

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Caracterización de los residuos sólidos para la  
generación de energía eléctrica en la provincia  
de Cusco, periodo 2022**

Wendy Rossel Choquehuanca Huayllani  
Flor Katerin Melgarejo Montalvo

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Ambiental

Cusco, 2024

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



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

## INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería  
DE : Anieval Peña Rojas  
Asesor de trabajo de investigación  
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación  
FECHA : 28 de Setiembre de 2024

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

### Título:

Caracterización de los residuos sólidos para la generación de energía eléctrica en la provincia de Cusco, periodo 2022

### Autores:

1. Wendy Rossel Choquehuanca Huayllani – EAP. Ingeniería Ambiental

2. Flor Katerin Melgarejo Montalvo – EAP. Ingeniería Ambiental

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 20 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

Filtro de exclusión de bibliografía	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>
Filtro de exclusión de grupos de palabras menores Nº de palabras excluidas (en caso de elegir "SI"):15	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>
Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>

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

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

Atentamente,

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

## **ASESOR**

Dr. Anieval Peña Rojas

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a nuestras familias por el apoyo incondicional ante las situaciones adversas para que pueda lograr la culminación de este trabajo de tesis, asimismo, a todos nuestros profesores que nos formaron para poder llegar a ser grandes profesionales en nuestra especialidad.

## **DEDICATORIA**

Dedicamos este trabajo a Dios, a mis familiares y a todos que estuvieron apoyándonos en todo este trayecto académico.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ASESOR .....	i
AGRADECIMIENTO .....	ii
DEDICATORIA.....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	iv
ÍNDICE DE TABLAS .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN .....	viii
ABSTRACT.....	ix
INTRODUCCIÓN .....	x
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....	11
1.1. Planteamiento y formulación del problema .....	11
1.1.1. Problema General.....	12
1.1.2. Problemas Específicos .....	12
1.2. Objetivos .....	12
1.2.1. Objetivo general.....	12
1.2.2. Objetivos Específicos.....	12
1.3. Justificación.....	13
1.3.1. Teórica.....	13
1.3.2. Metodológica .....	13
1.3.3. Práctica.....	14
1.4. Hipótesis y variables .....	15
1.4.1. Hipótesis General.....	15
1.4.2. Hipótesis Específicas .....	15
1.4.3. Variables.....	15
1.4.4. Operacionalización de Variables .....	16
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO .....	27
2.1. Antecedentes del problema .....	27
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	27
2.1.2. Antecedentes Nacionales .....	27
2.1.1. Antecedentes Locales.....	28
2.2. Fundamento teórico.....	30
2.1.2. Descomposición Anaeróbica.....	30
2.1.3. Etapas de la Descomposición Anaeróbica.....	31
2.3. Términos básicos.....	32
2.3.1. Residuo orgánico.....	32

2.3.2.	Modelo landGEM version 3.02.....	32
2.3.3.	Biogás .....	32
2.3.4.	Biomasa.....	32
2.3.5.	Desecho o residuo .....	33
2.3.6.	Residuos sólidos.....	33
2.3.7.	Energía eléctrica.....	33
2.1.4.	Caloría.....	33
CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....		34
3.1.	Métodos y alcance de la investigación.....	34
3.1.1.	Método y tipo de investigación.....	34
3.1.2.	Alcance de la investigación.....	34
3.2.	Diseño de la investigación .....	34
3.3.	Población y muestra .....	34
3.3.1.	Población.....	34
3.3.2.	Muestra .....	34
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	35
3.4.1.	Técnicas de recolección de datos .....	35
3.4.2.	Instrumentos de recolección de datos .....	35
CAPÍTULO IV RESULTADOS .....		36
4.1.	Análisis de resultados.....	36
4.1.1.	Resultados del objetivo general .....	36
4.1.2.	Resultados del objetivo específico 1 .....	40
4.1.3.	Resultados del objetivo específico 2.....	42
4.1.4.	Resultados del objetivo específico 3.....	50
4.1.5.	Propuesta tecnológica para la producción de biogás, utilizando los residuos sólidos acopiados en la provincia de cusco, periodo 2022.....	54
4.2.	Discusión de resultados.....	67
CONCLUSIONES .....		70
RECOMENDACIONES.....		71
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		72
ANEXOS .....		76
Anexo 3: Padrón de los predios no domiciliarios .....		78
Anexo 4: Registro Fotográfico.....		82

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Población y generación per cápita de residuos sólidos en la provincia de Cusco.....	37
Tabla 2: Generación per cápita domiciliaria por departamentos.....	38
Tabla 3: Composición de los residuos sólidos municipales de la provincia de cusco .....	39
Tabla 4: Proyección de la población y generación de residuos sólidos en la provincia de cusco 2022-2042. ....	41
Tabla 5: Valores de k y lo según condiciones climáticas .....	44
Tabla 6: Composición porcentual de biogás .....	45
Tabla 7: Volumen de biogás generado:ch4, co2 y nmoc .....	47
Tabla 8: volumen de biogás generado:ch4, co2 y nmoc .....	51
Tabla 9: Parámetros de rendimiento del generador de energía eléctrica.....	51
Tabla 10: Cantidad de energía generada en calorías al año, mega watts al año y la cantidad de viviendas que podría suministrar la transformación de biogás a energía eléctrica. ....	53
Tabla 11: Características del grupo electrógeno .....	62
Tabla 12: Costo para la implementación de un relleno sanitario y la producción de energía eléctrica.....	63
Tabla 13: Cálculos para la producción de biogás de acuerdo con la biodegradación .....	65
Tabla 14: Cálculos para la producción de energía eléctrica.....	65
Tabla 15: Componentes del biogás .....	66

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Parámetros de entrada para landGEM V3.02 .....	46
Figura 2. Emanaciones de biogás en megarramos/año .....	49
Figura 3. Emisiones de biogás en metros cúbicos/año.....	50
Figura 4. Procesamiento de los residuos hasta la producción eléctrica. ....	55
Figura 5. Modelo de relleno sanitario .....	58
Figura 6. Tubos para extraer biogás .....	61
Figura 7. Grupo electrógeno CAT.....	62
Figura 8. Montaje de los grupos electrógenos en el relleno sanitario.....	63

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado Caracterización de los residuos sólidos para la generación de energía eléctrica en la provincia de Cusco, periodo 2022. El método de esta investigación fue cuantitativo en donde se usó como técnica de investigación el análisis documental y como instrumento la ficha de análisis documental, tuvo como objetivo principal la de determinar la caracterización de los residuos sólidos, con la finalidad de verificar la composición porcentual de los residuos orgánicos, los cuales permiten mediante procesos generar energía eléctrica, teniendo como resultado que la provincia de cusco en el periodo 2022, genero.60627 toneladas de residuos orgánicos representados por el 50.25% del total de residuos sólidos, siendo más de la mitad de lo acopiado en el año.

Dentro de los objetivos específicos, se planteó determinar la cantidad de residuos sólidos generados en la provincia de cusco para luego poder determinar la cantidad de residuos orgánicos. Estos datos nos permiten estimar la cantidad de biogás que se puede producir a partir de la descomposición de los residuos orgánicos. Para el calculo de el biogás que se puede producir, se utilizó el modelo LandGEM, el cual es un sistema americano utilizado en varios países para la estimación de biogás a partir de residuos orgánicos.

Los resultados obtenidos en la presente investigación nos indican que el relleno sanitario de Haqira tendrá un tiempo útil de producción de biogás hasta el año 2072, tenido como pico de producción el año 2042, en este año por normativas sanitarias el relleno sanitario cerrará, pero seguirá produciendo biogás hasta el 2072.

Por último, se tuvo como resultado que todo el residuo orgánico generado en la provincia de cusco, en el periodo 2022, puede generar electricidad para suministrar con electricidad a 928 viviendas por año, teniendo un consumo promedio de 106 kw-h/mes.

**Palabras claves:** Residuos, orgánicos, biogás, electricidad

## ABSTRACT

The present research work entitled Characterization of solid waste for the generation of electrical energy in the province of Cusco, period 2022. The method of this research was quantitative where documentary analysis was used as a research technique and the data sheet as an instrument. Documentary analysis, had as its main objective to determine the characterization of solid waste, in order to verify the percentage composition of organic waste, which allows through processes to generate electricity, fearing as a result that the province of Cusco in the period 2022, I generate 60627 tons of organic waste dammed for 50.25% of the total solid waste, being more than half of what was collected in the year.

Within the specific objectives, it was proposed to determine the amount of solid waste generated in the province of Cusco to later determine the amount of organic waste. These data allow us to estimate the amount of biogas that can be produced from the decomposition of organic waste. To calculate the biogas that can be produced, the LandGEM model was used, which is an American system used in several countries to estimate biogas from organic waste.

The results obtained in the present investigation indicate that the Jaquira sanitary landfill will have a useful time of biogas production until the year 2072, with the year 2042 as the peak of production. In this year, due to sanitary regulations, the sanitary landfill will close, but it will continue to produce biogas until 2072.

Finally, the result was that all the organic waste generated in the province of Cusco, in the period 2022, can generate electricity to supply 928 homes with electricity per year, having an average consumption of 106 kw-h/month.

**Keywords:** Waste, organic, biogas, electricity

## INTRODUCCIÓN

La gestión adecuada de los residuos sólidos se ha convertido en una preocupación global de máxima importancia en las últimas décadas. En la provincia de Cusco, Perú, esta problemática no es ajena, ya que el crecimiento poblacional y el desarrollo económico han generado un aumento significativo en la generación de residuos sólidos, lo que plantea desafíos importantes en términos de manejo y disposición final. Sin embargo, esta situación también abre la puerta a oportunidades innovadoras, especialmente en el contexto de la creciente demanda de energía eléctrica.

La presente tesis, titulada "Caracterización de los residuos sólidos para la generación de energía eléctrica en la provincia de Cusco", se adentra en un enfoque multidisciplinario que busca explorar el potencial de los residuos sólidos como fuente de energía sostenible en esta región. La provincia de Cusco, con su rica herencia cultural y belleza natural, enfrenta un dilema: cómo abordar de manera eficiente y ambientalmente responsable la gestión de sus residuos sólidos, al tiempo que satisface su creciente demanda de energía eléctrica. Esta investigación comprende 5 capítulos, partiendo desde el planteamiento y la formulación del problema, considerando los antecedentes y proponiendo bases teóricas que nos permiten el mejor entendimiento de la ideación sucida.

Así mismo se consideran las justificaciones, que permiten respaldar la investigación desde el punto de vista técnico, metodológico, planteando los objetivos y las hipótesis, las cuales serán discutidos y contrastados con los antecedentes planteados en la presente investigación.

Por último, se tienen las conclusiones, que surgen a partir de los resultados y las discusiones, estas conclusiones sirven de base para posteriores investigaciones, que pretenden abarcar este importante tema social.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

### 1.1. Planteamiento y formulación del problema

La Agencia Internacional de Energías Renovables, o IRENA, es una organización internacional fundada en 2009 por España, Alemania y Dinamarca. Su objetivo principal es alentar a los países a crear políticas favorables a la energía limpia y aumentar la financiación de proyectos de energía renovable en todo el mundo. La actual ministra de Transición Ecológica de ese país es Teresa Ribera, quien se desempeña como vicepresidenta de IRENA. Esto significa que IRENA está ubicada en Abu Dhabi, y uno de sus trabajos principales es promover las energías renovables en todo el mundo.

La creación del Consejo Geopolítico de Transición Energética Global el año pasado fue un avance significativo en términos de comprensión del mundo y su situación energética. El objetivo principal del consejo es comprender mejor cuánto ha cambiado el mundo gracias al uso cada vez mayor de energía limpia. Al mismo tiempo, la mejora continua y el costo decreciente de las energías renovables es asombroso; es difícil imaginar cómo podrían crecer tan rápido como lo han hecho recientemente. Muchas tecnologías renovables son más rentables y tienen mejores resultados medioambientales que las que utilizan combustibles fósiles. Como resultado, dependen cada vez menos de los mercados de carbono en su conjunto. Muchas tecnologías de energía verde, incluidos el petróleo y el gas, ya son más competitivas. Esto es sin tener en cuenta los beneficios de la mitigación del cambio climático y el aire limpio. (1).

Recientemente, el Banco Mundial publicó datos sobre los desechos generados a nivel mundial a través del informe "What a Waste 2.0". Según el informe, el mundo produce actualmente 2.010 millones de toneladas de residuos sólidos municipales cada año y, con el desarrollo de las ciudades, se puede ver que esta cifra aumentará en un 70% en los próximos 30 años. Además, encontramos que aproximadamente el 90% de los residuos generados fueron vertidos en vertederos o quemados a cielo abierto. Además de esto, el informe detalla el aumento de la generación de residuos y su mala gestión provocando desprendimientos de vertederos, sepultando casas y personas bajo la basura. El informe también encontró que Asia Oriental produce la mayor cantidad de desechos, seguida de Europa y Asia Central (2).

En 2015 los residuos sólidos municipales de mi país generaron 7.461.627 toneladas, de las cuales Arequipa generó 100,85 toneladas. De estos, el 64,5% provino de fuentes domiciliarias

y el resto de las fuentes ajenas al hogar. Además de estos residuos totales, los residuos orgánicos suponen el 58,75% del total (3).

En base a los problemas identificados, podemos definir uno de los principales motivos de este derroche de energías renovables como la falta de conocimiento e interés en el uso y beneficios de las energías renovables (principalmente biomasa) (4).

Otro motivo es también el desconocimiento sobre los mecanismos por los que se puede utilizar la biomasa para obtener energía, ya que muchas veces es difícil entender y vislumbrar la posibilidad de producir algún tipo de energía a partir de los residuos que producimos nosotros mismos.

Entonces, se formula la siguiente pregunta de investigación:

### **1.1.1. Problema General**

¿Cuál será la caracterización de los residuos sólidos acopiados en la provincia de Cusco, periodo 2022?

### **1.1.2. Problemas Específicos**

- a. ¿Cuál será el volumen de residuos orgánicos acopiados en la provincia de Cusco, periodo 2022?
- b. ¿Cuál será el volumen de biogás que se puede producir a partir de los residuos orgánicos acopiados en la provincia de Cusco, periodo 2022?
- c. ¿Qué cantidad de energía eléctrica en MWh se podrá producir a partir del biogás producido en la provincia de Cusco, periodo 2022?

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Determinar la caracterización de los residuos sólidos acopiados en la provincia de Cusco, periodo 2022

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- a. Determinar el volumen de residuos orgánicos acopiados en la provincia de cusco, periodo 2022
- b. Determinar el volumen de biogás que se puede producir a partir de residuos orgánicos acopiados en la provincia de Cusco, periodo 2022.

- c. Determinar la cantidad de energía eléctrica que se puede producir en MWh a partir del biogás producido en la provincia de Cusco, periodo 2022.

### **1.3. Justificación**

#### **1.3.1. Teórica**

La obtención de biogás a partir de residuos orgánicos está respaldada y fundamentada en los principios de sostenibilidad ambiental y eficiencia energética. La transformación anaeróbica de los residuos orgánicos en biogás es un proceso natural en el que bacterias descomponen la materia orgánica en ausencia de oxígeno, generando metano y dióxido de carbono. Esta técnica ofrece una solución innovadora para la gestión de desechos, al reducir la cantidad de materia orgánica desechada en vertederos y minimizar la emisión de metano, un gas de efecto invernadero potente. Además, el biogás producido puede ser aprovechado como fuente de energía renovable, contribuyendo a la diversificación de la matriz energética y a la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles.

Asimismo, la propuesta se alinea con los principios de la economía circular, al convertir los desechos orgánicos en recursos valiosos. La obtención de biogás no solo proporciona una fuente de energía limpia y renovable, sino que también genera un subproducto llamado digestato, que es rico en nutrientes esenciales para la agricultura. Este enfoque promueve la circulación de nutrientes en el ecosistema, reduciendo la necesidad de fertilizantes químicos y contribuyendo a la mejora de la calidad del suelo.

#### **1.3.2. Metodológica**

La obtención de biogás a partir de residuos orgánicos se fundamenta en un enfoque integral y efectivo de gestión de desechos, así como en la optimización de recursos y la generación de energía renovable. La metodología de producción de biogás a través de la digestión anaeróbica es una técnica probada que aprovecha la capacidad natural de descomposición de la materia orgánica por microorganismos en ausencia de oxígeno. Este proceso, respaldado por estudios científicos y experiencias a nivel internacional, garantiza la conversión eficiente de residuos orgánicos en biogás.

Además, la metodología se adapta a nuestro contexto local y a los recursos disponibles en la región, promoviendo una gestión más eficiente de los desechos. La recolección, segregación y selección adecuada de los residuos orgánicos, su posterior introducción en digestores anaeróbicos diseñados específicamente, y la captura y almacenamiento del biogás generado forman parte de un proceso sistemático que maximiza la obtención de energía renovable. Esta

metodología no solo contribuye a reducir la huella ambiental de la gestión de desechos, sino que también abre la puerta a la generación de electricidad y calor a partir del biogás, lo que puede tener un impacto significativo en la sostenibilidad energética de la comunidad.

