



Universidad
Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de
Ingeniería Eléctrica

**Determinación de la potencia eléctrica a
partir del biogás obtenido de los residuos
sólidos municipales de la Provincia de
Huancayo**

Irving Aldo Huaylinos Sosa

Huancayo, 2018

Tesis para optar el Título Profesional de
Ingeniero Electricista



Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Obra protegida bajo la licencia de [Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/peru/)

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todas las personas, entidades públicas e instituciones, que de alguna manera u otra me apoyó para la realización del presente estudio.

- Al Ing. David Jacob Checa Cervantes por su acertado asesoramiento.
- Al Mg. Carlos Recuay Salazar por brindarme las pautas de elaboración y redacción de una tesis.
- Al Ing. Humberto Huester, Gerente de Operaciones de la Empresa Diestra SAC, por brindarme una entrevista, resolviendo interrogantes y mostrándome el camino en la búsqueda de información.
- Al Ing. Saúl Hurtado, quien labora en el INEI, por aclarar mis dudas acerca de la población y su proyección.
- A la Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. por responderme los correos enviados, aclarando mis interrogantes.
- A las municipalidades distritales de El Tambo, Huancayo y Chilca por brindarme la información solicitada.

DEDICATORIA

A Dios por bendecirme y enseñarme el camino a seguir.

A mi madre Rosa, que gracias a su esfuerzo y coraje me dio todo lo necesario para salir adelante.

A mis hermanas y hermanos que me aprecian y consideran tanto.

A mi padre Sabino que desde algún lugar me guía para ser una mejor persona.

A mi esposa Ana, por su amor, por su entrega incondicional hacia nuestra familia, por su apoyo y aliento en todo momento, en especial cuando sentía flaquear.

A mis hijos Camilo y Valeria por llenarme de mucho amor y orgullo en cada una de sus ocurrencias, y porque son mi constante y mayor motivación

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO.....	II
DEDICATORIA.....	III
ÍNDICE.....	IV
RESUMEN.....	XII
ABSTRACT.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XIV
CAPÍTULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	1
1.1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.1.2. Formulación del problema.....	2
1.2. Objetivos.....	2
1.2.1. Objetivo general.....	2
1.2.2. Objetivos específicos.....	2
1.3. Justificación e Importancia.....	3
1.3.1. Justificación Económica.....	3
1.3.2. Justificación Técnica.....	3
1.3.3. Justificación Social.....	3
1.3.4. Justificación Ambiental.....	4
1.3.5. Importancia y beneficios.....	4
1.4. Descripción de variables.....	4
1.4.1. Variable Independiente.....	4
1.4.2. Variable Dependiente.....	4
CAPÍTULO II.....	5
MARCO TEÓRICO.....	5

2.1.	Antecedentes del problema	5
2.2.	Bases teóricas	9
2.2.1.	Residuos Sólidos Municipales	9
2.2.1.1.	Clasificación por su Naturaleza	9
2.2.1.2.	Estudio de Caracterización de RSM.....	10
2.2.1.3.	Disposición final	13
2.2.2.	Relleno Sanitario	13
2.2.2.1.	Ubicación.....	14
2.2.2.2.	Vida Útil	14
2.2.2.3.	Operación	15
2.2.2.4.	Cobertura.....	15
2.2.2.5.	Profundidad	15
2.2.3.	Biogás en Rellenos Sanitarios	15
2.2.3.1.	Composición.....	15
2.2.3.2.	Fases de Producción	17
2.2.3.3.	Extracción.....	19
2.2.3.4.	Tratamiento	20
2.2.3.5.	Poder calorífico del combustible	21
2.2.4.	Modelos para estimar la generación de biogás en rellenos sanitarios	21
2.2.4.1.	Modelo Scholl Canyon.	21
2.2.4.2.	Modelo IPCC	23
2.2.4.3.	Estimación de la Eficiencia de Captura y Recuperación de Biogás	30
2.2.5.	Potencia Eléctrica	30
2.2.5.1.	Central termoeléctrica a biomasa	30
2.2.5.2.	Generación Eléctrica a partir de Biogás	30
2.2.5.3.	Tecnologías de Generación Eléctrica a partir de Biogás	31
2.2.5.4.	Factores de Diseño	34
2.2.5.5.	Consumo específico de combustible	36

2.2.5.6.	Eficiencia térmica	36
2.2.5.7.	Estimación del potencial de generación de energía bruta	37
2.2.5.8.	Estimación del potencial de generación de energía neta	37
2.2.5.9.	Factor de planta	37
2.2.5.10.	Costos de inversión y O&M	38
2.3.	Marco Legal en el Perú.....	39
2.3.1.	Decreto Legislativo N° 1002. De promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables	39
2.3.2.	Decreto Legislativo N° 1278: Ley de gestión integral de residuos sólidos ..	39
2.3.3.	Reglamento de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos	39
2.4.	Definición de términos básicos.....	40
CAPÍTULO III.....		41
METODOLOGÍA.....		41
3.1.	Método y alcance de la investigación.....	41
3.2.	Diseño de la investigación	41
3.3.	Población y muestra	42
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	43
CAPÍTULO IV		45
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		45
4.1.	Resultados del tratamiento y análisis de la información	45
4.1.1.	Composición Física de los Residuos Sólidos Municipales de la provincia de Huancayo.....	45
4.1.2.	Generación de Residuos Sólidos Municipales en la provincia de Huancayo ..	47
4.1.2.1.	Población estimada y proyectada de la provincia de Huancayo.....	47
4.1.2.2.	Proyección de la Generación Per cápita de la provincia de Huancayo	47
4.1.2.3.	Generación de RSM por año en la provincia de Huancayo	48
4.1.3.	Parámetros del relleno sanitario	51

4.1.4.	Generación de Biogás a partir de RSM generados en la Provincia de Huancayo.....	51
4.1.4.1.	Modelo Scholl Canyon	52
4.1.4.2.	Modelo IPCC	53
4.1.5.	Eficiencia de Recuperación de Biogás.	62
4.1.6.	Potencia Eléctrica generada con el biogás proveniente de los RSM de la provincia de Huancayo.....	64
4.1.6.1.	Tecnología de Conversión de Biogás a Electricidad.....	64
4.1.6.2.	Energía térmica del biogás	65
4.1.6.3.	Potencia Eléctrica generada.....	66
4.1.7.	Costos, Ingresos y Cobertura de Generación en el Valle de Mantaro.....	68
4.1.7.1.	Costos de Inversión e Ingresos	68
4.1.7.2.	Cobertura de generación en el Valle del Mantaro.....	70
4.2.	Discusión de resultados.....	70
4.2.1.	Interpretación de resultados.....	70
4.2.2.	Comparación de resultados.	72
4.2.3.	Evaluación de resultados	73
4.2.4.	Consecuencias teóricas	75
4.2.5.	Aplicaciones Prácticas.....	75
CONCLUSIONES.....		76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		78
ANEXOS.....		82
Anexo 1: Solicitud de Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales del Distrito de El Tambo		83
Anexo 2: Resumen del Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales del Distrito de El Tambo 2015		84
Anexo 3: Solicitud de Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales del Distrito de Huancayo		87

Anexo 4: Resumen del Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales del Distrito de Huancayo 2016	88
Anexo 5: Solicitud de Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales del Distrito de Chilca.....	91
Anexo 6: Resumen de Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales del Distrito de Chilca 2016.....	92
Anexo 7: Proyección de la Población Anual de los Distritos de Huancayo, Chilca y El Tambo	95
Anexo 8: Registro Nacional de Municipalidades (RENAMU)	96
Anexo 9: Resultados de la Prueba de Rendimiento de las Unidades CAT Grupos 1, 2 y 3 de la CTB Huaycoloro.....	97
Anexo 10: Factor de Planta Anual de las Centrales Eléctricas 2016	98
Anexo 11: Ficha Técnica de la Central Térmica de Huaycoloro	99
Anexo 12: Demanda y Oferta en el Valle del Mantaro.....	100
Anexo 13: Entrevista Realizada a la Empresa Diestra SAC.....	101
Anexo 14: Respuesta al Correo Electrónico Enviado a la Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. (EPA)	102
Anexo 15: Matriz De Consistencia	103
Anexo 16: Operacionalización de la Variable	104

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Componentes del biogás proveniente de un Relleno Sanitario	16
Tabla 2: Duración típica de las fases de generación de biogás en un relleno sanitario....	18
Tabla 3: Valores por defecto para el contenido de DOC y carbono fósil en los diferentes tipos de desechos.....	26
Tabla 4: Clasificación de los SEDS y Factores de Corrección de metano (MCF)	27
Tabla 5: Valores del índice de generación de metano (k) por defecto.....	29
Tabla 6: Información típica de las tecnologías de conversión de biogás.....	35
Tabla 7: Ventajas y desventajas de las tecnologías de conversión de biogás	35
Tabla 8: Costos típicos de generación eléctrica usando biogás	38
Tabla 9: Composición Física de los RSM generados en la provincia de Huancayo	45
Tabla 10: Resultados de los censos nacionales 1993/2007 de los distritos de Huancayo, Chilca y El Tambo	47
Tabla 11: GPC Municipal de los distritos de Huancayo, Chilca y El Tambo.....	48
Tabla 12: Generación anual de RSM en la provincia de Huancayo 2016 - 2035.....	49
Tabla 13: Parámetros del relleno sanitario	51
Tabla 14: Generación de Biogás a partir de los RSM de la provincia de Huancayo - Modelo Scholl Canyon.....	52
Tabla 15: Masa de cada tipo de residuo de los RSM generados en la provincia de Huancayo.....	54
Tabla 16: Porcentaje de DOC de cada componente de los RSM.....	55
Tabla 17: Índice de generación de metano (k) para cada tipo de desecho de los RSM...	55
Tabla 18: DDOCm depositado en un relleno sanitario por tipo de residuo orgánico.....	56
Tabla 19: DDOCm acumulado al final de cada año	58
Tabla 20: DDOCm descompuesto cada año	59
Tabla 21: Generación de metano en cada año por tipo de residuo	60
Tabla 22: Generación de biogás por año a partir de los RSM de la provincia de Huancayo - Modelo IPCC	61
Tabla 23: Cantidad de biogás recuperado con una eficiencia de 50%	62
Tabla 24: Rangos típicos de flujos de biogás (m ³ /min) para cada tipo de tecnología	64
Tabla 25: Flujos de Biogás (m ³ /min) recuperado en cada año	65
Tabla 26: Potencia Eléctrica Neta Generada a partir del biogás	67
Tabla 27: Costos de Inversión para una Central Térmica en Huancayo	69
Tabla 28: Ingresos anuales de una Central Térmica en Huancayo	69
Tabla 29: Máxima demanda y Potencia instalada por año en el Valle del Mantaro	70

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: RSM inadecuadamente dispuestos a orillas del Rio Mantaro.	1
Figura 2: Esquema de un relleno sanitario moderno.....	14
Figura 3: Cambios en la composición típica del biogás después del confinamiento de RSM.	18
Figura 4: Pozo de Extracción Horizontal y Vertical	19
Figura 5: Diagrama esquemático de conversión de Biogás en una planta de eléctrica....	31
Figura 6: Motor de Combustión Interna de 4 tiempos	32
Figura 7: Turbina de Gas	33
Figura 8: Diseño esquemático de una Microturbina	34
Figura 9: Porcentaje de residuos orgánicos e inorgánicos en los RSM generados en la provincia de Huancayo	46
Figura 10: Toneladas de RSM generados en la provincia de Huancayo por año	50
Figura 11: Porcentaje de RSM generados en la provincia de Huancayo por distrito (El Tambo, Huancayo, Chilca).....	50
Figura 12: Curva de Generación y Recuperación de biogás 2016-2056.....	63
Figura 13: Curva de Potencia Eléctrica Generada a partir del biogás de obtenido de los RSM de la provincia de Huancayo 2016-2056	68

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Cálculo de composición de residuos (Porcentaje)	10
Ecuación 2: Cálculo de población proyectada.....	10
Ecuación 3: Cálculo de la tasa de crecimiento poblacional	11
Ecuación 4: Generación per cápita	11
Ecuación 5: Proyección de GPC.....	12
Ecuación 6: Generación total de residuos sólidos.....	13
Ecuación 7: Ecuación de Generación de metano según modelo Scholl Canyon.....	22
Ecuación 8: Cálculo del DOCm disuelto con los datos sobre eliminación de desechos ...	23
Ecuación 9: Ecuación de la descomposición de primer orden.....	24
Ecuación 10: DDOCm acumulado al termino del año T.....	24
Ecuación 11: DDOCm descompuesto durante el año T.....	25
Ecuación 12: Metano generado a partir del DDOCm descompuesto	25
Ecuación 13: Relación entre Heat Rate y la eficiencia térmica.....	36
Ecuación 14: Formula del potencial de generación de energía bruta.....	37
Ecuación 15: Factor de planta	37

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo determinar la potencia eléctrica generada a través de la conversión del biogás obtenido de los residuos sólidos municipales (RSM) de la provincia de Huancayo dispuestos en un relleno sanitario.

El método de investigación fue la modelación, ya que se simuló idealmente un relleno sanitario en donde se confinarían los residuos sólidos municipales generados en la provincia de Huancayo, el nivel o alcance del estudio fue cuantitativo descriptivo, el diseño fue no experimental, y se utilizó la técnica de recopilación y análisis de datos secundarios.

Para lograr el objetivo trazado se asumió que a partir del 2016 entró en funcionamiento un relleno sanitario en donde se depositarían los RSM generados en la provincia de Huancayo durante 20 años. A partir de este escenario se estimó la cantidad de biogás producido y recuperado en cada año empleando dos modelos de cálculo (Scholl Canyon e IPCC). Finalmente se determinó que la potencia eléctrica generada a través del poder calorífico inferior del biogás (456.5 Btu/pe^3) y la eficiencia térmica del equipo de conversión (32%) logrando obtener como primer resultado 159 kW para el año 2017.

También se llegó a la conclusión, que con una disposición constante de RSM en un relleno sanitario por 20 años, se podría generar 1.5 MW por 20 años (2027–2046) según el modelo Scholl Canyon, o se podría generar una potencia eléctrica de 1 MW sostenida por 15 años (2026-2040) según el modelo IPCC.

Palabras claves: Residuos Sólidos Municipales, Biogás, Rellenos Sanitarios, Potencia Eléctrica

ABSTRACT

The objective of this research work was to determine the electrical power generated through the conversion of biogas obtained from the municipal solid waste (MSW) of the province of Huancayo disposed in a sanitary landfill.

The research method was modeling, which was simulated ideally for the sanitary in which municipal solid waste generated in the province of Huancayo would be confined, the level and scope of the study was quantitative descriptive, the design was experimental, and the secondary data collection and analysis technique.

To achieve the objective, it was assumed that from 2016 a sanitary landfill would be in operation where the MSW would be deposited in the province of Huancayo for 20 years. From this scenario, the amount of biogas produced and recovered in each year was estimated using the calculation models (Scholl Canyon and IPCC). Finally, it was determined that the electric power generated through the lower calorific value of the biogas (456.5 Btu / ft³) and the thermal efficiency of the conversion equipment (32%) achieved 159 kW as the first result for the year 2017.

It was also conclude with a constant update of RSM in a sanitary landfill for 20 years, it could generate 1.5 MW for 20 years (2027-2046) according to the Scholl Canyon model, or we could generate an electric power of one MW sustained by 15 years (2026-2040) according to the IPCC model.

Keywords: Municipal Solid Waste, Biogas, Sanitary Landfills, Electric Power

INTRODUCCIÓN

Actualmente los residuos sólidos municipales (RSM) generados en la provincia de Huancayo se desechan y se recolectan sin ser seleccionados, teniendo como disposición final botaderos informales a cielo abierto, desperdiciando así el potencial energético que contienen.

La presente investigación tuvo como objetivo general determinar la potencia eléctrica generada a través de la conversión del biogás obtenido de los residuos sólidos municipales de la provincia de Huancayo.

Teniendo como principal antecedente el estudio del Uso de los Residuos Sólidos Municipales para la Generación de Energía Eléctrica en la Provincia del Santa - Chimbote, que tuvo como objetivo determinar el potencial energético, analizar las características físicas y el tipo de tratamiento de los RSM para su valorización energética.

La investigación tuvo como variable independiente los residuos sólidos municipales y como variable dependiente la potencia eléctrica, por ello se describieron en el marco teórico los temas de caracterización de RSM, parámetros de un relleno sanitario, composición de biogás, modelos de estimación de generación de biogás, potencia eléctrica y tecnologías de conversión.

Para lograr el objetivo trazado se simuló que a partir del 2016 entro en funcionamiento un relleno sanitario en donde se depositarían los RSM generados en la provincia de Huancayo durante 20 años. A partir de este escenario se calculó la cantidad y la composición de los residuos sólidos municipales, para luego estimar el nivel de biogás producido y recuperado en cada año empleando dos modelos de cálculo (Scholl Canyon e IPCC). Finalmente se determinó que la potencia eléctrica generada a través del poder calorífico inferior del biogás (456.5 Btu/pe^3) y la eficiencia térmica del equipo de conversión (32%)

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

Según el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) a través de su página Web menciona que “Ha denunciado a la Municipalidad Provincial de Huancayo y a la Municipalidad Distrital de El Tambo, ante la Contraloría General de la República y ante el Ministerio Público, por la inadecuada disposición final de residuos sólidos en el botadero “El Edén” y en el botadero “Agua de las Vírgenes”, respectivamente, ubicados a orillas del río Mantaro”, tal y como se muestra en la figura 1. (1)



Figura 1. RSM inadecuadamente dispuestos a orillas del Río Mantaro. Tomado de Pagina Web del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental – OEFA.

Según una publicación del diario Correo menciona, que existe un total desaprovechamiento del potencial económico en la reutilización, reciclaje, conversión a fertilizantes o energía de la basura en Huancayo, advirtieron los comisionados del “Programa Ciudades Emergentes y Sostenibles” (CES), del Banco Interamericano de Desarrollo (BID). La observación fue diagnosticada luego de dos años de estudio sobre los principales problemas de la ciudad. Según el estudio del BID, plasmado en el Plan de Acción, que denominaron, “Huancayo: Hacia una ciudad sostenible por la senda del buen gobierno”, la mayoría de los huancaínos, no tiene la práctica de separar sus residuos sólidos, menos existen sistemas organizados y maquinaria para la recolección de material reciclado. De este modo, solo el 7% de los residuos sólidos son desviados de la cadena para ser transformados o reciclados. Es decir, más de 20 mil toneladas por año se desechan sin ser aprovechados. (2)

Según La Empresa Peruanos Trabajando por un Ambiente más Saludable (Petramas) SAC menciona en una publicación cuyo título es Energía Eléctrica a Partir De La Basura que “El proyecto de Petramás que genera energía eléctrica a partir de la basura, emplea el biogás generado en las plataformas del relleno sanitario Huaycoloro para la generación eléctrica, para lo cual se ha instalado una moderna estación automatizada de limpieza de biogás, una moderna central de Generación de 4.8 MW, una sala de control, una subestación de elevación de voltaje de 480V a 22,900V, una red de transmisión de 5.5 Km y una subestación de recepción para la interconexión con las redes del SEIN¹”. (3)

1.1.2. Formulación del problema

¿Cuál sería la potencia eléctrica generada a partir del biogás obtenido de los residuos sólidos municipales de la provincia de Huancayo?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar la potencia eléctrica generada a través de la conversión del biogás obtenido de los residuos sólidos municipales de la provincia de Huancayo.

1.2.2. Objetivos específicos

- Describir la composición y la cantidad de los residuos sólidos municipales generados en la provincia de Huancayo.

¹ SEIN: Sistema Eléctrico Interconectado Nacional

- Estimar la cantidad del biogás obtenido a partir de los residuos sólidos municipales de la provincia de Huancayo.
- Seleccionar la tecnología idónea de generación eléctrica mediante la conversión de biogás para la provincia de Huancayo.

1.3. Justificación e Importancia

1.3.1. Justificación Económica

Los proyectos de rellenos sanitarios con aprovechamiento energético son financiados y respaldados por entidades mundialmente reconocidas como el Banco Mundial y el BID². Un relleno sanitario al utilizar el biogás generado, y disminuir la emisión de metano a la atmosfera recibe incentivos económicos denominados bonos de carbono, y por la generación de energía eléctrica recibe ingresos por kWh suministrado al SEIN. Por todo lo mencionado los costos que conlleve la investigación no serán comparables con los resultados hallados, puesto que este es un tema muy aplicable y retribuido.

