando se aplica la tasa de entrada de Santo André es la tecnología Carbogas. (Medina, Palacios y Nebra, 2019)
16	Assessing the environmental sustainability of energy recovery from municipal solid waste in the UK	Gasificación Incineración	Se realizó una comparación de dos tecnologías de conversión de desechos en energía (biogás de los vertederos y la incineración de los Residuos Sólidos Urbanos). Se tomó de muestra 1 tonelada de Residuos Sólidos Urbanos. generando 1 kWh de electricidad con su incineración. Además, se detalló que tiene impactos mínimos a comparación de los impactos de los vertederos y del biogás (226 MJ/t). Adicionalmente, se estimó que la incineración de los Residuos Sólidos Urbanos podría satisfacer el 2,3% de la electricidad del Reino Unido y ahorrar de 2 a 2,6 millones de toneladas de emisiones de gases de efectos invernadero por año, equivalente al 0,3-0,45% de las emisiones nacionales de GEI. (Azapagic y Jeswani, 2016)
17	Externalities of energy sources: The operation of a municipal solid waste-to-energy incineration facility in the greater Thessaloniki area, Greece	Incineración	Se desarrolló la gestión ambiental de los residuos sólidos en Grecia, debido a la existencia de vertederos ilegales, los cuales afectan la salud del público y la calidad ambiental. Por tal motivo, este documento analizó la instalación de una planta de incineración de los Residuos Sólidos Urbanos en la zona de Tesolónica en Grecia, como una medida de mitigación de la problemática existente. (Vlachokostas, Achillas, Michailidou, Tsegas y Moussiopoulos, 2020)

N°	TÍTULO	TIPO DE METODO- LOGÍA	RESULTADOS
18	Production of thermoelectric power from Solid Waste of Urban Lahore	Incineración	Se desarrolló en Lahore, Pakistán, en el cual se estudió la viabilidad de producir energía a partir de la incineración de los Residuos Sólidos Urbanos generados en Lahore. Los datos cuantificaron los Residuos Sólidos Urbanos los cuales fueron aproximadamente 5 700 toneladas, Además, Lahore consume aproximadamente alrededor de 1.000mw/hr de electricidad. El diseño y el coste fueron evaluados por La Central Térmica de Faisalabad y del ingenio azucarero de Pattoki, en su evaluación se tomó en cuenta la relación beneficio/costo, VAN, el periodo de reembolso y costos requeridos. Los resultados fueron que este es un proyecto viable y sustentable, sin embargo, en este caso el problema sería el requerimiento de un lugar para su construcción. Los resultados de este estudio, fueron favorables, ya que se produjo 85,5 MWh lo que forma alrededor de 1/11 del consumo total de Lahore. (Khan y Tanveer, 2011)

Nota: En la presente tabla se muestran 18 artículos científicos, de los cuales se identificó las metodologías empleadas.

Elaboración Propia, 2021.

Se identificó que la incineración es una metodología sustentable que se puede aplicar en la Provincia de Huamanga, puesto que este proceso utiliza todo tipo de residuo sólido urbano. Siendo la incineración, una metodología que tiene por finalidad crear energía y así generar una economía circular, en el cual ya no será necesario el uso de los rellenos sanitarios; de esta manera, minimizar los efectos del cambio climático.

### **III.2. Identificación de los tipos y cantidad de residuos sólidos urbanos generados en la provincia de Huamanga, en el periodo del año 2017**

Se realizó los cálculos para la caracterización de los Residuos Sólidos Urbanos dispuestos en el Relleno Sanitario de la provincia de Huamanga. Cabe mencionar que los datos fueron recopilados del Sistema de Información para la Gestión de Residuos Sólidos - 2017 (SIGERSOL), puesto que se cuenta con los datos del Censo Nacional del año 2017, siendo factible para la realización de este trabajo de investigación.

#### **III.2.1. Generación de Residuos Sólidos Urbanos**

Se determinó la de generación de los Residuos Sólidos Urbanos en la provincia de Huamanga que está dada por los residuos sólidos Domiciliarios y No Domiciliario: asimismo, se determinó sus cantidades de producción en toneladas por año y el porcentaje que representa.

**Tabla 7**

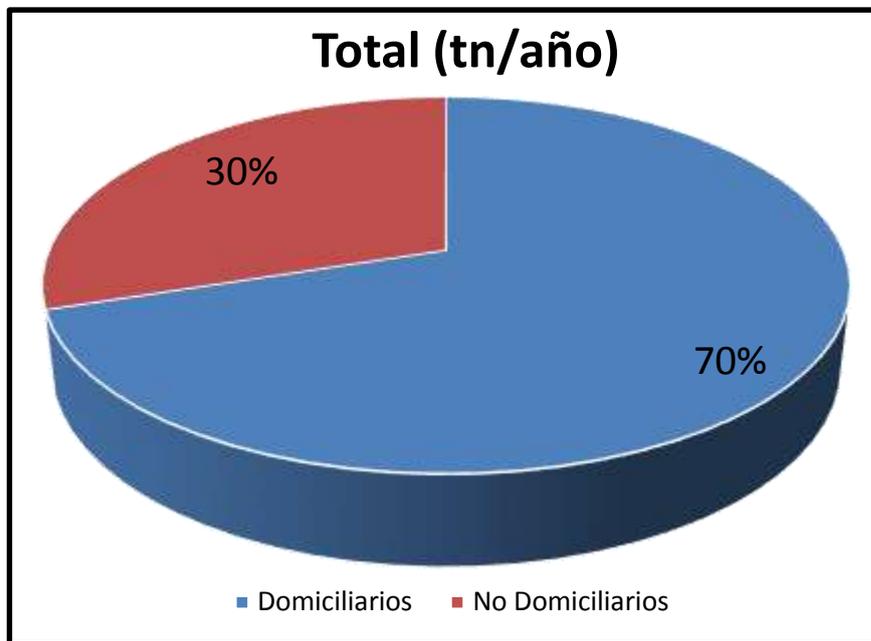
Generación de los Residuos Sólidos Domiciliarios y No Domiciliarios

Tipo	Cantidad	Porcentaje
Residuos Sólidos Domiciliarios	46 472.06 t/año	70%
Residuos Sólidos No Domiciliarios	19 916.59 t/año	30%
Total	66 388.65 t/año	100%

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 5**

*Porcentajes de generación de los Residuos Sólidos Domiciliarios y No Domiciliarios tn/años en la provincia de Huamanga*



Nota: Entre los distritos que abastecían al Relleno Sanitario de la provincia de Huamanga, no se incluyó a Tambillo, puesto que el 2017, SIGERSOL Municipal no registró ningún dato.

Fuente: Elaboración propia con datos del SIGERSOL Municipal, 2017.

En la **Tabla 8** se presenta las t/año de los distintos tipos de disposición final de los Residuos Sólidos No Domiciliarios en la provincia de Huamanga, siendo el Relleno Sanitario el mayor colector de Residuos Sólidos Urbanos, puesto que el distrito de Ayacucho generó 8 997.85 t/año. Por otro lado, el distrito que generó menos Residuos Sólidos Urbanos fue Santiago de Pischa en el Botadero de Ccastillo, el cual registró 52.14 t/año. Dando así, un total de 19 916.59 t/año de Residuos Sólidos No Domiciliarios.

**Tabla 8**

*Generación de Residuos Sólidos No Domiciliarios en la provincia de Huamanga*

<b>Disposición final</b>	<b>Departamento</b>	<b>Provincia</b>	<b>Distrito</b>	<b>Total (t/año)</b>
Relleno			Ayacucho	8 997.85
Sanitario de la provincia de Huamanga	Ayacucho	Huamanga	San Juan Bautista	4 978.37
			Carmen Alto	2 219.21
			Jesús Nazareno	1 384.96
Botadero Ccastillo	Ayacucho	Huamanga	Quinoa	203.91
			Santiago de Pischa	52.14
Botadero Huamampampa	Ayacucho	Huamanga	Andrés Avelino	
			Cáceres	2 035.57
			Dorregaray	
			Acos Vinchos	44.58
<b>Total de RR.SS. No Domiciliarios</b>				<b>19 916.59</b>

Nota: Entre los distritos que abastecían al Relleno Sanitario de la provincia de Huamanga, no se incluyó a Tambillo, puesto que el 2017, SIGERSOL Municipal no registró ningún dato.