### **1.3.3. Práctica**

Con la evaluación de los residuos orgánicos se puede cuantificar la cantidad que se podrá producir de metano, lo cual finalmente puede ser usado mediante el giro de turbinas debido al gas que se obtiene, una cantidad significativa de energía eléctrica, lo que finalmente, permitirá que se pueda utilizar energía limpia que finalmente, es no contamina el medio ambiente. Además de ello, cabe señalar que este tipo de tratamiento permite que se evite mayor contaminación al medio ambiente, permitiendo de esa manera que los residuos orgánicos brinden una mejora para los ciudadanos dándoles energía limpia. También de considerarse que otras municipalidades dentro del Perú ya han evaluado sus residuos orgánicos para generar energía, pero no es tan sencillo que este tipo de proyectos se ejecute, es por ello, que muchas veces queda en tan solo la evaluación para la producción de energía eléctrica. Y, asimismo, empresas como Petramás en Lima, producen biogás debido al tratamiento de residuos provenientes de su actividad económica mediante el uso de un biodigestor.

la justificación radica en sus beneficios concretos y tangibles en términos de gestión de desechos y generación de energía. Mediante la implementación de esta iniciativa, se logrará una reducción efectiva de la cantidad de residuos orgánicos que se destinan a vertederos o incineradoras, al tiempo que se evita la liberación descontrolada de gases de efecto invernadero como el metano. Esto resulta en un manejo más eficiente y responsable de los desechos, con potencial para reducir los problemas de contaminación ambiental y los riesgos asociados.

Desde una perspectiva práctica, la obtención de biogás a partir de residuos orgánicos ofrece una fuente de energía local, renovable y sostenible. El biogás generado puede ser aprovechado para generar electricidad y calor, lo que se traduce en una disminución de la dependencia de fuentes de energía convencionales y la mitigación de impactos ambientales negativos. Esta práctica no solo resuelve el problema de la gestión de residuos, sino que también brinda una solución energética beneficiosa para la comunidad, contribuyendo a la seguridad energética y a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, así mismo, empresas como Petramás en Lima, producen biogás debido al tratamiento de residuos provenientes de su actividad económica mediante el uso de un biodigestor.

## **1.4. Hipótesis y variables**

### **1.4.1. Hipótesis General**

**H1:** La caracterización de los residuos sólidos acopiados en la provincia de Cusco, periodo 2022, permite una óptima generación de energía eléctrica.

### **1.4.2. Hipótesis Específicas**

**H2:** El volumen de residuos orgánicos acopiados en la provincia de Cusco, periodo 2022, es óptimo para la generación de energía eléctrica.

**H3:** El volumen de biogás que se puede producir a partir de los residuos orgánicos acopiados en la provincia de cusco, periodo 2022, es óptimo para la generación de energía eléctrica.

**H4:** La cantidad de energía eléctrica en MWh que se puede producir a partir de los residuos orgánicos acopiados en la provincia de cusco, periodo 2022, es suficiente para abastecer una vivienda por un año entero.

### **1.4.3. Variables**

- Variable independiente: Residuos orgánicos
- Variable dependiente: Energía eléctrica

#### 1.4.4. Operacionalización de Variables

Tipo de variable	Variabes	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
Variable Independiente	Residuos orgánicos	Son residuos que se descomponen naturalmente, presentan la característica de poder desintegrarse o degradarse rápidamente, transformándose en otro tipo de materia orgánica. (1)	Selección los residuos sólidos de tipo orgánico en la municipalidad provincial del cusco.	Cantidad de residuos orgánicos. Biogás calorías
Variable Dependiente	Energía eléctrica	En una de las formas de manifestarse la energía. Tiene como cualidades la docilidad en su control, la fácil y limpia transformación de energía en trabajo, y el rápido y eficaz transporte, son las cualidades que permiten a la electricidad ser "casi" lo energía perfecta. (2)	Producción y demanda de energía eléctrica.	Voltaje Corriente Tensión Potencia Tiempo

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes del problema**

##### **2.1.1. Antecedentes Internacionales**

O'Brien, en su trabajo titulado "Análisis de las Diferentes Técnicas Para el Aprovechamiento Energético de los Residuos Orgánicos Municipales e Industriales", el mundo se enfrenta a un grave problema medioambiental en forma de cambio climático y contaminación. Además, esto provoca una escasez de energía que afecta a problemas mundiales críticos como el calentamiento global y la guerra. Para combatir estos problemas, muchas personas exploran el uso de fuentes de energía renovables, lo que se puede hacer a través de la energía de la biomasa o la electricidad producida a partir de la energía eólica y solar. En los últimos años se ha investigado cómo aprovechar esta potencia para su uso (5).

Vargas y Ramírez, en el artículo titulado "Potencial de energía calorífica de los residuos sólidos municipales para reemplazar el carbón", Esta investigación analiza el potencial térmico de los residuos sólidos urbanos, o RSU, como base para generar CDR. Calcula la cantidad de energía que se puede generar a partir de este material mediante el procesamiento de residuos industriales en RDF. Este proceso reemplaza al carbón en la producción de cemento, que normalmente se realiza con carbón. Al examinar los RSU de la provincia de Guananta, este estudio apoya la gestión regional de los residuos sólidos. Al cambiar a RDF en lugar de carbón, el medio ambiente y la gestión corporativa se benefician. RDF es una alternativa al uso de combustibles fósiles que evita la emisión a la atmósfera del 5,7% de los gases de efecto invernadero. También mitiga la emisión de 12.300 toneladas de carbono neutro al año y 1.128 toneladas de GEI. RDF tiene potencial de residuos sólidos municipales y requiere un 5,4% de carbón de la mina (6).

##### **2.1.2. Antecedentes Nacionales**

García y Tenorio, en la tesis titulada "Potencial de producción de biogás para la generación de energía eléctrica en el relleno sanitario de la provincia de Bagua, Amazonas", Los gases como el metano (CH<sub>4</sub>) son un componente importante del efecto invernadero, que contribuye al calentamiento global. Para este estudio, el objetivo fue evaluar el potencial de producción de biogás de un relleno sanitario en la provincia de Amazonas en 2018 para generar electricidad utilizando un modelo propuesto por George Tchobanoglous; el método tiene en cuenta la materia orgánica de rápida degradación (residuos orgánicos, papel, cartón), residuos de jardín

(60%) y de lenta degradación (textil, caucho, cuero, madera, jardín (40%) datos cualitativos y cuantitativos. El potencial de producción de biogás del Relleno Sanitario de la provincia de Bagua está compuesto en un 81,14% por residuos orgánicos de rápida y lenta degradación. Las estimaciones indican que el potencial de generación de energía de biogás es de 5,31 kWh/m<sup>3</sup>, el flujo de biogás está en su nivel máximo y la potencia máxima es de 922,26 kWh por año para un grupo electrógeno de biogás con un motor con una eficiencia del 68% (7).

Manay, en su trabajo denominado “Generación de energía eléctrica mediante biogás de los residuos orgánicos ganaderos y energía solar fotovoltaica en el caserío Chenten en la provincia de Chota-Huambos Cajamarca”, una granja en Chenten requiere un promedio de 41 008 Wh de energía todos los días para funcionar. También utiliza 10.532 W de electricidad, suficiente para alimentar 56 unidades de vivienda. Los datos recabados por el SENAMHI revelan que cada día caen sobre la zona 4,75 dosis promedio de radiación solar. Las vacas, toros, novillas y terneros que habitan el edificio producen 780 kg de materia orgánica al día. Los valores críticos de radiación solar para la NASA son 4,61 kWh/m<sup>2</sup> y 4,61 kWh/m<sup>2</sup>, respectivamente. Estos valores indican que el equipo necesario para el sistema biodigestor fotovoltaico debe ser seleccionado y dimensionado adecuadamente. Este sistema requiere 28 paneles fotovoltaicos marca SIMAX de 190 Wp, ocho acumuladores marca VICTRON ENERGY de 503 Ah, dos reguladores de carga 150/60 y un inversor 48/6000-230 denominado MUST SOLAR. Un conductor eléctrico de 1x16/25 debe cumplir con los estándares eléctricos y mecánicos. La red de distribución secundaria se dimensiona para que coincida con el lugar donde se encontró; esto es necesario debido a las limitaciones de tamaño del conductor eléctrico 16/25. El precio de este sistema es de \$2.315,26 por día cuando se distribuye a través de una red de distribución secundaria (8).

Mamani y Pacco, en su trabajo titulado “Propuesta de diseño de una planta de biodigestión para el aprovechamiento energético de residuos orgánicos del relleno sanitario de Chilla – Juliaca”, antes de elegir un tipo de biodigestor, se completó una matriz de pruebas previas para determinar el mejor diseño. El concepto de diseño resultante fue el modelo basado en el estilo chino que mejor se adapta a las condiciones naturales de la región. Al procesar energía y crear biogás, se determina que el biodigestor puede producir 9.964,35 kW/h de energía eléctrica y 6.039,00 Nm<sup>3</sup>/h de biogás cada día. El motor cogenerador AQL fue elegido la mejor opción para producir energía eléctrica. Este grupo electrógeno modelo LSA 49.1 produce 550 kilovatios de potencia eléctrica y 670 kilovatios de potencia térmica. Puede conectarse a la red eléctrica nacional, lo que lo convierte en un estudio útil para el diseño de biodigestores y otros tipos de uso de biomasa en diferentes regiones del Perú (9).

### **2.1.1. Antecedentes Locales**

Boggiano, en su trabajo titulado “Valorización energética de los residuos sólidos domiciliarios de la ciudad de Trujillo, 2019 – 2020”, el propósito de este proyecto fue determinar el método más eficiente para convertir los residuos en energía. El estudio analizó las propiedades químicas, físicas y biológicas de los desechos. También determinaron el contenido de calor y el potencial de energía en el material. Además, consideraron las regulaciones internacionales al compilar sus resultados. Su solución propuesta implicaba el procesamiento de múltiples tipos de residuos en un sistema de horno de parrilla. Esta opción podría procesar de 120 a 720 toneladas de residuos por día con una capacidad de combustión de 2.762,94 kilocalorías por kilogramo. Los residuos sólidos de Trujillo podrían convertirse en energía utilizable mediante el uso de electricidad. La planta podría producir entre 278.012 y 417.018 megavatios por día; El 15% de la producción de la planta podría destinarse a autoconsumo. El resto de la producción de la planta, denominada ceniza y escoria, podría utilizarse como materiales de construcción o materiales agregados. Se puede observar que los residuos sólidos de Trujillo tienen mucho potencial de conversión a electricidad. Esta electricidad podría ser utilizada para alimentar focos de luz en nuevos asentamientos y dotar a los habitantes de una adecuada habitabilidad. Mediante el uso de tecnología de conversión de residuos en energía, las personas pueden reducir la cantidad de residuos generados y agotar los recursos naturales y los combustibles fósiles necesarios para las centrales eléctricas convencionales(10).

Rabanal, en la tesis titulada “Caracterización de los residuos sólidos de competencia municipal en Chota”, con el fin de evaluar los impactos ambientales en Chota, este estudio investiga las propiedades físicas y geotécnicas de los residuos generados por los habitantes de esa ciudad. Esto se logra mediante la creación de un diseño analítico y descriptivo basado en unidades muestrales domésticas y no domésticas. La evaluación considera todas las viviendas en la ciudad y áreas rurales adyacentes. Todas las basuras producidas por estas fuentes naturalmente consideran todas las variables debido al rango de composiciones y cantidades que se manejan. Un estudio de residuos domésticos y no domésticos determinó que el peso promedio de los residuos generados cada día es de 13.237 kg para los domésticos con un peso de 9.603 kg por día y de 3.634 kg para los no domésticos con un peso de 3.634 kg por día. Estos datos combinados con las mediciones diarias del volumen de residuos sólidos en la ciudad de Chota muestran que la armonía ambiental de la ciudad es auténtica (11).

Madrigal, en su trabajo titulado “Calculo de la generación de biogás para el relleno sanitario de la ciudad de Juliaca, utilizando el modelo LandGEM Versión 3.02 de la USEPA y estimación del potencial de producción eléctrica” los investigadores concluyen que los vertederos y rellenos sanitarios constituyen una fuente importante de biogás resultado de la descomposición del proceso biológico de residuos sólidos orgánicos, conformado principalmente por CH<sub>4</sub> y

CO<sub>2</sub>. Existen modelos matemáticos que permiten estimar la producción de biogás en la fuente final de los residuos sólidos municipales (RSM). Por ello, el objetivo de esta investigación fue estimar la producción del biogás en fuente del relleno sanitario que se construirá para la ciudad de Juliaca considerando los residuos sólidos orgánicos que se encuentran en él, para ello se aplicó el modelo “Landfill Gas Emissions Model” (LandGEM, version 3.02). Según nuestros resultados se podrían generar 1.226.945.217 m<sup>3</sup> de biogás con una media de 29.925.493,10 m<sup>3</sup> de biogás/año llegando a su producción máxima en el año 2044 con 58.285.801,66 m<sup>3</sup> biogás/año. En cuanto a la energía total de cogeneración, se estima que podrían llegar a una capacidad máxima de 284.113 MWh/año en el año 2044, además de que la media de producción es de 145.871 MWh/año de los cuales 82.721 MWh/año corresponden a energía térmica y 63.151 MWh/año a energía eléctrica. (24)

## **2.2. Fundamento teórico**

El fundamento teórico se apoya en la ley de conservación de la masa y la teoría de microbiología, asegurando que los productos finales de la digestión anaeróbica coincidan con las reacciones bioquímicas que tienen lugar en el proceso. Además, el proceso es influenciado por factores como la temperatura, el pH, la concentración de nutrientes y la relación carbono: nitrógeno, lo que hace que el control de estas variables sea esencial para optimizar la producción de biogás (18).

### **2.1.2. Descomposición Anaeróbica**

La descomposición anaeróbica, o AD, La descomposición anaeróbica es un proceso biológico en el cual la materia orgánica se descompone en ausencia de oxígeno. Esto es en contraste con la descomposición aeróbica, que ocurre en presencia de oxígeno. La descomposición anaeróbica es llevada a cabo por microorganismos llamados anaerobios, que son capaces de sobrevivir y prosperar en ambientes carentes de oxígeno.(13).

Uno de los elementos distintivos de la descomposición anaeróbica es la ausencia de oxígeno molecular (O<sub>2</sub>). A diferencia de la descomposición aeróbica, que utiliza oxígeno como aceptor final de electrones, la descomposición anaeróbica utiliza otros compuestos químicos, como nitratos, sulfatos o carbonatos, como aceptores finales de electrones, en el proceso participan microorganismos anaeróbicos, incluyendo varias especies de bacterias y arqueas los cuales son responsables de la descomposición anaeróbica. Estos microorganismos han desarrollado adaptaciones bioquímicas para sobrevivir y prosperar en entornos carentes de oxígeno liberando gases como subproductos del metabolismo de dichos microorganismos (14).

La cantidad de biogás producido a través de la descomposición bacteriana puede ser impredecible. Puede variar de 350 L/kg a 450 L/kg de peso seco, con un contenido de metano del 70%. Sin embargo, el biogás producido no es muy útil como combustible o fuente de calor. Puede ser reemplazado por gas natural e incluso se usa como reemplazo de combustible en aplicaciones como calefacción y combustible. Sin embargo, la masa restante que digieren las bacterias se puede utilizar como fertilizante o abono orgánico (15).

### **2.1.3. Etapas de la Descomposición Anaeróbica**

La descomposición anaeróbica es el proceso de descomposición de la materia orgánica a través de cuatro etapas diferentes. Primero, la materia se descompone en trozos más pequeños al disolverse e hidrolizarse. A continuación, el material se somete a acidogénesis, donde cambia a acetogénesis y metanogénesis. Al final, el material se convierte en biogás, una mezcla entre dióxido de carbono y metano. (15).

**Hidrólisis:** En esta etapa inicial, las moléculas orgánicas complejas se descomponen en moléculas más simples mediante la acción de enzimas extracelulares secretadas por bacterias y arqueas. Durante la hidrólisis, las macromoléculas, como los carbohidratos, proteínas y lípidos, se dividen en sus componentes más pequeños, como azúcares, aminoácidos y ácidos grasos.

**Acidogénesis:** En esta etapa, las moléculas más simples generadas en la hidrólisis son convertidas por bacterias acidogénicas en ácidos orgánicos, como ácido acético, ácido butírico y ácido láctico. Estos ácidos son productos intermedios importantes en el proceso de descomposición anaeróbica.(18).

**Producción de Hidrógeno y Dióxido de Carbono:** Mientras continúa la descomposición de los ácidos orgánicos, se produce una gran cantidad de hidrógeno (H<sub>2</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Estos gases son liberados como subproductos del metabolismo microbiano.

**Metanogénesis:** En esta etapa, los grupos de microorganismos llamados metanógenos convierten los productos intermedios, como el ácido acético y el hidrógeno, en metano (CH<sub>4</sub>) entre 30 y 70% del volumen (promedio 55%) y el resto está compuesto por gas carbónico (CO<sub>2</sub>). Esta es la etapa clave para la producción de biogás rico en metano, que es una fuente valiosa de energía.

Durante el proceso de descomposición anaeróbica, se produce un residuo líquido o sólido conocido como digestato. El digestato contiene nutrientes valiosos y puede utilizarse como fertilizante orgánico debido a su contenido en nitrógeno y otros nutrientes.

Es importante destacar que la eficiencia de cada etapa y la producción total de biogás pueden variar según diversos factores, como la temperatura, el pH, la concentración de sólidos, la calidad de la materia orgánica, humedad y la composición de la comunidad microbiana presente en el sistema de digestión anaeróbica.

### **2.3. Términos básicos**

#### **2.3.1. Residuo orgánico**

Son residuos que se descomponen naturalmente, presentan la característica de poder desintegrarse o degradarse rápidamente, transformándose en otro tipo de materia orgánica. Se procesan generalmente por alguna técnica de compostaje y provienen de hogares, industrias, plantas de tratamiento, la agricultura, la horticultura y la silvicultura, entre otros (18).