1.3.2. Justificación Técnica

El alto porcentaje de residuos orgánicos y la cantidad de RSM generados en el país y en nuestra ciudad, son factores muy importantes que inciden en la mayor producción de biogás en un relleno sanitario. La concentración de RSM y la recolección no selectiva conllevan a la necesidad indispensable de contar con sitio de disposición final autorizado en nuestra provincia, por ello a corto o mediano plazo la generación y recuperación de biogás en estos sitios será una realidad. Actualmente se dispone en el mercado de diversas tecnologías, modelos y tamaños de equipos de conversión de biogás a electricidad, lo cual indica que la adquisición de estas tecnologías no sería un inconveniente. Con todo lo mencionado la investigación es técnicamente posible.

1.3.3. Justificación Social

La justificación social empieza por mencionar que los RSM generados en la provincia de Huancayo actualmente (2017) son dispuestos en botaderos informales poniendo en riesgo la salud y seguridad de las personas que habitan en sus inmediaciones. La tendencia a la urbanización, el desconocimiento del valor energético de los RSM, la cultura desmedida de consumo y la producción de bienes cada vez más desechables por parte de la población, provocan el crecimiento exponencial e incontrolable de la generación de RSM en la ciudad creando un problema social de mucha relevancia.

² BID: Banco Interamericano de Desarrollo

1.3.4. Justificación Ambiental

En la provincia de Huancayo y todos sus distritos desechan sus residuos sólidos municipales en botaderos a cielo abierto contaminando las aguas superficiales y subterráneas por medio de los lixiviados, la atmosfera por medio de la liberación de gas de vertedero (biogás) y la aparición de vectores de enfermedades (ratas, mosca, zancudos) El biogás contiene aproximadamente 50 por ciento de metano y 50 por ciento de dióxido de carbono, por lo tanto se considera un poderoso gas de efecto invernadero.

1.3.5. Importancia y beneficios

La importancia y los beneficios al terminar el trabajo de investigación son muchas entre ellas; se muestra una alternativa muy aceptada y aplicada en el mundo para valorizar los RSM y utilizarlo en fines energéticos, se conoce el nivel de energía eléctrica que se genera a partir del biogás de los RSM. Asimismo, sirve como referencia para estudios posteriores para determinar la viabilidad de un proyecto de generación eléctrica de este tipo, incentivando la inversión pública o privada en la región; todo lo mencionado logrará impactar de manera indirecta en el cuidado del medio ambiente, calidad de vida de la población y desarrollo sostenible de la provincia de Huancayo.

1.4. Descripción de variables

1.4.1. Variable Independiente

Residuos Sólidos Municipales. Son los desechos recolectados por municipalidades u otras autoridades locales. Sin embargo, esta definición varía según el país. Típicamente, los RSM incluyen desechos domésticos; desechos de jardines y parques; y desechos comerciales/institucionales. (4)

1.4.2. Variable Dependiente

Potencia eléctrica. Es la cantidad de energía que puede ser entregada o distribuida a un sistema en una unidad de tiempo. La potencia eléctrica se mide en watts, unidad de potencia activa del Sistema Internacional de Unidades. Un watt es equivalente a un joule (unidad internacional para energía y trabajo) por segundo (unidad de tiempo). (5)

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

La tesis cuyo título es Propuesta de Generación de Energía Eléctrica mediante Biogás obtenido por la materia Orgánica del Relleno Sanitario “Santa Cruz” – Concepción (6) tuvo como objetivo general generar energía eléctrica mediante el biogás obtenido por la materia orgánica del Relleno Sanitario “Santa Cruz”- Concepción y con ello electrificar el entorno del Relleno Sanitario. El alcance de estudio fue descriptiva, según su finalidad fue aplicada y la técnica de recolección de datos fue la revisión bibliográfica, documentos oficiales, reportes estadísticos e institucionales, información de internet etc. Fundamentalmente la investigación diseño un biodigestor en donde se colocaría la materia orgánica, restos de vegetales y heces de animales para obtener biogás, se llegó a la conclusión de que es factible la generación de energía eléctrica mediante biogás obtenido por la materia orgánica del relleno sanitario “Santa Cruz” – Concepción, generando 9.6 kW/día mediante el uso de 5.76 m³ de biogás.

La investigación propone la generación de electricidad en el relleno sanitario manual “Santa Cruz” en la provincia de Concepción – Junín, y electrificar el entorno del relleno sanitario con la conversión del biogás y la ayuda de paneles solares, puesto que la generación de energía eléctrica mediante la conversión del biogás producido por la materia orgánica no abastecería la demanda del relleno sanitario. La obtención de los tipos de residuos que ingresa al relleno sanitario fue brindada por la municipalidad de Concepción y validada a través del portal web SIGERSOL (Sistema de Gestión para la gestión de Residuos Sólidos) del Ministerio de Ambiente los cual nos da una idea clara por dónde empezar a recabar información.

La tesis cuyo título es Estudio del potencial energético a partir de los residuos sólidos en algunos distritos del Cono Norte de Lima Metropolitana (7), menciona que tiene como finalidad plantear alternativas de cómo se podría aprovechar de manera más adecuada estos tipos de residuos sólidos que muchas veces son un serio problema para las diversas comunas distritales de la Ciudad de Lima. En el estudio se hace un análisis de la composición de los residuos sólidos que se encuentran en la basura de los distritos de Lima Metropolitana, se efectúa la caracterización porcentual de dichos residuos sólidos y se presenta la metodología de cálculo de los parámetros de densidad, humedad y poder calorífico. La metodología fue experimental para el estudio cualitativo de los residuos sólidos en los distritos de Lima metropolitana. La investigación llegó a la conclusión que el nivel de humedad de la basura de los países industrializados que se ubica entre el 20 y el 40%; mientras que el nivel de humedad de la basura en los países subdesarrollados figura entre el 50 y el 70%, encontrándose con un promedio de 61.53% en el Cono Norte de Lima Metropolitana y que los resultados demuestran la posibilidad real de obtener energía calorífica a partir de los residuos sólidos; pero la alta concentración de humedad en los residuos sólidos implicaría que en el proceso de la combustión, se requiera el uso de combustible adicional o la implementación de un proceso de secado, antes de ingresar al proceso de conversión de energía y ser aprovechada para generar solamente vapor y vender directamente este producto o ser empleado para la generación de energía eléctrica por medio de una turbina.

La tesis recopiló información existente sobre las características de los RSM en los distritos del Cono Norte de Lima, luego de la consolidación y análisis de datos, nos brinda una conclusión muy importante que refuerza el presente estudio. Y es que el nivel de humedad de la basura se encuentra en un valor mayor a 60%, este dato demuestra que para generar calor o electricidad mediante la incineración de residuos sólidos municipales sería necesario un proceso de pre-secado de los RSM o la utilización de combustible adicional.

La tesis cuyo título es Determinación del potencial bioquímico de metano y del potencial de suministro eléctrico neto de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos de mercados abasto del distrito de Arequipa (8), menciona que en el presente proyecto de investigación se determinó el potencial bioquímico de metano (PBM) y el potencial de suministro eléctrico neto de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU) de mercados de abasto del distrito de Arequipa. Para la investigación, la FORSU fue muestreada y caracterizada aleatoriamente; y se optó por realizar ensayos de co-digestión anaerobia (CO-DA) lo mismo sucedió con las excretas de ganado vacuno

(co-sustrato). Asimismo, se preparó un lodo anaerobio para inocular y activar las unidades experimentales. También se diseñó e implementó un aparato experimental y se caracterizó el biogás producido. Los resultados obtenidos en laboratorio fueron analizados estadísticamente y el PBM se proyectó a una escala comercial tomando como limitante la generación promedio de la FORSU en los mercados de abasto del distrito, y se determinó el potencial de suministro eléctrico neto a partir del volumen de metano proyectado. Se logró determinar el potencial de suministro eléctrico neto de la proyección teórica de los resultados a una escala industrial, la proyección se realizó a partir PBM y de la disponibilidad de biomasa residual. Se obtuvo un potencial de suministro eléctrico anual de 622.20 MWh con una eficiencia de conversión a electricidad de 45%. No obstante, el potencial varía ampliamente según la eficiencia de los sistemas de generación o co-generación que se empleen.

La investigación utilizó el estudio de caracterización de los residuos sólidos municipales del distrito de Arequipa 2015, con el fin de extraer los datos de la composición y cantidad de residuos orgánicos que produce los mercados de abasto de la ciudad, esto da una idea clara del camino a seguir en la obtención y recolección de datos de los residuos sólidos generados en la provincia de Huancayo.

En la tesis cuyo título es Uso de los Residuos Sólidos Municipales para la Generación de Energía Eléctrica en la Provincia del Santa (9), menciona que el proyecto tuvo como objetivo determinar el potencial energético, analizar las características físicas y el tipo de tratamiento de los residuos sólidos municipales para su valorización energética en la Provincia del Santa, dado que en la actualidad no se cuenta con ningún tratamiento de residuos sólidos antes de su disposición final. La metodología utilizada fue la establecida el Dr. Kunitoshi Sakurai la misma que es recomendada por el Centro Panamericana de Ingeniería Sanitaria para la ejecución de caracterización de residuos sólidos. Se realizó el estudio de caracterización para el Distrito de Chimbote en el mes de abril del año 2015, obteniendo una muestra de noventa y ocho viviendas con la que se pudo determinar que la generación per cápita tiene un valor promedio de 0.73 kg/hab.día y la generación total diaria de 270.83 Tn de residuos. Los datos obtenidos junto con los análisis que han sido realizados, permitieron obtener la cantidad de energía diaria generada para el año 2015 por tipo de tratamiento térmico, obteniendo los valores de 102.44 MW/día por medio de la incineración, 128.05 MW/día por gasificación y 170.73 MW/día por pirolisis. Con estos resultados se puede concluir que los residuos sólidos municipales generados en la Provincia del Santa representan una alternativa de generación de energía eléctrica mediante procesos térmicos de valorización energética.

La determinación del potencial eléctrico de los RSM de la provincia del Santa se realizó en base a tres tipos diferentes de tratamiento térmico, en los cuales predomina la utilización de un parámetro que es el poder calorífico inferior. Este valor influye en los resultados del potencial energético, por ende necesariamente tenemos que conocer su magnitud en base al biogás, para lograr así el objetivo trazado en la presente investigación.

En la tesis cuyo título es Generación de Energía Eléctrica a partir de la producción de Biogás (10), se plantearon como objetivo principal establecer los parámetros necesarios que deben conocerse para la generación de energía eléctrica a partir del biogás que es producido en un relleno sanitario. En primer lugar se abordaron conceptos generales de los residuos sólidos urbanos y como pueden ser aprovechados para generar electricidad, a continuación se realizó la investigación de estudios técnicos para el diseño y construcción de un relleno sanitario, específicamente el proyecto del relleno sanitario en el Municipio San Antonio el Alto ubicado en el Estado de Oaxaca-México, un punto relevante en esta parte es la generación de biogás por lo cual se mencionó su composición, características y el marco técnico. Enseguida se estudió las diferentes etapas para generar energía eléctrica a partir de biogás y las características técnicas de los generadores que actualmente existen para tal efecto, para luego analizar las cargas eléctricas de un conjunto de usuarios en la red.

La investigación llegó a la conclusión que la mayor producción de biogás ocurre durante los primeros 5 años desde que son depositados en el relleno sanitario y que los factores más importante para la generación de energía eléctrica es la composición de metano que contiene el gas, la cantidad de energía eléctrica que debe y puede satisfacerse, las características técnicas de la turbina y los costos de instalación, operación y mantenimiento

Una de las conclusiones que brinda la tesis, es que un factor muy importante para la generación de energía eléctrica a partir del biogás es el contenido de metano, esto muestra que para poder determinar la potencia eléctrica generada tenemos que indagar y analizar el contenido de metano en el biogás proveniente de los RSM de la provincia de Huancayo.

Según la tesis cuyo título es Potencial Energético del Biogás Generado por los Residuos Sólidos Domiciliarios (RSD) en la Provincia de Concepción (11), menciona que se planteó como objetivo general determinar el potencial energético del biogás generado por la basura domiciliaria en la provincia de Concepción - Chile, para ello se tuvo que cuantificar el volumen de Biogás disponible en los rellenos sanitarios de la provincia de

Concepción utilizando la fórmula matemática del modelo LandGem US EPA, y cuantificar la potencia instalada estimada para cada relleno sanitario en estudio, considerando para los cálculos el uso de un equipo de generación por 7884 horas al año, rendimiento eléctrico de 42%, factor de planta de 100% y que el biogás contiene un 50% de CH₄. La metodología de estudio fue el Análisis de la situación actual de los vertederos lo cual implicó en identificar los principales vertederos de basura de la provincia de Concepción, indagar el manejo y explotación actual en los vertederos de basura locales e investigar casos concretos de explotación técnica del biogás de vertederos. Logrando determinar el potencial energético del biogás generado por la basura domiciliaria en seis vertederos de la provincia de Concepción, tres de las cuales ya no reciben RSD.

La metodología usada para el cálculo de la cantidad de biogás producido en un relleno sanitario fue el modelo LandGem US EPA, este es un método amoldado para EE.UU y muy utilizado para predecir la producción de biogás en sus rellenos sanitarios, este modelo se podría utilizar en el presente estudio o investigar si existen otros métodos de cálculo. Para cuantificar la potencia instalada se utilizó el rendimiento eléctrico de un equipo de conversión, cabe señalar que estudiar este valor en la investigación es muy importante, puesto que en la conversión de un tipo de energía en otra siempre existirá una eficiencia.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Residuos Sólidos Municipales

Los Residuos Sólidos Municipales (RSM) se definen como los desechos recolectados por municipalidades u otras autoridades locales. Sin embargo, esta definición varía según el país. Típicamente, los RSM incluyen desechos domésticos; desechos de jardines y parques; y desechos comerciales/institucionales. (4)

2.2.1.1. Clasificación por su Naturaleza

a. Residuos Orgánicos

Residuos de origen biológico (vegetal o animal), que se descomponen naturalmente, generando gases (dióxido de carbono y metano, entre otros) y lixiviados³ en los lugares de disposición final. (12)

³ Lixiviado: Líquido proveniente de la degradación de residuos sólidos.

b. Residuos Inorgánicos

Residuos de origen mineral o producidos industrialmente, que no se degradan con facilidad. Pueden ser reaprovechados mediante el reciclaje. (12)

2.2.1.2. Estudio de Caracterización de RSM

Estudio, que producto de mediciones en campo o muestreos estadísticos, determina entre otros: la generación per cápita de residuos de una población, la generación actual, la composición porcentual de los diferentes tipos de residuos que se generan y la densidad de los residuos que se recolectan. (13)

a. Composición Física

Se calcula el porcentaje de cada componente teniendo en cuenta los datos del peso total de los residuos recolectados en un día (W_t) y el peso de cada componente (P_i). (14)

Ecuación 1: Cálculo de composición de residuos (Porcentaje)

$$\text{Porcentaje}(\%) = \frac{P_i}{W_t} * 100$$

b. Proyección de la población

Estimar la proyección de la población es predecir el número de habitantes en los próximos años. Para determinar la proyección de la población se recomienda el método matemático siguiente, este método tiene más relación con el crecimiento geométrico (poblaciones en expansión). (13)

Ecuación 2: Cálculo de población proyectada

$$P_f = P_o(1 + r)^n$$

Donde:

P_f =Población final proyectada después de “n” años.

- Po = Población actual; población real obtenida del último Censo Nacional (Fuente INEI)
- r = Tasa de crecimiento anual intercensal (Fuente INEI)
- n = Número de años que se desea proyectar a la población, a partir de la población inicial (Po)

La tasa de crecimiento anual intercensal se puede calcular de la siguiente manera: (14)

Ecuación 3: Cálculo de la tasa de crecimiento poblacional

$$TC = 100 \times \left(\sqrt[n]{\frac{\text{Población final}}{\text{Población inicial}}} - 1 \right)$$

Donde:

- TC = Tasa de crecimiento poblacional.
- n = Número de años entre la población final y la población inicial.

c. Generación per cápita

La Generación per cápita expresa la cantidad (en peso) de residuos generados por un solo individuo, se puede estimar globalmente así: (13)

Ecuación 4: Generación per cápita

$$GPC = \frac{DSr \text{ en una semana}}{Pob * 7 * Cob}$$

Donde:

- GPC = Generación por habitante por día (Kg./hab./día)

- DSr = Cantidad de Residuos Sólidos recolectados en una semana
(Kg/semana)
- Pob = Población total (hab.)
- 7 = días de la semana
- Cob = Cobertura del servicio de aseo urbano (%)

d. Proyección de Generación per cápita

Para el crecimiento de la GPC difícilmente se encuentran cifras que den idea de cómo puede variar anualmente. No obstante, para obviar este punto y sabiendo que con el desarrollo y el crecimiento urbano y comercial de la población los índices de producción aumentan, se recomienda calcular la producción per cápita total (municipal) para cada año, con un incremento de entre 0,5 y 1% anual. (15)

Ecuación 5: Proyección de GPC

$$Gpf = Gpa(1 + r)^n$$

Donde:

- Gpf = Generación per cápita futura (Kg./hab./día)
- Gpa = Generación per cápita actual (Kg./hab./día)
- r = Tasa del incremento de generación en % (de 0.5 a 1%)
- n = Número de años

e. Generación total de residuos sólidos

La producción anual de RSM debe ser estimada con base en las proyecciones de la población y la producción per cápita. (15)

La producción de residuos sólidos está dada por la siguiente relación (13):

Ecuación 6: Generación total de residuos sólidos

$$DSd = Pob * GPC$$

Donde:

DSd =Cantidad de residuos sólidos producidos por día (Kg/día)

Pob =Población total (hab.)

GPC =Generación per cápita (Kg./hab./día)

f. Proyección de la producción total

Esta se calcula tomando en consideración la población proyectada en base a la tasa de crecimiento poblacional anual y el incremento anual de la generación per cápita. (13)

2.2.1.3. Disposición final

Es la última etapa del manejo de residuos sólidos, en que estos se disponen en un lugar, de forma permanente, sanitaria y ambientalmente segura. La disposición final de residuos sólidos de gestión municipal se realiza mediante el método de relleno sanitario. (12)

2.2.2. Relleno Sanitario

El relleno sanitario es una obra de ingeniería diseñada para recibir residuos sólidos municipales en un área lo más pequeña posible, y que cuenta con sistemas de captación de gas y lixiviados, con el objetivo de limitar los impactos negativos al medioambiente. (16)

La figura 2 nos muestra que partes tiene que contemplar un relleno sanitario moderno para su operación.

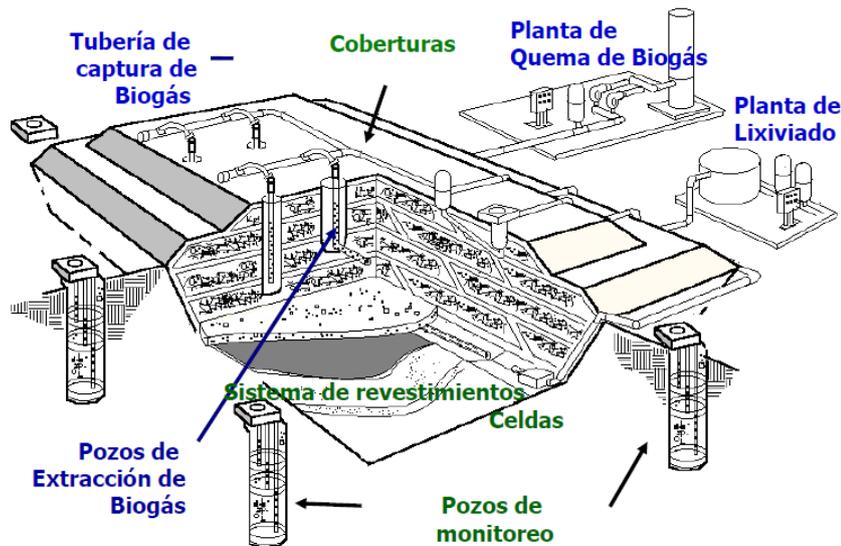


Figura 2. Esquema de un relleno sanitario moderno. Tomado de Biogás a Energía - Tecnologías y Desafíos

2.2.2.1. Ubicación

Un relleno sanitario no se puede construir en cualquier sitio, se recomienda que el sitio para el relleno sanitario esté cercano al centro urbano al cual va servir por razón del menor costo en la operación del transporte de residuos, sin embargo 1 Km. es la menor distancia limite que debe existir del centro poblado más cercano, de acuerdo al Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos. (17)

Para la ubicación y diseño se requiere la participación de expertos en geología, hidrogeología, hidráulica, química, mecánica de suelos, ecologistas y consultores en tránsito vehicular. (16)

2.2.2.2. Vida Útil

De acuerdo a la normatividad vigente el periodo de vida útil del relleno sanitario no puede ser menor a 05 años, sin embargo debemos añadir que para efectos de recuperación de la inversión necesaria para las etapas de habilitación, construcción operación y cierre se recomienda que dicho período no debe ser menor a 10 años. (13)

La vida útil de un relleno sanitario se prevé en función de su capacidad proyectada y el área que abarca (10 a 30 años). (18)

2.2.2.3. Operación

Los rellenos sanitarios del ámbito municipal por tipo de operación se clasifican en:
(19)

a. Relleno sanitario manual

Cuya capacidad de operación diaria no excede a seis (06) Toneladas Métricas (TM);

b. Relleno sanitario Semi-mecanizado

Cuya capacidad de operación diaria es más de seis (06) y hasta cincuenta (50) TM.

c. Relleno sanitario mecanizado

Cuya capacidad de operación diaria es mayor a cincuenta (50) TM.