Fuente: SIGERSOL Municipal, 2017.

En la **Tabla 9** se aprecia que el distrito con mayor generación de Residuos Sólidos Domiciliarios en la provincia de Huamanga provincia de Huamanga se recolectó 46 672.06 toneladas de residuos sólidos domiciliario al año. En el Relleno Sanitario de la provincia de Huamanga es de Ayacucho con 20 994.98 t/año. Por otro lado, el distrito con menor generación es de Santiago de Pischa con un 21.66 t/año. Siendo 46 672.06 t/año de Residuos Sólidos Domiciliarios en la provincia de Huamanga.

**Tabla 9**

*Generación de Residuos Sólidos Domiciliarios en la provincia de Huamanga*

Disposición final	Departamento	Provincia	Distrito	Total (t/año)
			Ayacucho	20 994.98
Relleno Sanitario			San Juan Bautista	11 616.21
de la provincia de	Ayacucho	Huamanga	San Juan Bautista	11 616.21
Huamanga			Carmen Alto	5 178.15
			Jesús Nazareno	3 231.56
			Quinua	475.8
Botadero Ccastillo	Ayacucho	Huamanga	Santiago de	
			Pischa	121.66
			Andrés Avelino	
Botadero			Cáceres	4 749.67
Huamampampa	Ayacucho	Huamanga	Dorregaray	
			Acos Vinchos	104.03
<b>Total de RR.SS. Domiciliarios</b>				<b>46 672.06</b>

Nota: Entre los distritos que abastecían al Relleno Sanitario de la provincia de Huamanga, no se incluyó a Tambillo, puesto que el 2017, SIGERSOL Municipal no registró ningún dato.

Fuente: SIGERSOL Municipal, 2017.

### III.2.2. Producción per cápita

Se calculó la producción per cápita de los diferentes distritos de Huamanga con la

#### Ecuación 1.

En la **Tabla 10** se muestra la producción per cápita de los distritos de Ayacucho, San Juan Bautista, Carmen Alto, Jesús Nazareno, Quinua, Santiago de Pischa, Andrés Avelino Cáceres Dorregaray y Acos Vinchos. Siendo, el mayor valor en per cápita el distrito de Carmen Alto.

**Tabla 10**

*Generación Percápita de los Residuos Sólidos en la provincia de Huamanga*

<b>Disposición final</b>	<b>Departamento</b>	<b>Provincia</b>	<b>Distrito</b>	<b>Total percápita (Kg/hab/día)</b>
Relleno			Ayacucho	0.62
Sanitario de la provincia de Huamanga	Ayacucho	Huamanga	San Juan Bautista	0.62
			Carmen Alto	0.66
			Jesús Nazareno	0.51
			Quinoa	0.54
Botadero Ccastillo	Ayacucho	Huamanga	Santiago de Pischa	0.24
			Andrés Avelino	
			Cáceres	0.6
Botadero Huamampampa	Ayacucho	Huamanga	Dorregaray	
			Acos Vinchos	0.38

Nota: Entre los distritos que abastecían al Relleno Sanitario de la provincia de Huamanga, no se incluyó a Tambillo, puesto que el 2017, SIGERSOL Municipal no registró ningún dato.

Fuente: SIGERSOL Municipal, 2017.

### **III.2.3. Clasificación de los Residuos Sólidos Urbanos**

En la **Tabla 11** se presenta el grupo, el tipo de material con su respectiva descripción de los elementos encontrados de la clasificación de los Residuos Sólidos Urbanos en la provincia de Huamanga. Esta información fue extraída del Sistema de Información de Gestión de Residuos Sólidos (SIGERSOL – 2017).

**Tabla 11**

*Clasificación de los Residuos Sólidos Urbanos en la provincia de Huamanga*

<b>Grupo</b>	<b>Tipo de Residuo Solido Urbano</b>	<b>Descripción</b>
Madera, follaje	Residuos de maleza, poda y madera	Ramas, tallos, raíces, hojas y cualquier otra parte de las plantas producto del clima y las podas
Papeles	Papel Mixtos	Hojas bond o de cuadernos, libros, periódicos
Cartón	Cartón mixto	Cajas, cartulinas y otros
Plástico	Polietileno de alta densidad	Tubos de PVC, galoneras, vasos descartables, juguetes, tanques de agua, envases de yogurt, shampoo y similares
	Polietileno de baja densidad	Envases de alimentos congelados, aislantes, rellenos
	Bolsas plásticas	Todo tipo de bolsas
	Tetra brik	Envases multicapa
Otros plásticos		
Vidrio	Vidrios mixtos	Vidrios de ventanas
Metales	Otros metales	Latas de atún, leche, conservas, envases de lata, marcos de ventana, fierro, etc.
Materia Orgánica	Restos de comida	Alimentos
	Otros Residuos Orgánicos	Residuos fuera de los restos de comida
Restos Sanitarios	Papel higiénico/Pañales/toallas sanitarias	
Especiales / Peligrosos	Pilas	Engloba a todo tipo de residuos de pilas.
Otros no aprovechables	Engloba aquellos residuos que no pueden aprovechar	

<b>Grupo</b>	<b>Tipo de Residuo Sólido Urbano</b>	<b>Descripción</b>
Otros residuos inorgánicos	Engloba aquellos residuos que no se encuentran dentro de la clasificación de residuo inorgánico	

Fuente: SIGERSOL Municipal, 2017.

### III.2.4. Porcentaje de Composición

Se calculó el porcentaje de Composición de cada tipo de Residuo Sólido Urbano, donde se aplicó la **Ecuación 2** de Porcentaje de Composición.

**Tabla 12**

*Composición porcentual de los Residuos Sólidos Urbanos de la provincia de Huamanga*

<b>Tipo de Residuos Sólidos Urbanos</b>	<b>Total (t/año)</b>	<b>Porcentaje de Composición</b>
<b>Residuos Orgánicos</b>	<b>28 110.18</b>	<b>69.65%</b>
Residuos de alimentos	27 574.51	59.49%
Otros residuos orgánicos	535.67	1.16%
<b>Residuos Inorgánicos</b>	<b>18 240.11</b>	<b>36.96%</b>
<b>Residuos de maleza, poda y madera (Residuos de Jardín)</b>	<b>1 644.77</b>	<b>3.55%</b>
<b>Papel mixto</b>	<b>1 062.08</b>	<b>2.29%</b>
<b>Cartón Mixto</b>	<b>834.96</b>	<b>1.80%</b>
<b>Plástico</b>	<b>5 146.19</b>	<b>11.10%</b>
Polietileno de alta densidad	976.66	
Polietileno de baja densidad	963.42	
Otros plásticos	302.6	
Tetra brik (envases multicapa)	278.1	
Bolsas plásticas	2 625.41	
<b>Vidrios Otros (vidrio de ventana)</b>	<b>1 070.03</b>	<b>2.31%</b>
<b>Metales otros</b>	<b>840.92</b>	<b>1.81%</b>