#### **2.3.2. Modelo landGEM version 3.02**

El modelo Landfill Gas Emission Model (LandGEM) de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), se utiliza para estimar las emisiones de sitios de disposición de residuos sólidos municipales, como también es una herramienta de estimación automatizada, encuadrada en el programa de cálculo "Microsoft Excel". Las emisiones estimadas producidas en un vertedero son tanto el biogás, como de cada uno de los gases componentes del mismo como el metano, el dióxido de carbono, los componentes orgánicos que no sean metano y otros tipos de contaminantes atmosféricos que se podrían producir en el mismo (25).

#### **2.3.3. Biogás**

El biogás es un portador de energía renovable formado durante la descomposición de la biomasa por microorganismos. Este proceso, llamado fermentación, tiene lugar en plantas de biogás con exclusión de luz y oxígeno. Esta reserva de energía puede obtenerse tanto de cultivos energéticos como el maíz y los cereales, como de residuos orgánicos y materiales de desecho como el abono, los lodos residuales o de compostaje, los residuos de alimentos y los residuos de los mataderos. Al utilizar los residuos y desechos orgánicos, no se crea competencia por la producción de alimentos (18).

#### **2.3.4. Biomasa**

Es la masa de materia viva en un ecosistema, población o parte de un organismo. Por lo general, se expresa en términos de materia seca por unidad de área, como kilogramos por hectárea o gramos por metro cuadrado. Este término se utiliza para medir materiales derivados de plantas, como plantas y sus derivados. En el campo de la energía, el concepto original también se conoce

como energía renovable. Se puede encontrar en forma de biocombustibles como biodiésel y biogás, leña, aserrín de residuos agrícolas y residuos ganaderos. Además, se puede encontrar en bloques de combustibles sólidos y bioalcohol (18).

### **2.3.5. Desecho o residuo**

Cualquier cosa producida por humanos que ya no tenga un propósito, sea funcional o estéticamente agradable debe almacenarse en un lugar autorizado para su eliminación. Esto se aplica a sólidos, semisólidos, líquidos y gases (18).

### **2.3.6. Residuos sólidos**

Los materiales que no puedan ser reutilizados después de haber sido extraídos, alterados, calculados o utilizados no califican como residuos (18).

### **2.3.7. Energía eléctrica**

Es una forma de energía que se relaciona con la presencia y movimiento de partículas cargadas eléctricamente, como electrones. Se genera a través de procesos que implican la conversión de otras formas de energía, como la energía mecánica, térmica o química, en energía eléctrica utilizable. En su forma más básica, la energía eléctrica se describe mediante la relación entre la tensión eléctrica (voltaje), la corriente y la resistencia eléctricas. La unidad básica de medida de la energía eléctrica es el vatio (W), que representa la potencia eléctrica. La cantidad de energía eléctrica consumida o producida se mide en vatios-hora (Wh) o kilovatios-hora (kWh).

### **2.1.4. Caloría**

Una caloría se define como una unidad de energía utilizada para medir la cantidad de calor transferido a través de la elevación de la temperatura de un gramo de agua en un grado Celsius a una presión atmosférica normal. Es una unidad de energía térmica.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Métodos y alcance de la investigación**

##### **3.1.1. Método y tipo de investigación**

Los datos cuantitativos, como números y magnitudes, se utilizan en un esfuerzo por medir un fenómeno. Esto se debe a la afirmación de que estos datos numéricos ayudan a medir un fenómeno mucho más grande.

A través del análisis estadístico, es capaz de descubrir relaciones, hacer generalizaciones y categorizar datos. También puede clasificar los datos numéricamente.

El tipo de investigación es aplicada porque los hallazgos y experimentos resultantes proporcionarán respuestas a preguntas específicas (19).

##### **3.1.2. Alcance de la investigación**

El alcance de la investigación es explicativo-prospectivo, pues mediante la evaluación se va a dar una explicación de cuanta energía se puede producir, de tal manera, que se va a buscar una relación causal entre tanto el tratamiento del residuo orgánico y la producción de metano para generación eléctrica.

#### **3.2. Diseño de la investigación**

La presente investigación es no experimental pues no se manipulan las variables, tomando en consideración que es de corte transversal, el cual se mide en un periodo determinado (19).

#### **3.3. Población y muestra**

##### **3.3.1. Población**

Para la estimación de la población se consideró la cantidad de familias que habitan en la provincia de cusco, para ello mediante la proyección al 2022, se tienen un total de 123,440 familias, las cuales comparten determinadas características y especificaciones. Esto debido a que la delimitación de una manera clara a la población nos llevara a un trabajo investigativo de calidad (Sampieri, 2014).

##### **3.3.2. Muestra**

La muestra, siendo una cantidad representativa de la población, fue de 385 familias, este número para fines estadísticos es un número que resulta de utilizar la fórmula de estimación de muestra para una población finita. Considerando un porcentaje de error del 5%.

### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.4.1. Técnicas de recolección de datos**

La observación es una técnica fundamental de recopilación de datos que implica la recopilación sistemática y directa de información al observar y registrar eventos, comportamientos, fenómenos o situaciones en un entorno específico. La observación puede ser útil para obtener datos cualitativos y cuantitativos, dependiendo de cómo se lleve a cabo.

#### **3.4.2. Instrumentos de recolección de datos**

Los instrumentos que se utilizarán en esta investigación son las fichas de observación también conocidas como fichas de registro, de modo que los datos serán recolectados para su posterior análisis descriptivo e inferencial. También se emplearán cuestionarios dirigidos al personal involucrado de las áreas de mantenimiento e impresión.

Ficha de observación o ficha de registro: “Un instrumento de medición adecuado es aquel que registra datos observables que representan verdaderamente los conceptos que tiene en mente o las variables que el investigador tiene en mente. En términos cuantitativos. En términos cuantitativos: captura verdaderamente la “realidad” que deseo capturar” (Hernández, 2006, p.235). Estas fichas permitirán plasmar y registrar los datos reales de producción en un determinado período y así poder mejorar el rendimiento de las impresoras a través de la aplicación del mantenimiento preventivo.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS**

#### **4.1. Análisis de resultados**

##### **4.1.1. Resultados del objetivo general**

Caracterización de los residuos sólidos acopiados en la provincia de Cusco, periodo 2022

El estudio de caracterización de residuos sólidos municipales se obtuvo la siguiente Tabla 1, se toma en consideración al 2015 que la ciudad de Cusco tiene 428450 habitantes, cabe señalar que en promedio la municipalidad presenta una generación per cápita (GPC) de residuos sólidos municipales de 0.572 kg/hab./día.

La información de las cantidades, composición de los residuos sólidos generados en la provincia de Cusco provienen del “PLAN DE DESARROLLO URBANO CUSCO AL 2023”, presentado el 2015, la cantidad de habitantes, la tasa de crecimiento poblacional anual fue extraídos del Instituto Nacional de Estadística e Informática (25), Sistema Nacional de Información Ambiental (34)

La información sobre volúmenes de residuos sólidos domiciliarios fue extraída de estudios realizados por el gobierno local de la provincia de Cusco en el año 2015, así como la población en ese mismo año. Con estos datos se calculó la generación per cápita domiciliaria de la siguiente manera:

GPC domiciliaria = Generación residuos sólidos domiciliarios (kg/día)

Población

GPC domiciliaria =  $\frac{257820 \text{ kg/día}}{445,399 \text{ hab}} = 0.58 \text{ kg/hab-día}$

445,399 hab

Entonces para el año 2015 la GPC domiciliaria promedio en la provincia del Cusco fue de 0.58 kg/hab-día, destacando la provincia de Cusco como principal generador con distrito de Cusco, como el principal generador con 0.87kg/hab día ello debido a la abundancia de establecimientos comerciales en la zona, caso contrario al distrito de Ccorca con solo 0.21kg/hab-día, con estos datos se obtuvo la tabla 1 en la que se puede observar la GPC domiciliaria de los 8 distritos que conforman la provincia de Cusco en el año 2015.

**Tabla 1: Población y generación per cápita de residuos sólidos en la provincia de Cusco**

	<b>Población urbana</b>	<b>Generación residuos sólidos domiciliarios (toneladas/día)</b>	<b>Generación per cápita domiciliario</b>
Cusco	116,500	101.36	0.87
Ccorcca	2,346	0.5	0.21
Poroy	8,200	4.1	0.50
San Jerónimo	46,207	18.48	0.40
San Sebastián	115,305	42.72	0.37
Santiago	88,680	56.84	0.64
Saylla	4,383	1.31	0.30
Wanchaq	63,778	32.51	0.51
<b>Total</b>	<b>445,399</b>	<b>257.82</b>	<b>0.58</b>

Fuente: Documento: Programa Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos de la Provincia de Cusco. PIGARS Cusco 2015 – 2018. Fuente: Gobierno Municipal del Cusco.

**Tabla 2: Generación per cápita domiciliaria por departamentos**

SERIE	2013	2014	2015	2016	2017
Amazonas	0.52	0.54	0.52	0.53	0.53
Ancash	0.55	0.49	0.56	0.55	0.52
Apurímac	0.58	0.46	0.46	0.51	0.51
Arequipa	0.49	0.48	0.48	0.49	0.49
Ayacucho	0.52	0.46	0.54	0.50	0.53
Cajamarca	0.54	0.53	0.54	0.53	0.51
Callao	0.66	0.61	0.65	0.59	0.60
Cusco	0.60	0.64	0.55	0.56	0.57
Huancavelica	0.49	0.47	0.46	0.43	0.43
Huanuco	0.50	0.48	0.45	0.44	0.44
Ica	0.53	0.50	0.50	0.50	0.50
Junín	0.51	0.48	0.52	0.53	0.54
La Libertad	0.54	0.51	0.53	0.50	0.51
Lambayeque	0.51	0.51	0.57	0.56	0.57
Lima	0.59	0.61	0.60	0.60	0.60
Loreto	0.55	0.63	0.61	0.62	0.57
Madre De Dios	0.45	0.42	0.45	0.51	0.51
Moquegua	0.39	0.42	0.41	0.44	0.44
Pasco	0.43	0.45	0.38	0.40	0.41
Piura	0.59	0.50	0.56	0.55	0.54
Puno	0.47	0.56	0.47	0.43	0.45
San Martín	0.55	0.59	0.54	0.55	0.55
Tacna	0.49	0.46	0.46	0.44	0.44
Tumbes	0.46	0.44	0.47	0.46	0.46
Ucayali	0.66	0.64	0.65	0.66	0.66

Fuente: Ministerio del Ambiente – Sistema Nacional de Información Ambiental SINIA

Como se puede observar en la tabla 2, los datos de GPC disminuiría según el SINIA, en el año 2015 el departamento de Cusco genera 0.55kg/hab-día con tendencia al alza, también podemos observar que la GPC domiciliaria se mantiene constante en los principales departamentos del Perú como Lima, Arequipa, La Libertad entre otros por lo que para efectos de esta investigación se uso el dato de GPC domiciliaria de 0.58kg/hab-día para los años posteriores.

**Tabla 3: Composición de los residuos sólidos municipales de la provincia de Cusco**

<b>Tipo</b>	<b>%</b>
Materia orgánica	50.25
Madera, follaje	6.13
Papel	2.78
Cartón	3.27
Vidrio	3.55
Plástico PET	2.72
Plástico duro	1.89
Bolsas	7.7
Tetrapak	0.38
Tecnopor y similares	1.35
Metal	2.38
Telas, textiles	1.05
Caucho, cuero, jebe	0.84
Pilas	0.44
Restos de medicinas, focos, etc.	0.27
Residuos sanitarios	5.71
Residuos inertes	7.66
Otros	2.21

*Nota:* De acuerdo con la tabla 2, el 35.40% es residuos de comida. Tomado de Municipalidad del Cusco, plan de desarrollo urbano Cusco 2015-2023, p. 29.

Como se muestra en el cuadro, la composición de residuos sólidos orgánicos totales 56.28% teniendo en cuenta la materia orgánica, la madera y el follaje, por otro lado, los residuos como papel, cartón, plásticos PET, Tetrapak, metales con reciclados en su mayoría, en resumen, el material orgánico es más de la mitad de los residuos sólidos totales.

**Materiales Orgánicos totales:** (56.38%): Esta es la categoría más grande y comprende principalmente materia orgánica (50.25%) y madera, follaje (6.13%), también conocido como biomasa el cual será la materia prima para la transformación en biogás.

**Materiales Reaprovechables** (16.13%): Esta categoría incluye materiales que pueden ser reciclados, como cartón, papeles, latas, aluminio, plástico y vidrios. Dado que los reaprovecharles representan una proporción significativa de los residuos, es importante implementar programas de reciclaje y educación para aumentar la tasa de reciclaje en el distrito.

**Materiales No Reaprovechables** (14.03%): Estos son residuos que no son fácilmente reciclables, como baterías, plástico duro, tecnopor (poliestireno expandido), cauchos, tela, etc. La gestión adecuada de estos residuos es esencial para evitar impactos negativos en el medio ambiente y la salud pública.

**Residuos Inertes** (7.66%): Los residuos inertes generalmente no experimentan descomposición biológica y pueden incluir materiales como escombros de construcción. Aunque representan una proporción relativamente baja, deben ser manejados adecuadamente para evitar la contaminación del suelo y del agua.

**Residuos Sanitarios** (5.71%): Estos son residuos que pueden ser peligrosos para la salud pública, como restos de medicinas y focos. La gestión adecuada de estos residuos es crítica para prevenir la contaminación y los riesgos para la salud.

Otros (0.27%): Esta categoría incluye residuos como cenizas y porcelana. Aunque representan una proporción pequeña, todavía es importante gestionarlos adecuadamente para evitar impactos negativos.

#### **4.1.2. Resultados del objetivo específico 1**

Volumen de residuos sólidos orgánicos acopiados en la provincia de Cusco, periodo 2022

Para determinar el volumen de residuos sólidos orgánicos tendremos en cuenta los datos estadísticos de la ciudad de Cusco como son el índice de crecimiento poblacional que según el

INEI es de 1.98% y la población al 2017 es de 447,588 habitantes, así mismo, GPC domiciliaria de la tabla 1, 0.58 kg/hab-día, la composición porcentual de los residuos orgánicos, con los datos se obtuvo una proyección hasta el año 2042 como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 4: Proyección de la población y generación de residuos sólidos en la provincia de cusco 2022-2042.**

<b>Año</b>	<b>Población</b>	<b>Generación per cápita (ton/día)</b>	<b>Generación per cápita (ton/año)</b>	<b>Residuos sólidos orgánicos(ton/año)</b>
2022	493,761.4	286.4	104,529.3	60,627.0
2023	503,552.6	292.1	106,602.1	61,829.2
2024	513,538.0	297.9	108,716.0	63,055.3
2025	523,721.4	303.8	110,871.8	64,305.7
2026	534,106.7	309.8	113,070.4	65,580.8
2027	544,698.0	315.9	115,312.6	66,881.3
2028	555,499.3	322.2	117,599.2	68,207.5
2029	566,514.8	328.6	119,931.2	69,560.1
2030	577,748.7	335.1	122,309.4	70,939.5
2031	589,205.4	341.7	124,734.8	72,346.2
2032	600,889.3	348.5	127,208.3	73,780.8
2033	612,804.8	355.4	129,730.8	75,243.9
2034	624,956.7	362.5	132,303.3	76,735.9
2035	637,349.5	369.7	134,926.9	78,257.6
2036	649,988.1	377.0	137,602.5	79,809.4
2037	662,877.2	384.5	140,331.1	81,392.0
2038	676,022.0	392.1	143,113.9	83,006.0
2039	689,427.5	399.9	145,951.8	84,652.0
2040	703,098.7	407.8	148,846.0	86,330.7
2041	717,041.1	415.9	151,797.6	88,042.6
2042	731,259.9	424.1	154,807.7	89,788.5
<b>Total</b>		<b>7,370.7</b>	<b>2,690,296.5</b>	<b>1,560,372.0</b>

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar para el año 2022 se acopiaron, en el relleno sanitario, 104,529.3 toneladas de residuos sólidos de los cuales 60,627 son residuos orgánicos y según las proyecciones para el 2042 se acopiarán 1,560,372 toneladas de residuos sólidos totales.

### **4.1.3. Resultados del objetivo específico 2**

Volumen de biogás que se puede producir a partir de residuos orgánicos acopiados en la provincia de Cusco, periodo 2022.

Para la estimación de la generación de biogás se usó el modelo matemático “Landfill Gas Emissions Model” (LandGEM, versión 3.02).

#### Modelo landGEM versión 3.02

El modelo LandGEM (Landfill Gas Emissions Model) fue desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) como una herramienta para estimar las emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente metano (CH<sub>4</sub>), que se generan en vertederos de residuos sólidos municipales.

La creación de LandGEM se enmarca en la creciente conciencia ambiental y en la necesidad de abordar el problema de las emisiones de metano de los vertederos. El metano es un gas de efecto invernadero potente y su liberación en la atmósfera desde los vertederos contribuye al cambio climático. Su desarrollo comenzó en la década de 1980 como respuesta a la necesidad de contar con una herramienta que permitiera a las agencias ambientales, ingenieros y científicos estimar y cuantificar las emisiones de metano de los vertederos. La primera versión de LandGEM, conocida como LandGEM 1.0, se lanzó en 1993. A partir de entonces, el modelo ha experimentado múltiples actualizaciones y revisiones para reflejar mejor los avances científicos, la comprensión de los procesos de descomposición de residuos en vertederos y las necesidades cambiantes en la gestión de emisiones, actualmente se encuentra en la versión 3.02 que utiliza una serie de parámetros como datos de entrada, incluyendo la composición de los residuos, la cantidad de residuos depositados, la temperatura, el tamaño del vertedero y las prácticas de manejo de gases. A través de una metodología basada en modelos matemáticos, estima la generación de metano y dióxido de carbono en el vertedero.