2.2.2.4. Cobertura

El relleno sanitario debe ser lo más autosuficiente en material de cobertura (tierra) para su construcción como sea posible. Si el sitio no contara con tierra suficiente o no se pudiera excavar, deberán investigarse bancos de material para cobertura en lugares próximos y accesibles tomando en cuenta el costo de transporte. (13)

2.2.2.5. Profundidad

Un buen sitio se caracteriza principalmente por tener una capa freática mayor a 10 m de profundidad, ya que uno de los riesgos principales a considerar es la contaminación por lixiviados. (13)

2.2.3. Biogás en Rellenos Sanitarios

El biogás o gas de vertedero (relleno sanitario) es un combustible gaseoso renovable generado a partir de residuos orgánicos y el resultado de las diferentes reacciones anaerobias (sin oxígeno) ocurridas en el seno de un relleno sanitario. (20)

2.2.3.1. Composición

El biogás contiene por lo general más de 50% de metano (CH₄), además de dióxido de carbono (CO₂) .y otros constituyentes presentes en concentraciones menores como el monóxido de carbono, ácido sulfhídrico, nitrógeno y trazas de compuestos orgánicos diferentes al metano como muestra la tabla N° 1. El gas se halla exento de oxígeno, ya que

se consumió en las diversas reacciones. Sin embargo, en la composición siempre aparece un cierto porcentaje debido a la infiltración del aire en la etapa de extracción de biogás. (20)

Tabla 1

Componentes del biogás proveniente de un Relleno Sanitario

Componente	Cantidades
Metano (CH ₄)	45-65 %
Dióxido de Carbono (CO ₂)	35-55 %
Oxígeno (O ₂)	0-5 %
Nitrógeno (N ₂)	0-20 %
Hidrogeno(H ₂)	0-1 %
Humedad (H ₂ O)	Saturado
Monóxido de Carbono (CO)	Trazas
Amoníaco(NH ₃)	Trazas
Sulfuro de Hidrogeno (H ₂ S)	0.5-100 ppm
Compuestos orgánicos	5 ppm

Nota: ppm = partes por millón.

Adaptado de Tratamiento y Valorización Energética de Residuos.

a. Metano

El metano (CH₄) es un gas incoloro, inodoro, asfixiante y no toxico más ligero que el aire. El metano es explosivo en el aire en concentraciones de 5 – 15% por volumen, este rango de concentración se conoce como el rango explosivo. (21)

El CH₄ es el segundo gas de efecto invernadero (GHG) más importante producido por el hombre después del dióxido de carbono (CO₂). El metano es considerado un “forzador climático a corto plazo”, lo que significa que tiene un tiempo de vida relativamente corto en la atmósfera, aproximadamente 12 años. Aunque el metano permanece en la atmósfera por un período de tiempo más corto y es emitido en

cantidades más pequeñas que el CO₂, su potencial para atrapar el calor en la atmósfera, llamado su “potencial de calentamiento global”, es 21 veces mayor que el CO₂. (22)

La densidad del metano es 0.7168 kg/m³ en condiciones normales (0°C y 1 atm.). (23)

2.2.3.2. Fases de Producción

En la evolución de un relleno sanitario, como muestra la figura 3, se pueden distinguir varias etapas, cuya duración varía en función de las características del vertedero, de la composición de los residuos o de que se recirculen los lixiviados o no. (24)

Fase I, Aeróbica: Ajuste inicial en la que los componentes biodegradables se degradan durante el vertido. El ambiente es naturalmente aerobio, aunque ya se forman algunos núcleos anaerobios. La fuente de microorganismos tanto aerobios como anaerobios es el material del suelo que se utiliza en la cubrición diaria y final. (24)

Fase II, Anóxica: La concentración de oxígeno (O₂) desciende, estableciéndose condiciones anóxicas, produciéndose procesos biológicos anóxicos como desnitrificación (el nitrato se reduce a N₂) y sulfato-reducción (el sulfato se reduce a H₂S). Durante esta fase comienza la degradación de los materiales orgánicos y en el gas aumenta la concentración de dióxido de carbono y el hidrógeno. (24)

Fase III, Anaeróbica, Metanogénica, inestable: Las bacterias anaerobias consumen los ácidos orgánicos producidos en la Fase II y forman acetato, un ácido orgánico. Este proceso hace que el relleno sanitario se convierta en un entorno más neutral en el que las bacterias productoras de metano se establezcan consumiendo dióxido de carbono y acetato. (25)

Fase IV, Anaeróbica, Metanogénica, estable: La composición y las tasas de producción de biogás permanecen relativamente constantes. El biogás generalmente contiene aproximadamente 50-55% de metano por volumen, 45-50% de dióxido de carbono, y 2-5% de otros gases, como los sulfuros. El Biogás se produce a una tasa estable y típicamente durante unos 20 años. (25)

Fase V, Anaeróbica, Metanogénica en disminución: La fase final de actividad del relleno sanitario se caracteriza por la desaparición de los

materiales más biodegradables, produciéndose la descomposición de materiales más lentamente degradables. La velocidad de generación de biogás disminuye considerablemente. (24)

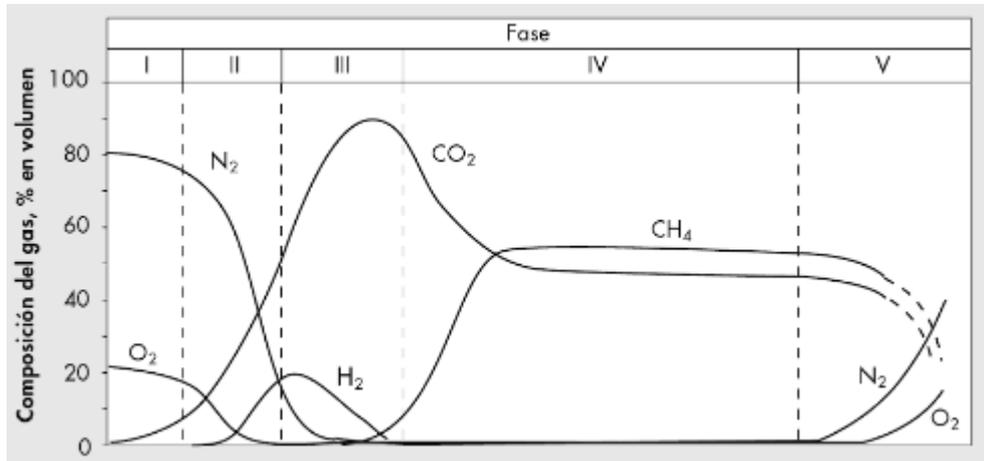


Figura 3. Cambios en la composición típica del biogás después del confinamiento de RSM. Tomado de Tratamiento y valorización de energética de residuos

El tiempo transcurrido después de la escala de colocación (tiempo total y duración de la fase) varía de acuerdo a las condiciones del relleno sanitario tabla 2. (25)

Tabla 2

Duración típica de las fases de generación de biogás en un relleno sanitario

Fase	Condición	Duración típica
I	Aeróbica	Horas a Semanas
II	Anóxica	1 a 6 Meses
III	Anaeróbica, Metanogénica, inestable	3 Meses a 3 Años
IV	Anaeróbica, Metanogénica, estable	8 a 40 Años
V	Anaeróbica, Metanogénica, en disminución	1 a 40 Años
	Total	10 a 80 años

Fuente: Manual para la preparación de gas de relleno sanitario para el proyecto de energía en América Latina y el Caribe

2.2.3.3. Extracción

La extracción del biogás comienza típicamente después de que una porción del relleno sanitario (conocida como "celda") esté cerrada a la colocación adicional de residuos. Los sistemas de recolección se pueden configurar como pozos verticales o trincheras horizontales (Figura 4) que se componen típicamente de tubería ranurada de plástico, rodeada de piedra u otro material agregado. (25)

a. Pozos verticales.

Normalmente, se instalan en áreas donde el sitio dejó de recibir residuos o donde el confinamiento de residuos no ocurrirá durante un año o más. Sin embargo, pueden ser instalados y operados en áreas con la colocación continuada de residuos, pero la colocación dará lugar a mayores requisitos de operación y mantenimiento. (26)

b. Pozos horizontales.

Estas trincheras de extracción horizontal pueden instalarse mientras un relleno sanitario sigue recibiendo desechos y se puede usar si se desea la recolección de LFG⁴ en un área antes del cierre. El método es colocar una tubería perforada en el centro de en una zanja dentro de la basura, luego rellenar la zanja con grava u otro agregado, como virutas de los neumáticos o vidrio roto. (26)

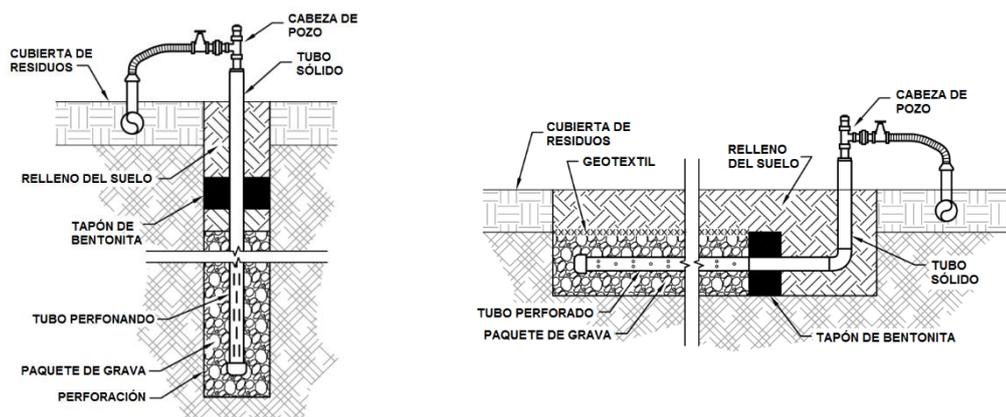


Figura 4. Pozos de Extracción Vertical y Horizontal. Tomado de Manual de Desarrollo de Proyectos de Energía de Biogás.

⁴ LFG: por sus siglas en inglés (LandFill Gas) que significa Gas de relleno sanitario o Biogás

2.2.3.4. Tratamiento

El biogás se puede clasificar en tres categorías, basado en el nivel de pretratamiento y procesamiento antes de su utilización, estos se muestran a continuación con sus respectivas aplicaciones como fuente de energía. (27)

a. Combustible de bajo grado

La utilización de LFG como un combustible de baja calidad típicamente requiere un procesamiento mínimo, involucrando cámara(s) de eliminación de condensado como parte del sistema de recolección de LFG y ollas de eliminación de humedad para reducir la cantidad de humedad en la corriente de gas.

Aplicación: Combustible de caldera, Turbina a Vapor, Calefacción de espacios y procesos de calentamiento. (27)

b. Combustible de grado medio

Se utilizan dispositivos adicionales de tratamiento de gases para extraer más humedad (con contaminantes) y partículas más finas. El proceso típicamente implica la compresión y refrigeración de LFG y/o tratamiento químico o lavado para eliminar la humedad adicional y los componentes menores de gas tales como mercaptanos, compuestos de azufre, siloxanos y compuestos orgánicos volátiles.

Aplicación: Combustible de caldera, Turbina a Vapor, Turbinas a gas, motores de combustión interna, Microturbinas y procesos de calentamiento. (27)

c. Combustible de alto grado

La utilización del LFG como combustible de alto grado implica un pretratamiento extensivo de gas para separar el dióxido de carbono y otros gases constituyentes importantes del metano y eliminar impurezas incluyendo mercaptanos, compuestos de azufre, sulfuro de hidrógeno y compuestos orgánicos volátiles, y comprimir el gas para deshidratarlo.

Aplicación: Sustituto directo del gas natural en aplicaciones de tubería, combustible para vehículos. (27)

2.2.3.5. Poder calorífico del combustible

Es la cantidad de calor por unidad de masa de combustible que se libera al quemar el combustible en una combustión completa y dejando los productos de la combustión a condiciones estándar. Debido precisamente a esta última condición, es importante distinguir entre el poder calorífico superior e inferior. (28)

a. El poder calorífico superior

Cuantifica la cantidad de energía puesta en juego en forma de calor dejando los productos en condiciones estándar (25°C), y el agua producto de la combustión en estado líquido, habiendo cedido su calor latente de vaporización como parte del calor de reacción. (28)

b. Poder calorífico inferior

Más ampliamente utilizado, cuantifica el calor al dejar los productos en condiciones estándar pero el agua en estado de vapor. (28)

La diferencia entre ambos está en función del calor latente de vaporización del agua a la presión atmosférica. En la práctica, el agua producto de la combustión se vierte a la atmósfera en estado de vapor, desaprovechando el calor latente y siendo muy difícil de recuperar. Por este motivo, a la hora de definir los rendimientos es más usual emplear el poder calorífico inferior. (28)

El poder calorífico superior del metano es 1013 Btu/pe³ y el poder calorífico inferior es 913 Btu/pe³ en condiciones estándar.(15.5 °C y 1 bar). (29)

2.2.4. Modelos para estimar la generación de biogás en rellenos sanitarios

Son modelos que usan ecuaciones matemáticas para estimar la generación de biogás en un relleno sanitario. (27)

2.2.4.1. Modelo Scholl Canyon.

Modelo empírico de decadencia de primer orden más ampliamente usado y aceptado, por ser simple y directo, este modelo se basa en la suposición que hay una fracción constante de material biodegradable en el relleno sanitario por unidad de tiempo. Este modelo es ampliamente usado por el Banco Mundial y sirvió para calcular la cantidad de biogás en el Relleno Sanitario Huaycoloro. (27)

Ecuación 7: Ecuación de Generación de metano según modelo Scholl Canyon

$$Q_{CH_4i} = k \times L_o \times m_i \times e^{-kt}$$

Donde:

Q_{CH_4i} = Metano producido en el año i, m³/año

K = Constante de generación de metano.

L_o = Potencial de generación de metano, m³CH₄/Mg⁵ de residuos

m_i = Masa depositada en el año i, Mg/año

t_i = Años de permanencia de los residuos en el relleno.

e =Logaritmo natural, adimensional.

El modelo predice la generación de biogás a lo largo del tiempo en función a la constante de generación de metano (k), del potencial de generación del metano (L_o) y de los registros históricos de residuos y futuras proyecciones.

a. Constante de generación del metano (k).

Representa el índice de biodegradación de primer orden a la que se genera el metano después de la colocación de residuos. Esta constante es influenciada por la humedad, pH, temperatura. El modelo asume por defecto la cantidad de 0.05 para un sitio de disposición final convencional. (27)

b. Potencial de Generación del Metano (L_o)

Es el rendimiento total del metano (m³ de metano por tonelada de residuos). El valor depende de la composición de residuos, en particular, de la fracción orgánica. El valor se estima por el contenido de carbono, la fracción de carbono biodegradable y un factor de conversión estequiométrica. El parámetro L_o se fija normalmente en el rango de 170 m³/tonelada de residuos, suponiendo un contenido promedio de humedad de 25 por ciento. De hecho, esto es un valor promediado

⁵ Mg: Megagramo, equivalente a 10⁶ gramos o 1 tonelada métrica

porque la materia inorgánica no descomponible pura no generaría biogás y una tonelada de materia orgánica totalmente descomponible tendría un Lo aproximándose a 400 m³/tonelada. (27)

2.2.4.2. Modelo IPCC

La modelo IPCC⁶ para estimar emisiones de CH₄ provenientes de rellenos sanitarios se basa en el método de descomposición de primer orden (FOD). En este método se formula la hipótesis de que el componente orgánico degradable de los desechos se descompone lentamente a lo largo de unas pocas décadas, durante las cuales se forman CH₄ y CO₂. (4)

El CH₄ potencial que se genera a través de los años puede estimarse sobre la base de las cantidades y la composición de desechos eliminados en los SEDS⁷ y las prácticas de gestión en los sitios de eliminación. La base para el cálculo es la cantidad de carbono orgánico degradable disuelto (DDOC, del inglés, Decomposable Degradable Organic Carbon). DDOC_m es la parte del carbono orgánico que se degrada en condiciones anaeróbicas en los SEDS y el índice m se refiere a la masa. (4)

Ecuación 8: Cálculo del DDOC_m disuelto con los datos sobre eliminación de desechos

$$DDOCmd_T = W_T \cdot DOC \cdot DOC_f \cdot MCF$$

Donde:

DDCOM_{d_T} = DDOC_m eliminado durante el año T, Gg⁸.

W_T = Masa de los desechos eliminados durante el año T, Gg.

DOC = Carbono Orgánico Degradable durante el año del depósito (fracción), Gg de C/Gg de desechos

DOC_f = Fracción de DOC que puede descomponerse en condiciones anaeróbicas en el SEDS (fracción).

MCF = Factor de corrección de CH₄ para el año de la eliminación (fracción).

⁶ IPCC: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático

⁷ SEDS: Sitios de eliminación de desechos sólidos.

⁸ Gg: Gigagramo, equivalente a 10⁹ gramos o 1000 toneladas.

El fundamento de una reacción de descomposición de primer orden es que la tasa o velocidad de reacción es proporcional a la cantidad de sustancia restante en este caso, la masa de carbono orgánico degradable disuelto (DDOCm). (4)

Ecuación 9: Ecuación de la descomposición de primer orden

$$DDOCm = DDOCm_0 \cdot e^{-kt}$$

Donde:

DDOCm = Masa del carbono orgánico degradable que se descompone en condiciones anaeróbicas en el sitio de eliminación en el instante t

DDOCm₀ = Masa de DDOC en el sitio de eliminación en el instante 0, cuando comienza la reacción

k = Tasa constante de descomposición, en años⁻¹

t = Tiempo, en años.

En la mayoría de los SEDS, los desechos se depositan continuamente a lo largo del año, en general de manera cotidiana. Sin embargo, hay pruebas de que la producción de CH₄ no comienza inmediatamente después de la deposición de los desechos. El IPCC asume por defecto que la reacción comienza el 1° de enero del año posterior de la eliminación, esto equivale a un tiempo de retardo promedio de 6 meses. (4)

En el método de estimación cada año puede considerarse como si fuera el año 1 (t=1) Esto significa que cuando se conoce la cantidad de DDOCm en los SEDS al comienzo del año, todos los cálculos pueden efectuarse con estas dos simples ecuaciones. (4)

Ecuación 10: DDOCm acumulado al termino del año T

$$DDOCma_T = DDOCmd_T + (DDOCma_{T-1} \cdot e^{-k})$$

Ecuación 11: DDOCm descompuesto durante el año T

$$DDOCm\ descomp_T = DDOCma_{T-1} \cdot (1 - e^{-k})$$

Donde:

La reacción de descomposición comienza el 1° de enero del año siguiente a la eliminación.

DDOCma_T = DDOCm acumulado en los SEDS al final del año T

DDOCmd_T = masa del DDOC eliminado en los SEDS durante el año T

DDOCma_{T-1} = DDOCm acumulado en los SEDS al final del año (T-1)

DDOCm descomp_T = DDOCm descompuesto durante el año T

En el modelo IPCC la formación de metano se calcula por separado para cada tipo de residuo y en cada año de eliminación, la cantidad total generada se determina por una suma final. (4)

Ecuación 12: Metano generado a partir del DDOCm descompuesto

$$CH_4\ generado_T = DDOCm\ descomp_T \times F \times 16/12$$

Donde:

CH₄ generado_T = Cantidad CH₄ generado a partir del material en descomposición.

DDOCm descomp_T = DDOCm descompuesto durante el año T, Gg

F = Fracción volumétrica de CH₄ en el biogás generado (fracción)

16/12 = Cociente de pesos moleculares CH₄/C (cociente)

a. Carbono Orgánico Degradable (DOC, Del Inglés, Degradable Organic Carbon)

El carbono orgánico degradable (DOC) es el carbono orgánico de los desechos que puede acceder a la descomposición bioquímica. La tabla 3 proporciona los valores por defecto para el contenido de DOC y carbono fósil en los diferentes tipos de desechos. (4)

Tabla 3

Valores por defecto para el contenido de DOC y carbono fósil en los diferentes tipos de desechos.