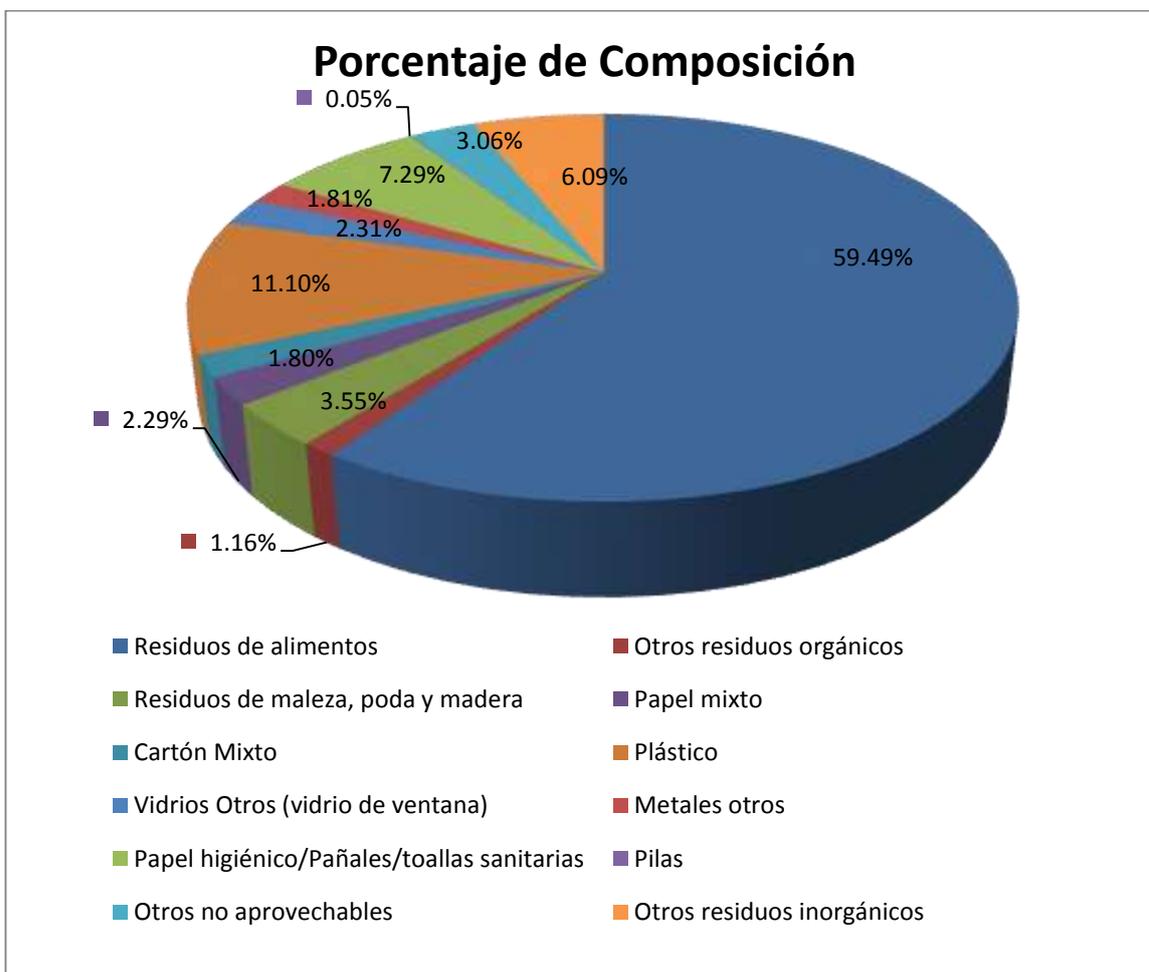
Fuente: SIGERSOL Municipal, 2017

<b>Papel higiénico/Pañales/toallas sanitarias</b>	<b>3 377.61</b>	<b>7.29%</b>
<b>Pilas</b>	<b>24.49</b>	<b>0.05%</b>
<b>Otros no aprovechables</b>	<b>1 419.64</b>	<b>3.06%</b>
<b>Otros residuos inorgánicos</b>	<b>2 819.42</b>	<b>6.09%</b>
<b>Total de Residuos Sólidos Urbanos a caracterizar</b>	<b>46 350.29</b>	<b>100%</b>

En la **Figura 5**, se muestra el porcentaje de composición de los tipos de Residuos Sólidos Urbanos encontrados en la provincia de Huamanga, en la que se puede destacar que los Residuos de alimentos es el que posee ayor porcentaje, y el tipo de residuo como las pilas, resulta ser el de menor porcentaje.

**Figura 6**

*Porcentaje de Composición de los Residuos Sólidos Urbanos de la provincia de Huamanga*



Fuente: Elaboración propia, 2021.

### III.2.5. Volumen

El Volumen de residuo sólidos urbanos de la provincia de Huamanga registra en el año 2017 un volumen de 590.37 m<sup>3</sup> (información brindada por la municipalidad provincial de Huamanga).

### III.2.6. Densidad

Se determinó la densidad de los Residuos Sólidos Urbanos de la provincia de Huamanga, con la **Ecuación 4** de Densidad, el cálculo se aprecia en el ANEXO 2. Obteniendo que la densidad de los Residuos Sólido Urbanos de la provincia de Huamanga poseen un valor de 0.22 (kg/m<sup>3</sup>).

## III.3. Cuantificación de la capacidad calórica de residuos sólidos urbanos de la provincia de Huamanga, en el periodo del año 2017.

### III.3.1. Poder Calorífico Inferior

Para poder calcular la capacidad calórica de los residuos sólidos urbanos de la provincia de Huamanga se tomó de referencia la **Tabla 13**, proveniente del libro “Tratamiento y valorización energética de Residuos”, Xavier Elías Castells en el año 2005, donde nos proporciona distintos valores del Poder Calorífico Inferior.

El Poder Calorífico Inferior está determinado en las unidades kcal/kg para cada tipo de Residuo Sólido Urbano.

**Tabla 13**

*Poder Calorífico Inferior de los Residuos Sólidos Urbanos*

Residuo Sólido Urbano	Poder Calorífico Inferior (kcal/kg)
Materia Orgánica	3 051
Madera	4 293.4
Papel	2 175.6

Plástico	4 800
Textil	2 128.26
Caucho	7 480
Restos Sanitarios	16 152

Fuente: “Tratamiento y valorización energética de Residuos”, del autor Xavier Elías Castells

en el año 2005.

### III.3.2. Generación de Energía Eléctrica

Teniendo en cuenta la **Tabla 13** Castells, 2005, se realizó los cálculos para cuantificar la Generación de Energía Eléctrica en la provincia de Huamanga. Debido a que, el Poder Calorífico Inferior está en las unidades de kcal/kg, se realizó la conversión de unidades de kcal/kg a MW\*h/kg, el cálculo desarrollado se puede apreciar en el ANEXO 3. Para ello, se consideró a los siguientes tipos de residuos: Materia Orgánica, madera, papel, plástico y restos sanitarios.

En la **Tabla 14** se presenta la Conversión de unidades del Poder Calorífico Inferior de kcal/kg a MW\*h/kg.

**Tabla 14**

*Conversión de Unidades del Poder Calorífico Inferior*

<b>Tipo de Residuo Sólido Urbano</b>	<b>Poder Calorífico Inferior (kcal/kg)</b>	<b>Poder Calorífico Inferior (J/kg)</b>	<b>Poder Calorífico Inferior (MJ/kg)</b>	<b>Poder Calorífico Inferior (MW*h/kg)</b>
Materia Orgánica	3051	12765384	12.765384	0.00354594
Madera	4 293.4	17963585.6	17.9635856	0.00498988
Papel	2 175.6	9102710.4	9.1027104	0.00252853
Plástico	4 800	20083200	20.0832	0.00557867
Restos Sanitarios	16 152	67579968	67.579968	0.01877221

Fuente: Elaboración propia, 2021.