LandGEM se ha convertido en una herramienta esencial para la planificación y gestión de vertederos, así como para la evaluación del cumplimiento normativo en relación con las emisiones de gases de vertedero. También se utiliza en investigaciones académicas y proyectos de mitigación de emisiones.

La EPA ha puesto a disposición del público versiones actualizadas de LandGEM, permitiendo que una amplia gama de usuarios, desde reguladores gubernamentales hasta consultores ambientales, accedan a esta herramienta y la utilicen en sus proyectos y estudios relacionados con vertederos y emisiones de metano que es un gas de efecto invernadero significativamente más potente que el dióxido de carbono en términos de su capacidad para atrapar el calor en la atmósfera. Por lo tanto, estimar las emisiones de metano y CO<sub>2</sub> en los vertederos es crucial para abordar el cambio climático, de ahí la importancia del modelo LandGEM tenga una relación muy estrecha con la ingeniería ambiental y desempeña un papel importante en la gestión ambiental y la ingeniería de residuos.

**Evaluación de emisiones en vertederos:** La ingeniería ambiental se ocupa de la gestión y mitigación de impactos ambientales negativos. Los vertederos de residuos sólidos municipales son una fuente significativa de emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente metano. LandGEM es una herramienta esencial en la ingeniería ambiental para evaluar las emisiones de metano y dióxido de carbono de los vertederos y diseñar estrategias para reducir estas emisiones.

**Diseño de sistemas de captura de gases:** La ingeniería ambiental trabaja en el diseño y la implementación de sistemas de captura y gestión de gases de vertedero. LandGEM proporciona datos y estimaciones que son cruciales en la planificación y el diseño de estos sistemas, permitiendo a los ingenieros ambientales calcular la capacidad necesaria de los sistemas de recolección y control de gases.

**Cumplimiento normativo:** La ingeniería ambiental también se ocupa de garantizar el cumplimiento de las regulaciones ambientales. LandGEM es una herramienta que ayuda a las agencias reguladoras a evaluar si los vertederos cumplen con las normativas ambientales en lo que respecta a las emisiones de gases. Los ingenieros ambientales utilizan este modelo para determinar si se requieren medidas adicionales de mitigación.

**Planificación y gestión de vertederos:** En la planificación y gestión de vertederos, los ingenieros ambientales consideran aspectos como la vida útil del vertedero, la compactación de residuos y la gestión de lixiviados y gases. LandGEM es una herramienta valiosa para estimar la vida útil de un vertedero, calcular el potencial de generación de gas y evaluar el impacto ambiental a largo plazo de un vertedero.

**Investigación y desarrollo de tecnologías:** La ingeniería ambiental también se relaciona con la investigación y el desarrollo de tecnologías avanzadas para la gestión de residuos y la mitigación de emisiones. Los datos y las estimaciones de LandGEM se utilizan en

investigaciones relacionadas con la captura y utilización de biogás de vertedero, la generación de energía renovable y otras soluciones innovadoras.

El modelo LandGEM generalmente se presenta como una herramienta de estimación automatizada, encuadrada en el programa de cálculo “Microsoft Excel”. Las emisiones estimadas producidas en un vertedero son tanto el biogás, como de cada uno de los gases componentes de este como el metano, el dióxido de carbono, los componentes orgánicos que no sean metano y otros tipos de contaminantes atmosféricos que se podrían producir en el mismo. LandGEM es uno de los modelos que se basa en una ecuación de descomposición con cinética de primer orden para estimar la generación de biogás con el tiempo. La ecuación se expresa así:

$$Q_{CH_4} = \sum_{t=1}^n \sum_{j=0.1}^1 kL_0 \left(\frac{M_i}{10}\right) e^{-kt_{ij}}$$

Donde,

- $Q_{CH_4}$  = generación anual de metano en el año de cálculo (m<sup>3</sup>/año)
- $i$  = incremento de 1 año
- $n$  = (año de calculo)-(año de inicio de disposicion de residuos)
- $j$  = incrementos de 0,1 año
- $k$  = tasa de generación de metano (año<sup>-1</sup>)
- $L_0$  = potencial de generación de metano (m<sup>3</sup>/Mg)
- $M_i$  = cantidad de residuos aceptados en el año “i”
- $t_{ij}$  = edad de la seccion “j” de residuos “Mi” aceptados en el año “i”

Fuente:(31)

El modelo utiliza dos tipos de factores de emisión por defecto para la k (constante de generación de biogás) y la Lo (potencial de generación de biogás). La primera está influida por la temperatura, humedad, disponibilidad de nutrientes y el pH y la segunda por el tipo y la composición de los residuos sólidos (23).

**Tabla 5: Valores de k y lo según condiciones climáticas**

Constante	Clima árido	Semi árido	Semi húmedo	Clima húmero
k	0.02	0.04	0.05	0.07
Lo	170	100	100	96

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 6: Composición porcentual de biogás**

<b>Componentes</b>	<b>%</b>
Metano	55-75%
Dióxido de carbono	35-45%
Nitrógeno	1-3%
Oxígeno	0.01
Sulfuros	0.004
Amoniaco	0.01
Hidrógeno	0.002
Monóxido de carbono	0.002
Componentes de trazas	0.002

Fuente: Elaboración propia

Dado que la composición de metano en las emanaciones de biogás, según la tabla 6, es del 55% al 75%, en nuestro caso eligió el menor valor según nuestras condiciones climáticas como dato de entrada para el modelo landGEM

INPUT REVIEW		Landfill Name or Identifier: Cusco 2022-2042	
<b>LANDFILL CHARACTERISTICS</b>			
Landfill Open Year	2022		
Landfill Closure Year (with 80-year limit)	2042		
Actual Closure Year (without limit)	2042		
Have Model Calculate Closure Year?	No		
Waste Design Capacity	2,690,297	megagrams	
<b>MODEL PARAMETERS</b>			
Methane Generation Rate, k	0.040	year <sup>-1</sup>	
Potential Methane Generation Capacity, L <sub>0</sub>	100	m <sup>3</sup> /Mg	
NMOC Concentration	600	ppmv as hexane	
Methane Content	55	% by volume	
<b>GASES / POLLUTANTS SELECTED</b>			
Gas / Pollutant #1:	<b>Total landfill gas</b>		
Gas / Pollutant #2:	<b>Methane</b>		
Gas / Pollutant #3:	<b>Carbon dioxide</b>		
Gas / Pollutant #4:	<b>NMOC</b>		
<b>WASTE ACCEPTANCE RATES</b>			
<b>Year</b>	<b>(Mg/year)</b>	<b>(short tons/year)</b>	
2022	104,529	114,982	
2023	106,602	117,262	
2024	108,716	119,588	
2025	110,872	121,959	
2026	113,070	124,377	
2027	115,313	126,844	
2028	117,599	129,359	
2029	119,931	131,924	
2030	122,309	134,540	
2031	124,735	137,208	
2032	127,208	139,929	
2033	129,731	142,704	
2034	132,303	145,534	
2035	134,927	148,420	
2036	137,602	151,363	
2037	140,331	154,364	
2038	143,114	157,425	
2039	145,952	160,547	
2040	148,846	163,731	
2041	151,798	166,977	
2042	154,808	170,288	
2043	0	0	
2044	0	0	
<b>Description/Comments:</b>			

Figura 1. Parámetros de entrada para landGEM V3.02

**Tabla 7: Volumen de biogás generado:ch4, CO2 y NMOC**

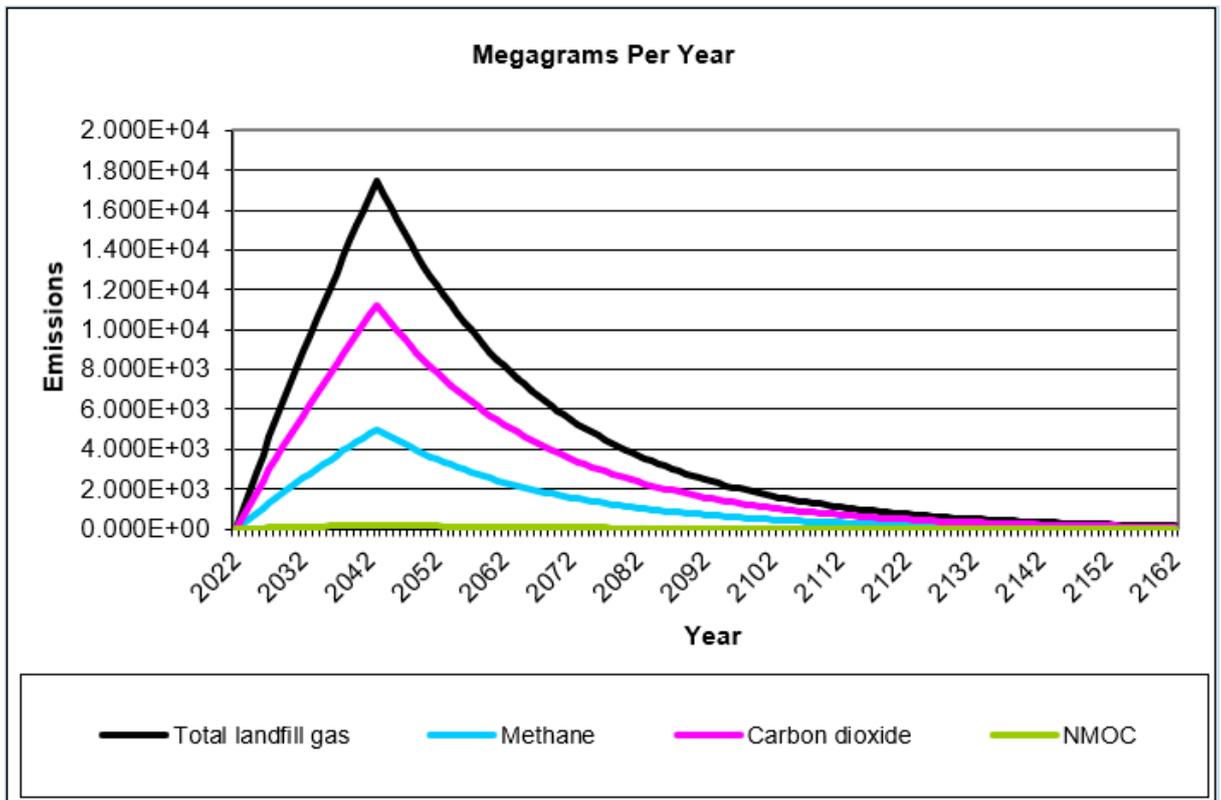
<b>Año</b>	<b>Residuos sólidos acumulados (tn/año)</b>	<b>BIOGÁS recuperado (m3/año)</b>	<b>Metano (m3/año)</b>	<b>CH4</b>	<b>CO2 (m3/año)</b>	<b>Compuestos orgánicos distintos del metano NMOC(m3/año)</b>
2022	104,529	0.0	0.0		0.0	0.0
2023	106,602	746,700.8	410,685.4		336,015.4	2,986.8
2024	108,716	1,478,930.1	813,411.5		665,518.5	5,915.7
2025	110,872	2,197,548.8	1,208,651.8		988,897.0	8,790.2
2026	113,070	2,903,390.1	1,596,864.6		1,306,525.6	11,613.6
2027	115,313	3,597,260.5	1,978,493.3		1,618,767.2	14,389.0
2028	117,599	4,279,940.7	2,353,967.4		1,925,973.3	17,119.8
2029	119,931	4,952,187.1	2,723,702.9		2,228,484.2	19,808.7
2030	122,309	5,614,732.7	3,088,103.0		2,526,629.7	22,458.9
2031	124,735	6,268,288.3	3,447,558.5		2,820,729.7	25,073.2
2032	127,208	6,913,543.2	3,802,448.7		3,111,094.4	27,654.2
2033	129,731	7,551,166.4	4,153,141.5		3,398,024.9	30,204.7
2034	132,303	8,181,807.7	4,499,994.2		3,681,813.5	32,727.2
2035	134,927	8,806,098.1	4,843,353.9		3,962,744.1	35,224.4
2036	137,602	9,424,651.0	5,183,558.0		4,241,092.9	37,698.6
2037	140,331	10,038,063.0	5,520,934.6		4,517,128.3	40,152.3
2038	143,114	10,646,914.7	5,855,803.1		4,791,111.6	42,587.7
2039	145,952	11,251,771.4	6,188,474.3		5,063,297.1	45,007.1
2040	148,846	11,853,184.1	6,519,251.2		5,333,932.8	47,412.7
2041	151,798	12,451,689.6	6,848,429.3		5,603,260.3	49,806.8
2042	154,808	13,047,812.1	7,176,296.6		5,871,515.4	52,191.2
2043	2,708,850	15,826,861.6	8,704,773.9		7,122,087.7	9,496.1
2044	2,708,850	15,054,976.4	8,280,237.0		6,774,739.4	9,033.0
2045	2,708,850	14,320,736.6	7,876,405.1		6,444,331.5	8,592.4
2046	2,708,850	13,622,306.0	7,492,268.3		6,130,037.7	8,173.4
2047	2,708,850	12,957,938.3	7,126,866.1		5,831,072.2	7,774.8
2048	2,708,850	12,325,972.2	6,779,284.7		5,546,687.5	7,395.6
2049	2,708,850	11,724,827.4	6,448,655.1		5,276,172.4	7,034.9
2050	2,708,850	11,153,000.9	6,134,150.5		5,018,850.4	6,691.8
2051	2,708,850	10,609,062.6	5,834,984.4		4,774,078.2	6,365.4
2052	2,708,850	10,091,652.5	5,550,408.9		4,541,243.6	6,055.0

2053	2,708,850	9,599,476.8	5,279,712.2	4,319,764.6	5,759.7
2054	2,708,850	9,131,304.8	5,022,217.6	4,109,087.2	5,478.8
2055	2,708,850	8,685,965.8	4,777,281.2	3,908,684.6	5,211.6
2056	2,708,850	8,262,346.3	4,544,290.4	3,718,055.8	4,957.4
2057	2,708,850	7,859,386.9	4,322,662.8	3,536,724.1	4,715.6
2058	2,708,850	7,476,080.1	4,111,844.0	3,364,236.0	4,485.6
2059	2,708,850	7,111,467.3	3,911,307.0	3,200,160.3	4,266.9
2060	2,708,850	6,764,637.0	3,720,550.3	3,044,086.6	4,058.8
2061	2,708,850	6,434,721.7	3,539,097.0	2,895,624.8	3,860.8
2062	2,708,850	6,120,896.7	3,366,493.2	2,754,403.5	3,672.5
2063	2,708,850	5,822,377.0	3,202,307.3	2,620,069.6	3,493.4
2064	2,708,850	5,538,416.3	3,046,129.0	2,492,287.3	3,323.0
2065	2,708,850	5,268,304.6	2,897,567.5	2,370,737.1	3,161.0
2066	2,708,850	5,011,366.3	2,756,251.5	2,255,114.8	3,006.8
2067	2,708,850	4,766,959.1	2,621,827.5	2,145,131.6	2,860.2
2068	2,708,850	4,534,471.8	2,493,959.5	2,040,512.3	2,720.7
2069	2,708,850	4,313,323.0	2,372,327.6	1,940,995.3	2,588.0
2070	2,708,850	4,102,959.7	2,256,627.8	1,846,331.9	2,461.8
2071	2,708,850	3,902,856.0	2,146,570.8	1,756,285.2	2,341.7
2072	2,708,850	3,712,511.5	2,041,881.3	1,670,630.2	2,227.5
<b>TOTAL</b>	<b>2,708,850</b>	<b>394,312,843.3</b>	<b>216,872,063.8</b>	<b>177,440,779.5</b>	<b>720,087.0</b>

Fuente: Elaboración propia

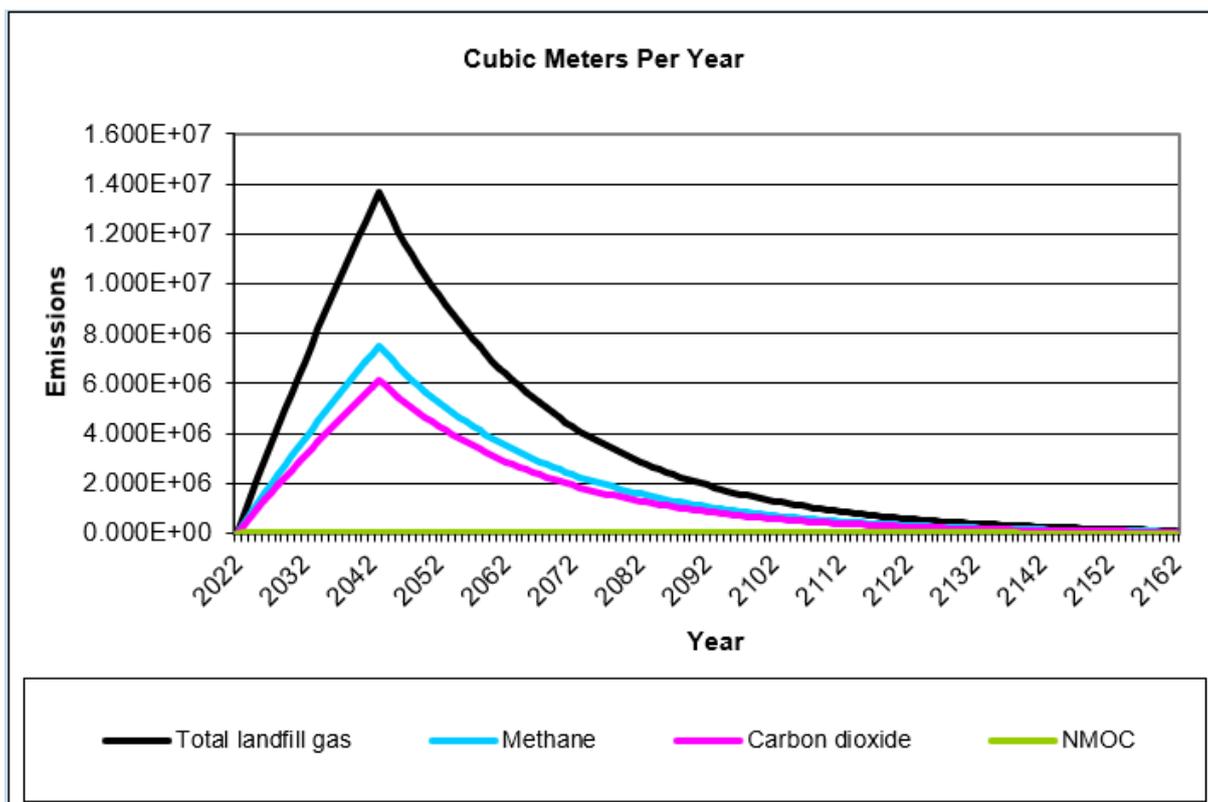
Como se observa en la tabla, según el modelo lanGEM, el año 2022 no se obtuvo biogás u otro compuesto esto debido a que está en implementación el relleno sanitario con 104,529 toneladas de residuos sólidos, generalmente se considera como “año cero” al primer año en que entra en operación este modelo.