Componente de DSM	Contenido de materia seca en % del peso húmedo	Contenido de DOC en % de desechos húmedos		Fracción de carbono fósil en % del total de carbono	
		Por defecto	Rango	Por defecto	Rango
Papel/cartón	90	40	36 - 45	1	0 - 5
Textiles	80	24	20 - 40	20	0 - 50
Desechos de alimentos	40	15	8 - 20	-	-
Madera	85	43	39 - 46	-	-
Desechos de jardines y parques	40	20	18 - 22	0	0
Pañales	40	24	18 - 32	10	10
Caucho y cuero	84	39	39	20	20
Plásticos	100	-	-	100	95 - 100
Metal	100	-	-	ND	ND
Vidrio ⁶	100	-	-	ND	ND
Otros, desechos inertes	90	-	-	100	50 - 100

Fuente: Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero

b. Fracción Del Carbono Orgánico Degradable Que Se Descompone (DOC_f)

La fracción del carbono orgánico degradable que se descompone (DOC_f) es una estimación de la fracción de carbono que se degrada en última instancia y que se libera desde un SEDS y refleja el hecho de que una parte del carbono orgánico degradable no se degrada, o se degrada muy lentamente, bajo condiciones anaeróbicas en el SEDS. El valor por defecto recomendado para DOC_f es de 0,5. (4)

c. Factor de Corrección para el Metano (MCF, del inglés, Methane Correction Factor)

El factor de corrección de CH₄ (MCF) da cuenta del hecho de que, a partir de una cantidad dada de desechos, los SEDS no gestionados producen menos CH₄ que los SEDS anaeróbicos gestionados. Esto significa que una parte de DOC_m se descompone de manera aeróbica en CO₂ pero no CH₄. Se asigna un MCF a cada una de las cuatro categorías, como se muestra en la tabla 4. (4)

Tabla 4

Clasificación de los SEDS y Factores de Corrección de metano (MCF)

Tipo de sitio	Valores por defecto del Factor de Corrección de Metano (MCF)
Gestionado – anaeróbico ¹	1
Gestionado – semi-aeróbico ²	0.5
No gestionado ³ – profundo (>5 m desechos) y/o capa freática elevada.	0.8
No gestionado ⁴ – poco profundo (<5m de desechos)	0.4
SEDS no categorizado ⁵	0.6

¹**Sitios anaeróbicos gestionados de eliminación de desechos sólidos:** Colocación controlada de los desechos e incluir por lo menos uno de los siguientes elementos: (i) material protector de la cubierta; (ii) compactación mecánica o (iii) nivelación de los desechos.

²**Sitios semi-aeróbicos gestionados de eliminación de desechos sólidos:** Ubicación controlada de los desechos e incluir todas las estructuras siguientes para introducir aire en las capas de desechos: (i) material de la cubierta permeable; (ii) sistema de drenaje para la lixiviación; (iii) estanques de regulación y (iv) sistema de ventilación de gases.

³**Sitios no gestionados de eliminación de desechos sólidos - profundos y/o con capa freática elevada:** Estos SEDS que no cumplen con los criterios de los SEDS gestionados.

⁴**Sitios no gestionados poco profundos de eliminación de desechos sólidos:** SEDS que no cumplen con los criterios de los SEDS gestionados y que tienen profundidades de menos de 5 metros.

⁵**Sitios no categorizados de eliminación de desechos sólidos:** Sólo si los países no pueden categorizar sus SEDS dentro de las cuatro anteriores categorías de SEDS gestionados y no gestionados pueden emplear el MCF para esta categoría

Fuente: Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

d. Fracción de CH₄ en el gas de vertedero generado (F)

En los SEDS, la mayor parte de los desechos generan un gas con aproximadamente 50 por ciento de CH₄. Sólo los materiales que incluyen cantidades sustanciales de grasa o aceite pueden generar gas con mucho más del 50 por ciento de CH₄. Por lo tanto se alienta a emplear el valor por defecto del IPCC para la fracción de CH₄ en el gas de vertedero generado (0,5). (4)

e. Vida Media

El valor de la vida media, $t_{1/2}$, es el tiempo necesario para que el DOCm de los desechos se descomponga hasta la mitad de su masa inicial. En el modelo FOD, se usa la constante de reacción k . La relación entre k y $t_{1/2}$ es la siguiente: $k = \ln(2)/t_{1/2}$. En la tabla 5 se proporcionan valores k por defecto. (4)

Tabla 5

Valores del índice de generación de metano (*k*) por defecto

(Derivados de los valores <i>k</i> obtenidos por mediciones experimentales, calculado con modelos o utilizados en los inventarios de gases de efecto invernadero y otros estudios)					
Tipo de desechos		Zona climática*			
		Boreal y templada (MAT ≤ 20°C)			
		Seco (MAP/PET < 1)		Húmedo (MAP/PET > 1)	
		Por defecto	Rango	Por defecto	Rango
Desechos de degradación lenta	Desechos de papel/textiles	0,04	0,03 – 0,05	0,06	0,05 – 0,07
	Desechos de madera/paja	0,02	0,01 – 0,03	0,03	0,02 – 0,04
Desechos de degradación moderada	Otros putrescibles orgánicos (no alimenticios)/ desechos de jardín y parques	0,05	0,04 – 0,06	0,1	0,06 – 0,1
Desechos de degradación rápida	Desechos alimenticios/ lodo de aguas servidas	0,06	0,05 – 0,08	0,185	0,1 – 0,2

MAT – temperatura media anual; MAP – precipitación media anual; PET – evapotranspiración potencial.
 MAP/PET es el cociente de MAP y de PET Para estimar las emisiones debe seleccionarse el promedio de los MAT, MAP y PET durante la serie temporal, según lo indicado por la estación meteorológica representativa más cercana.

Fuente: Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero

f. Tiempo de Retardo

En la mayoría de los sitios de eliminación de desechos sólidos, éstos se depositan de manera continuada a lo largo del año, generalmente en forma cotidiana. Sin embargo, hay pruebas de que la producción de CH₄ no comienza inmediatamente después de la deposición de los desechos. El periodo comprendido entre la deposición de los desechos

y la producción plena de CH₄ es químicamente complejo e implica reacciones microbianas sucesivas. Las estimaciones del tiempo de retardo son inciertas y pueden variar según la composición de los desechos y las condiciones climáticas. En el modelo IPCC se da comienzo a la reacción el 1° de enero del año posterior a la deposición, cuando el tiempo promedio de residencia de los desechos en los SEDS ha sido de 6 meses. (4)

2.2.4.3. Estimación de la Eficiencia de Captura y Recuperación de Biogás

La eficiencia de captura es un porcentaje aplicado a la generación de biogás para estimar la cantidad de biogás que puede ser recuperado para combustión o uso benéfico. Está en función del diseño, la operación y mantenimiento de sistema de recolección. (30)

Una evaluación de generación de biogás que asume que el 75% de recuperación de combustible no es irrazonable, pero se consideraría relativamente optimista. Un porcentaje de recuperación del 50% del combustible se considera conservador y fácilmente alcanzable. (27)

2.2.5. Potencia Eléctrica

Cantidad de energía que puede ser entregada o distribuida a un sistema en una unidad de tiempo. La potencia eléctrica se mide en watts, unidad de potencia activa del Sistema Internacional de Unidades. Un watt es equivalente a un joule (unidad internacional para energía y trabajo) por segundo (unidad de tiempo). De esta manera, la potencia eléctrica nos indica la capacidad de energía que puede ser entregada cada segundo para su consumo a los sistemas eléctricos (como el SEIN, por ejemplo). (5)

2.2.5.1. Central termoeléctrica a biomasa

Es la instalación que aprovecha el gas metano generado por la descomposición de los residuos orgánicos (biogás) como combustible para generar energía eléctrica o la quema del bagazo en una caldera para generar vapor sobrecalentado. La central de biomasa es una central termoeléctrica que emplea como combustible el biogás. (5)

2.2.5.2. Generación Eléctrica a partir de Biogás

Los motores impulsados por biogás funcionan acoplados a un generador de energía eléctrica que se conecta a una estación transformadora donde la electricidad se conduce

y se conecta a la red. Un esquema típico de conversión de biogás en energía en una planta eléctrica está dada en la figura 5: (21)

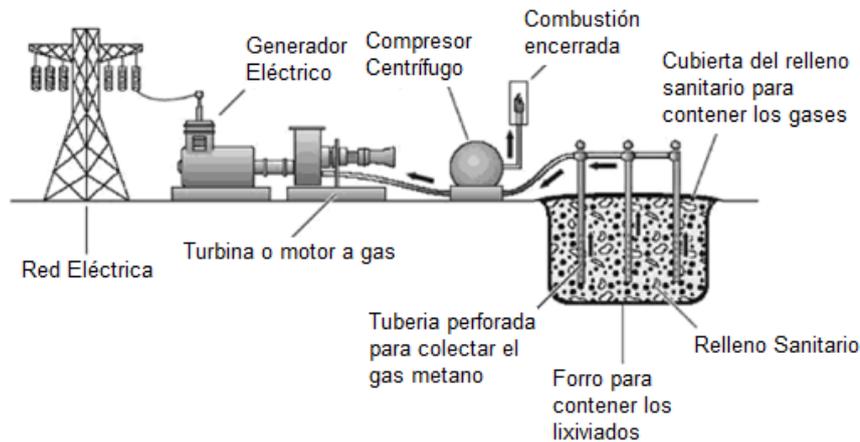


Figura 5. Diagrama esquemático de conversión de Biogás en una planta de eléctrica.
Tomado de Biogás a Energía - Tecnologías y Desafíos

2.2.5.3. Tecnologías de Generación Eléctrica a partir de Biogás

La producción de electricidad a partir del biogás continúa siendo la aplicación de uso beneficioso más común, representando alrededor de tres cuartas partes de todos los proyectos de energía a través de biogás de los EE.UU. La electricidad puede ser producida quemando el biogás en los siguientes dispositivos: (25)

a. Motores de Combustión Interna Alternativo

Los motores de combustión interna alternativos son accionados por pistones y conectados a generadores de corriente alterna de velocidad constante. Están disponibles en tamaños que van desde 0.5 kW a 6.5 MW, con eficiencias eléctricas de 37 - 40%. Se pueden diseñar para que funcionen con una serie de combustibles, incluida la gasolina, gas natural, queroseno, propano, fuel oil, alcohol, digestores de gas de plantas de tratamiento de residuos, e hidrógeno. (31)

En su mayoría son motores recíprocos de cuatro tiempos muy similares a los encontrados en autos y camiones. El ciclo de cuatro tiempos, ilustrado en la figura 6, consiste en una carrera de admisión, una carrera de compresión, una carrera de combustión, y una carrera de escape.

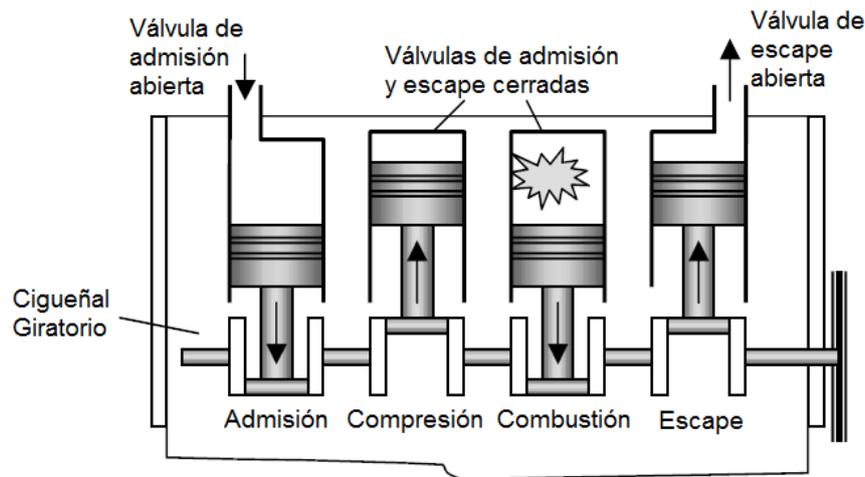


Figura 6. Motor de Combustión Interna de 4 tiempos. Tomado de Renovable y Eficiente
 Sistemas de Energía Eléctrica

Durante la carrera de admisión, el pistón se mueve hacia abajo creando un vacío parcial que atrae aire o una mezcla de aire y vaporizado de combustible, a través de la válvula de admisión abierta. Durante la carrera de compresión, el pistón se mueve hacia arriba con las válvulas de admisión y escape cerradas, los gases son comprimidos y calentados, y cerca de la parte superior de la carrera comienza la combustión. Los gases calientes y en expansión empujan el pistón hacia abajo impulsando el cigüeñal a su vez. En el trazo final, el pistón ascendente fuerza el escape caliente los gases que salen de la válvula de escape que ahora se encuentran abiertas, completando el ciclo.

Hay dos variaciones importantes en el motor de cuatro tiempos: encendido por chispa (Otto-ciclo) y compresión-ignición (Diesel-ciclo). Los motores de encendido por chispa queman gasolina u otros combustibles fácilmente inflamables como el gas natural o el propano. La combustión comienza con una chispa temporizada externamente, que enciende la mezcla de aire y combustible que ingresó al cilindro durante la carrera de admisión y que ha sido comprimida durante la carrera de compresión posterior. Por el contrario, los motores de encendido por compresión queman destilados de petróleo más pesados como diésel o fuel oil, estos combustibles no fueron previamente mezclados con aire, sino más bien se inyectan a alta presión directamente en el cilindro hacia el final del tiempo de compresión en

donde el aire se encuentra comprimido y a una temperatura muy alta.
(31)

b. Turbinas de gas

En la figura 7 se muestra una turbina de gas básica que acciona un generador. En él, el aire fresco es atraído a un compresor donde las palas del rotor giratorio comprimen el aire, elevando su temperatura y presión. Este aire caliente y comprimido se mezcla con combustible, generalmente gas natural, aunque a veces se usa GLP, queroseno, gas de vertedero o petróleo, y posteriormente se quema en la cámara de combustión. Los gases calientes de escape se expanden en una turbina y se liberan a la atmósfera. El compresor y la turbina comparten un eje de conexión, de modo que una porción, típicamente más de la mitad, de la energía de rotación creada por la turbina giratoria se utiliza para alimentar el compresor. (31)

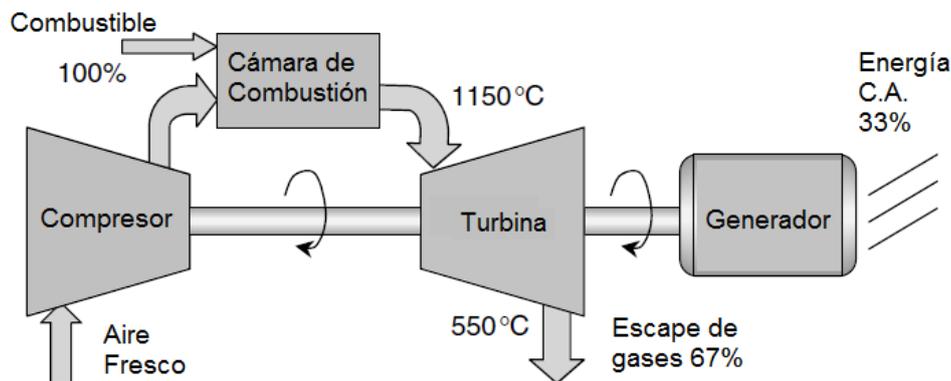


Figura 7. Turbina de Gas. Tomado de *Renovable y Eficiente Sistemas de Energía Eléctrica*

c. Microturbinas

Estas unidades generan en cualquier lugar aproximadamente 500 vatios a varios cientos de kilovatios. La figura 8 ilustra la base de su configuración que incluye el compresor, la turbina y el generador de imanes permanentes, en este caso todo montado en un solo eje. El aire entrante se comprime a tres o cuatro atmósferas de presión, enviadas a través de un intercambiador de calor llamado recuperador, donde su temperatura es elevada por los gases de escape calientes.

Precautando el aire comprimido entrante, el recuperador ayuda a aumentar la eficiencia de la unidad. El aire caliente y comprimido se mezcla con el combustible en la cámara de combustión, quemando y expandiendo los gases calientes a través de la turbina que hace girar el compresor y generador. El escape se libera a la atmósfera después de transferir gran parte de su calor al aire comprimido entrante en el recuperador. (31)

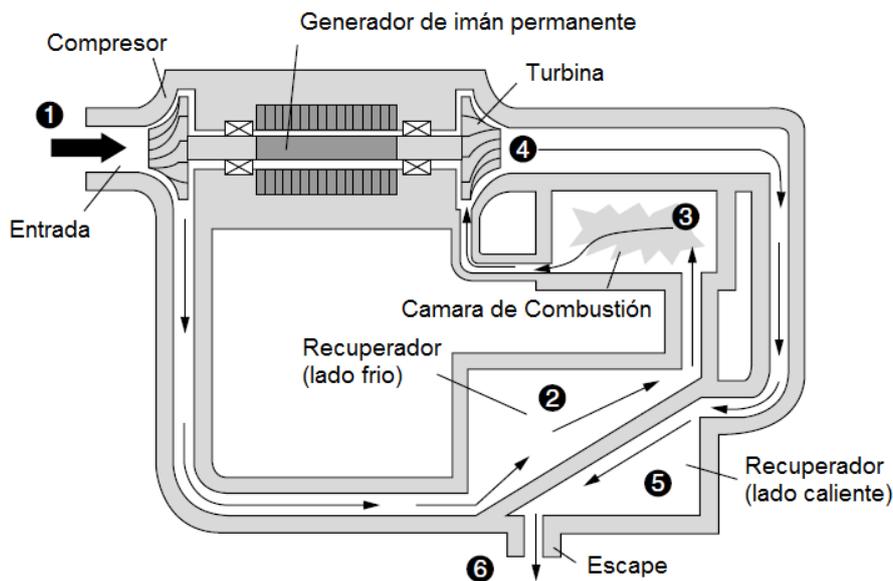


Figura 8. Diseño esquemático de una Microturbina. Tomado de Renovable y Eficiente Sistemas de Energía Eléctrica

2.2.5.4. Factores de Diseño

La selección de la mejor opción tecnológica para la generación eléctrica, empieza por estimar el potencial de recuperación de biogás para el relleno sanitario. En general, el volumen de residuos controla la cantidad potencial de biogás que se puede extraer del relleno sanitario. Las condiciones del sitio, la eficiencia de la recolección del biogás y el caudal del biogás extraído influyen significativamente en los tipos de tecnologías. (25).

La Tabla 6 presenta los rangos típicos de flujo requeridos para viabilizar la implementación de las siguientes tecnologías de generación de energía eléctrica. También muestra los rangos de potencia típicos asociados con las diversas tecnologías de biogás y los caudales. (27)

Tabla 6

Información típica de las tecnologías de conversión de biogás

Tecnología	Rango típico de flujos (ft³/min)	Tamaño sugerido de la planta	Eficiencia de conversión eléctrica neta
Microturbinas	< 100	< 100 kW	25% - 30%
Motores de combustión interna	150 a 5000	0.5 MW a 12 MW	32% - 40%
Turbinas de gas	4000 a 20000	3 MW a 18 MW	26% - 32%

Fuente: Manual de la preparación de gas de relleno para el proyecto de energía en América Latina y el Caribe

La Tabla 7 proporciona un resumen de las ventajas y desventajas asociadas con cada tecnología generadora de electricidad

Tabla 7

Ventajas y desventajas de las tecnologías de conversión de biogás

Tecnología	Ventajas	Desventajas
Motor de combustión interna	<ul style="list-style-type: none"> - Costos de inversión relativamente bajos, alta eficiencia y tamaño reducido. -Es la tecnología más usada a nivel mundial. 	<ul style="list-style-type: none"> -Costos de O & M relativamente altos.
Turbinas de gas	<ul style="list-style-type: none"> -Son más resistentes a la corrosión o daños. -Producen menos emisiones de NOx. -Bajos costos de O & M. 	<ul style="list-style-type: none"> -Causa altas pérdidas por cargas parásitas debido a la compresión que requiere del gas.

Microturbina	<ul style="list-style-type: none"> –Aplicación en sitios de baja producción. –Funciona con gas relativamente pobre. –Emite bajos NOx. –Muy funcional para agregar o remover unidades. –Interconexión relativamente fácil por su baja capacidad de generación. 	<ul style="list-style-type: none"> –Costos de inversión más altos. –Costos de O & M más altos. –Limitada a muy bajas capacidades.
--------------	--	--

Fuente: Guía generación de electricidad mediante residuos sólidos urbanos

2.2.5.5. Consumo específico de combustible

Se define como consumo específico de combustible a la relación entre el consumo horario de combustible y la potencia generada por el grupo; en este caso como se trata de un combustible gaseoso se expresa en MPC/kWh⁹ o MMC/kWh¹⁰; este concepto es similar al consumo específico de calor medido o Heat Rate en BTU/kWh ó KJ/kWh. (32)

2.2.5.6. Eficiencia térmica

La eficiencia térmica de las centrales se expresa a menudo como el consumo específico de calor, que es la entrada térmica (BTU o KJ) requerida para entregar 1 kWh de electricidad (1 BTU/kWh = 1055 kJ/kWh). A menor consumo específico de calor, mayor será la eficiencia, en los Estados Unidos, los consumos específicos de calor (Heat Rate) se expresan generalmente en BTU/kWh, lo que resulta en la siguiente relación (ecuación 13) entre ella y la eficiencia térmica, η . (31).