### III.4. Calcular de la factibilidad de la generación de energía a partir de Residuos Sólidos Urbanos en la provincia de Huamanga

#### III.4.1. Generación de Energía Eléctrica Diaria

- ❖ Se calculó la Generación de Energía Eléctrica Diaria a partir de los Residuos Sólidos Urbanos de la provincia de Huamanga. Teniendo en cuenta los resultados de la conversión de las unidades en la **Tabla 14** se prosiguió a calcular la Generación de Energía eléctrica diaria, el cálculo se puede apreciar en el Madera

$$PCI_{ma} = 4293.4 \frac{kcal}{kg} \times \frac{4184 J}{1 kcal} = 17963585.6 \frac{J}{kg} \times \frac{1 MJ}{10^6 J}$$

$$PCI_{ma} = 17.9635856 \frac{MJ}{kg} \times \frac{0.000277777777777778 MW * h}{1 MJ}$$

$$PCI_{ma} = 0.00498988 \frac{MW * h}{kg}$$

- ❖ Papel

$$PCI_{pa} = 2175.6 \frac{kcal}{kg} \times \frac{4184 J}{1 kcal} = 9102710.4 \frac{J}{kg} \times \frac{1 MJ}{10^6 J}$$

$$PCI_{pa} = 9.1027104 \frac{MJ}{kg} \times \frac{0.000277777777777778 MW * h}{1 MJ}$$

$$PCI_{pa} = 0.00252853 \frac{MW * h}{kg}$$

- ❖ Plástico

$$PCI_p = 4800 \frac{kcal}{kg} \times \frac{4184 J}{1 kcal} = 20083200 \frac{J}{kg} \times \frac{1 MJ}{10^6 J}$$

$$PCI_p = 20.083200 \frac{MJ}{kg} \times \frac{0.000277777777777778 MW * h}{1 MJ}$$

$$PCI_p = 0.00557867 \frac{MW * h}{kg}$$

- ❖ Restos Sanitarios

$$PCI_{rs} = 16152 \frac{kcal}{kg} \times \frac{4184 J}{1 kcal} = 67579968 \frac{J}{kg} \times \frac{1 MJ}{10^6 J}$$

$$PCI_{rs} = 67.579968 \frac{MJ}{kg} \times \frac{0.000277777777777778 MW * h}{1 MJ}$$

$$PCI_{rs} = 0.01877221 \frac{MW * h}{kg}$$

ANEXO 4.

**Tabla 15**

Generación de Energía Eléctrica Diaria

<b>Tipo de Residuo Sólido Urbano</b>	<b>Poder Calórico Inferior (MW*h/kg)</b>	<b>Generación de Energía Diaria (MW/día)</b>
Materia Orgánica	0.00354594	11.3787
Madera	0.00498988	0.9369
Papel	0.00252853	0.3066
Plástico	0.00557867	3.2773
Restos Sanitarios	0.01877221	7.2380
<b>Total</b>		<b>23.1375</b>

Fuente: Elaboración propia, 2021.

### III.4.2. Generación de Energía Eléctrica Anual

Tomando en cuenta los resultados de Generación de Energía diaria, se calculó la Generación de Energía anual, usando la **Ecuación 5** de Generación de Energía Eléctrica Anual.

En la **Tabla 16** se muestra los resultados obtenidos para la Generación de Energía Eléctrica anual de los residuos sólidos urbanos de la provincia de Huamanga.

**Tabla 16**

Generación de Energía Eléctrica Anual

<b>Tipo de Residuo Sólido Urbano</b>	<b>Generación de Energía Diaria (MW/día)</b>	<b>Generación de Energía Anual (MW/año)</b>
Materia Orgánica	11.3787	4 153.2088
Madera	0.9369	341.9672
Papel	0.3066	111.8959
Plástico	3.2773	1 196.2033
Restos Sanitarios	7.2380	2 641.884
<b>Total</b>	<b>23.1375</b>	<b>8445.1592</b>

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Se tomó como referencia la siguiente información, la cual fue considerada de la investigación “Cuantificación del Poder Calórico Superior e Inferior de los Residuos Sólidos Urbanos” del autor Otero Fernando Agustín en el año 2015. En la nos muestra la constante de energía generada por incineración que ayudó a calcular la energía generada mediante el método de incineración.

**Tabla 17**

Energía generada por Incineración

<b>Metodología de Generación de energía</b>	<b>Energía generada (MW/t)</b>
Incineración	k = 0.48

Fuente: “Cuantificación del Poder Calórico Superior e Inferior de los Residuos Sólidos Urbanos”, del autor Faustino Augusto Otero en el año 2015

Además, el autor Otero F. menciona los siguientes criterios siguientes: Producción de Energía, autoconsumo, energía Exportada y reducción de Peso; los cuales se especifican en la siguiente **Tabla 18**. Los cálculos que se desarrollaron se encuentran en el **Materia Orgánica** = 69.65% = 28 110 180 kg/año = 77 014.1918 kg/día

$$E_{mo} = 0.00354594 \frac{MW * h}{kg} \times 77\ 014.1918 \frac{kg}{día}$$

$$E_{mo} = 0.00354594 \frac{MW * h}{kg} \times 77\ 014.1918 \frac{kg}{24\ h}$$

$$E_{mo} = 11.3787 \text{ MW}$$

- ❖ Madera = 3.55% = 1 644 770 kg/año = 4 506.2192 kg/día

$$E_{ma} = 0.00498988 \frac{\text{MW} * h}{\text{kg}} \times 4 506.2192 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

$$E_{ma} = 0.00498988 \frac{\text{MW} * h}{\text{kg}} \times 4 506.2192 \frac{\text{kg}}{24 h}$$

$$E_{ma} = 0.9369 \text{ MW}$$

- ❖ Papel = 20.29% = 1 062 080 kg/año = 2 909.8082 kg/día

$$E_{pa} = 0.00252853 \frac{\text{MW} * h}{\text{kg}} \times 2 909.8082 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

$$E_{pa} = 0.00252853 \frac{\text{MW} * h}{\text{kg}} \times 2 909.8082 \frac{\text{kg}}{24 h}$$

$$E_{pa} = 0.3066 \text{ MW}$$

- ❖ Plástico = 11.10% = 5 146 190 kg/año = 14 099.1507 kg/día

$$E_p = 0.00557867 \frac{\text{MW} * h}{\text{kg}} \times 14 099.1507 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

$$E_p = 0.00557867 \frac{\text{MW} * h}{\text{kg}} \times 14 099.1507 \frac{\text{kg}}{24 h}$$

$$E_p = 3.2773 \text{ MW}$$

- ❖ Residuos Sanitarios = 7.29% = 3 377 610 kg/año = 9 253.73 kg/día

$$E_{rs} = 0.01877221 \frac{\text{MW} * h}{\text{kg}} \times 9 253.7260 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

$$E_{rs} = 0.01877221 \frac{\text{MW} * h}{\text{kg}} \times 9 253.7260 \frac{\text{kg}}{24 h}$$

$$E_{rs} = 7.2380 \text{ MW}$$

- ❖ Para determinar la generación de energía diaria se realizó la sumatoria de energía generada de la madera, papel, plástico, residuos sanitarios y materia orgánica:

$$E_{ma} + E_{pa} + E_p + E_{rs} + E_{mo} =$$

$$0.9369 \text{ MW} + 0.3066 \text{ MW} + 3.2773 \text{ MW} + 7.2380 \text{ MW} + 11.3787 \text{ MW} =$$

$$23.1374 \text{ MW}$$

**Tabla 18**

Generación de energía diaria mediante la Incineración de los Residuos Sólidos Urbanos de la provincia de Huamanga

<b>Residuos Sólidos Urbanos (t/día) generados en la provincia de Huamanga</b>	107.7831
<b>Producción de Energía por incineración (MW/día)</b>	51.7359
<b>Autoconsumo 15% (MW/día)</b>	7.7603
<b>Energía Exportada (MW/día)</b>	43.9756
<b>Reducción de Peso 70% (t/día)</b>	32.3349

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Se tomó como referencia a la información proporcionada por los autores Gálvez, Alejandro; Contreras, Eduardo; Pacheco Juan, Francisco; Szantó Narea, Marcel y Rondón Toro, Estefani en su investigación “Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios” en el año 2016, quienes sostienen que la factibilidad de incineración de los residuos sólidos urbanos para la generación de energía esa determinada por un valor mínimo de 1 000 kcal/ kg de Poder Calorífico Inferior.

En la **Tabla 19** se muestran los valores de Generación de Energía Diaria en base al Poder Calorífico Inferior (MW/día) y la Producción de Energía por Incineración (MW/día). Para realizar la comparación de valores, fue necesario realizar la conversión de MW/día a Kcal/kg, ese cálculo se puede ver en el **ANEXO 6**.