Para los cálculos se estima que el relleno sanitario tenga una vida útil de 20 años que es el mismo tiempo en que viene funcionando el botadero de Haquira en nuestra ciudad el cual empezó a funcionar el mes de junio del año 2001, según los valores de k y Lo descritos el potencial de recuperación de biogás estimado llegara a su punto más alto un año después del año de clausura, es decir, en el año 2043 con 15,826,861.6m<sup>3</sup>/año de biogás. Posteriormente disminuirá, año tras año. Esto se presenta porque el modelo asume que la generación máxima normalmente ocurre en el año de clausura o al año siguiente, y la generación de biogás desciende exponencialmente en la medida en que la fracción orgánica de los residuos es consumida.



**Figura 2. Emanaciones de biogás en megagramos/año**

En la figura 2 se muestra la evolución en cuanto a la cantidad en megagramos/año de todos los gases de efecto invernadero (metano, CO<sub>2</sub>) recuperados, como se puede observar, la producción anual aumenta durante el primer año posterior al cierre del relleno sanitario. Sin embargo, a partir de ese momento, comienza a disminuir. Este patrón está relacionado con el hecho de que la introducción continua de residuos conlleva un aumento en la generación de gases. Dado que la fracción predominante de los residuos depositados en el relleno sanitario consiste en restos de alimentos, su capacidad para generar metano es limitada. Por lo tanto, una vez que el relleno se cierra, se inicia una disminución en la producción de gases.



**Figura 3. Emisiones de biogás en metros cúbicos/año**

En la figura 3 se muestra la recuperación de metano en metros cúbicos por año, según los parámetros ingresados el volumen de metano al 55% del volumen de biogás.

#### 4.1.4. Resultados del objetivo específico 3

Cantidad de energía eléctrica que se puede producir en MWh a partir del biogás producido en la provincia de Cusco, periodo 2022.

Para estimar la producción eléctrica necesitamos los factores de conversión entre el biogás, las calorías que se producen y la energía en watts que se generan a partir de la mezcla.

Otro parámetro característico importante en las centrales eléctricas de cogeneración es el rendimiento del generador, para nuestro caso toma un valor máximo de 40.01% a nivel del mar, en general, la mayoría de los fabricantes aseguran que los generadores no pierden su rendimiento hasta los 1.000 metros sobre el nivel del mar. Por encima de ese valor, la pérdida de rendimiento por altura media suele ser de un 3% por cada 500 m de altitud (35).

El combustible para utilizar será el biogás recolectado con una concentración al 55% de metano ya que a partir de concentraciones mayores al 45% esta mezcla es inflamable.

**Tabla 8: volumen de biogás generado:ch4, co2 y nmoc**

<b>Unidad</b>	<b>Equivalencia</b>
1 m3 de metano puro a condiciones normales	8702.77 kcal
1 m3 de biogás al 55% de metano	4786.52 kcal
1 kcal	1.163 w-h
1000 kw-h	1 Mw-h

**Tabla 9: Parámetros de rendimiento del generador de energía eléctrica.**

<b>Unidad</b>	<b>Equivalencia</b>
Eficiencia del motor-generador CAT- G3520C	41.01%
Perdida de eficiencia a más de 1000 msnm por cada 500 metros de altura	3%
Consumo promedio mensual de electricidad en el Cusco zona residencial	106kw-h/mes

Fuente: Elaboración propia

Transformación de biogás a energía eléctrica

1metro cubico de CH4 = 8702.77kilocalorias; la concentración de metano en el biogás liberado es del 55% entonces:

1metro cubico de biogás = (8702.77kcal) x (55)

100

1metro cubico de biogás= 4786.52 kcal

Transformando 1 metro cubico de biogás a calorías y a energía eléctrica

1metro cubico de biogás= (4786.52 kcal) x (1.163w-h)

1kcal

1metro cubico de biogás = 5.56672276 w-h

Aplicando el rendimiento del generador que es el 41.01% y reduciendo las perdidas por la altura del 3% por cada 500 metros por encima de los 1000 metros; entonces tenemos que el rendimiento final sería del  $41.01 - 3 \times 4 = 29.01\%$

1metro cubico de biogás = (5.56672276 w-h) x (29.01)

100

Finalmente, para realizar los cálculos tenemos que:

1metro cubico de biogás = 1.614908901 w-h

La tabla siguiente se da en mega watts al año y la cantidad de viviendas que podría suministrar la transformación de biogás a energía eléctrica.

**Tabla 10: Cantidad de energía generada en calorías al año**

<b>Año</b>	<b>Biogás recuperado (m3/año)</b>	<b>k-Calorías/año</b>	<b>Mw-h/año</b>	<b>Viviendas suministradas/año</b>
2022	0.0	0.0	0.0	0.0
2023	746,700.8	3,574,104,568.8	1,205.9	948.0
2024	1,478,930.1	7,078,940,569.8	2,388.3	2,926.9
2025	2,197,548.8	10,518,629,487.2	3,548.8	4,349.1
2026	2,903,390.1	13,897,159,068.8	4,688.7	5,746.0
2027	3,597,260.5	17,218,389,122.6	5,809.2	7,119.2
2028	4,279,940.7	20,486,057,096.9	6,911.7	8,470.2
2029	4,952,187.1	23,703,783,453.3	7,997.3	9,800.7
2030	5,614,732.7	26,875,076,839.4	9,067.3	11,111.9
2031	6,268,288.3	30,003,339,071.3	10,122.7	12,405.3
2032	6,913,543.2	33,091,869,932.2	11,164.7	13,682.3
2033	7,551,166.4	36,143,871,794.6	12,194.4	14,944.2
2034	8,181,807.7	39,162,454,074.1	13,212.9	16,192.2
2035	8,806,098.1	42,150,637,521.0	14,221.0	17,427.8
2036	9,424,651.0	45,111,358,356.3	15,220.0	18,651.9
2037	10,038,063.0	48,047,472,258.8	16,210.6	19,865.9
2038	10,646,914.7	50,961,758,208.8	17,193.8	21,070.8
2039	11,251,771.4	53,856,922,195.5	18,170.6	22,267.9
2040	11,853,184.1	56,735,600,791.6	19,141.8	23,458.1
2041	12,451,689.6	59,600,364,603.6	20,108.3	24,642.6
2042	13,047,812.1	62,453,721,599.7	21,071.0	25,822.3
2043	15,826,861.6	75,755,720,689.7	25,558.9	31,322.2
2044	15,054,976.4	72,061,070,594.3	24,312.4	29,794.6
2045	14,320,736.6	68,546,610,710.3	23,126.7	28,341.5
2046	13,622,306.0	65,203,553,057.5	21,998.8	26,959.3
2047	12,957,938.3	62,023,538,250.3	20,925.9	25,644.5
2048	12,325,972.2	58,998,614,595.3	19,905.3	24,393.8
2049	11,724,827.4	56,121,218,207.8	18,934.5	23,204.1
2050	11,153,000.9	53,384,154,098.1	18,011.1	22,072.4
2051	10,609,062.6	50,780,578,180.2	17,132.7	20,995.9
2052	10,091,652.5	48,303,980,158.2	16,297.1	19,971.9
2053	9,599,476.8	45,948,167,246.9	15,502.3	18,997.9
2054	9,131,304.8	43,707,248,687.2	14,746.2	18,071.4

2055	8,685,965.8	41,575,621,015.2	14,027.0	17,190.0
2056	8,262,346.3	39,547,954,051.6	13,342.9	16,351.6
2057	7,859,386.9	37,619,177,572.6	12,692.2	15,554.2
2058	7,476,080.1	35,784,468,632.6	12,073.2	14,795.6
2059	7,111,467.3	34,039,239,503.5	11,484.4	14,074.0
2060	6,764,637.0	32,379,126,203.3	10,924.3	13,387.6
2061	6,434,721.7	30,799,977,584.2	10,391.5	12,734.7
2062	6,120,896.7	29,297,844,952.1	9,884.7	12,113.6
2063	5,822,377.0	27,868,972,192.9	9,402.6	11,522.8
2064	5,538,416.3	26,509,786,380.5	8,944.0	10,960.8
2065	5,268,304.6	25,216,888,842.3	8,507.8	10,426.3
2066	5,011,366.3	23,987,046,661.2	8,092.9	9,917.8
2067	4,766,959.1	22,817,184,591.0	7,698.2	9,434.1
2068	4,534,471.8	21,704,377,367.2	7,322.8	8,974.0
2069	4,313,323.0	20,645,842,392.2	6,965.6	8,536.3
2070	4,102,959.7	19,638,932,777.0	6,625.9	8,120.0
2071	3,902,856.0	18,681,130,723.3	6,302.8	7,724.0
2072	3,712,511.5	17,770,041,226.9	5,995.4	7,347.3
<b>TOTAL</b>	<b>394,312,843.3</b>	<b>1,887,389,577,759.3</b>	<b>636,779.4</b>	<b>780,366.9</b>

Fuente: Elaboración propia

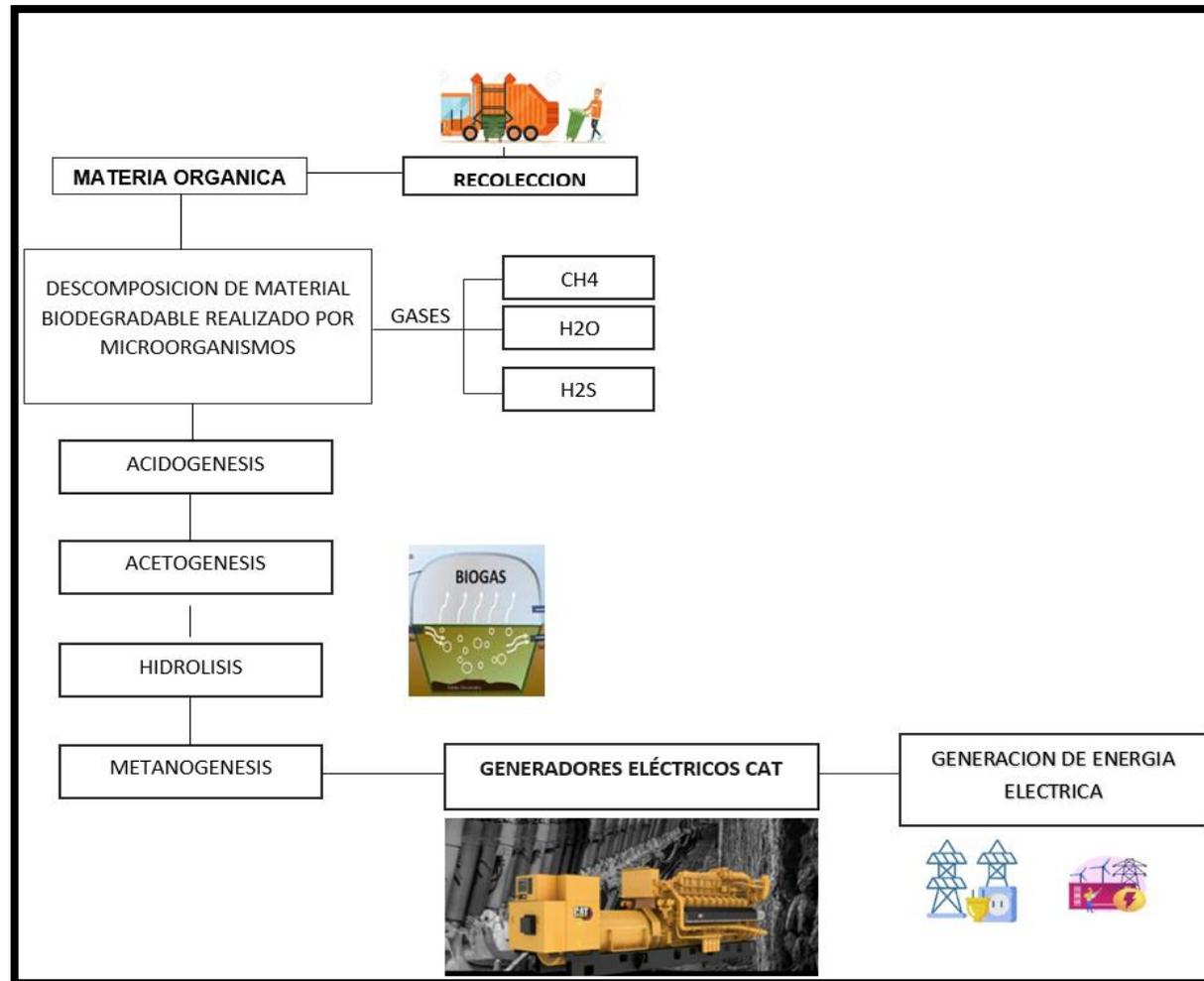
La tabla 10 muestra el comportamiento de la generación de energía eléctrica en Mw-h por año y su proyección hasta el año 2072.

En la tabla 10 podemos observar que el año 2023 se estarían generando 1,205.9 Mw-h lo suficiente para abastecer 948 viviendas y en su punto más alto estaría produciendo 25,558.9 Mw-h dando sustento a 31,322 viviendas y sumando el total hasta el año 2072 636,779Mw-h.

La generación total de energía eléctrica será 636,779 Mw de energía hasta el año 2072.

#### **4.1.5. Propuesta tecnológica para la producción de biogás, utilizando los residuos sólidos acopiados en la provincia de cusco, periodo 2022**

Se plantea a continuación el proceso de transformación de residuos solitos desde el recojo de los mismos hasta la producción de energía eléctrica para suministrar a la red.



**Figura 4. Procesamiento de los residuos hasta la producción eléctrica.**

Creado por el autor

## **Relleno sanitario**

Para producir biogás se planteará que la Municipalidad cree un relleno sanitario que estará formado por pozos de captación de biogás mediante un gaseoducto.

Los procesos de descomposición y fermentación producen metano, que es una causa importante del cambio climático en los vertederos. Los vertederos producen lixiviados y gases al descomponer los residuos. El agua y los desechos son principalmente entradas a un vertedero, y el gas se produce como resultado de procesos de fermentación en condiciones anaeróbicas. Alternativamente, estos procesos se pueden realizar en un relleno sanitario, que no produce gases ni lixiviados (22)

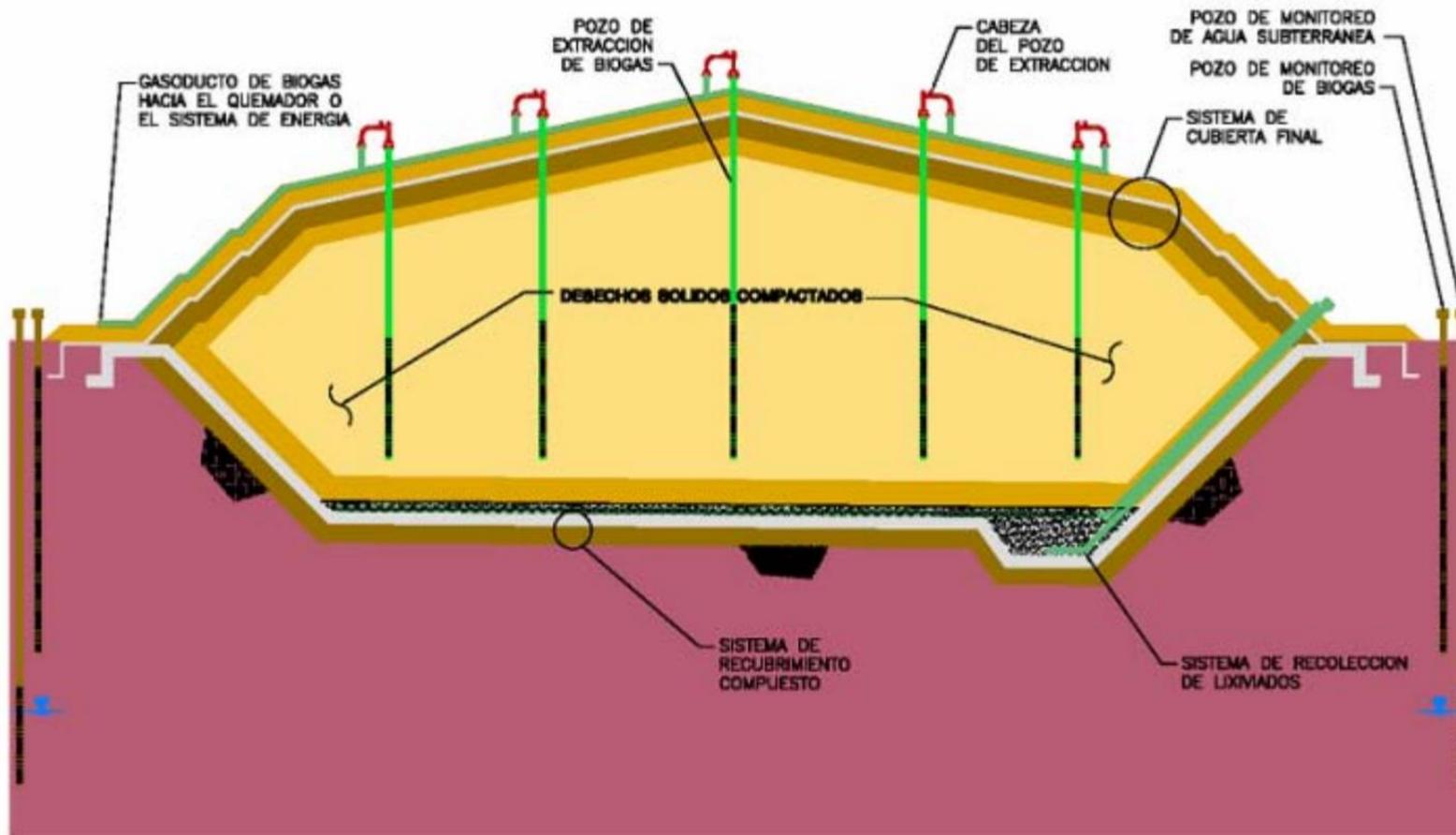
Diferentes materiales componen los residuos en un relleno sanitario urbano. En consecuencia, sus tasas de descomposición varían. Los desechos de alimentos se descomponen más rápido que los productos de papel. Algunos materiales resisten la biodegradación, incluidos el cuero, el caucho y algunos plásticos. Estos materiales resisten la biodegradación por organismos aeróbicos, pero los organismos anaeróbicos los descomponen. Los materiales que son más difíciles de descomponer normalmente producen más dióxido de carbono y metano cuando se descomponen. Esto se debe a que diferentes materiales producen diferentes cantidades de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> cuando se descomponen (22).