El calor de 3412 BTU/hora produce un Kilowatt (kW). (27)

Ecuación 13: Relación entre Heat Rate y la eficiencia térmica

$$Heat\ Rate\ (Btu/kWh) = \frac{3412\ Btu/kWh}{\eta}$$

Fuente: Sistemas de Energía Eléctrica Renovables y Eficientes

⁹ MPC/kWh: Miles de pies cúbicos/Kilowatt-hora

¹⁰ MMC/kWh: Millones de metros cúbicos/Kilowatt-hora

2.2.5.7. Estimación del potencial de generación de energía bruta

Esta es la capacidad instalada de generación de energía que el flujo de gas puede soportar. No tiene en cuenta las cargas parasitarias de los sistemas y equipos auxiliares, ni el tiempo de inactividad del sistema. El potencial de generación de energía bruta se estima utilizando la siguiente fórmula:

Ecuación 14: Formula del potencial de generación de energía bruta

$$kW = \text{Flujo de biogás} \left(\frac{ft^3}{hr} \right) * \text{Energía contenida} \left(\frac{Btu}{ft^3} \right) * \frac{1}{\text{Heat Rate} \left(\frac{Btu}{kWh} \right)}$$

Fuente: De Gas de Relleno Sanitario a Energía: Tecnologías y Desafíos

El flujo de biogás es la cantidad neta del gas de vertedero que es capturada por hora por el sistema de recolección, procesada y entregada al equipo de generación de energía (usualmente del 75% al 85% del total de gas producido en el vertedero). El contenido de energía del gas de vertedero es de aproximadamente 500 Btu por pie cúbico.

Ejemplos de Heat Rates son: 12 000 Btu/kWh para motores de combustión interna y turbinas de combustión (por encima de 5 MW); y 8500 Btu/kWh para turbinas de combustión de ciclo combinado. (21)

2.2.5.8. Estimación del potencial de generación de energía neta

Este es el potencial de generación de energía bruta menos cargas parasitarias de los compresores y otros equipos auxiliares. Se estima que las cargas parasitarias son del 2% para los motores de combustión interna o del 6% para las turbinas de combustión. (21)

2.2.5.9. Factor de planta

Es el cociente entre la energía que ha producido realmente una instalación a lo largo de un determinado periodo (generalmente un año) y la que pudo haber producido de haber funcionado todo el tiempo a su máxima potencia. (31)

La ecuación se presenta a continuación:

Ecuación 15: Factor de planta

$$Fp = \frac{E_a}{P_{inst.} \times T_o}$$

Donde:

Fp = Factor de Planta

Ea = Energía entregada real

Pinst = Potencia Instalada (kW)

To = Tiempo (horas) =8760 h (un año)

2.2.5.10. Costos de inversión y O&M¹¹

Los costos de inversión en un proyecto de generación eléctrica con biogás pueden incluir o no los costos de recolección de gas y los costos del equipo para la quema del gas que no se utilice. Generalmente se excluyen esos costos cuando se contemplan desde el diseño del relleno sanitario. (16)

La Tabla 8 enumera algunos costos típicos y tamaños de proyectos de energía a partir de biogás aplicables para las tecnologías de generación de electricidad más comunes. Los costos incluyen equipos de generación de electricidad y sistemas típicos de compresión y tratamiento apropiados para la tecnología particular y el equipo de interconexión. (25)

Tabla 8

Costos típicos de generación eléctrica usando biogás

Tecnología	Rango optimo del proyecto	Costo típico de capital (\$/kW)	Costo típico anual de O&M (\$/kW)
Microturbina	< 1 MW	\$2,800	\$230
Motores de Combustión Interna Pequeños	< 800 kW	\$2,400	\$220
Motores de Combustión Interna Grandes	> 800 kW	\$1,800	\$180
Turbinas de gas	> 3 MW	\$1,400	\$130

\$/kW: Dólares por kW

kW: Kilowatt

MW: Megawatt

Fuente: Manual de Desarrollo de Proyectos de Energía de Biogás.

¹¹ O&M: Operación y Mantenimiento

2.3. Marco Legal en el Perú

2.3.1. Decreto Legislativo N° 1002. De promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables

El D.L. N° 1002 tiene por objeto promover el aprovechamiento de los Recursos Energéticos Renovables (RER) para mejorar la calidad de vida de la población y proteger el medio ambiente, mediante la promoción de la inversión en la producción de electricidad.

En el Artículo 3: Recursos Energéticos Renovables (RER), menciona que se entiende como RER a los recursos energéticos tales como biomasa, eólico, solar, geotérmico y mareomotriz. Tratándose de la energía hidráulica, cuando la capacidad instalada no sobrepasa de los 20 MW. (33)

2.3.2. Decreto Legislativo N° 1278: Ley de gestión integral de residuos sólidos

El Decreto Legislativo publicada el 23 de diciembre de 2016 deroga la Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos, con el fin de contar con una nueva norma que permita asegurar una gestión y manejo de los residuos sólidos, sanitaria y ambientalmente adecuada, con sujeción a los principios de minimización, recuperación, valorización, prevención de riesgos ambientales y protección a la salud y el bienestar de la persona.

En el Título V: Gestión y Manejo Económico y Ambiental de los Residuos Sólidos, Capítulo 2: Valorización De Residuos Sólidos, artículo 47 y 48 señala que, la valorización de los residuos sólidos consiste en que uno o varios materiales que lo componen sean reaprovechados y sirvan a una finalidad útil al sustituir a otros materiales o recursos en los procesos productivos. La valorización puede ser material o energética, la valorización energética es aquella destinada a emplear residuos con la finalidad de aprovechar su potencial energético, tales como: coprocesamiento, coincineración, generación de energía en base a procesos de biodegradación, biochar, entre otros. (34)

2.3.3. Reglamento de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos

Publicada mediante Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM, el reglamento se desarrolló teniendo en cuenta las tendencias modernas y actuales políticas sobre manejo integral de residuos sólidos. De esta manera, se garantizará una gestión adecuada, gradual y sostenida de los residuos. Promoviendo la valorización material y energética y su adecuada disposición final. (19)

2.4. Definición de términos básicos

- **Biogás.**- Mezcla de gases compuesto principalmente de metano y dióxido de carbono, producto de la degradación de los residuos orgánicos depositados en el relleno sanitario bajo condiciones anaeróbicas.
- **Central Térmica de Biomasa.**- Es la instalación que aprovecha el gas metano generado por la descomposición de los residuos orgánicos (biogás) como combustible para generar energía eléctrica.
- **Consumo específico de calor (Heat Rate).**- Es la cantidad de energía térmica (Btu) necesaria para generar un kWh.
- **Generación Per cápita.**- Cantidad generada de RSM en kilogramos (kg) por habitante por día.
- **Generador Eléctrico.**- Es todo dispositivo capaz de transformar la energía mecánica a energía en energía eléctrica, manteniendo una diferencia de potencial entre sus dos puntos.
- **Metano.**- Es un gas incoloro, inodoro e insípido, altamente explosivo, este gas se produce de forma natural por la descomposición de la materia orgánica.
- **Modelos de estimación de Biogás,**- Son métodos que usan ecuaciones matemáticas para estimar el potencial de generación de biogás en un relleno sanitario.
- **Potencia Eléctrica.**- Cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento en un momento determinado.Su unidad en el Sistema Internacional de Unidades es el vatio o watt (W).
- **Relleno Sanitario.**- Instalación destinada a la colocación de residuos sólidos municipales, en la superficie o bajo tierra, basados en los principios y métodos de ingeniería sanitaria y ambiental.
- **Residuo orgánico.**- Residuos biodegradables o sujetos a descomposición que generan biogás y lixiviados en condiciones anaeróbicas.
- **Residuos Sólidos Municipales (RSM).**-Son desechos recolectados y gestionados por la municipalidad en la cual se originaron.
- **Vida útil.**- Periodo durante el cual el relleno sanitario estará apto para recibir residuos de manera continua.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método y alcance de la investigación

El método de investigación es el de Modelación, ya que se simuló un escenario ideal, donde un relleno sanitario confina los residuos sólidos municipales generados en la provincia de Huancayo durante el año 2017, la provincia no cuenta con relleno sanitario y todos los RSM generados van a parar a botaderos ilegales. El fin de este método fue de aplicar los modelos matemáticos de predicción de biogás en rellenos sanitarios (Scholl Canyon e IPCC), para posteriormente convertir esta fuente de energía en electricidad. (35)

El nivel o alcance del estudio fue cuantitativo descriptivo, ya que se buscó especificar las características, composición y cantidad de los residuos sólidos municipales.

Se realizó el tratamiento y análisis de los datos, logrando estimar la cantidad de biogás, su composición y su posible recuperación para fines energéticos; es decir que se tuvo que describir todos estos fenómenos para determinar la cantidad de potencia eléctrica a producir. (36),

3.2. Diseño de la investigación

Según Hernández, la investigación utilizó un diseño no experimental transeccional. La composición física de los residuos sólidos municipales y la proyección de la cantidad de generación desde el 2016 hasta el año 2035 en la provincia de Huancayo, se realizó analizando e interpretando la información de la población y de los últimos estudios de caracterización de los RSM de los distritos de El Tambo, Huancayo y Chilca. (36)

Luego se estimó la cantidad de biogás generado por los RSM en un relleno sanitario mediante dos modelos matemáticos (Scholl Canyon e IPCC), posteriormente se analizó la cantidad que se puede recuperar y utilizar para fines energéticos.

Por último se determinó la cantidad de potencia eléctrica que se generaría utilizando el poder calorífico del biogás y la eficiencia térmica del equipo de conversión, dando el primer resultado el año 2017 y proyectándonos hasta el año 2036.

Un caso de estudio experimental para determinar la cantidad de potencia eléctrica generada a través de la conversión del biogás obtenido de los RSM de la provincia de Huancayo, consistiría tener un relleno sanitario donde se dispone los RSM de la provincia de Huancayo, con el fin de medir la cantidad de biogás generado, dada las circunstancias actuales (2017) este diseño no aplicaría ya que nuestra ciudad no cuenta con un relleno sanitario, o si en todo caso se intentaría simular este escenario (relleno sanitario) a pequeña escala, conllevaría la manipulación de otros parámetros como la profundidad, cantidad de RSM, cobertura, etc. la cual repercutiría en los resultados.

3.3. Población y muestra

a. Población

En la presente investigación la población está conformada aproximadamente por las 126 002 toneladas métricas de residuos sólidos municipales generados en un año por los 28 distritos que conforman la provincia de Huancayo.

b. Muestra

Según Hernández, el tamaño de la muestra se seleccionó con el método no probabilístico, por muestras de casos sumamente importante para el problema analizado. Con el propósito de obtener una información relevante y específica para el planteamiento del problema, y porque no se puede dejar fuera del ambiente de estudio, por su importancia, se tomó como muestra los RSM generados en los distritos de Huancayo, El Tambo y Chilca. Debido a que la generación de residuos sólidos municipales se concentra en la zona urbana de la provincia, y son estos tres distritos quienes tienen la mayor cantidad de producción de RSM en la provincia. (36)

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En el estudio se utilizó el instrumento de recopilación y análisis de datos secundarios y entrevista, ya que recabó información del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), Municipalidades Distritales de Huancayo, El Tambo y Chilca, Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES SINAC), Ministerio del Ambiente (MINAM), Banco Mundial, Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), Diestra SAC, EPA y otras investigaciones.

Las técnicas de recolección de datos utilizada fueron tres:

Datos estadísticos provenientes de fuentes oficiales: Censos 1993 y 2007 y proyección de población hasta el 2035 (INEI).

- Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales de las municipalidades distritales de Huancayo (2016), El Tambo y Chilca (2015).
- Cantidad Promedio Diaria de Residuos Sólidos que recoge la Municipalidad, según Distrito – Registro Nacional de Municipalidades (RENAMU) – (INEI).

Datos para metaanálisis, se recopiló estudios efectuados por otros sobre el planteamiento del problema, como:

- Estudio de la Determinación de la Potencia Efectiva y Rendimiento de los Grupos CAT 1, 2 y 3 de la Central Térmica Huaycoloro (COES-SINAC).
- Guía Diseño, Construcción, Operación, Mantenimiento Y Cierre de un Relleno Sanitario Mecanizado (MINAM).
- Manual para la Preparación de Gas de Relleno Sanitario para el Proyecto de Energía en América Latina y el Caribe (Banco Mundial).
- Directrices del IPCC de 2006 para Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero, Volumen 5.
- Balance Hídrico Superficial mediante el método del índice climático de valle del Mantaro, 2010 al 2013 – (Jacinto Arroyo Aliaga).
- Ficha Técnica de la Central Térmica de Huaycoloro (OSINERGMIN).
- Factor de Planta Anual de las Centrales Eléctricas 2016 (COES-SINAC).
- Informe N° 011 – 2013 – MEN-DGE - Línea de Transmisión 220 kV Friaspata-Mollepata y Subestación Orcotuna 220/60 kV.

Entrevista; se realizó entrevista y se envió correos de consulta a profesionales que trabajan en el sector:

- Entrevista realizada al Sr. Humberto Huester, gerente de operaciones de la empresa Diestra SAC, que realiza el recojo y transporte de los RSM del distrito de Huancayo (anexo 13).
- Correo enviado a la Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. (EPA), para realizar consultas sobre los parámetros utilizados en la estimación de biogás según sus modelos matemáticos.(anexo14)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información

4.1.1. Composición Física de los Residuos Sólidos Municipales de la provincia de Huancayo.

Para obtener la composición física de los residuos sólidos municipales generados en la provincia de Huancayo, se recopiló los estudios de caracterización de los residuos sólidos municipales más recientes de las entidades ediles distritales de El Tambo - 2015, Huancayo - 2016 y Chilca -2015 (Anexo 1 al 6).

Debido a que los pesos de las muestras de cada tipo de residuo variaban considerablemente en cada estudio de caracterización, se optó por promediar los porcentajes de composición para no influir en los resultados, obteniendo los siguientes valores (tabla 9).

Tabla 9

Composición Física de los RSM generados en la provincia de Huancayo

Composición Física de Residuos Sólidos Municipales de la provincia de Huancayo				
Tipo de residuos sólidos	Huancayo	Chilca	El Tambo	TOTAL
	C.P. %	C.P. %	C.P. %	C.P. %
1. Materia Orgánica	50.43%	37.02%	43.46%	43.64%
2. Madera, Follaje	3.82%	1.67%	0.00%	1.83%
3. Papel	5.14%	17.56%	7.29%	10.00%
4. Cartón	4.91%	4.33%	5.68%	4.97%
5. Vidrio	2.32%	2.97%	3.83%	3.04%
6. Plástico PET	3.43%	4.82%	7.49%	5.25%

CONTINUACIÓN				
7. Plástico Duro	1.59%	1.98%	8.74%	4.10%
8. Bolsas	6.60%	3.16%	0.00%	3.25%
9. Tetrapak	0.79%	0.40%	0.00%	0.40%
10. Tecnopor y similares	0.81%	0.08%	0.00%	0.30%
11. Metal	0.52%	0.72%	0.00%	0.41%
12. Telas, textiles	1.67%	5.84%	1.43%	2.98%
13. Caucho, cuero, jebe	0.07%	1.76%	0.00%	0.61%
14. Pilas	0.05%	0.23%	0.00%	0.09%
15. Restos de medicinas, etc.	0.35%	1.11%	0.00%	0.49%
16. Residuos Sanitarios	8.66%	7.00%	10.84%	8.83%
17. Residuos Inertes	4.06%	7.51%	0.00%	3.86%
18. Envolturas	1.13%	0.00%	0.00%	0.38%
19. Latas	1.83%	0.00%	3.40%	1.74%
20. RAEE	0.16%	0.00%	0.00%	0.05%
21. Huesos	0.60%	0.00%	0.00%	0.20%
22. Otros	1.09%	1.85%	7.85%	3.60%
TOTAL	100%	100%	100%	100%

Con la composición (porcentaje) de RSM consolidada, se procedió clasificarlas por su naturaleza en orgánicos (restos de alimentos, madera, follaje, papel, cartón, tela, textiles) e inorgánicos (vidrio, plástico, etc.) para luego sumarlas obteniendo los resultados mostrados en la figura 9.

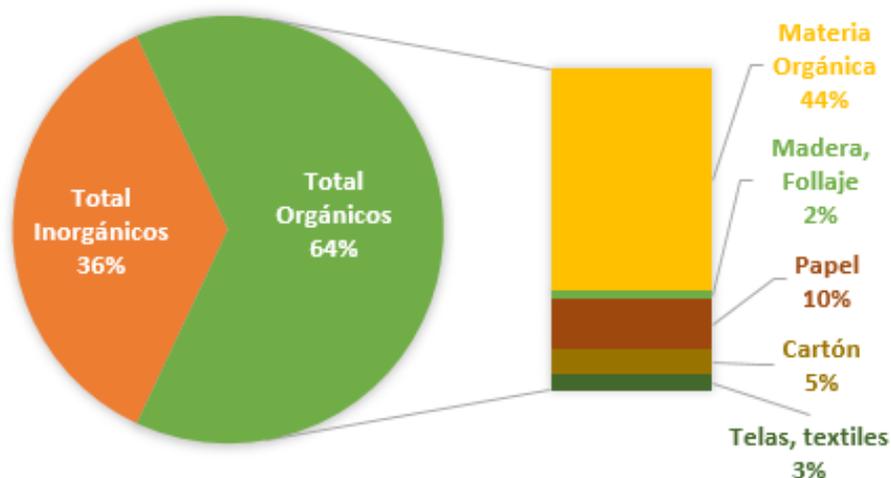


Figura 9. Porcentaje de residuos orgánicos e inorgánicos en los RSM generados en la provincia de Huancayo

Se observa que el 64% de los residuos sólidos municipales generados en la provincia de Huancayo son orgánicos, y que de esta proporción más de 40 % es materia orgánica (restos de alimentos, cascara de frutas y verduras, etc.).

4.1.2. Generación de Residuos Sólidos Municipales en la provincia de Huancayo

4.1.2.1. Población estimada y proyectada de la provincia de Huancayo

La población se estimó y proyectó tomando como referencia la tasa de crecimiento (TC) poblacional de los 2 últimos censos nacionales (1993 y 2007) realizados en los distritos de Huancayo, Chilca y El Tambo (tabla 10). Las tasas de crecimiento poblacional de cada distrito se calcularon utilizando la ecuación 3.

Tabla 10

Resultados de los censos nacionales 1993/2007 de los distritos de Huancayo, Chilca y El Tambo

Provincia / Distrito	POBLACION CENSADA 1993/2007		
	1993	2007	TC %
JUNIN	1,035,841	1,225,474	1.2
Huancayo	100,116	112,054	0.8
Chilca	60,466	77,392	1.8
El Tambo	112,284	146,847	1.9

Fuente: Estadísticas del departamento de Junín - INEI - CPV 1993-2007

Se observa en la tabla 10 que se tiene una tasa de crecimiento positivo (población en expansión) en los tres distritos. Por ello la población se estimó utilizando la ecuación 2 para los tres distritos y se proyectó en 20 años (hasta 2035) que es la vida útil del relleno sanitario, los resultados se muestran en las columnas POBLACIÓN de cada distrito en la tabla 11.

4.1.2.2. Proyección de la Generación Per cápita de la provincia de Huancayo

La generación per cápita municipal de cada uno de los tres distritos de la provincia de Huancayo fue extraída de su respectivo estudio de caracterización, estas se presentan en la tabla 11.

Tabla 11

GPC Municipal de los distritos de Huancayo, Chilca y El Tambo

GPC Municipal (Kg/hab-día)		
Huancayo 2016	El Tambo 2015	Chilca 2015
0.838	0.788	0.781

Para proyectar la generación per cápita se utilizó la ecuación 4, con una tasa de crecimiento anual de 1% recomendado y utilizado en la guía de diseño de rellenos sanitarios mecanizados (13). Los resultados se muestran en la columna GPC de cada distrito de la tabla 12.