**Tabla 19**

Tabla Comparativa de Poder Calorífico Inferior

<b>Datos</b>	<b>Resultados (MW/día)</b>	<b>Resultados (Kcal/kg)</b>
Generación de Energía Diaria Total (MW/día)	23.1375 MW/día	4 432.47 kcal/ kg
Producción de Energía (MW/día) mediante incineración	51.7359 MW/día	9 911.09 kcal/ kg
Poder Calorífico Inferior de referencia (Gálvez A. et al., 2016)		1 000 kcal/ kg

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Como se aprecia en la **Tabla 19**, Tanto la Generación de Energía Diaria Total (MW/día) hallado a partir del Poder Calorífico Interior proporcionado por Castells, como la Producción de Energía (MW/día) a partir de la metodología de Incineración. Superan el Poder Calorífico Inferior de referencia (Gálvez A. et al., 2016, por lo tanto, se puede determinó la factibilidad de la generación de energía a partir de residuos sólidos urbanos en la provincia de Huamanga

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### IV.1. Discusión

#### IV.1.1. Limitaciones

Las limitaciones que se tuvieron durante la realización del presente trabajo de investigación se dieron en el momento de la recopilación de información.

En cuanto al Sistema de Información para la Gestión de Residuos Sólidos – SIGERSOL, la información no estaba actualizada, en caso de algunos distritos de Huamanga no se registró ningún dato.

Por otro lado, la Municipalidad Distrital de Huamanga no contaba con un registro de caracterización de los residuos sólidos urbanos que se disponen en el relleno sanitario de Huamanga o en los botaderos de Ccasillo y Huamampampa.

Asimismo, no se cuenta con basta información sobre la aplicación de la generación de energía a partir de residuos sólidos urbanos mediante incineración en un determinado lugar, lo cual dificultó al momento de seleccionar los antecedentes.

Otra limitación que se tuvo, fue en cuanto al poder calorífico inferior de los distintos tipos de residuos sólidos urbanos, debido a que existe diferencias entre los valores proporcionados por diversos autores.

#### IV.1.2. Interpretaciones

Según los autores Herrera M, José; Rojas M., Félix y Anchía L., Deivis en su investigación, Emisiones de gases efecto invernadero y contaminantes criterios derivados de diferentes medidas de mitigación en la gestión de residuos sólidos urbanos del cantón de San José, Costa Rica en el año 2018, sostienen que con 433 toneladas de residuos sólidos urbanos al día se generaría 47, 3 MWh de energía. Lo cual difiere con los resultados obtenidos (0.964 MWh con 107. 783 toneladas al día) en 46, 336 MWh.

Según los autores Rafiq K., Mohammad y Tanveer H., en su investigación, Production of Thermoelectric Power from Solid Waste of Urban Lahore en el año 2017, señalan que se genera 85.5 MWh con 5 700 toneladas al día de residuos sólidos urbanos. Estos resultados, difieren en 84.536 MWh con los resultados obtenidos (0.964 MWh con 107.783 toneladas al día).

Según los autores Quillos S., Escalante N., Daniel S. y Quevedo L., De La Cruz R., en su investigación, Residuos Sólidos Domiciliarios: Caracterización y Estimación Energética para la Ciudad de Chimbote en el año 2018, plantean que se genera 15.33 MWh con 69 toneladas al día, lo cual estaría difiriendo en 14.366 MWh de los resultados propuestos en ese trabajo de investigación (0.964 MWh con 107.783 toneladas al día).

Según el autor Sánchez T., Jorge, en su investigación, Modelación de la Incineración de Residuos Sólidos Urbanos como Alternativa Complementaria al Relleno Sanitario Doña Juana en Bogotá en el 2012, el valor generado de energía eléctrica es de 150,87 GW/mes con una cantidad de 6 274 toneladas al día de residuos sólidos urbanos. Esos valores difieren en 150.1527 GW/mes, ya que los resultados en el presente trabajo de investigación en cuanto a generación de energía son dados por 0.717 GW/mes con 107.783 al día de residuos sólidos urbanos.

Según los autores Pereira D., Carvalho A., Bonette R., Cortellazzi M., Silvério C. y Curvelo J., en su investigación, Análise do Potencial da Produção de Energia a partir da Incineração de Resíduos Sólidos Urbanos na Cidade de São Paulo en el año 2018, sostienen que genera una energía eléctrica de 4 591 GW al año con un total de 106 t/año. Esos datos difieren con el resultado de la investigación en 8.945 GW al año (0.717 GW/mes con 39 340.83 toneladas al año de residuos sólidos urbanos).

Según los autores Poletto J. y. Da Silva C., en su investigación Influencia de la Separación de Residuos Sólidos Urbanos para Reciclaje en el Proceso de Incineración con Generación de Energía en el año 2009, postulan que con 210 000 kg/día se genera 156 408 KWh, ello difiere en 155 444 KWh, ya que se obtuvo como resultado el valor de 964 KWh.

En base a los valores proporcionados por los diversos autores presentados con anterioridad, se puede aseverar que la diferencia entre los valores con el resultado obtenido en esa investigación, se debe a diversos factores: el lugar en el cual se aplica la investigación por la cantidad de la población y el tipo de economía que se realiza en dicho lugar. Otro factor se debe a la cantidad, tipo y concentración de humedad de residuos sólidos urbanos.

#### **IV.1.3. Implicancias**

Se puede decir que, los valores encontrados en cuanto a la generación de energía difieren entre los autores presentados, lo cual probablemente se debe a la metodología usada por cada autor, el avance de la tecnología que se da año con año y los procedimientos realizados en laboratorio. Todo ello, se debe a que no existe una normativa sobre las metodologías y protocolos especializados para la valoración energética de los residuos sólidos urbanos estandarizada entre países, lo cual genera que cada autor tenga valores diferentes y no se pueda calcular con exactitud, la falta de actualización de datos referentes a los residuos sólidos urbanos de un país dificulta este procedimiento. Otro factor puede ser el espacio geográfico en dónde se realizaron los análisis, ya que no todos los países poseen exactamente el mismo tipo de residuos sólidos urbanos y los residuos que componen cada tipo, difieren en porcentaje de humedad, densidad, cantidad, composición o volumen. Además, es preferible hacer uso de un laboratorio para determinar el Poder Calorífico Inferior de aquellos residuos

sólidos de los que se requiere analizar, con el uso de equipos de vanguardia y debidamente calibrados. Además, de que se requiere con urgencia que el tema ambiental sea un tema tratado y estudiado con importancia por los diferentes gobiernos de los países para evitar diferencias entre valores y llegar a un resultado óptimo y eficiente para que las investigaciones a futuro tengan datos estandarizados y validados científicamente.

Por otro lado, se considera que la investigación es factible, por ende, aprovechar sus grandes beneficios tanto en la calidad del ambiente como en la calidad de vida de los residentes de la provincia de Huamanga.

#### **IV.2. Conclusiones**

Objetivo general: Realizar un análisis de factibilidad de generación de energía a partir de Residuos Sólidos Urbanos en la provincia de Huamanga

- Se realizó un análisis sobre la factibilidad de generación de energía a partir de los residuos sólidos urbanos en la provincia de Huamanga, en el cual se recolectó información brindada por SIGERSOL del año 2017. Además, se solicitó cierta información de la Municipalidad Provincial de Huamanga y se realizó una revisión sistemática. En el cual demostró que la generación de energía a partir de Residuos Sólidos Urbanos en la provincia de Huamanga es factible, debido a que la energía generada a base del poder calorífico y mediante el proceso de incineración superan el valor de referencia dado por Gálvez A. et al., 2016.
- Para el desarrollo del análisis de factibilidad se identificó en primer lugar una metodología sustentable para la generación de energía, asimismo se identificó los tipos y cantidades de residuos a usar, para luego cuantificar su capacidad calórica y finalmente calcular la factibilidad de la generación de energía a partir de los residuos sólidos urbano de la provincia de Huamanga.