Después de que un nuevo vertedero libera biogás, generalmente pasan varios meses antes de que comience una producción significativa de biogás. Sin embargo, en los vertederos existentes, la producción de biogás suele notarse en una semana.

Diferentes factores determinan el tiempo que tarda la basura en descomponerse y producir biogás. Estos incluyen el grado en que la basura contiene nutrientes, así como la cantidad de organismos vivos que contiene. Otras variables involucradas incluyen la humedad, la temperatura y la densidad de compactación. Además, los niveles de pH y acidez juegan un papel en determinar cuándo ocurren estos resultados.

Al mantener un sello hermético, la capa de suelo sobre el vertedero evita que los RSU entren en contacto con la atmósfera. Como resultado, los microorganismos aeróbicos consumen el aire que atraviesa la basura para crear condiciones anaeróbicas que aceleran la velocidad a la que se descompone la basura. En menos tiempo del que tarda en recolectarse la basura, estas condiciones conducen a que las bacterias anaerobias produzcan biogás.

Muchos microorganismos aeróbicos degradan materiales orgánicos en la basura cuando se exponen al oxígeno. Hacerlo les otorga una gran cantidad de masa celular, pero este proceso no produce suficiente energía para convertirlo en aire inflamable.



**Figura 5. Modelo de relleno sanitario**

Tomado de biogás de rellenos sanitarios – generalidades (22)

La digestión anaeróbica es el principal proceso por el cual se descomponen los desechos de alimentos. Implica la descomposición de materiales sin oxígeno, lo que provoca la generación de gases inflamables llamados biogás. Los productores de biogás necesitan cantidades suficientes de nutrientes para el crecimiento bacteriano. Sin embargo, los productores de biogás deben evitar agregar detergentes, sales minerales y pesticidas a la mezcla. Si lo hace, impide la digestión anaeróbica, lo que reduce la producción de gas. Este mismo efecto también ocurre con nitrógeno y oxígeno en la mezcla.

La compactación de la basura reduce el tiempo que tarda en comenzar la digestión anaeróbica y aumenta la producción de biogás. Hacer esto aumenta el contacto cercano entre los nutrientes en la basura y agrega humedad para disminuir la exposición al oxígeno en diferentes tipos de desechos sólidos.

Predecir la tasa de degradación de los materiales biodegradables en un vertedero es más fácil cuando se mantienen condiciones constantes de producción de gas. Esto se debe a que las condiciones de proceso controladas producen gases más consistentes (22).

El gas generado en los vertederos se elimina a través de dos métodos. El primero es el drenaje pasivo, que utiliza la convección de gas natural para eliminar el gas del medio ambiente. El drenaje activo implica el uso de un soplador de aire para drenar el gas del área. Aunque el drenaje pasivo es más económico, solo puede eliminar de manera eficiente el 10 % del gas generado en un vertedero.

Este método para generar biogás implica el uso de una bomba de aire conectada a tuberías que conducen a un sistema de pozos para recolectar biogás. Los pozos se incorporan al vertedero y se utiliza una bomba de aire para crear un vacío en cada uno. Esta acción hace que el biogás se escape por las tuberías (22).

El sistema de drenaje activo contiene muchas partes, como se indica a continuación.

**Colectores de gas:** Las tuberías de un colector de gas se conectan horizontalmente entre los pozos de recolección. Estas tuberías recogen el material gaseoso que conecta los pozos entre sí, manteniéndolo seguro. También hay un colector primario ubicado lejos del vertedero con un terreno menos inestable para evitar asentamientos.

**Puntos de Recolección:** Un punto de recolección es donde se dirige el biogás después de ser recolectado de los pozos. Esto podría ser un tanque de almacenamiento o una tubería. Es posible que aquí se condense agua adicional. En consecuencia, se requieren herramientas precisas de medición y ajuste para trabajar con el agua de esta zona.

Separador de agua: Un decantador evita que el condensado se mezcle con la masa gaseosa circundante.

Tubo de aspiración de gas: Un tubo de succión de gas conecta los pozos de recolección a un soplador. Utiliza un vacío creado por los gases que pasan a través del tubo.

Soplador: El vacío producido por el soplador extrae los gases del vertedero y alivia la presión en el tanque de almacenamiento o incinerador.

Tubo de transporte: Los gases ingresan al incinerador a través del tubo de transporte.

Antorcha: Una antorcha es una unidad destinada a iniciar una reacción de biogás.

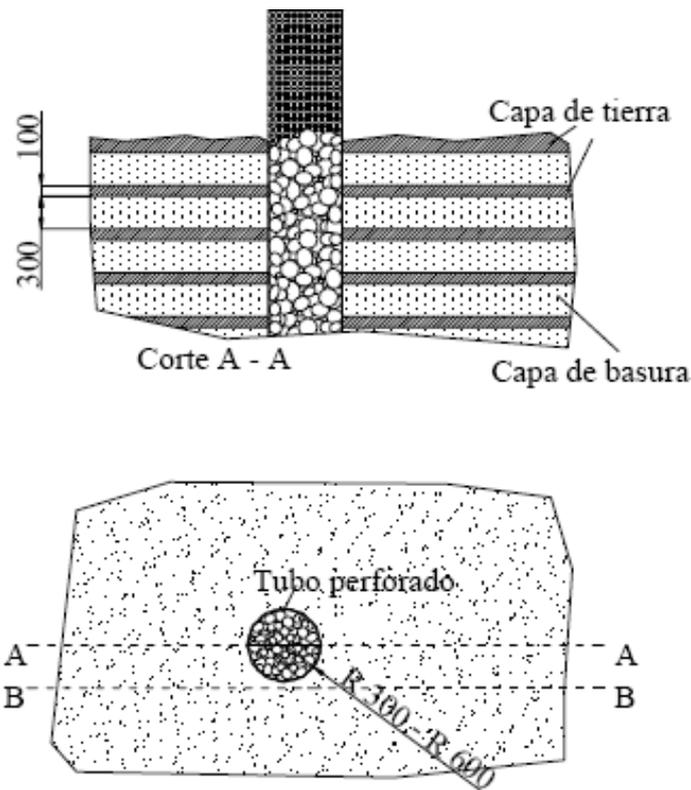
Incinerador: Un incinerador requiere una antorcha, un equipo de tratamiento de gas y otros equipos de aprovechamiento para funcionar (22).

Para que el efecto de vacío sea duradero, el soplador debe arrastrar la basura por todo su cuerpo. Debe tener una capacidad de succión adecuada en función de la cantidad de biogás que produce el sistema. Las tuberías de succión más cortas facilitan el mantenimiento de bajas pérdidas de presión. Es posible reparar un sistema de saneamiento dañado cambiándolo para incluir pozos de recolección. Esto se puede hacer colocando tuberías horizontales en diferentes lugares dentro del depósito de basura.

Drenaje pasivo con pozos de recolección

Los cabezales de pozo colocados a través del vertedero utilizan la difusión horizontal de gas a través de la basura para recolectar y liberar gases. Estos pozos contienen altas tasas de permeabilidad al gas, lo que permite desalojar su gran cantidad. Este proceso utiliza pozos colocados a través del relleno sanitario para recolectar y liberar gases de manera controlada fuera del vertedero.

*Pozos de tubo perforado*, se incorpora un conjunto de perforaciones en las paredes del tubo. El diámetro recomendado de estos pozos está entre 0,6 y 1,2 metros con preferencia por este último. Se prefieren tubos de plástico, generalmente polipropileno, con orificios de 2 cm de diámetro para la creación de estos pozos. Después de agregar grava o piedra esférica al interior del tubo, el paquete terminado está listo para usarse en granjas y jardines.



**Figura 6. Tubos para extraer biogás**

Tomado de biogás de rellenos sanitarios – generalidades (22)

#### Grupos electrógenos CAT

El metano se introduce en un generador de gas Cat como combustible. Estos generadores están específicamente diseñados para la operación en rellenos sanitarios con:

- Una bomba de ventilación del cárter expulsa los gases ácidos de derivación potencialmente ácidos
- Núcleos del postenfriador, culatas de cilindro, rodamientos principales y rodamientos de bielas especialmente diseñados que están protegidos contra elementos corrosivos
- Sistemas de enfriamiento diferenciados para operar a temperaturas de agua de las camisas elevadas para evitar la condensación de los contaminantes.

El equipo de conmutación Cat con controles basados en PLC se suministra para poner en paralelo los generadores y la red eléctrica local para exportar energía renovable con prima al servicio público de electricidad local

Entonces, se escoge 2 grupos electrógenos a gas G3520C, cuyas características son las siguientes:

**Tabla 11: Características del grupo electrógeno**

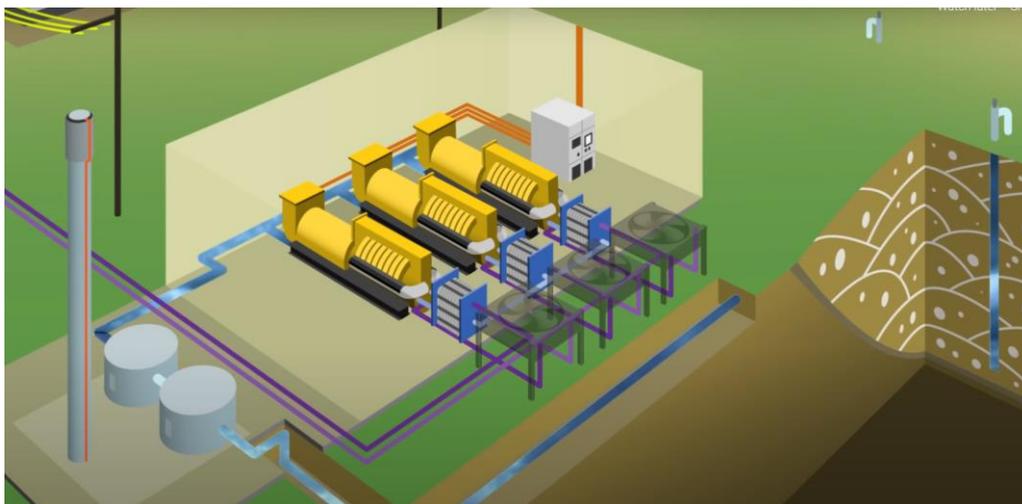
<b>Clasificación continua máxima</b>	<b>2050 <u>ekW</u></b>
<b>Tipo de combustible</b>	Biogás
<b>Máxima eficiencia eléctrica</b>	40.10%
<b>Frecuencia</b>	50/60Hz
<b>Modelo de motor</b>	G3520C

Fuente: Tomado de la empresa CAT (23)



**Figura 7. Grupo electrógeno CAT**

Tomado de la empresa CAT (23)



**Figura 8. Montaje de los grupos electrógenos en el relleno sanitario**

Tomado de la empresa CAT (23)

Costo para la implementación de un relleno sanitario y la producción de energía eléctrica

**Tabla 12: Costo para la implementación de un relleno sanitario y la producción de energía eléctrica**

<b>Acciones</b>	<b>Costo en \$ (doláres)</b>
Implementación de un relleno sanitario	12000000.00
Generadores eléctricos	150000.00
Instalación de los generadores	1000000.00
Implementación de una subestación eléctrica	3000000.00
<b>Total</b>	<b>16000.00</b>

Tomado de Siles, Fabian. Generación de energía eléctrica a partir de producción de biogás, 2012.

En la tabla 10, se puede observar que el costo de la implementación para un relleno sanitario y para la producción de energía eléctrica es de 16,15 millones de dólares americanos.

Para la estimación de producción de biogás se empleó el modelo de producción de biogás triangular planteado por Tchobanoglous, en donde se calcula la producción de dicho gas a partir de los diferentes residuos orgánicos de acuerdo a si se degradan de forma rápida o lenta (21).

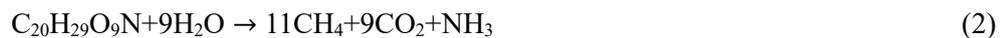
Dado que los residuos orgánicos constituyen una proporción significativa de los residuos sólidos en la provincia de Cusco, existe una oportunidad para aprovechar estos residuos como fuente de biomasa para la generación de energía eléctrica. La tecnología de digestión anaeróbica puede convertir los residuos orgánicos en biogás, que puede ser utilizado para generar electricidad y calor.

Entonces, se tiene que, a partir de las ecuaciones estequiométricas, los valores de producción para la producción de biogás, formado de metano y dióxido de carbono.

Reacción de residuos rápidamente biodegradables



Reacción de residuos lentamente biodegradables



Y sabiendo las densidades del metano y dióxido de carbono y con correcciones dadas por el mismo autor se obtiene que la producción de biogás es:

$$GRB= 250 \text{ l biogás/kg (residuos rápidamente biodegradables)} \quad (3)$$

$$GLB=180 \text{ l biogás/ kg (residuos lentamente biodegradables)} \quad (4)$$

Se tiene entonces que en lo que se desecha el 90% de los residuos es del tipo rápidamente biodegradable y el 10% es del tipo lentamente biodegradable (21). Por lo cual, de un valor de un valor de 1 ton, se tiene que la producción de desechos de residuos.

**Tabla 13: Cálculos para la producción de biogás de acuerdo con la biodegradación**

<b>Tipos de residuos de acuerdo con la biodegradación</b>	<b>Producción de biogás</b>
90% de los residuos es del tipo rápidamente biodegradable	Producción=1 ton
10% de los residuos es del tipo lentamente biodegradable	Biogás a partir de residuos rápidamente biodegradable = $250 \times 900 = 225000$ litros
	Biogás a partir de residuos lentamente biodegradable = $180 \times 100 = 18000$ litros
	Biogás total= 243000 litros

Fuente: Elaboración propia

Además, cabe señalar los siguientes cálculos para la producción de energía eléctrica que se puede observar en la tabla 13.

**Tabla 14: Cálculos para la producción de energía eléctrica**

Biogás y equivalencia con la gasolina	1m <sup>3</sup> de biogás equivale a 0.71 litros de gasolina	243000 l de biogás equivale a 243 m <sup>3</sup> , entonces equivale a 172.53 litros de gasolina
Gasolina y equivalencia con la energía eléctrica	1 litro de gasolina equivale a 9.2 kWh	172.53 litros de gasolina equivale a 1587.28 kWh
Residuos y equivalencia con la cantidad de residuos	1 ton de residuos equivale a 243 m3 de biogás	59846.4 ton de desechos recogidos por la municipalidad en un año, 47.83% es orgánico = 28624.53 ton en un año
Residuos y equivalencia con la energía eléctrica producida	1 ton de residuos equivale a 1587.28 kWh	28624.53 ton en un año equivale a 45435.14 MWh.
Eficiencia del generador	máxima eficiencia del generador eléctrico 40.10%,	18219.49 MWh de energía eléctrica

Tomado de Dávila, J. “Biogás de rellenos sanitarios, generalidades”. Methane to Markets, 2009.  
(22)

Entonces de la tabla anterior se tiene que de 59846.4 ton de desechos recogidos por la municipalidad en un año, se tiene que 47.83% es orgánico, por lo cual se tiene 28624.53 ton en un año, lo que equivale a un valor energético de 45435.14 MWh.

Debemos tomar en cuenta que, según las características del generador eléctrico, se tiene una máxima eficiencia de 40.10%, por lo cual se tendría en un año la producción de energía eléctrica de 18219.49 MWh.