4.1.2.3. Generación de RSM por año en la provincia de Huancayo

Para estimar la cantidad de RSM que se genera en la provincia de Huancayo se utilizó la ecuación 6, para cada año proyectado se multiplico la GPC municipal de cada distrito con su respectiva población, luego este valor (Kg/día) se multiplico por la cantidad de días contenidas en un año (365) y se dividió entre 1000 para obtener las toneladas producidas en un año en cada distrito. Tal y como vemos en el siguiente ejemplo para el distrito de El Tambo en el año 2016:

$$RSM = Pob * GPC$$

$$RSM_{2016} = 174\ 497\ hab. \times 0.796 \frac{kg}{hab - día.}$$

$$RSM_{2016} = 138\ 900 \frac{kg}{día.} \times \frac{365\ días}{1\ año} \times \frac{1\ tonelada}{1000\ kg.}$$

$$RSM_{2016} = 50\ 699 \frac{Ton}{año.}$$

Finalmente se sumó estos valores dando como resultado el total de RSM generados en la provincia de Huancayo en cada año hasta el 2035. (Columna Total de la tabla 12)

Tabla 12. Generación anual de RSM en la provincia de Huancayo 2016 - 2035

AÑO	HUANCAYO			EL TAMBO			CHILCA			TOTAL
	POBLACIÓN	GPC kg/día	TONELADAS POR AÑO	POBLACIÓN	GPC kg/día	TONELADAS POR AÑO	POBLACIÓN	GPC kg/día	TONELADAS POR AÑO	TONELADAS POR AÑO
2015					0.788			0.781		0
2016	120470	0.838	36833	174497	0.796	50669	90699	0.789	26106	113608
2017	121443	0.846	37502	177874	0.803	52166	92312	0.796	26836	116504
2018	122424	0.854	38183	181317	0.812	53708	93953	0.804	27586	119477
2019	123413	0.863	38876	184826	0.820	55295	95624	0.812	28357	122528
2020	124410	0.872	39582	188403	0.828	56928	97325	0.821	29150	125661
2021	125416	0.880	40301	192049	0.836	58610	99056	0.829	29966	128877
2022	126429	0.889	41033	195766	0.844	60342	100818	0.837	30804	132179
2023	127450	0.898	41778	199555	0.853	62125	102611	0.845	31665	135568
2024	128480	0.907	42537	203417	0.861	63961	104436	0.854	32550	139048
2025	129518	0.916	43309	207354	0.870	65851	106293	0.862	33460	142620
2026	130564	0.925	44096	211367	0.879	67797	108184	0.871	34396	146288
2027	131619	0.935	44896	215457	0.888	69799	110108	0.880	35358	150054
2028	132682	0.944	45712	219627	0.896	71862	112066	0.889	36347	153920
2029	133754	0.953	46542	223878	0.905	73985	114059	0.897	37363	157890
2030	134835	0.963	47387	228210	0.914	76171	116087	0.906	38408	161966
2031	135924	0.972	48248	232627	0.924	78422	118152	0.916	39482	166151
2032	137022	0.982	49124	237129	0.933	80739	120253	0.925	40586	170448
2033	138129	0.992	50016	241718	0.942	83124	122392	0.934	41721	174861
2034	139245	1.002	50924	246397	0.952	85581	124569	0.943	42887	179392
2035	140370	1.012	51849	251165	0.961	88109	126784	0.953	44086	184044

En la tabla 12 observamos que en el año 2016 se produjeron 113 608 toneladas entre los 3 distritos, aproximadamente 311 toneladas por día de RSM generados en la provincia de Huancayo.

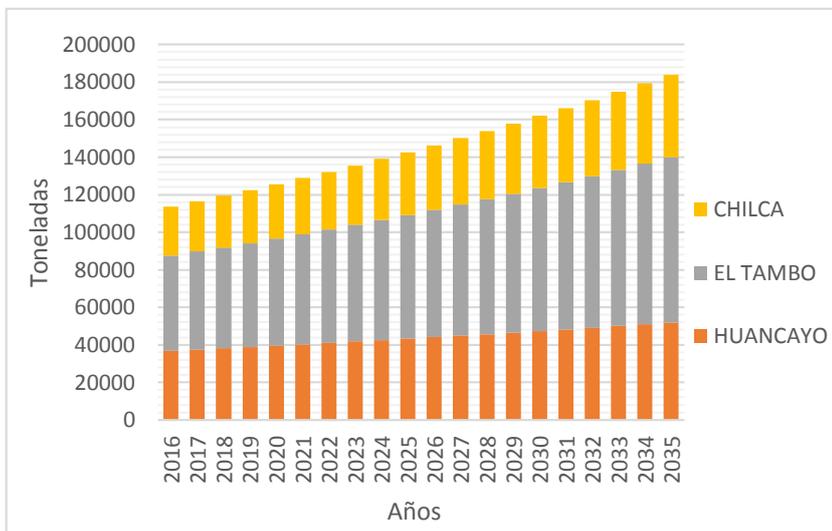


Figura 10. Toneladas de RSM generados en la provincia de Huancayo por año

La figura 10 muestra que la generación de residuos sólidos municipales de la provincia de Huancayo tiene un crecimiento exponencial a través de los años y que en el año 2035 se producirá más de 180 000 toneladas.

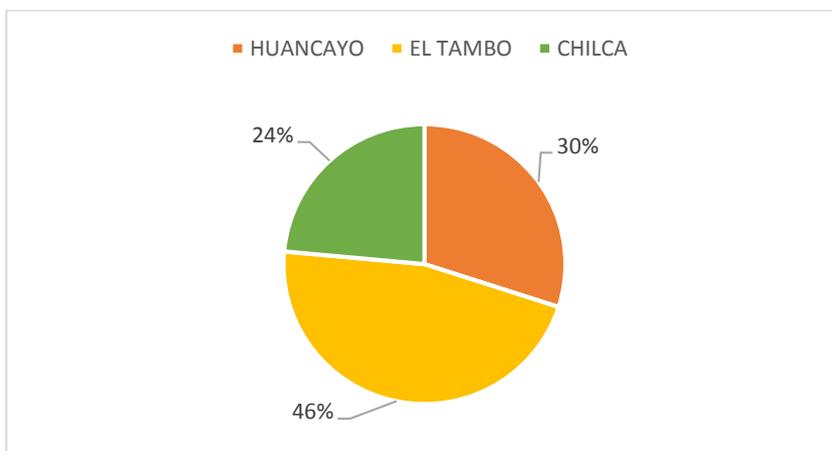


Figura 11. Porcentaje de RSM generados en la provincia de Huancayo por distrito (El Tambo, Huancayo, Chilca).

Observamos en la figura 11 que el distrito de El Tambo es quien más genera RSM por año, aportando más del 45% del total generado en la provincia, esto se debe principalmente por la cantidad de población que alberga, ya que El Tambo es el distrito más poblado de la región Junín.

4.1.3. Parámetros del relleno sanitario

Los parámetros que se asumió para un futuro relleno sanitario en la provincia de Huancayo son:

- Tipo: De acuerdo al reglamento de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos el relleno sanitario es Mecanizado, debido a que la cantidad de RSM que genera la provincia de Huancayo por día es mayor a 50 toneladas.
- Vida Útil: La vida útil que por ley se establece es de 5 años como mínimo, pero no tiene un tope como máximo debido a que este parámetro depende de varios factores del relleno sanitario. En nuestro caso se asumió una vida útil de 20 años de acuerdo al DL N° 1002 (Generación de electricidad con el uso de energías renovables) que establece los plazos de suministro eléctrico hasta 20 años.
- Año de apertura del relleno sanitario: Asumiríamos que la apertura del relleno sanitario habría sido el año 2016 para que el presente año (2017) tengamos las primeras producciones de biogás.
- Año de clausura del relleno sanitario: El año de clausura sería el 2035 de acuerdo a la vida útil del relleno sanitario.

Todos los parámetros del relleno sanitario se resumen en la tabla 13, las cuales servirán para estimar la generación de biogás.

Tabla 13

Parámetros del relleno sanitario

PARAMETROS DEL RELLENO SANITARIO	
Tipo:	Mecanizado
Vida Útil (años):	20
Año de apertura del relleno sanitario	2016
Año de clausura del relleno sanitario	2035

4.1.4. Generación de Biogás a partir de RSM generados en la Provincia de Huancayo.

Se determinó la cantidad de generación de biogás aplicando los modelos Scholl Canyon e IPCC. Estos coinciden que el tiempo de retraso antes del inicio de producción de biogás es de 1 año, por ello el año 2016 es considerado el año 0 (sin producción) y el año 2036 viene a ser el año 20 debido a que la producción de biogás en este año corresponde

a la última deposición de RSM en el relleno sanitario (2035). Otro factor en donde concuerdan es que la composición de metano en el biogás en promedio es de 50%.

4.1.4.1. Modelo Scholl Canyon

La cantidad de biogás generado se calculó aplicando la ecuación 7, en la cual se tomó como parámetros el total de RSM generados en la provincia de Huancayo anualmente y los valores por defecto del modelo como la constante de generación del metano ($K=0.05 \text{ año}^{-1}$) y el potencial de generación del metano ($L_0=170 \text{ m}^3/\text{ton}$). El siguiente ejemplo muestra el cálculo del flujo de metano para los dos primeros años.

$$Q_{CH4i} = k \times L_o \times m_i \times e^{-kt}$$

$$Q_{CH4-2017} = 0.05 \frac{1}{\text{año}} \times 170 \frac{\text{m}^3}{\text{ton}} \times 113\,608 \text{ ton} \times e^{-0.05(1)}$$

$$Q_{CH4-2017} = 918572 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$Q_{CH4-2018} = 0.05 \times 170 \times 113608 \times e^{-0.05(2)} + 0.05 \times 170 \times 116504 \times e^{-0.05(1)}$$

$$Q_{CH4-2018} = 1815759 \text{ m}^3/\text{año}$$

Los resultados obtenidos (generación de metano) se multiplicó por 2 para obtener la cantidad de generación de biogás a través de los años como muestra la tabla 14.

Tabla 14

Generación de Biogás a partir de los RSM de la provincia de Huancayo - Modelo Scholl Canyon

N°	AÑO	TONELADAS DEPOSITADAS ANUALMENTE	PRODUCCIÓN DE METANO $\text{m}^3/\text{año}$	PRODUCCIÓN DE BIOGÁS		
				$\text{m}^3/\text{año}$	m^3/hr	pie^3/hr
0	2016	113608				
1	2017	116504	918572	1837144	210	7407
2	2018	119477	1815759	3631517	415	14642
3	2019	122528	2693225	5386449	615	21718
4	2020	125661	3552570	7105140	811	28648
5	2021	128877	4395334	8790669	1004	35443
6	2022	132179	5223002	10446003	1192	42118
7	2023	135568	6036998	12073996	1378	48682
8	2024	139048	6838700	13677400	1561	55147
9	2025	142620	7629438	15258877	1742	61523
10	2026	146288	8410497	16820994	1920	67821

CONTINUACIÓN						
11	2027	150054	9183119	18366238	2097	74052
12	2028	153920	9948507	19897013	2271	80224
13	2029	157890	10707826	21415652	2445	86347
14	2030	161966	11462212	22924423	2617	92430
15	2031	166151	12212759	24425518	2788	98482
16	2032	170448	12960542	25921084	2959	104512
17	2033	174861	13706599	27413198	3129	110529
18	2034	179392	14451948	28903896	3300	116539
19	2035	184044	15197584	30395168	3470	122552
20	2036	0	15944472	31888943	3640	128574

4.1.4.2. Modelo IPCC

En este modelo calculamos la generación de metano por separado para cada tipo de residuo y la cantidad total se determinó por su suma final.

a. Masa por tipo de residuo en los RSM (W)

La masa de cada tipo de residuo (los que contienen mayor parte de carbón orgánico degradable), se obtuvo multiplicando el porcentaje de su composición física por la cantidad total generada de los residuos sólidos municipales en cada año. En el siguiente ejemplo mostramos como calculamos la masa del tipo de residuos papel/cartón para el año 2018.

$$W_{papel/cartón_{2018}} = Total\ de\ RSM_{2018} \times (C.F_{papel} + C.F_{cartón})\%$$

$$W_{papel/cartón_{2018}} = 119\ 477 \times (9.9957 + 4.9722)\%$$

$$W_{papel/cartón_{2018}} = 17\ 883\ Mg$$

Cabe mencionar que en el tipo de residuo pañales se tomó el porcentaje de los residuos sanitarios (papel higiénico, toallas higiénicas y pañales).de la composición física de los RSM.

Los resultados hasta el año 2035 se muestran en la tabla 15.

Tabla 15

Masa de cada tipo de residuo de los RSM generados en la provincia de Huancayo

N°	AÑO	Cantidad Depositada	Masa por tipos de Residuos					
			Materia Orgánica	Madera/ Follaje	Papel/ Cartón	Telas/ Textiles	Pañales	Caucho/ Cuero
			Porcentaje					
			43.64%	1.83%	14.97%	2.98%	8.83%	0.61%
		Mg	Mg	Mg	Mg	Mg	Mg	
0	2016	113608	49574	2080	17005	3381	10037	694
1	2017	116504	50838	2133	17438	3468	10293	712
2	2018	119477	52135	2188	17883	3556	10555	730
3	2019	122528	53467	2243	18340	3647	10825	749
4	2020	125661	54834	2301	18809	3740	11102	768
5	2021	128877	56237	2360	19290	3836	11386	787
6	2022	132179	57678	2420	19784	3934	11677	808
7	2023	135568	59157	2482	20292	4035	11977	828
8	2024	139048	60675	2546	20812	4139	12284	849
9	2025	142620	62234	2611	21347	4245	12600	871
10	2026	146288	63835	2679	21896	4354	12924	894
11	2027	150054	65478	2747	22460	4466	13257	917
12	2028	153920	67165	2818	23039	4581	13598	940
13	2029	157890	68897	2891	23633	4699	13949	965
14	2030	161966	70676	2966	24243	4821	14309	989
15	2031	166151	72502	3042	24869	4945	14679	1015
16	2032	170448	74377	3121	25512	5073	15058	1041
17	2033	174861	76303	3202	26173	5204	15448	1068
18	2034	179392	78280	3285	26851	5339	15849	1096
19	2035	184044	80310	3370	27547	5478	16260	1124
20	2036	188822	82395	3457	28263	5620	16682	1154

b. Elección de Parámetros para cada tipo de residuo.

Se seleccionó el porcentaje de contenido de carbón orgánico degradable (DOC) para cada componente de los RSM tomando en cuenta que estos son desechos húmedos, ya que son recolectados y dispuestos tal y como se generan (sin pasar procesos de secado), la tabla 16 nos muestra el porcentaje de DOC para cada componente de los RSM.

Tabla 16

Porcentaje de DOC de cada componente de los RSM

Componente de RSM	Contenido de DOC en % de desechos húmedos
Papel/cartón	40%
Textiles	24%
Desechos de alimentos	15%
Madera	43%
Desechos de jardines y parques	20%
Pañales	24%
Caucho y cuero	39%
Plásticos	-
Metal	-
Otros, desechos inertes	-

Nota. Adaptado de la tabla 3

Se seleccionó el índice de generación de metano (k) considerando:

- La temperatura media anual (MAT = 11.125 °C)
- La precipitación media anual (MAP = 732 mm)
- La evapotranspiración potencial (PET = 604.5 mm)

Estos datos fueron recopilados de la investigación Balance Hídrico Superficial mediante el Método del Índice Climático del Valle del Mantaro, 2010 al 2013. (37)

Ya que la MAT es menor a 20 °C y que el cociente de MAP/PET es 1.21 rescatamos los valores de la tabla 5 (zona climática boreal y templada / húmeda) presentados en la tabla 17.

Tabla 17

Índice de generación de metano (k) para cada tipo de desecho de los RSM

Tipo de desechos		k
Desechos de degradación lenta	Desechos de papel/textiles	0.06
	Desechos de madera/paja/caucho	0.03
Desechos de degradación moderada	Otros putrescibles orgánicos (no alimenticios)/ desechos de jardín y parques	0.1
Desechos de degradación rápida	Desechos alimenticios/ lodo de aguas servidas	0.185

Nota. Adaptado de la tabla 5

El valor de la fracción del carbono orgánico que se descompone (DOC_f) se toma por defecto 0.5 que es lo recomendado por el modelo y el factor de corrección de metano (MCF) se asume que es 1 ya que un relleno sanitario de acuerdo a nuestra legislación tiene que cumplir con todas las propiedades de un sitio gestionado anaeróbico.

c. Cálculo del DDOCm depositados en el relleno sanitario

El DOCm disuelto (o susceptible a descomposición) se calculó utilizando la ecuación 8, un ejemplo de cálculo de DDOCm depositado en un relleno sanitario para la materia orgánica (desechos de alimentos) en el año 2019, se presenta a continuación.

$$DDOCmd_T = W_T \cdot DOC \cdot DOC_f \cdot MCF$$

$$DDOCmd_{2019} = 53\,467 \times 0.15 \times 0.5 \times 1$$

$$DDOCmd_{2019} = 4010 \text{ Ton o Mg}$$

Los valores obtenidos de DDOCm de cada tipo de residuo y en cada año hasta el 2035 se presentan en la tabla 18

Tabla 18

DDOCm depositado en un relleno sanitario por tipo de residuo orgánico

N°	AÑO	(DDOCm) depositado en un Relleno Sanitario					
		Materia Orgánica	Madera/ Follaje	Papel/ Cartón	Telas/ Textiles	Pañales	Caucho/ Cuero
		DDOCmd _T = W _T * DOC * DOC _f * MCF					
		Mg	Mg	Mg	Mg	Mg	Mg
0	2016	3718	208	3401	406	1204	135
1	2017	3813	213	3488	416	1235	139
2	2018	3910	219	3577	427	1267	142
3	2019	4010	224	3668	438	1299	146
4	2020	4113	230	3762	449	1332	150
5	2021	4218	236	3858	460	1366	154
6	2022	4326	242	3957	472	1401	157
7	2023	4437	248	4058	484	1437	162
8	2024	4551	255	4162	497	1474	166

CONTINUACIÓN							
9	2025	4668	261	4269	509	1512	170
10	2026	4788	268	4379	522	1551	174
11	2027	4911	275	4492	536	1591	179
12	2028	5037	282	4608	550	1632	183
13	2029	5167	289	4727	564	1674	188
14	2030	5301	297	4849	578	1717	193
15	2031	5438	304	4974	593	1761	198
16	2032	5578	312	5102	609	1807	203
17	2033	5723	320	5235	625	1854	208
18	2034	5871	328	5370	641	1902	214
19	2035	6023	337	5509	657	1951	219
20	2036	0	0	0	0	0	0

d. Cálculo del DDOCm acumulado en el relleno sanitario al final de cada año

El DDOCm acumulado en el relleno sanitario al final de cada año se calculó utilizando la ecuación 10. En el siguiente ejemplo vemos como calculamos el DDOCm acumulado en el relleno sanitario al final del año 2020 para el tipo de residuo madera/follaje.

$$DDOCma_{2020} = DDOCmd_{2020} + (DDOCma_{2019} \cdot e^{-k})$$

$$DDOCma_{2020} = 230 + (751 \cdot e^{-0.1})$$

$$DDOCma_{2020} = 910 \text{ Mg}$$

Los valores obtenidos de DDOCm acumulado en un relleno sanitario al final de cada año hasta el 2036 se muestran en la tabla 19.

Tabla 19

DDOCm acumulado al final de cada año

N°	AÑO	(DDOCm) acumulado al final de año					
		Materia Orgánica (k=0.185)	Madera/ Follaje (k=0.1)	Papel/ Cartón (k=0.06)	Telas/ Textiles (k=0.06)	Pañales (k=0.1)	Caucho/ Cuero (k=0.03)
		DDOCma _T = DDOCmd _T + (DDOCma _{T-1} * e ^{-k})					
		Mg	Mg	Mg	Mg	Mg	Mg
0	2016	3718	208	3401	406	1204	135
1	2017	6903	402	6690	798	2325	270
2	2018	9647	582	9877	1178	3370	404
3	2019	12028	751	12970	1547	4349	538
4	2020	14109	910	15977	1906	5267	672
5	2021	15944	1059	18904	2255	6132	806
6	2022	17577	1200	21760	2596	6950	940
7	2023	19045	1334	24551	2929	7726	1073
8	2024	20379	1462	27284	3255	8465	1207
9	2025	21605	1584	29965	3575	9171	1341
10	2026	22743	1701	32599	3889	9849	1476
11	2027	23813	1814	35192	4199	10503	1611
12	2028	24828	1923	37751	4504	11135	1747
13	2029	25802	2029	40279	4806	11749	1883
14	2030	26745	2133	42782	5104	12348	2021
15	2031	27666	2234	45264	5400	12935	2159
16	2032	28571	2333	47731	5695	13511	2298
17	2033	29468	2432	50186	5988	14079	2439
18	2034	30362	2529	52633	6280	14641	2580
19	2035	31257	2625	55078	6571	15199	2723
20	2036	25978	2375	51870	6189	13752	2643

e. Cálculo del DDOCm descompuesto cada año

El DDOCm descompuesto cada año se calculó utilizando la ecuación 11, El siguiente ejemplo calcula el DDOCm descompuesto en el relleno sanitario durante el año 2021 para el tipo de residuo tela/textiles.

$$DDOCm_{descomp2021} = DDOCma_{2020} \cdot (1 - e^{-k})$$

$$DDOCm_{descomp2021} = 1906 \cdot (1 - e^{-0.06})$$

$$DDOCm_{descomp2021} = 111 \text{ Mg.}$$

Los valores de DDOCm descompuestos en el relleno sanitario cada año para cada tipo de residuo hasta el 2036 se muestran en la tabla 20.