Objetivo específico 1: Identificar una metodología sustentable de generación de energía a partir de Residuos Sólidos Urbanos.

- Mediante una revisión bibliográfica en donde se recopilaron 18 artículo, se identificó que la metodología sustentable que se adecua a la realidad de la provincia de Huamanga es la Incineración, ya que esta metodología como principal insumo utiliza a los residuos sólidos urbanos generados por los residentes. De esa manera, se concluye que al hacer uso de esta metodología para generar energía no solo contribuye con la reducción de la cantidad de residuos sólidos urbanos existentes sino aporta en la contribución de energía a la población de Huamanga.

Objetivo específico 2: Identificar los tipos y cantidad de Residuos Sólidos Urbanos generados en la provincia de Huamanga, en el periodo del año 2017.

- Se identificó los tipos de los residuos sólidos urbanos de la provincia de Huamanga, encontrando así Residuos Orgánicos, Residuos de maleza, poda y madera, Papel mixto, Cartón Mixto, Plástico, Polietileno de alta densidad, Polietileno de baja densidad, Tetra brik (envases multicapa), Bolsas plásticas, Vidrios Otros (vidrio de ventana), Metales, Papel higiénico/Pañales/toallas sanitarias, Pilas, Otros no aprovechables, Otros residuos inorgánicos. Asimismo, también se cuantificó la cantidad de residuos sólidos urbanos generados en la provincia de Huamanga, siendo 19 916.59 t/años concernientes a los residuos sólido urbanos no domiciliarios y 46 672.06 t/año concerniente a los residuos sólido urbanos domiciliarios.

Objetivo específico 3: Cuantificar la capacidad calórica de Residuos Sólidos Urbanos en la provincia de Huamanga, en el periodo del año 2017.

- Se cuantificó la capacidad calórica de residuos sólidos urbanos en la provincia de Huamanga, lo cual ayudó a calcular la Generación de Energía diaria

(MW/día), obteniendo un resultado de 23.1374 MW/día, mientras que en un año se obtendría un valor de 8445.1592 MW/año; teniendo solo en consideración a los residuos sólidos urbanos del tipo de Materia Orgánica, Madera, Papel, Plástico y Restos Sanitarios. Estos valores fueron hallados con referencia al valor del Poder Calorífico proporcionado por Castells.

- Asimismo, en cuanto a la Producción de energía diaria mediante el Proceso de Incineración la generación de energía diaria fue de 51.7359 MW/día.

Objetivo específico 4: Cuantificar la factibilidad de la generación de energía a partir de Residuos Sólidos Urbanos de la provincia de Huamanga.

- Se determinó la factibilidad en base al valor límite, propuesto por los autores Gálvez A. et al., 2016; el cual es dado por 1000 kcal/kg., de esta manera se procedió a la comparación de la Generación de energía diaria con referencia al Poder Calorífico Inferior, el cual proporciona un valor de 4 432.47 kcal/kg y la Producción de energía diaria mediante el Proceso de Incineración, el cual posee un valor de 9 270.805 kcal/kg. Por lo tanto, se determinó la factibilidad de generación de energía a partir de los residuos sólidos urbanos generados en la provincia de Huamanga.
- Como ya se había mencionado el análisis resulta ser factible, por lo tanto, se podría recomendar la implementación de una planta de incineración en la provincia de Huamanga, el cual se abastecerá principalmente de los residuos sólidos urbanos de la provincia de Huamanga, beneficiando la economía, la gestión de los residuos, la disminución de residuos, la calidad de vida de los residentes y la calidad del ambiente, de esta manera minimizando los impactos del calentamiento global.

## REFERENCIAS

Alzate, S., Restrepo, B., & Jaramillo, Á. (2018). Electricity generation potential from solid waste in three Colombian municipalities; Potencial de generación de electricidad desde residuos sólidos en tres municipios colombianos. *Revista Scielo*, 21 (42), 111-128. <https://dx.doi.org/10.22430/22565337.782>

Arena U. (2012). Process and technological aspects of municipal solid waste gasification. *ScienceDirect*, 32(4), 625–639. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.09.025>

Assi A., Bilo F., Zanoletti A., Ponti J., Valsesia A., La Spina R., Zacco A. y Bontempi E. (2019). Zero-waste approach in municipal solid waste incineration: Reuse of bottom ash to stabilize fly ash. *ScienceDirect*, 245, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112715>

Berríos, M. (2015). Potencial energético contenido en los residuos sólidos urbanos: realidad brasileña. *Revista Dialnet* 6(3), 479-491. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5548146>

Bhering, A., Escobar, J., Martínez, A., Rúa, D., Silva, E., Grillo, M., y Almazán, O. (2018). Advanced exergy analysis and environmental assessment of the steam cycle of an incineration system of municipal solid waste with energy recovery. En *Energy Conversion and Management*, *ScienceDirect*. 157(1), 195-214. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.11.083>

Defensoría del Pueblo. (2016). Defensoría del Pueblo recomienda una atención integral al problema de residuos sólidos en Huamanga. Repositorio de la Defensoría del Pueblo. <https://www.defensoria.gob.pe/defensoria-del-pueblo-recomienda-una-atencion-integral-al-problema-de-residuos-solidos-en-huamanga/?pdf=24977>

Estremadoyro J. (2015). Análisis de factibilidad para producción de energía

utilizando un gasificador de hojas de caña de azúcar. *Repositorio de la Universidad de Piura.*

[https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2731/IME\\_188.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2731/IME_188.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Fernández, A. (2007). Planta De Incineración De Residuos Sólidos Urbanos Con Tecnología De Parrilla Y Recuperación Energética. Repositorio de la Universidad Pontificia Comillas de España. <https://core.ac.uk/download/pdf/132572445.pdf>

García, J. (2017). Estudio Comparativo Entre Las Diferentes Fuentes De Energía Eléctrica En Colombia Y La Generación De Electricidad A Partir De Biomasa. *Google académico*

[https://www.researchgate.net/publication/317932315\\_Estudio\\_Comparativo\\_Entre\\_Las\\_Diferentes\\_Fuentes\\_De\\_Energia\\_Electrica\\_En\\_Colombia\\_Y\\_La\\_Generacion\\_De\\_Electricidad\\_A\\_Partir\\_De\\_Biomasa](https://www.researchgate.net/publication/317932315_Estudio_Comparativo_Entre_Las_Diferentes_Fuentes_De_Energia_Electrica_En_Colombia_Y_La_Generacion_De_Electricidad_A_Partir_De_Biomasa).

Harris Lovett, Lienert J. & Sedlak D. (2019). A mixed-methods approach to strategic planning for multi-benefit regional water infrastructure. *Revista ELSEVIER*, 233 (1), 218-237. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.112>

Hea J. y Linb B. (2019). Assessment of waste incineration power with considerations of subsidies and emissions in China. *ScienceDirect*, 126, 191-199. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.11.025>Heng C, Meiyang Z., Yunyun W., Gang X.,

Herrera, J., Rojas, J., & Anchia, D. (2018). Emisiones de gases efecto invernadero y contaminantes criterio derivados de diferentes medidas de mitigación en la gestión de residuos sólidos urbanos del cantón de San José, Costa Rica. *Revista Dialnet*, 52(1), 94-109. <https://doi.org/10.15359/rca.52-1.5>

Inglezakis V., Rojas L., Kim J., Aitbekova A. y Ismailova A. (2015). Comparison between landfill gas and waste incineration for power generation in Astana, Kazakhstan. *Google Académico*, 33(5), 486-494. Doi: 10.1177/0734242X15576562

Jeswani H., Azapagic A. (2016). Assessing the environmental sustainability of energy recovery from municipal solid waste in the UK. *ScienceDirect*, 50, 346-363. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.02.010>

Lusardi1 M., Kohn M., Themelis1 N. y Castaldi M. (2016). Technical assessment of the CLEERGAS moving grate-based process for energy generation from municipal solid waste. *Google Académico*, 32(8), 772-781. Doi: 10.1177/0734242X14543813

Medina A., Palacios R. y Nebra S. (2019). Three municipal solid waste gasification technologies analysis for electrical energy generation in Brazil. *Google Académico*, 37(6), 1-12. <https://doi.org/10.1177/0734242X19841126>

Montiel N. & Pérez J. (2019). Generación de Energía a partir de Residuos Sólidos Urbanos. Estrategias Termodinámicas para Optimizar el Desempeño de Centrales Térmicas. *Revista Scielo*, 30(1), 273-284. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000100273>

Moratorio D., Rocco I., y Castelli M. (2012). Conversión de Residuos Sólidos Urbanos en Energía. *Google académico* <http://revistas.um.edu.uy/index.php/ingenieria/article/download/370/438/>

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2011). La Fiscalización Ambiental en Residuos Sólidos. *Repositorio de la OEFA*. [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=6471](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=6471)

Ortiz J. (2017). Diseño de una central eléctrica de biomasa conectado a la red eléctrica Puno, en el cerro de Cancharani -departamento de Puno. Repositorio de la Universidad del Altiplano – Puno.