**Tabla 15: Componentes del biogás**

<b>Componentes</b>	<b>% en base seca</b>
Metano	55-75%
Dióxido de carbono	35-45%
Nitrógeno	1-3%
Oxígeno	1%
Sulfuros	0.4%
Amoniaco	1%
Hidrógeno	0.2%
Monóxido de carbono	0.2%
Componentes de trazas	0.2%

Tomado de Dávila, J. “Biogas de rellenos sanitarios, generalidades”. Methane to Markets, 2009.  
(22)

El biogás está conformado por metano en un 55% y dióxido de carbono con 40%, los demás gases forman el 10% restante que se describe en la tabla anterior.

Para la propuesta tecnológica, se toma como referencia los datos obtenidos en la tabla 7, en cuya proyección al año 2023, la población de cusco ha generado una cantidad de 746,700.8 m<sup>3</sup> en todo el año.

Para la estimación de equivalencia entre biogás y Watt-h, utilizamos las tablas 8 y 9, de las cuales se obtiene la siguiente equivalencia.

1 metro cubico de biogás = 1.61 w-h

De acuerdo con esta equivalencia, se tiene que para un volumen de 746,700.8 m<sup>3</sup> generados en el año 2023, obtenemos un total de 1,205.9 Mw-h por año. Así mismo, según el tarifario de Electro Sur Este, el costo de 1wkh es de 0.6284 soles. Por lo cual el volumen de biogás producido en el año 2023 genera un total de 757,222.00 soles. Esta cantidad de dinero se podría obtener a partir de la transformación de biogás a energía eléctrica, haciendo uso de un generador eléctrico.

En la tabla 10, encontramos que el volumen de biogás generado en el periodo de 2023 es capaz de suministrar de energía a 948 viviendas, con un consumo normal de energía eléctrica.

En la ciudad de cusco, existen muchos centros poblados que tienen un promedio de viviendas que no superan las 1000 unidades, por lo que el biogás recuperado a partir de los residuos sólidos podría fácilmente abastecer a estos centros poblados de energía eléctrica durante todo el año. Teniendo así un ahorro significativo favor de los pobladores.

## **4.2. Discusión de resultados**

Partiendo del objetivo general fue el de determinar la caracterización de los residuos sólidos acopiados en la provincia de Cusco, periodo 2022 y que con una gestión adecuada de residuos sólidos es posible transformar esta materia prima en energía, ya sea térmica, eléctrica o mecánica

Los resultados de la investigación indican que una proporción significativa del 56,38%, específicamente más del cincuenta y seis por ciento, de los residuos sólidos que se recolectan en la provincia de Cusco se clasifican como desechos orgánicos. Esta es una parte sustancial del total de residuos generados en la región. Además, un estudio adicional realizado por Madrigal (24) revela que el 54% de los residuos están clasificados como residuos orgánicos, mientras que Ambuludi (36) informa de los resultados que muestran la producción de biogás a partir del 66,01% de la materia orgánica. En todos los casos mencionados, es evidente que más de la mitad de los residuos sólidos totales están compuestos de materiales orgánicos. Cabe destacar que un caso excepcional destacado en la investigación son los resultados presentados por García y Tenorio (7), que muestran un porcentaje notablemente alto del 81,14% de los residuos orgánicos identificados en la provincia de Bagua.

Madrigal (24) utiliza el modelo LandGem, específicamente la versión 3.02, junto con parámetros preestablecidos que presentan valores asignados a las constantes k, que se determina en 0,050 por año, y la constante Lo se establece en 170 m<sup>3</sup>/ton, respectivamente. Además, el modelo incorpora un total de 72.364,87 toneladas de residuos sólidos, caracterizados por una composición compuesta por un 54% de materia orgánica. Mediante la utilización de este modelo, el cálculo revela la producción de un volumen sustancial de 719.871,49 m<sup>3</sup> de metano. Por el contrario, la investigación actual descrita en el presente estudio logra extraer 410.685 m<sup>3</sup> de metano, empleando una cantidad menor de residuos sólidos, específicamente 106.602 toneladas, y los desechos orgánicos constituyen el 56,38% de la composición total. En consecuencia, este enfoque da como resultado que la generación de metano casi duplique la cantidad producida en el escenario anterior, al tiempo que utiliza una cantidad reducida de residuos sólidos. Este resultado implica que se prevé que la generación posterior de energía eléctrica supere los niveles alcanzados en el esfuerzo de investigación actual.

Respecto a los gases de efecto invernadero (GEI), Vargas y Ramírez (6), demostró, que procesando 108 toneladas de residuos sólidos se deja de emitir a la atmosfera 1,128 toneladas de GEI mientras que en nuestro estudio determina 957.4 toneladas de GEI que son recuperados para ser aprovechados como combustible.

En cuanto a la generación de energía eléctrica, Mamani y Pacco (9) estimaron que se puede producir 9,964.35 kw-h de energía eléctrica cada día usando sistemas de biodigestores, en nuestro estudio se pudo estimar una producción de 33,497.22 kw-h diarios el primer año de extracción de biogás, una cifra comparativamente mayor, mientras que Madrigal (24) estimó en 3,038 Mwh versus los 1,205 Mwh,

En la siguiente tabla comparativo de potencial de generación eléctrica en el primer año.

**Tabla 16. Comparativa de producción de energía eléctrica a partir de residuos**

<b>Referencia</b>	<b>Población(hab)</b>	<b>GPC domiciliaria (kg-día/hab)</b>	<b>Generación de residuos sólidos (t/día)</b>	<b>Fracción de residuos orgánicos (%)</b>	<b>Producción de metano (m3/día)</b>	<b>Producción de energía eléctrica (Mwh/año)</b>
Madrigal (24)	225,146	0.72	198,26	54.19	29,925,493	3038
Ambuludi (36)	722657	0.67	484,180	66.1	1 653,511	17693
Cusco (este estudio)	503,552	0.58	286.4	56.38	410,685	1205

Como se puede apreciar el potencial de generación de Cusco es menor a los hallados por Madrigal (24) quien trabajo con los valores de k y Lo por defecto y Ambuludi (36) cuyos datos de población, GPC domiciliaria, fracción de residuos orgánicos son mayores obtuvo mayos generación de energía eléctrica con 17,693Mwh el primer año.

## CONCLUSIONES

1. Los residuos sólidos domésticos acopiados de la Provincia de Cusco se caracterizan por presentar los siguientes componentes: materiales orgánicos totales con un 56.38%, esta es la categoría más grande y comprende principalmente materia orgánica (50.25%) y madera, follaje (6.13%), materiales reaprovechables de 16.13%, materiales no reaprovechables 14.03%, residuos inertes 7.66%, residuos sanitarios 5.71% y otros un 0.27% en total.
2. El centro urbano de Cusco alberga una población de 493 761 personas, lo que generó un total de 60 627 toneladas de residuos sólidos en el año 2022. La porción de desechos orgánicos recolectados dentro de la jurisdicción de Cusco representa el 56,38% del total de desechos sólidos generados. Se prevé que para el año 2042, la cantidad total de residuos individuales recolectados alcance las 1.560.372 toneladas, abarcando materiales de desecho orgánicos y no orgánicos.
3. El cálculo del volumen de biogás se realizó utilizando la versión 3.02 de LandGem. El modelo requería entradas de datos específicas, incluidas la estimación anual (k) y  $L_0$ , para proyectar el total de residuos sólidos hasta el año 2042. El porcentaje estimado de metano resultante fue de 746.700 metros cúbicos de biogás durante el año operativo inicial. Posteriormente, la cantidad máxima alcanzó los 15.826,861 metros cúbicos de metano en 2043, el año previsto en que cesarían los vertederos para la eliminación de residuos sólidos. Como se describe en el modelo, se espera que la producción de biogás continúe durante 20 años más. Esta proyección indica un promedio de 8.829.041 toneladas de biogás en un período de 40 años, con un total de 353.161.675 toneladas acumuladas para su uso futuro.
4. Con respecto a la producción de electricidad, las cantidades iniciales de biogás extraídas anualmente sirvieron como punto de referencia fundamental. Se tuvieron en cuenta varios factores, como el porcentaje de concentración de metano, su poder calorífico, la equivalencia de energía eléctrica, la eficiencia de la maquinaria generadora y la degradación del rendimiento debida a la elevación. Este enfoque dio como resultado una producción de electricidad de 1.205 MW en el año inaugural, que alcanzó un máximo de 25.559 MW en 2043 y un promedio de 14.258 MW anuales en un período de 40 años. En consecuencia, esta capacidad podría satisfacer las necesidades de electricidad de 17 460 hogares en el mismo período de tiempo.
5. La investigación concluye proponiendo un análisis de posible solución sustentable para el manejo de residuos sólidos en el Cusco, a través de la conversión de residuos orgánicos domésticos urbanos para la producción de metano y su uso para generar electricidad a poblaciones que no cuenten con este servicio.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a la Municipalidad Provincial del Cusco especialmente a las áreas responsables del manejo de residuos sólidos la implementación de vehículos recolectores en número acorde al volumen de residuos sólidos calculados en este estudio para una gestión eficiente de los mismos.
2. La estimación del biogás mediante el uso del modelo matemático landGEM así como el cálculo de los datos de entrada para dicho modelo resultan de mucha ayuda al momento del dimensionamiento del relleno sanitario así como de la infraestructura, talento humano multidisciplinario requeridos para su funcionamiento.
3. Finalmente, el modelo matemático landGEM y su utilidad para la estimación de metano de los rellenos sanitarios son fundamentales para considerar el posible impacto que puedan generar en el medio ambiente, así como también ayudan a mantener un inventario de los gases de efecto invernadero y a llevar un control sobre los mismos, sin embargo, para obtener resultados más cercanos a la realidad, la elección de los parámetros debe ser la más adecuada a la geografía de la zona así como la caracterización de los residuos sólidos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. IRENA. “*Transformación energética mundial: hoja de ruta hasta 2050*”. Online. 2018. Available from: [www.irena.org](http://www.irena.org)
2. KAZA, S, YAO, L, BHADA, P, VAN, F, LONKOVA, K, MORTON, J, POVEDA, A, SARRAF, M and MALKAWI, F. “*Banco Mundial: Desechos generados a nivel mundial*”. Online. Siria, 2015. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/269107473\\_What\\_is\\_governance/link/548173090cf22525dcb61443/download%0Ahttp://www.econ.upf.edu/~reynal/Civilwars\\_12December2010.pdf%0Ahttps://think-asia.org/handle/11540/8282%0Ahttps://www.jstor.org/stable/41857625](https://www.researchgate.net/publication/269107473_What_is_governance/link/548173090cf22525dcb61443/download%0Ahttp://www.econ.upf.edu/~reynal/Civilwars_12December2010.pdf%0Ahttps://think-asia.org/handle/11540/8282%0Ahttps://www.jstor.org/stable/41857625)
3. SINIA. *Cifras ambientales 2017* Online. Lima, 2017. Available from: [https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/archivos/public/docs/cifras\\_ambientales\\_2017\\_alta.pdf](https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/archivos/public/docs/cifras_ambientales_2017_alta.pdf)
4. ABARCA, L, MAAS, G and HOGGLAND, W. “Desafíos en la gestión de residuos sólidos para las ciudades de países en desarrollo”. 2013. 2015. P. 27.
5. O’BRIEN, J. “Análisis de las diferentes técnicas para el aprovechamiento energético de los residuos orgánicos municipales e industriales”. Universidad Católica San Pablo, 2019.
6. VARGAS, F and RAMÍREZ, Y. “Potencial de energía calorífica de los residuos sólidos municipales para reemplazar el carbón mineral”. Colombia, 2014.
7. GARCIA, M and TENORIO, J. “Potencial de producción de biogas para la generación de energía eléctrica en el relleno sanitario de la provincia de Bagua, Amazonas”. Universidad Toribio Rodríguez Mendoza de Amazonas, 2020.
8. MANAY, R. “Generación de energía eléctrica mediante biogas de los residuos orgánicos ganaderos y energía solar fotovoltaica en el caserío Chenten de la provincia Chota - Huambos - Cajamarca”. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2019.
9. MAMANI, R and PACCO, C. “Propuesta de diseño de una planta de biodigestión para el aprovechamiento energético de residuos orgánicos del relleno sanitario de Chilla-Juliaca”. Universidad Nacional del Altiplano, 2021.
10. BOGGIANO, M. “Valorización energética de los residuos sólidos domiciliarios de la ciudad de Trujillo”. Universidad Nacional de Trujillo, 2020.

11. RABANAL, W. “Caracterización de los residuos sólidos de competencia municipal, que permitiría el diseño del relleno sanitario y la evaluación de impactos ambientales en la ciudad de Chota”. Universidad Nacional de Cajamarca, 2017.
12. VARNERO, M. “Manual de biogás: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables”. Santiago de Chile, 2011.
13. CASTRO, L, CARBALLO, M, HERRERO, J and ESCALANTE, H. “Monitoreo a escala de realde un digestor anaeróbico de bajo costo instalado en una planta de sacrificio animal”. Online. 2017. P. 44. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/321344943>
14. GÓMEZ, E, RODRÍGUEZ, J and TORRES, A. “Implementación de un biodigestor para el aprovechamiento de los residuos de las granajas porcinas en el municipio de Tibana”. Universidad Católica de Colombia, 2017.
15. MORALES, E. “Evaluación de la estabilidad de un digestor anaerobio termófilo”. In: 2020. p. 12.
16. IDAE. “Biomasa: Digestores anaerobios”. Madrid, 2007.
17. VALLADARES, F. “Modelamiento del proceso de digestión anaeróbica de estiércol vacuno y cáscara de cacao”. Universidad de Piura, 2017.
18. NÚÑEZ, L. “Modelamiento y control de proceso de digestión anaerobia para la producción de biogás a partir de residuos orgánicos y/o aguas residuales”. Piura: Universidad de Piura, 2017.
19. BAENA, G. *Metodología de la investigación*. Online. Mexico, 2014. ISBN 9786077440031. Available from: <http://www.editorialpatria.com.mx/pdf/files/9786074384093.pdf>
20. MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CUSCO. “Generación de residuos”. Cusco, 2015. Online. Perú 2022. Available from: <https://www.cusco.gob.pe/wp-content/uploads/2015/05/2-3-5-sub-componente-residuos-y-energia.pdf>
22. DAVILA, J. “Biogas de rellenos sanitarios, generalidades”. Methane to Markets, 2009.
23. CAT. “Generadores de metano para rellenos sanitarios”. 2022.

- 24 MADRIGAL, G, QUISPE, J and VARGAS, Y." Cálculo de la generación de biogás para el relleno sanitario de la ciudad de Juliaca, utilizando el modelo LandGEM Versión 3.02 de la USEPA y estimación del potencial de producción eléctrica" Online. Revista de Investigación: Ciencia, Tecnología y Desarrollo, Perú, 2018. Available from: [https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/ri\\_ctd/article/view/1096/pdf](https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/ri_ctd/article/view/1096/pdf)
- 25 Alexander, A., C. Burklin, AND A. Singleton. "LANDFILL GAS EMISSIONS MODEL (LANDGEM) VERSION 3.02". U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-05/047 (NTIS PB2006-102386), 2005.
- 26 INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA. "CUSCO RESULTADOS DEFINITIVOS 2018" Available from: [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1559/08TOMO\\_01.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1559/08TOMO_01.pdf)
- 27 S. Fallahizadeh, M. Rahmatinia, Z. Mohammadi, M. Vaezzadeh, A. Tajamiri, and H. J. M. Soleimani, "Estimation of methane gas by LandGEM model from Yasuj municipal solid waste landfill, Iran," vol. 6, pp. 391-398, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.02.013>.
- 28 <https://es.weatherspark.com/y/25926/Clima-promedio-en-Cuzco-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- 29 OSINERGMIN. *Informe de Resultados Consumo y Usos de la Electricidad* Online 2018. Lima, 2018. Available from: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1414562/ERCUE%20Electricidad%202018.pdf>
- 30 EPA. *LANDFILL GAS EMISSIONS MODEL (LANDGEM) VERSION 3.02 USER'S GUIDE* Online 2023. USA, 2023. Available from: [https://cfpub.epa.gov/si/si\\_public\\_record\\_report.cfm?Lab=NRMRL&dirEntryId=130863](https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?Lab=NRMRL&dirEntryId=130863)
- 31 UNIVERSIDAD PERUANA UNION *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo Vol. 4 Núm. 2 (2018)* Online 2023. Perú 2023. Available from: [https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/ri\\_ctd/article/view/1096](https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/ri_ctd/article/view/1096)
- 32 EPA. Reglamento para el Diseño, Operación y Mantenimiento de Infraestructuras de Disposición Final de Residuos Sólidos del Ámbito Municipal Online 2023. Perú, 2023. Available from: [http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma\\_consulta/Relleno\\_sanitario.pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma_consulta/Relleno_sanitario.pdf)

- 33 FAO. *Manual de Biogás 2011*. Online 2023. Chile, 2022. Available from: <https://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>
- 34 SINIA Generación per cápita de residuos sólidos por departamento Available from: <https://sinia.minam.gob.pe/indicador/1601>
- 35 MESONES, R. “*GENERACION Y GESTION DE RESIDUOS SOLIDOS DOMICILIARIOS EN LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DEL CUSCO 2015-2018*”. Online. Peru, 2018. Available from: [https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/6556/253T20221043\\_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/6556/253T20221043_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- 35 GENESAL ENERGY. *Temperatura y altitud: como afectan el rendimiento de un generador*. Online 2022. Available from: <https://genesalenergy.com/comunicacion/articulos/temperatura-y-altitud-como-afectan-a-la-potencia-de-un-generador/>

## ANEXOS

### ANEXO 1: INVITACIÓN A LA POBLACIÓN DE LA PROVINCIA DE CUSCO

ANEXOS

*Anexo 1. Invitación a la población del distrito de Cusco*

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE CUSCO

CARTA CIRCULAR N° 001 -2022

Municipalidad Distrital de Cusco

Sr(a): Victor Boluarte Nedma

Dirección: Galenas Tunshicas S/N Av el Sol - Cusco

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL  
DEL CUSCO  
TRAMITE DOCUMENTARIO  
**RECIBIDO**  
05 MAY 2022  
222237  
Reg. N° 135

Asunto: Invitación a ser parte del estudio de Caracterización  
de Residuos Sólidos Municipales en el Distrito de Cusco.