Tabla 20

DDOCm descompuesto cada año

N°	AÑO	(DDOCm) descompuesto cada año					
		Materia Orgánica	Madera/ Follaje	Papel/ Cartón	Telas/ Textiles	Pañales	Caucho/ Cuero
		DDOCm descomp _T = DDOCma _{T-1} * (1 - e ^{-k})					
		Mg	Mg	Mg	Mg	Mg	Mg
0	2016	0	0	0	0	0	0
1	2017	628	20	198	24	115	4
2	2018	1166	38	390	46	221	8
3	2019	1629	55	575	69	321	12
4	2020	2031	71	755	90	414	16
5	2021	2383	87	930	111	501	20
6	2022	2693	101	1101	131	584	24
7	2023	2969	114	1267	151	661	28
8	2024	3217	127	1430	171	735	32
9	2025	3442	139	1589	190	806	36
10	2026	3649	151	1745	208	873	40
11	2027	3841	162	1898	226	937	44
12	2028	4022	173	2049	245	999	48
13	2029	4193	183	2198	262	1060	52
14	2030	4358	193	2346	280	1118	56
15	2031	4517	203	2491	297	1175	60
16	2032	4673	213	2636	314	1231	64
17	2033	4826	222	2780	332	1286	68
18	2034	4977	231	2923	349	1340	72
19	2035	5128	241	3065	366	1393	76
20	2036	5279	250	3207	383	1446	80

f. Cálculo de metano generado cada año

Se calculó la generación de metano utilizando la ecuación 12. En el siguiente ejemplo calculamos la cantidad de metano producido en el año 2022 para el tipo de residuos pañales.

$$CH_4generado_{2022} = DDOCm descomp_{2022} \times F \times 16/12$$

$$CH_4generado_{2022} = 584 \times 0.5 \times 16/12$$

$$CH_4generado_{2022} = 389 Mg.$$

Los resultados de la generación de metano en cada año por cada tipo de residuos se presentan en la tabla 21.

Tabla 21

Generación de metano en cada año por tipo de residuo

N°	AÑO	CH ₄ generado cada año					
		Materia Orgánica	Madera/ Follaje	Papel/ Cartón	Telas/ Textiles	Pañales	Caucho/ Cuero
		CH ₄ generado _T = DDOC _m descomp _T * F * 16/12					
		Mg	Mg	Mg	Mg	Mg	Mg
0	2016	0	0	0	0	0	0
1	2017	419	13	132	16	76	3
2	2018	777	25	260	31	147	5
3	2019	1086	37	383	46	214	8
4	2020	1354	48	504	60	276	11
5	2021	1589	58	620	74	334	13
6	2022	1795	67	734	88	389	16
7	2023	1979	76	845	101	441	19
8	2024	2144	85	953	114	490	21
9	2025	2295	93	1059	126	537	24
10	2026	2433	100	1163	139	582	26
11	2027	2561	108	1266	151	625	29
12	2028	2681	115	1366	163	666	32
13	2029	2796	122	1466	175	706	34
14	2030	2905	129	1564	187	745	37
15	2031	3011	135	1661	198	783	40
16	2032	3115	142	1757	210	821	43
17	2033	3217	148	1853	221	857	45
18	2034	3318	154	1948	232	893	48
19	2035	3419	160	2043	244	929	51
20	2036	3520	167	2138	255	964	54

g. Cálculo de biogás generado cada año

Se obtuvo la generación total de metano sumando los resultados de cada tipo de desecho, como este se expresa en toneladas (Mg) se realizó la conversión utilizando la densidad del metano que de acuerdo a la teoría es 0.0007168 ton/m³ en condiciones normales. En el siguiente ejemplo mostramos como hallamos el flujo de biogás generado en un relleno sanitario para el año 2025:

- Calculo del total de metano generado en el año 2025.

$$CH_4total_{2025} = \sum CH_4 \text{ generado por cada tipo de residuo}_{2025}$$

$$CH_4total_{2025} = 4134 \text{ Mg}$$

- Conversión de Toneladas a m³.

$$CH_4flujo_{2025} = 4133.796 \text{ Ton} \times \frac{1}{0.0007168} \frac{m^3}{\text{Ton}}$$

$$CH_4flujo_{2025} = 5\,767\,015 \text{ m}^3$$

- Calculo de Biogás generado en el año 2025

$$Biogás \text{ total}_{2025} = CH_4flujo_{2025} \times 2$$

$$Biogás \text{ total}_{2025} = 5\,767\,015 \times 2$$

$$Biogás \text{ total}_{2025} = 11\,534\,030 \text{ m}^3$$

Los flujos de biogás generado cada año hasta el 2036 se presentan en la tabla 22.

Tabla 22

Generación de biogás por año a partir de los RSM de la provincia de Huancayo - Modelo IPCC

N°	AÑO	Total de CH ₄ generado		Flujo de Biogás Total		
		$\rho_{CH_4} = 0.0007168 \text{ ton/m}^3$				
		ΣQ_{CH_4}		Biogás		
		Mg	m ³	m ³ /año	m ³ /hora	pies ³ /hora
0	2016	0	0	0	0	0
1	2017	659	918955	1837911	210	7410
2	2018	1246	1738679	3477358	397	14021
3	2019	1774	2475160	4950320	565	19959
4	2020	2252	3141833	6283665	717	25335
5	2021	2688	3749996	7499992	856	30240
6	2022	3089	4309169	8618337	984	34749
7	2023	3460	4827378	9654757	1102	38927
8	2024	3807	5311411	10622822	1213	42831
9	2025	4134	5767015	11534030	1317	46505

CONTINUACIÓN						
10	2026	4443	6199067	12398135	1415	49989
11	2027	4739	6611721	13223441	1510	53316
12	2028	5024	7008515	14017031	1600	56516
13	2029	5299	7392485	14784970	1688	59612
14	2030	5567	7766238	15532475	1773	62626
15	2031	5829	8132016	16264033	1857	65576
16	2032	6087	8491772	16983544	1939	68477
17	2033	6342	8847195	17694391	2020	71343
18	2034	6594	9199771	18399543	2100	74186
19	2035	6846	9550807	19101615	2181	77017
20	2036	7097	9901451	19802902	2261	79844

4.1.5. Eficiencia de Recuperación de Biogás.

La eficiencia de recuperación de biogás se estimó con el porcentaje de 50% que viene ser una cantidad moderada y fácil de alcanzar, este porcentaje también se asumió en el estudio del proyecto de captura y quema del gas metano generado en el relleno sanitario Huaycoloro (38). Para fines de cálculo se realizó la conversión de biogás a pie³/hora en cada modelo, y se multiplico por la eficiencia de recuperación, los resultados se muestran en la tabla 23.

Tabla 23

Cantidad de biogás recuperado con una eficiencia de 50%

Año	Generación de Biogás		Eficiencia del Sistema de Captura (%)	Recuperación de Biogás Estimada	
	SCHOLL CANYON	IPCC		SCHOLL CANYON	IPCC
	(pie ³ /hr)	(pie ³ /hr)		(pie ³ /hr)	(pie ³ /hr)
2016	0	0	50%	0	0
2017	7407	7410	50%	3704	3705
2018	14642	14021	50%	7321	7010
2019	21718	19959	50%	10859	9980
2020	28648	25335	50%	14324	12668
2021	35443	30240	50%	17722	15120
2022	42118	34749	50%	21059	17374
2023	48682	38927	50%	24341	19464
2024	55147	42831	50%	27573	21415
2025	61523	46505	50%	30761	23252

CONTINUACIÓN					
2026	67821	49989	50%	33911	24994
2027	74052	53316	50%	37026	26658
2028	80224	56516	50%	40112	28258
2029	86347	59612	50%	43173	29806
2030	92430	62626	50%	46215	31313
2031	98482	65576	50%	49241	32788
2032	104512	68477	50%	52256	34238
2033	110529	71343	50%	55264	35671
2034	116539	74186	50%	58269	37093
2035	122552	77017	50%	61276	38508
2036	128574	79844	50%	64287	39922

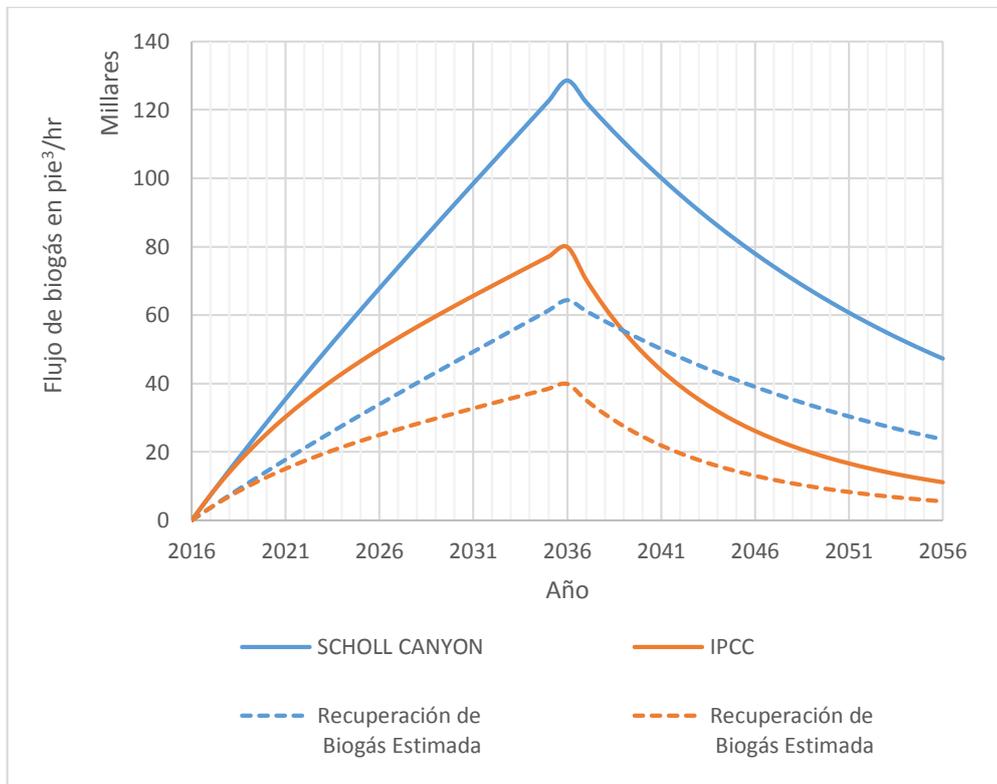


Figura 12. Curva de Generación y Recuperación de biogás 2016-2056

Observamos en la figura 12 que la predicción de generación de biogás en los primeros años es muy cercana en ambos modelos, pero que a través de los años el modelo Scholl Canyon estima una generación de biogás mayor que la del IPCC, esto se debe a las diferencias que tiene cada modelo al manipular la variable de la masa de residuos con el transcurrir de los años. En ambos modelos se continúa generando biogás después de que

el relleno sanitario deja de recibir residuos, llegando a su máxima expresión el 2036, un año después del cierre.

4.1.6. Potencia Eléctrica generada con el biogás proveniente de los RSM de la provincia de Huancayo

La potencia eléctrica generada se calculó seleccionando la tecnología más acorde para el flujo de biogás generado por los RSM de la provincia de Huancayo, luego convertimos este flujo en poder calorífico de biogás y por último establecimos el consumo específico de calor (Heat Rate) de una central eléctrica térmica para convertir el poder calorífico en potencia eléctrica..

4.1.6.1. Tecnología de Conversión de Biogás a Electricidad.

Se eligió la tecnología idónea para la conversión de biogás en energía eléctrica, tomando el flujo de biogás como principal factor para la elección. La tabla 6 proporcionada por el manual de la preparación de gas de relleno para el proyecto de energía en América Latina y el Caribe del Banco Mundial, señala los rangos típicos de flujo de biogás para cada tipo de tecnología en pies³/min, esta unidad se transformó en m³/min (dividiendo por 35.3198) con el fin de tener una misma línea de unidades, la tabla 24 presenta lo resultados.

Tabla 24

Rangos típicos de flujos de biogás (m³/min) para cada tipo de tecnología

Tecnología	Rango típico de flujos (m ³ /min)
Microturbinas	< 2.83
Motores de combustión interna	4.25 a 141.56
Turbinas de gas	113.25 a 566.25

Luego convertimos los flujos de biogás recuperado cada año (m³/año) dividiendo por 525600 (cantidad minutos contenidas en un año), para obtener (m³/min) y contrastarlos con los valores de la tabla 25.

Tabla 25

Flujos de Biogás (m³/min) recuperado en cada año

N°	AÑO	Biogás Recuperado	
		S.C.	IPCC
		Moderado	
		m ³ /min	m ³ /min
0	2016	0.00	0.00
1	2017	1.75	1.75
2	2018	3.45	3.31
3	2019	5.12	4.71
4	2020	6.76	5.98
5	2021	8.36	7.13
6	2022	9.94	8.20
7	2023	11.49	9.18
8	2024	13.01	10.11
9	2025	14.52	10.97
10	2026	16.00	11.79
11	2027	17.47	12.58
12	2028	18.93	13.33
13	2029	20.37	14.06
14	2030	21.81	14.78
15	2031	23.24	15.47
16	2032	24.66	16.16
17	2033	26.08	16.83
18	2034	27.50	17.50
19	2035	28.91	18.17
20	2036	30.34	18.84

Sola la cantidad de biogás recuperado en el 2017 es apto para la utilización de microturbinas para la generación eléctrica, y las cantidades recuperadas en el año 2036 se encuentran muy por debajo de los flujos necesarios para el uso de turbinas a gas.

A partir del 2018 todos los valores están dentro del rango de los Motores de Combustión Interna es por ello que se seleccionó este tipo de tecnología que es la más usada en EE.UU.

4.1.6.2. Energía térmica del biogás

La energía térmica del biogás se calculó en base al poder calorífico inferior del metano, la cual es 913 Btu/pies³. En los modelos Scholl Canyon e IPCC se asume que el biogás contiene 50% de metano, por lo tanto el poder calorífico inferior del biogás será la

mitad del PCI del metano (456.5 Btu/pies³). Con este valor y el flujo de biogás recuperado en pies³/hora se obtuvo la energía térmica contenida en el biogás en Btu/hora para cada año, los resultados se muestran en las columnas 2 y 3 de la tabla 26.

4.1.6.3. Potencia Eléctrica generada.

Para el cálculo de la potencia eléctrica producida se asumió que eficiencia eléctrica neta de un motor de combustión interna es 32%(valor mínimo), aplicando este valor a la ecuación 13 se halló el consumo específico de calor (Heat Rate = 10662.5 Btu/kWh), como se muestra a continuación:

$$\text{Heat Rate (Btu/kWh)} = \frac{3412 \text{ Btu/kWh}}{\eta}$$

$$\text{Heat Rate (Btu/kWh)} = \frac{3412 \text{ Btu/kWh}}{0.32}$$

$$\text{Heat Rate} = 10662.5 \frac{\text{Btu}}{\text{kWh}}$$

Este valor se reemplazó en la ecuación 14 para obtener la Potencia Eléctrica neta generada para cada año (tabla 26), como se muestra en el siguiente ejemplo para el año 2030.

$$kW = \text{Flujo de biogás} \left(\frac{ft^3}{hr} \right) * \text{Energía contenida} \left(\frac{Btu}{ft^3} \right) * \frac{1}{\text{Heat Rate} \left(\frac{Btu}{kWh} \right)}$$

$$kW_{2030} = 46215 \left(\frac{ft^3}{hr} \right) * 456.5 \left(\frac{Btu}{ft^3} \right) * \frac{1}{10662.5} \left(\frac{kWh}{Btu} \right)$$

$$kW_{2030} = 1979 \text{ kW}$$

Tabla 26

Potencia Eléctrica Neta Generada a partir del biogás

Año	Energía térmica contenida en el biogás		Potencia eléctrica neta generada	
	SCHOLL CANYON	IPCC	SCHOLL CANYON	IPCC
	PCI=456.5 Btu/pie ³		HR=10662.5 Btu/kWh	
	(BTU/hr)	(BTU/hr)	(kW)	(kW)
2016	0	0	0	0
2017	1690708	1691413	159	159
2018	3342054	3200182	313	300
2019	4957103	4555737	465	427
2020	6538799	5782803	613	542
2021	8089977	6902178	759	647
2022	9613367	7931382	902	744
2023	11111595	8885190	1042	833
2024	12587193	9776092	1181	917
2025	14042613	10614669	1317	996
2026	15480216	11409897	1452	1070
2027	16902291	12169419	1585	1141
2028	18311051	12899753	1717	1210
2029	19708641	13606481	1848	1276
2030	21097150	14294404	1979	1341
2031	22478595	14967650	2108	1404
2032	23854951	15629809	2237	1466
2033	25228131	16283996	2366	1527
2034	26600007	16932941	2495	1588
2035	27972413	17579052	2623	1649
2036	29347121	18224441	2752	1709

De acuerdo a la tabla 26 la potencia eléctrica que se podría generar en el año 2017 sería 159 kW para ambos modelos, y se podría llegar a generar 1 MW a partir del año 2023 (SC) o 2026 (IPCC). Llegando a su máximo nivel el año 2036 con 2752 kW (SC) y 1709 kW (IPCC). Todos estos resultados con una eficiencia de recuperación de biogás de 50% y una eficiencia de conversión de 32%.

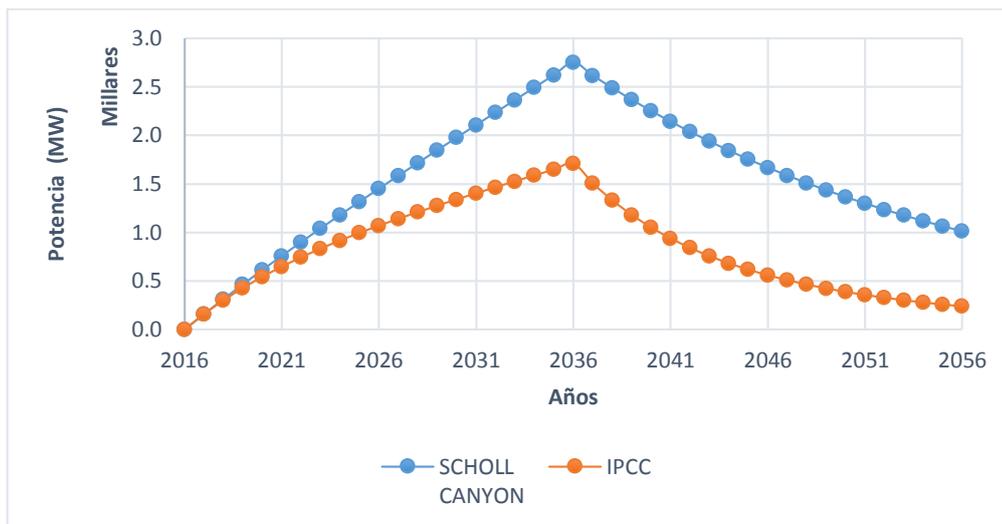


Figura 13. Curva de Potencia Eléctrica Generada a partir del biogás de obtenido de los RSM de la provincia de Huancayo 2016-2056

La figura 13 nos muestra que según el modelo Scholl Canyon se puede mantener un generación eléctrica de 1.5 MW por 20 años, que empezaría en el año 2027 hasta el año 2046, en el modelo IPCC se podría generar y mantener una potencia de 800 kW durante 20 años desde el 2023 al 2042 o una potencia de 1 MW sostenida por 15 años desde el 2026 al 2040.

4.1.7. Costos, Ingresos y Cobertura de Generación en el Valle de Mantaro

4.1.7.1. Costos de Inversión e Ingresos

Para calcular los costos de inversión y O&M de una central térmica en Huancayo se utilizó los valores de la tabla 8 de los motores de combustión interna grandes (>800 kW) y una potencia instalada de 1 MW que según ambos modelos podría mantenerse mínimamente por 15 años. Los resultados se muestran en la tabla 27.

Tabla 27.