[http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/5777/Ortiz\\_Nu%C3%B1ez\\_Jorge\\_Paul.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/5777/Ortiz_Nu%C3%B1ez_Jorge_Paul.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Pala H. (2006). Estudio del potencial energético a partir de los residuos sólidos en algunos distritos del cono norte de Lima Metropolitana. *Repositorio de la Universidad Nacional de San Marcos*. <https://core.ac.uk/download/pdf/323346125.pdf>

Quillos S., Escalante, N., Sánchez D., Quevedo, L., & De La Cruz, R. (2018). Residuos sólidos domiciliarios: caracterización y estimación energética para la ciudad de Chiclayo. *Revista Scielo*.84(3), 322-335.

[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2018000300006&lng=es&tlng=es.](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2018000300006&lng=es&tlng=es)

Khan R. y Tanveer H. (2011). Production of Thermoelectric Power from Solid Waste of Urban Lahore. *Google Académico*, 1-11. Doi: 10.1109 / ICUEPES.2011.6497736

Ronchin, F. Campi y AA Porta (2011). Incineration of urban solid waste containing radioactive sources. *ScienceDirect*, 46(1), 133-140.

<https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2010.07.022>

Rubio A. & Mengual C. (2017). Planteamiento y Resolución de un Modelo Matemático de un Reactor de Lecho Fluidizado para la Gasificación de Cuesco de Palma utilizando Aire como Agente Gasificante. *Repositorio de la Universidad Libre de Bogotá*. <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10383/PLANTEAMIENTO%20Y%20RESOLUCI%C3%93N%20DE%20UN%20MODELO%20MATEM%C3%81TICO%2>

[ODE%20UN%20REACTOR%20DE%20LECHO%20FLUIDIZADO%20PARA%20LA%20GASL.pdf?isAllowed=y&sequence=1](#)

Sáez, Alejandrina y Urdaneta G., Joheni A. (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. *Omnia*, 20 (3), 121-135. *Redalyc*, <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=737/73737091009>

Sánchez, J. (2012). Modelación de la incineración de residuos sólidos urbanos como alternativa complementaria al relleno sanitario doña Juana en Bogotá. *Google académico* <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8977/S%E1nchezTolosaJorgeL%F3n2012.pdf?sequence=1>

Urraca Vergara, E. M., & Silva Villanueva, J. L. (2016). Diagnóstico, evaluación y propuesta de manejo ambiental de los residuos sólidos y efluentes en una industria panificadora periodo junio-julio 2015. *Google Académico. Revista Ciencia y Tecnología*, 12 (3), 25-39. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/PGM/article/view/1397>

Vlachokostas C., Achillas C., Michailidou A., Tsegas G. y Moussiopoulos N. (2020). Externalities of energy sources: The operation of a municipal solid waste-to-energy incineration facility in the greater Thessaloniki area, Greece. *ScienceDirect*, 113, 351-358. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.06.015>

Wang Y., Zhang X., Liao W., Wu J., Yang X., Shui W., Deng S., Zhang Y., Lin L., Xiao Y., Yu X. y Peng H. (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. *ScienceDirect*, 77, 252-267. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X1830196X?via%3Dihub>

## ANEXOS

### ANEXO 1

#### Matriz de consistencia

<b>Problema General</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Variable dependiente</b>	<b>Hipótesis.</b>	<b>Metodología</b>
¿Es factible la generación de energía a partir de los residuos sólidos urbanos en la provincia de Huamanga?	<p><b>Objetivo General</b></p> <p>Realizar un análisis de factibilidad de generación de energía a partir de residuos sólidos urbanos en la provincia de Huamanga.</p> <p><b>Objetivos Específicos</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Identificar una metodología sustentable de generación de energía a partir de residuos sólidos urbanos.</li> <li>Identificar los tipos y cantidad de residuos sólidos urbanos generados en la provincia de Huamanga, en el periodo del año 2017.</li> <li>Cuantificar la capacidad calórica de residuos sólidos urbanos en la provincia de Huamanga, en el periodo del año 2017.</li> <li>Cuantificar la factibilidad de generación de energía a partir de los residuos sólidos urbanos de la provincia de Huamanga.</li> </ol>	<p>Generación de energía</p> <p><b>Variable independiente</b></p> <p>Residuos urbanos sólidos.</p>	<p><b>Hipótesis general</b></p> <p>El análisis de la generación de energía a partir de los residuos urbanos en la provincia de Huamanga es factible.</p>	<p><b>Tipo de Investigación</b></p> <p>El trabajo de investigación está dentro de los estándares del tipo descriptivo.</p> <p><b>Nivel de la Investigación</b></p> <p>El tipo de investigación está orientado a una investigación netamente cuantitativa.</p> <p><b>Diseño de la Investigación:</b> No Experimental - longitudinal</p> <p><b>Población</b></p> <p>Para la población del trabajo de investigación se tomó a la totalidad de los Residuos Sólidos Urbanos de la provincia de Huamanga</p> <p><b>Muestra</b></p> <p>Para la muestra del trabajo de investigación se tomó a los Residuos Sólidos Urbanos de la provincia de Huamanga que serán considerados para la caracterización y cuantificación de la capacidad calórica.</p> <p><b>Técnicas.</b> - Análisis documental.</p> <p><b>Medios.</b> -Revistas científicas como: Redalyc, Scielo, Google académico, ScienceDirect, Dialnet y el Sistema de Información para la Gestión de los Residuos Sólidos.</p>

## ANEXO 2

### Cálculo de la densidad.

$$\text{Densidad } D \left( \frac{kg}{m^3} \right) = \frac{\text{Peso diario del Residuo (kg)}}{\text{Volumen del Residuo (m}^3\text{)}}$$

$$\text{Densidad } D \left( \frac{kg}{m^3} \right) = \frac{(46,350.29 \times 1000 \text{ kg})/360}{590.37 \text{ m}^3}$$

$$\text{Densidad } D \left( \frac{kg}{m^3} \right) = 0.22 \left( \frac{kg}{m^3} \right)$$