De mi consideración:

La presente es para saludarle cordialmente e invitarle al estudio de Caracterización de Residuos Sólidos domiciliarios en el distrito de Cusco, con la finalidad de conocer las características físicas (cantidad y tipos) de residuos sólidos que se generan dentro de nuestra jurisdicción, buscando con ello mejorar la gestión integral de residuos sólidos domiciliarios.

Por ello se quiere su colaboración para ser parte de este estudio, con las siguientes actividades:

1. Registro de su vivienda como participante del estudio.
2. Recepción de bolsas diferenciadas para la recolección de residuos sólidos.
3. Entrega de bolsas de residuos de 24 h de generación al personal autorizado, durante los 8 días consecutivos que les indique la promotora ambiental.

Finalmente se agradece su colaboración para la realización de este estudio temporal de los residuos sólidos municipales, para consultas o dudas comunicarse al cel: 942220620 – 983269688.

Sin otro particular, quedo con usted.

Atentamente

## ANEXO 2: INVITACIÓN A LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CUSCO

Anexo 2. Invitación a la Municipalidad distrital del Cusco

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL  
DEL CUSCO  
TRAMITE DOCUMENTARIO  
**RECIBIDO**  
05 MAY 2022  
022237  
Reg. N° 135

ASUNTO: REALIZAR UN ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN SOBRE  
LOS RESIDUOS SOLIDOS DEL DISTRITO DE CUSCO.

Municipalidad Distrital de Cusco.

Señor:

Victor Boluarte Medina  
Alcalde distrital de Cusco

Nosotras, Flor K. Melgarejo Montalvo con DNI N° 70900412 con domicilio actual en Arahuy LL-7, y Wendy R. Choquehuanca Huayllani con DNI N° 73487288, con domicilio en APV.Floresta del Inka B-3, bachiller en Ingeniería Ambiental, egresadas de la universidad Alas Peruanas, ante ud. Con el debido respeto nos expresamos y exponemos lo siguiente:

Que realizando la investigación de tesis que lleva como título **“Caracterización de los residuos sólidos para la generación de energía eléctrica en la provincia de Cusco, periodo 2022”**, el mismo por cual requerimos diversos tipos de información y coordinación para llevar a cabo el desarrollo de nuestra tesis, informamos a su despacho de su prestigiosa institución que se le proporcionara los resultados de la tesis ya que es beneficio del distrito.

Sin otro particular agradecemos su atención, aprovechamos la oportunidad para expresarle a usted las consideraciones y estima personal.

Cusco 5 de mayo de 2022

Atentamente

### ANEXO 3: PADRÓN DE LOS PREDIOS NO DOMICILIARIOS

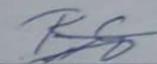
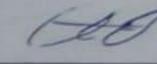
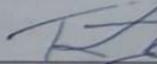
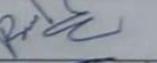
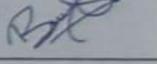
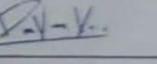
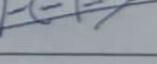
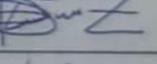
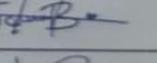
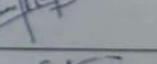
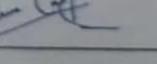
RELACION DE VIVIENDAS EMPADRONADAS QUE PARTICIPANON EN EL ESTUDIO DE CARACTERIZACION DE LOS RESIDUOS SOLIDOS ORGANICOS EN EL DISTRITO DE CUSCO-2022								
N°	Codigo	Direccion	Nombre y Apellido del representante	Celular	N° de habitantes	Zona / Sector	Tipo de residuo	Firma
1	D01	Jiron 12 de abril X-2	Juana Huamani Peña	084221215	2	Los Andenes, Uchullo	organico	
2	D02	Av. Sacsayhuaman Y-1	Maria L. Pilco Quispe	973648981	2	Los Andenes, Uchullo	Inorganico	
3	D03	Jr. Sacsayhuaman W-12	Nadia Condor Victoria	956942885	10	Los Andenes, Uchullo	Inorganico	
4	D04	Jr. Nozco T-5	Marcelina Quispe Toledo	SN	4	Los Andenes, Uchullo	organico	
5	D05	ub Inca Garcilaso A-6	Reyno Palma Delgado	984737398	4	Los Andenes, Uchullo	organico	
6	D06	ub. Inca Garcilaso C-8	Rodolfo E. Coapa Argque	984847994	4	Los Andenes, Uchullo	organico	
7	D07	ub. Inca Garcilaso C-7	Yesica Argque Paulo	SN	3	Los Andenes Uchullo	Inorganico	
8	D08	ub. Inca Garcilaso A-2	Adelaida Quintanilla	984829011	7	Zona nor este	Inorganico	
9	D09	calle sacsayhuaman	María Mejía Vilca	445870300	2	Zona nor este	Inorganico	
10	D10	calle Nochica T-13	Elisia Lequi Sacari	945870300	5	Zona nor este	organico	
11	D11	Sara Sara P-12	Rocío Melendez Almonza	SN	2	Zona nor este	organico	
12	D12	Sara Sara P-11	Yennifer Sanchez Consino	913148973	4	Los Andenes, Uchullo	Inorganico	
13	D13	ub Inca Garcilaso S/N	Olinda Quintanilla Chamba	968654936	2	Los Andenes, Uchullo	Inorganico	
14	D14	ub. Pimayo de mayo	Angel Lopez Ramos	SN	2	Los Andenes, Uchullo	Inorganico	
15	D15	ub. 1ro de mayo B-1A	Violeta Chopichampi Aquino	SN	5	Los Andenes, Uchullo	organico	
16	D16	calle pensamiento F-1	Elisabeth Roa Sitivallanca	SN	9	Marsical Ganara 11 <sup>ta</sup> etapa	organico	
17	D17	ub. 1 <sup>ro</sup> de mayo G-12	Lino Quispe Ramos	SN	7	Marsical Ganara 11 <sup>ta</sup> etapa	organico	
18	D18	ub. 11 <sup>o</sup> de mayo G-4	Elena Lopez Perez	969608060	6	Marsical Ganara 11 <sup>ta</sup> etapa	organico	
19	D19	Los Dallos E-2	Hans Quispe Hologado	94086307	5	Marsical Ganara 11 <sup>ta</sup> etapa	Inorganico	
20	D20	ub. 1 <sup>ro</sup> de mayo B-10	Marco A. Huaman Tacuri	912636353	7	Marsical Ganara 11 <sup>ta</sup> etapa	Inorganico	
21	D21	ub. 1 <sup>ro</sup> de mayo K-1-6	Ulma Gamara	94959009	4	Marsical Ganara 12 <sup>da</sup> etapa	Inorganico	
22	D22	ub. los portales B-10	Juan J. Villalba Callana	984297790	7	Marsical Ganara 12 <sup>da</sup> etapa	organico	
23	D23	ub. los llamaados	Aurelia Quispe Mercado	917313776	6	Marsical Ganara 12 <sup>da</sup> etapa	organico	
24	D24	ub. 1 <sup>ro</sup> de mayo C-5	Luz D. Quisquina Alvarez	997853970	6	Marsical Ganara 12 <sup>da</sup> etapa	Inorganico	
25	D25	ub. 1 <sup>ro</sup> de mayo F-7	Nico Luz Condori Naza	SN	5	Marsical Ganara 12 <sup>da</sup> etapa	organico	
26	D26	Hiravalle -J pensamiento	Alexy Manala Rios	940202839	3	Marsical Ganara 12 <sup>da</sup> etapa	organico	
27	D27	ub. 1 <sup>ro</sup> de mayo A-5	Edwin Macedo Minon	953723935	4	Marsical Ganara 12 <sup>da</sup> etapa	organico	
28	D28	ub. 1 <sup>ro</sup> de mayo A-25	Rocio Montes Flores	974796388	3	Marsical Ganara 12 <sup>da</sup> etapa	Inorganico	

RELACION DE VIVIENDAS EMPADRONADAS QUE PARTICIPAN EN EL ESTUDIO DE CARACTERIZACION DE  
LOS RESIDUOS SOLIDOS ORGANICOS EN EL DISTRITO DE CUSCO-2022

N°	Codigo	Direccion	Nombre y Apellido del representante	Celular	N° de habitantes	Zona / Sector	Tipo de residuo	Firma
1	D29	JR Antisuyo B-9	David Hermoso Caimen	930128847	18	Masical Gamara / 2do etapa	inorganico	
2	D30	JR Antisuyo M-1	Giovana Espinoza Yanéz	959105011	5	Masical Gamara / 2do etapa	inorganico	
3	D31	JR Antisuyo F4-A	Ana M. Mendoza Quispe	974206255	4	Masical Gamara / 2do etapa	inorganico	
4	D32	Av. Antisuyo F-11	Leonardo Vargas Carden	SN	2	Masical Gamara / 2do etapa	organico	
5	D33	Urb. Masical Gamara B-1	Pamela Huancra Crana	967835957	3	M6 / zona residencial	organico	
6	D34	Urb. Masical Gamara A-1	Gerardo Diaz Nina	954067734	7	M6 / zona residencial	organico	
7	D35	Urb. Masical Gamara 4-0	Oscar R. Guzman Letona	SN	4	M6 / zona residencial	organico	
8	D36	Urb. Masical Gamara 2-E	Carmen E. Huanda Muñiz	SN	4	M6 / zona residencial	organico	
9	D37	Urb. Masical Gamara B-10	Dalvina Tito Borreda	SN	4	M6 / zona residencial	organico	
10	D38	Urb. Masical Gamara 8-E	Hugo Toreros Rodriguez	SN	3	M6 / zona residencial	organico	
11	D39	Urb. Masical Gamara 8-0	Yanet Faifan Guzman	SN	4	Los Andenes, Uchullo	inorganico	
12	D40	Urb. Masical Gamara 15-A	Cesar Alaya Vallenas	SN	3	Los Andenes, Uchullo	organico	
13	D41	Urb. Masical Gamara 2-F	Anny Vargas Peña	473075509	4	Los Andenes, Uchullo	organico	
14	D42	Urb. Masical Gamara 4-11	Frida Montalvo	92654482	3	Los Andenes, Uchullo	organico	
15	D43	Urb. Masical Gamara 16-0	Juan G. Rivas Quinones	984733749	3	Los Andenes, Uchullo	inorganico	
16	D44	Urb. Masical Gamara A-8	Katherine Cruzado Gamales	SN	4	Uchullo, zona na este	inorganico	
17	D45	Urb. Masical Gamara A-4	Hilda Yepel de Lopez	SN	2	Uchullo, zona na este	organico	
18	D46	Urb. Masical Gamara B-12	Catalina Coana Matto	SN	3	Uchullo, zona na este	organico	
19	D47	Urb. Masical Gamara A-12	Carmen R. Rojas	SN	3	Uchullo, zona na este	inorganico	
20	D48	Urb. Masical Gamara B-03	Juan Moncho Duran	SN	5	Los Andenes, Uchullo	inorganico	
21	D49	Urb. Masical Gamara A-13	Melisa Luna Marquina	SN	6	Los Andenes, Uchullo	organico	
22	D50	Urb. Masical Gamara A-5	Higuel Gamara Gutierrez	SN	6	M6, zona residencial	organico	
23	D51	Urb. Masical Gamara A-7	Jawia Jaiden Delgado	SN	3	M6, zona residencial	organico	
24	D52	Urb. Masical Gamara D-1	Gerardo Carden Sayri	SN	5	M6, zona residencial	organico	
25	D53	Urb. Masical Gamara A-41	Dolotea Castania Vargas	SN	3	M6 / zona residencial	inorganico	
26	D54	Urb. Masical Gamara A-34	Ailando Cajigas Vargas	984765111	2	M6, zona residencial	organico	
27	D55	Urb. Masical Gamara A-60	Glodys Tarago Gamara	SN	6	Los Andenes, Uchullo	organico	
28	D56	Urb. Masical Gamara E-7	Rodrigo Plancoste Ulla	98438249	5	Los Andenes, Uchullo	organico	

RELACION DE VIVIENDAS EMPADRONAS QUE PARTICIPAN EN EL ESTUDIO DE CARACTERIZACION DE  
LOS RESIDUOS SOLIDOS ORGANICOS EN EL DISTRITO DE CUSCO-2022

N°	Codigo	Direccion	Nombre y Apellido del representante	Celular	N° de habitantes	Zona / Sector	Tipo de residuo	Firma
57	D 57	Urb. Mariscal Gamarró 2da etapa B-12	Raida Rocío Samanez de Martínez	-	4	Mariscal Gamarró / 2da etapa	orgánico	
58	D 58	Urb. Mariscal Gamarró 2da etapa A-8	Juan Santiago Flores Baldeon	-	9	Mariscal Gamarró / 2da etapa	Orgánico	
59	D 59	Urb. Mariscal Gamarró 2da etapa A1-409	Javier Boanerges Jordan Dalgado	-	6	Mariscal Gamarró / 2da etapa	orgánico	
60	D 60	Urb. Mariscal Gamarró 2da etapa A1-411	Ana Maria Masciotti Yabar	-	5	Mariscal Gamarró / 2da etapa	Inorgánico	
61	D 61	Urb. Mariscal Gamarró Gardenias I-E 1era etapa	Ana Patricia Yabar Calderon	97308509	3	Mariscal Gamarró / 1era etapa	Inorgánico	
62	D 62	Calle Nicacela Bastidas A-4	Sofía Camero Paz	914703915	5	Los Andes Uccullo / zona Nor Oeste	Inorgánico	
63	D 63	Calle Nicacela Bastidas C-4	Anyil Eliana Ayavcan coa	-	9	Los Andes Uccullo / zona Nor Este	Organico	
64	D 64	Calle Nicacela Bastidas C-9A	Justina Castro Baca	958261825	7	Los Andes Uccullo / zona Nor Oeste	Inorgánico	
65	D 65	Calle Nicacela Bastidas C-9B	Maiza Jara Ramirez	915521133	6	Los Andes Uccullo / zona Nor Oeste	Organico	
66	D 66	Ferique España D-2	Adela Ramos de Gularro	980933270	8	Los Andes Uccullo / zona Nor Oeste	Organico	
67	D 67	Parque España D-7	Lucy Juana Montenegro Peralta	993665106	3	Los Andes Uccullo / zona Nor Oeste	Inorgánico	

RELACION DE VIVIENDAS EMPADRONAS QUE PARTICIPAN EN EL ESTUDIO DE CARACTERIZACION DE LOS RESIDUOS SOLIDOS ORGANICOS EN EL DISTRITO DE CUSCO-2022								
N°	Codigo	Direccion	Nombre y Apellido del representante	Celular	N° de habitantes	Zona / Sector	Tipo de residuo	Firma
68	D 68	Parque España D-8	Haydee Huamán Espino	921662581	3	Los Andes, Uccullo / zona Nor Este	Orgánico	
69	D 69	Cruz Pata J-1A	Jhon Humberto Canillo Enriquez	982472188	7	Los Andes, Uccullo / zona Nor Este	Inorgánico	
70	D 70	Cruz Pata H-7	Alajandro Laguna Olivarez	984455721	5	Los Andes Uccullo / zona Nor Este	Orgánico	
71	D 71	Cruz Pata Sin Numero	David Arzapalo Planco	993678412	10	Los Andes Uccullo / zona Nor Este	Inorgánico	
72	D 72	Calle Cristo Pobre C-30	Braulio Quespa Baños	-	7	Los Andes Uccullo / zona Nor Este	Orgánico	
73	D 73	Calle Cristo Pobre B-2	Vidal Polomino Cavaredas	-	4	Los Andes Uccullo / zona Nor Este	Inorgánico	
74	D 74	Calle Cristo Pobre B-3	Virginia Navarri Vargas	-	3	Los Andes Uccullo / zona Nor Este	Orgánico	
75	D 75	APV Los Angeles	Karen Fluyra Bombilla Huallpayuna	91366563	4	Los Andes Uccullo / zona Nor Este	Orgánico	
76	D 76	APV Los Angeles G-1	Jessica Zuriga Barrial	-	5	Los Andes Uccullo / zona Nor Este	Inorgánico	
77	D 77	APV los Angeles O-4	Paul Joseph Tora Puz	-	3	Los Andes Uccullo / zona Nor Este	Inorgánico	
78	D 78	APV Los Angeles C-12	Jeronima Huamán de Charalla	-	7	Los Andes Uccullo / zona Nor Este	Inorgánico	

## ANEXO 4: REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1: Encuesta para el estudio de caracterización



Fotografía 2: Recojo de residuos no domiciliarios



Fotografía 3: Recojo de residuos orgánicos



Fotografía 4: Clasificación / selección de los residuos sólidos.



Fotografía 5: Disposición final de los residuos sólidos caracterizados.



Fotografía 6: Acopio de residuos orgánicos (Chocco)



Fotografía 7: Acopio de residuos sólidos (Chocco)



Fotografía 8: Diseño de una planta de biogás