## ANEXO 3

### Conversión de unidades del Poder Calorífico Inferior de kcal/kg a MW\*h/kg

#### ❖ Materia Orgánica

$$PCI_{mo} = 3051 \frac{kcal}{kg} \times \frac{4184 J}{1 kcal} = 12765384 \frac{J}{kg} \times \frac{1 MJ}{10^6 J}$$

$$PCI_{mo} = 12.765384 \frac{MJ}{kg} \times \frac{0.000277777777777778 MW * h}{1 MJ}$$

$$PCI_{mo} = 0.00354594 \frac{MW * h}{kg}$$

#### ❖ Madera

$$PCI_{ma} = 4293.4 \frac{kcal}{kg} \times \frac{4184 J}{1 kcal} = 17963585.6 \frac{J}{kg} \times \frac{1 MJ}{10^6 J}$$

$$PCI_{ma} = 17.9635856 \frac{MJ}{kg} \times \frac{0.000277777777777778 MW * h}{1 MJ}$$

$$PCI_{ma} = 0.00498988 \frac{MW * h}{kg}$$

#### ❖ Papel

$$PCI_{pa} = 2175.6 \frac{kcal}{kg} \times \frac{4184 J}{1 kcal} = 9102710.4 \frac{J}{kg} \times \frac{1 MJ}{10^6 J}$$

$$PCI_{pa} = 9.1027104 \frac{MJ}{kg} \times \frac{0.000277777777777778 MW * h}{1 MJ}$$

$$PCI_{pa} = 0.00252853 \frac{MW * h}{kg}$$

❖ Plástico

$$PCI_p = 4800 \frac{kcal}{kg} \times \frac{4184 J}{1 kcal} = 20083200 \frac{J}{kg} \times \frac{1 MJ}{10^6 J}$$

$$PCI_p = 20.083200 \frac{MJ}{kg} \times \frac{0.000277777777777778 MW * h}{1 MJ}$$

$$PCI_p = 0.00557867 \frac{MW * h}{kg}$$

❖ Restos Sanitarios

$$PCI_{rs} = 16152 \frac{kcal}{kg} \times \frac{4184 J}{1 kcal} = 67579968 \frac{J}{kg} \times \frac{1 MJ}{10^6 J}$$

$$PCI_{rs} = 67.579968 \frac{MJ}{kg} \times \frac{0.000277777777777778 MW * h}{1 MJ}$$

$$PCI_{rs} = 0.01877221 \frac{MW * h}{kg}$$

## ANEXO 4

### Cálculos para la Generación de Energía diaria en la provincia de Huamanga

❖ Materia Orgánica = 69.65% = 28 110 180 kg/año = 77 014.1918 kg/día

$$E_{mo} = 0.00354594 \frac{MW * h}{kg} \times 77 014.1918 \frac{kg}{día}$$

$$E_{mo} = 0.00354594 \frac{MW * h}{kg} \times 77 014.1918 \frac{kg}{24 h}$$

$$E_{mo} = 11.3787 MW$$

❖ Madera = 3.55% = 1 644 770 kg/año = 4 506.2192 kg/día

$$E_{ma} = 0.00498988 \frac{MW * h}{kg} \times 4 506.2192 \frac{kg}{día}$$

$$E_{ma} = 0.00498988 \frac{MW * h}{kg} \times 4 506.2192 \frac{kg}{24 h}$$

$$E_{ma} = 0.9369 MW$$

❖ Papel = 20.29% = 1 062 080 kg/año = 2 909.8082 kg/día

$$E_{pa} = 0.00252853 \frac{MW * h}{kg} \times 2 909.8082 \frac{kg}{día}$$

$$E_{pa} = 0.00252853 \frac{MW * h}{kg} \times 2 909.8082 \frac{kg}{24 h}$$

$$E_{pa} = 0.3066 \text{ MW}$$

- ❖ Plástico = 11.10% = 5 146 190 kg/año = 14 099.1507 kg/día

$$E_p = 0.00557867 \frac{\text{MW} * \text{h}}{\text{kg}} \times 14\,099.1507 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

$$E_p = 0.00557867 \frac{\text{MW} * \text{h}}{\text{kg}} \times 14\,099.1507 \frac{\text{kg}}{24 \text{ h}}$$

$$E_p = 3.2773 \text{ MW}$$

- ❖ Residuos Sanitarios = 7.29% = 3 377 610 kg/año = 9 253.73 kg/día

$$E_{rs} = 0.01877221 \frac{\text{MW} * \text{h}}{\text{kg}} \times 9\,253.7260 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

$$E_{rs} = 0.01877221 \frac{\text{MW} * \text{h}}{\text{kg}} \times 9\,253.7260 \frac{\text{kg}}{24 \text{ h}}$$

$$E_{rs} = 7.2380 \text{ MW}$$

- ❖ Para determinar la generación de energía diaria se realizó la sumatoria de energía generada de la madera, papel, plástico, residuos sanitarios y materia orgánica:

$$E_{ma} + E_{pa} + E_p + E_{rs} + E_{mo} =$$

$$0.9369 \text{ MW} + 0.3066 \text{ MW} + 3.2773 \text{ MW} + 7.2380 \text{ MW} + 11.3787 \text{ MW} =$$

$$23.1374 \text{ MW}$$

## ANEXO 5

### Cálculos para hallar la Generación de energía diaria mediante la Incineración de los Residuos Sólidos Urbanos de la provincia de Huamanga

- ❖ Producción de Energía (MW/día) = 0.48 (MW/t) x RSU Total (t/día)

$$\text{Producción de Energía (MW/día)} = 0.48 \times 107.7831$$

$$\text{Producción de Energía (MW/día)} = 51.7359 \text{ MW/día}$$

- ❖ Autoconsumo (MW/día) = Producción de Energía (MW/día) x 0.15

$$\text{Autoconsumo (MW/día)} = 51.7359 \text{ (MW/día)} \times 0.15$$

$$\text{Autoconsumo (MW/día)} = 7.7603 \text{ MW/día}$$

- ❖ Energía Exportada (MW/día) = Producción de Energía (MW/día) - Autoconsumo (MW/día)

$$\text{Energía Exportada (MW/día)} = 51.7359 \text{ (MW/día)} - 7.7603 \text{ (MW/día)}$$

$$\text{Energía Exportada (MW/día)} = 43.9756 \text{ MW/día}$$

$$\text{❖ Reducción de Peso 70\% (t/día)} = \text{RSU Total (t/día)} \times 0.3$$

$$\text{Reducción de Peso 70\% (t/día)} = 107.7831 \text{ (t/día)} \times 0.3$$

$$\text{Reducción de Peso 70\% (t/día)} = 32.3349 \text{ t/día}$$

## ANEXO 6

### Conversión de unidades de MW/día a kcal/ kg

$$\text{Residuos Sólidos Urbanos Total (Tn/día)} = 100.82 \text{ Tn/día} = 100\,820 \text{ Kg/día}$$

$$\text{❖ Generación de Energía Diaria Total (MW/día) valor proporcionado en la}$$

**Tabla 14**

$$0.0058 \text{ MW al día} = x \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \times \frac{4184 \text{ J}}{1 \text{ kcal}} \times \frac{1 \text{ MJ}}{10^6 \text{ J}} \times \frac{0.000277777777777778 \text{ MW} \cdot \text{h}}{1 \text{ MJ}} \times \text{RSU Total} \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}}$$

$$0.0058 \text{ MW al día} = x \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \times \frac{4184 \text{ J}}{1 \text{ kcal}} \times \frac{1 \text{ MJ}}{10^6 \text{ J}} \times \frac{0.000277777777777778 \text{ MW} \cdot \text{h}}{1 \text{ MJ}} \times 107783.1 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}}$$

$$0.0058 \text{ MW al día} = x \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \times \frac{0.00522 \times \text{kg} \times \text{MV}}{1 \text{ kcal}}$$

$$1.111 = x$$

$$\text{❖ Producción de Energía (MW/día) proporcionado en la Tabla 17}$$

$$48.3936 \text{ MW al día} = x \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \times \frac{4184 \text{ J}}{1 \text{ kcal}} \times \frac{1 \text{ MJ}}{10^6 \text{ J}} \times \frac{0.000277777777777778 \text{ MW} \cdot \text{h}}{1 \text{ MJ}} \times \text{RSU Total} \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}}$$

$$48.3936 \text{ MW al día} = x \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \times \frac{4184 \text{ J}}{1 \text{ kcal}} \times \frac{1 \text{ MJ}}{10^6 \text{ J}} \times \frac{0.000277777777777778 \text{ MW} \cdot \text{h}}{1 \text{ MJ}} \times 107783.1 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}}$$

$$48.3936 \text{ MW al día} = x \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \times \frac{0.00522 \times \text{kg} \times \text{MV}}{1 \text{ kcal}}$$

$$9\,270.805 = x$$