Costos de Inversión para una Central Térmica en Huancayo

POTENCIA INSTALADA (kW)	COSTO DE INVERSIÓN (\$/kW)	INVERSIÓN TOTAL (MM\$)
1000	1800	1.8

MM\$: Millones de dólares

La energía ofertada fue calculada con la ecuación 15, se utilizó el factor de planta anual de la central térmica de Huaycoloro en el año 2016, que fue 83.57%, este dato fue extraído de los resultados de factor de planta anual de las centrales eléctricas 2016, brindado por el COES¹², (anexo 10), el cálculo se muestra a continuación.

$$Ea = P_{inst} \times To \times Fp = 1000 \times 8760 \times 83,57\% = 7320.732 \text{ MWh}$$

Conociendo la cantidad de energía que se puede ofertar anualmente se calculó los ingresos, utilizando un precio de 0.11 \$/kWh, que fue el precio de energía ofertado para la Central Térmica de Huaycoloro, mostrada en su ficha técnica y proporcionada por Osinergmin¹³ (anexo 11),

Este ingreso fue descontado con los gastos de O&M que tendrá la central en cada año de funcionamiento, teniendo como resultado unos ingreso netos de \$ 625 281 por año, la cual se muestra en la tabla 28.

Tabla 28

Ingresos anuales de una Central Térmica en Huancayo

ENERGÍA OFERTADA (MWh por año)	PRECIO (\$/kWh)	INGRESOS ANUALES (\$)	GASTOS DE O&M (\$)	INGRESOS ANUALES NETOS (\$)
7320.732	0.11	805 280	180 000	625 281

MWh: Megawatt – hora

¹² COES: Comité de Operación Económica del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional

¹³Osinergmin: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería

4.1.7.2. Cobertura de generación en el Valle del Mantaro

Para calcular la potencia instalada en MVA, se promedió los resultados de las potencias de cada modelo en cada año y se dividió entre un factor de potencia de 0.95. Con estos valores y con los datos extraídos del anexo 12 se obtuvo el porcentaje de cobertura, los resultados se muestran en la tabla 29 hasta el año 2022.

Tabla 29

Máxima demanda y Potencia instalada por año en el valle del Mantaro

MAXIMA DEMANDA Y POTENCIA INSTALADA POR AÑO (en MVA)							
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
MÁXIMA DEMANDA (MW)	84.44	88.61	92.79	96.96	101.14	105.31	109.49
MÁXIMA DEMANDA (MVA)	88.9	93.3	97.7	102.1	106.5	110.9	115.3
PORCENTAJE DE COBERTURA (%)	0.00%	0.18%	0.32%	0.45%	0.56%	0.66%	0.75%
POTENCIA INSTALADA	SE HUAYUCACHI	80	80	80	80	80	80
	C.H. HUAYCHA	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	C.H. HUARISCA	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
	C.H. INGENIO	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
	C.H. EL MACHU	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
	C.H. CHAMISERIA	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
	C.T. HUANCAYO	0	0.17	0.32	0.46	0.60	0.74
POTENCIA INSTALADA TOTAL (MVA)	84.40	84.57	84.72	84.86	85.00	85.14	85.26
PORCENTAJE DE COBERTURA (%)	0.00%	0.20%	0.37%	0.55%	0.71%	0.87%	1.01%

Nota: Factor de Potencia 0.95 Inductivo. Adaptado del Informe N° 011-2013 – MEM/DGE

4.2. Discusión de resultados.

4.2.1. Interpretación de resultados

De acuerdo a la figura 9, se afirma que más del 60% de basura que produce la provincia de Huancayo estaría conformada por residuos orgánicos, el resultado es favorable para la generación de electricidad, puesto que a mayor cantidad de desechos orgánicos presentes en los RSM, mayor será la cantidad de biogás generado en un relleno sanitario en donde se confinen.

La tasa de crecimiento poblacional y la proyección de la generación per cápita que en este momento (2017) pasa los 750 gramos ($\frac{3}{4}$ kg.) por habitante por día en la Provincia de Huancayo (tablas 10 y 11), nos demuestra que la producción de RSM tendrá una

tendencia al crecimiento a través de los años (figura 10), contando ya en el 2016 con una producción anual de más de 110 000 toneladas, siendo el distrito de El Tambo quien más genera con un 46 %.

Los parámetros mostrados en la tabla 13 fueron seleccionados acatando la normativa vigente y sus valores sirvieron para delimitar los cálculos. La vida útil de un relleno sanitario depende de la cantidad de RSM a confinar y de su área, 20 años o más es un tiempo razonable si nuestra intención es realizar un proyecto de recuperación energética en un relleno sanitario, puesto que se tiene que recuperar el costo de inversión y acumular mayor RSM en el relleno sanitario para generar una potencia eléctrica razonable.

La generación de biogás en el primer año (2017) según los modelos Scholl Canyon e IPCC es de 7407 y 7410 pies³/hr (tabla 23). Si bien es cierto en los primeros años la producción de biogás es muy cercana para ambos modelos, al transcurrir los años el modelo Scholl Canyon estima una generación de biogás mayor y un decaimiento menor que la del IPCC, con una variación que va desde 4%(2018), 61% (2036) hasta 325% (2056). Esto se debe a las diferencias que tiene cada modelo al manipular la variable de la masa de residuos con el transcurrir de los años. La generación de biogás llega a su máximo nivel el 2036 en ambos modelos con 128 574 pies³/hr (SC) y 79 844 pies³/hr (IPCC), un año después del cierre del relleno sanitario (figura 12).

La generación eléctrica a partir del biogás procedente de un relleno sanitario comprende 2 aspectos importantes. En primer lugar, la estimación de la potencia eléctrica a generar y en segundo lugar, mucho más importante, evaluar qué cantidad de esta energía se puede mantener de forma razonable y confiable durante la larga vida de un proyecto de generación de energía eléctrica. Y según nuestros resultados (figura 13) el modelo Scholl Canyon podría generar y mantener 2 MW por 12 años, 1.5 MW por 20 años y 1 MW por 34 años. Por su parte el modelo IPCC podría generar y mantener una potencia de 1 MW por 15 años, 800 kW durante 20 y 500 kW por 28 años.

Los costos de inversión, según la tabla 27, para una central térmica en Huancayo con una potencia instalada de 1 MW ascienden al 1 800 000 dólares americanos. Los ingresos por la venta de energía alcanzarán los \$ 805 280 al año y los gastos de operación y mantenimiento de la planta anualmente serán \$ 180 000, teniendo un total de ingresos netos anuales (tabla 28) de 625 281 dólares americanos. Esto nos da una idea a grandes rasgos que el tiempo de recuperación de la inversión será aproximadamente en 3 años

La máxima demanda eléctrica del valle del Mantaro en el año 2022 alcanzaría los 115.3 MVA y la cobertura que tendría la central en ese año sería 0.75%. La potencia instalada de una central térmica en Huancayo en el año 2022 sería 0.86 MVA, superando así a las centrales hidroeléctricas de Ingenio (0.8), Huaycha (0.2), El Machu y Chamiseria (0.6).

4.2.2. Comparación de resultados.

Los resultados hallados en la presente tesis serán difíciles de comparar con los antecedentes que se citaron, puesto que por su contexto y escenario los resultados de cada investigación son muy variados y solo se mencionara lo siguiente:

- La tecnología usada para la conversión de biogás a energía eléctrica en las investigaciones “Propuesta de Generación de Energía Eléctrica mediante Biogás obtenido por la materia Orgánica del Relleno Sanitario “Santa Cruz” – Concepción” (6), “Estudio del potencial energético a partir de los residuos sólidos en algunos distritos del Cono Norte de Lima Metropolitana” (7) y “Potencial Energético del Biogás Generado por los Residuos Sólidos Domiciliarios (RSD) en la Provincia de Concepción” (11) son los Motores de Combustión Interna, estos con una eficiencia de conversión de 85% ,45% y 42%, respectivamente, cabe resaltar que en las investigaciones mencionadas no se analizó al detalle la selección de la tecnología idónea de acuerdo a su flujo de biogás, la eficiencia usada en la presente investigación fue 32%.
- El aprovechamiento de los RSM para transformarlos en energía eléctrica comúnmente se realiza por dos vías, a partir de la combustión de biogás generado en rellenos sanitarios o en plantas de tratamiento térmico mediante la incineración de residuos. El “Estudio del potencial energético a partir de los residuos sólidos en algunos distritos del Cono Norte de Lima Metropolitana” (7) y esta investigación concuerdan que el mejor método dado las características de los RSM que presenta nuestro país es mediante la conversión de biogás.
- En la tesis “Uso de los Residuos Sólidos Municipales para la Generación de Energía Eléctrica en la Provincia del Santa” (9), los resultados de la generación per cápita de los RSM generados en la provincia del Santa –

Ancash fue 0.73 kg. por habitante por día, este valor es muy cercano al promedio de las GPC de los tres distritos estudiados que es aproximadamente 0.8.

- La investigación “Generación de Energía Eléctrica a partir de la producción de Biogás” (10), la investigación llegó a la conclusión que la mayor producción de biogás ocurre durante los primeros 5 años desde que son depositados en el relleno sanitario. Nuestros resultados no apoyan esta conclusión debido a que la mayor producción de biogás se da un año después del cierre del relleno sanitario, este tiempo es relativo y depende únicamente de su vida útil.

4.2.3. Evaluación de resultados

Los resultados de la composición física de los RSM generados en la provincia de Huancayo tiene relación directa con la calidad y metodología de los estudios de caracterización de cada distrito, estos a su vez fueron desarrolladas utilizando la “Guía Metodológica para el Desarrollo del Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales (EC-RSM)” y la calidad del estudio fue verificada y aceptada por el Ministerio del Ambiente (MINAM) y un especialista del área. Cabe señalar que cada estudio realizó diferente recopilación de datos de acuerdo a su contexto, debido a este factor, los pesos de las muestras para cada tipo de residuo varían en cada distrito y no se consideró todos los tipos de residuo o que se consideraron por error en otro tipo, lo cual pudo impactar ligeramente en los resultados.

La cantidad hallada de los RSM generados en la provincia de Huancayo en el año 2016 difiere con el Registro Nacional de Municipalidades (RENAMU) proporcionado por el INEI (anexo 8), en la cual señala que la cantidad de los RSM generadas en los 3 distritos el año 2016 es 305.5 toneladas por día y en nuestro calculo establecimos una generación de 311 toneladas diarias, esta diferencia se debe principalmente a que la población es estimada y no real. Cabe mencionar que en el estudio no se consideró algunos distritos aledaños e importantes de la provincia (Pilcomayo, Huancán, etc.) que tienen una considerable cantidad de generación de RSM, la cual compensaría e incluso superaría la diferencia de 5.5 toneladas.

El flujo de biogás estimado asume que contiene 50% de metano en su composición, este valor concuerda con lo asumido por otros modelos específicos de generación de biogás (LANDGEM - EE.UU, Mexicano, Colombiano, etc.). En los modelos estudiados solo

el Scholl Canyon recomienda usar una eficiencia de recuperación de biogás de 50 % en un escenario conservador, por lo contrario los modelos específicos para cada país calculan este valor tomando en cuenta las características y prácticas de manejo de rellenos sanitarios existentes, llegando a valores superiores de 70%, otros autores mencionan que usualmente estos valores se encuentran entre 75 y 85%.

El poder calorífico inferior se asumió considerando que el biogás contiene 50% de metano, este valor fue 456.5 Btu/pe³ la mitad del poder calorífico inferior del CH₄. Sin embargo en el estudio de determinación de la potencia efectiva y rendimiento de los grupos CAT 1, 2 y 3 de la central térmica Huaycoloro (32) (anexo 9) este valor fue 395 Btu/pe³, con la cual tendríamos una variación de -13.47% en los resultados hallados en la investigación.

El consumo específico de calor o Heat Rate se obtuvo tomando la mínima eficiencia neta de un motor de combustión interna 32% con la cual tuvimos un resultado de 10662.5 Btu/kWh, en los modelos de la LMOP este valor se asume en 10800 Btu/kWh y en el estudio de determinación de la potencia efectiva y rendimiento de los grupos CAT 1, 2 y 3 de la central térmica Huaycoloro (32) los resultados de la prueba de rendimiento (anexo 9). arrojan en promedio un Heat Rate de 10573 Btu/kWh. Con estos valores se tendría variación en los resultados aproximadamente de -1% y + 1% respectivamente.

Se estudiaron otros modelos de generación de biogás con el fin de entenderlos y aplicarlos al presente estudio como:

- LANDGEM versión 3.02 - EE.UU.
- Modelo Mexicano de biogás versión 2.0.
- Modelo Colombiano de Biogás versión 1.0.
- Modelo Centroamericano de Biogás versión 1.0.

Pero estos modelos usan parámetros y valores de cálculo que se ajustan a la realidad de los países para los que fueron diseñados, por ello no se aplicaron a la investigación. Como por ejemplo para el modelo Mexicano se usa un factor de ajuste de 0.2% para que los resultados coincidan con los resultados hechos por el modelo LANDGEM. (Anexo 14)

Se utilizó un costo de inversión de 1800 dólares por kW, y según la ficha técnica de la central térmica de Huaycoloro (anexo 11) se invirtió aproximadamente 10 millones 500 mil dólares para una potencia instalada de 4.8 MW, teniendo como resultado un costo

invertido de 2187.5 dólares por kW. Con este dato se obtendría una variación de +21.53% en el resultado de la inversión total.

4.2.4. Consecuencias teóricas

Siendo el tema de investigación poco abordado y desconocido, al determinar los resultados se logró también:

- Se elaboró un procedimiento ordenado y sistemático de cálculo acorde a nuestra realidad, que va desde la determinación de la cantidad y composición de los RSM hasta la conversión de biogás en electricidad, este método servirá como referencia para cualquier estudio posterior relacionado al tema de investigación.
- Se desarrolló un modelo simple y fácil de entender en un archivo de Microsoft Excel para la provincia de Huancayo, pero que puede ser usado por cualquier región, provincia o distrito del país para determinar el potencial energético de sus RSM en base a este tipo de aprovechamiento.

4.2.5. Aplicaciones Prácticas

La investigación está dirigida a que en un futuro cercano se desarrolle un relleno sanitario en la Ciudad de Huancayo y que de su natural operación se obtenga esta fuente de energía (biogás) para aprovecharla y generar electricidad, para cuando este escenario ocurra ya se tendrá un valor referencial del potencial de generación gracias a los resultados de la investigación, lo cual indica que la tesis es netamente aplicativa.

CONCLUSIONES

- La potencia eléctrica generada a través de la conversión de biogás obtenido de los RSM de la provincia de Huancayo en el año 2017 sería 159 kW, este valor es el resultado de la cantidad de RSM depositados en un relleno sanitario en el año 2016, un contenido de 50% de metano en el biogás, una eficiencia de recuperación de biogás de 50% y una eficiencia del equipo de conversión de 32%.
- La potencia eléctrica tiende a crecer a través de los años mientras continúe la deposición de residuos sólidos municipales en el relleno sanitario, y tiende a decaer después de su cierre o cuando deja de recibir RSM.
- La composición de residuos sólidos municipales generados en la provincia de Huancayo está principalmente conformada por los residuos orgánicos con un porcentaje de 64 %.
- La cantidad de residuos sólidos municipales que se generó en la provincia de Huancayo en el año 2016 es 113 608 toneladas, esto equivale a una generación diaria de 311 toneladas.
- El flujo de biogás generado en el año 2017, un año después de una supuesta apertura del relleno sanitario, es aproximadamente 210 m³/hora. Este flujo crece en tanto continúe la deposición de RSM, llegando a su nivel máximo un año después de la clausura del relleno sanitario (2036) con 3640 m³/hora (SC) y 2261 m³/hora (IPCC).
- El modelo Scholl Canyon estima una generación de biogás mayor y un decaimiento menor que la del IPCC, con una variación que va desde 4%(2018), 61% (2036) hasta 325% (2056). Esto se debe a las diferencias que tiene cada modelo al manipular la variable de la masa de residuos con el transcurrir de los años.
- Los modelos de predicción de biogás consideran que el contenido de metano en el biogás de 50%. La eficiencia de recuperación del biogás se asume de acuerdo a las condiciones de operación de un relleno sanitario ya en funcionamiento, por ello se asumió un 50% por ser un valor conservador y fácil de alcanzar en la práctica.

- La tecnología idónea para la conversión de biogás a electricidad son los motores de combustión interna, debido a que el flujo de biogás generado y recuperado a partir del 2019 se encuentra dentro de los rangos de funcionamiento de este tipo de tecnología (4.25 a 141.56 m³/min). Con una eficiencia de conversión de 32% que equivaldría a un consumo específico de combustible (Heat Rate) de 10662.5 Btu/kWh
- La generación eléctrica a partir del biogás procedente de un relleno sanitario comprende 2 aspectos importantes. En primer lugar, la estimación de la potencia eléctrica a generar y en segundo lugar, mucho más importante, evaluar qué cantidad de esta energía se puede mantener de forma razonable y confiable durante la larga vida de un proyecto de generación eléctrica.
- Con una disposición constante de RSM en un relleno sanitario por 20 años, el modelo Scholl Canyon podría generar y mantener 2 MW por 12 años, 1.5 MW por 20 años y 1 MW por 34 años. Por su parte el modelo IPCC podría generar y mantener una potencia de 1 MW por 15 años y 500 kW por 28 años.
- Al contar con un flujo creciente de biogás y por lo tanto de potencia eléctrica, se podría implementar el proyecto de recuperación energética en diferentes etapas, como por ejemplo, en una etapa inicial se podría tener una capacidad instalada de 300kW en el año 2018, luego complementarla con 300 kW más en el año 2020 y así sucesivamente según se requiera. Otra opción sería iniciar con 500 KW en el año 2020 con miras a expandir el año 2025 con otros 500 KW para llegar a 1 MW, todo esto se puede lograr debido a la diversidad de ofertas, capacidades y marcas existentes en el mercado.
- Son varias las razones del por que no se ha utilizado este tipo de generación eléctrica como alternativa viable en el país; como la inexistencia de rellenos sanitarios, la gestión inadecuada de los RSM por parte de las municipalidades, baja recaudación y alta morosidad por parte de la población en el pago de arbitrios, falta de leyes, etc.
- Los principales factores que influyen en la generación de biogás en un relleno sanitario son; los residuos orgánicos en los RSM, la cantidad de RSM, la gestión del relleno sanitario, la eficiencia de recuperación de biogás y los datos climáticos de la zona. Al realizar la investigación no se encontró bibliografía alguna que mencionara que la altitud en nuestro caso 3259 msnm podría influir en la generación de biogás.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Oficina de Comunicaciones y Atención al Ciudadano - OEFA.** Noticias Institucionales: Organización de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA. *Sitio Web de la Organización de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA.* [En línea] 16 de Julio de 2014. [Citado el: 20 de Abril de 2017.] <https://www.oefa.gob.pe/noticias-institucionales/botadero-el-eden-y-agua-de-las-virgenes>.
2. **Diario Correo.** Edición Huancayo: Diario Correo. *Sitio Web de Diario Correo.* [En línea] 2017 de Enero de 2017. [Citado el: 2018 de Enero de 13.] <https://diariocorreo.pe/edicion/huancayo/huancayo-desecha-20-toneladas-de-residuos-sin-aplicar-reciclaje-727739/>.
3. **Empresa Petramas SAC.** Energías Renovables: Empresa Petramas SAC. *Sitio Web de Empresa Petramas SAC.* [En línea] 12 de Junio de 2017. [Citado el: 12 de Junio de 2017.] <http://www.petramas.com/proyecto-de-generacion-de-energia-electrica-a-partir-del-biogas/>.
4. **Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC.** *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.* Japón : IGES, 2006. Vol. V. ISBN 92-9169-320-0.
5. **Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA.** *La Supervisión Ambiental en el Subsector Electricidad.* Lima : Gráfica Yovera S.A.C, 2015. 978-612-46878-7-7.
6. **Cairampoma Rodriguez, Gabriel Osiris.** Propuesta de Generación de Energía Eléctrica a partir del Biogás obtenido de la materia orgánica del Relleno Sanitario Santa Cruz - Concepción. *Tesis de Grado.* Huancayo : s.n., 2015.
7. **Pala Reyes, Henry Manuel.** Estudio del potencial energético a partir de los residuos sólidos en algunos distritos del Cono Norte de Lima Metropolitana. *Tesis de Grado.* Lima, Lima, Peru : Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2006.
8. **Gómez Alvarez, Miguel Angel.** Determinación del Potencial Bioquímico de Metano y del Potencial de Suministro Eléctrico Neto de la Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos de Mercados de Abasto del Distrito de Arequipa. *Tesis de Grado.* Arequipa : s.n., 2017.
9. **Dominguez Huamaní, Alvaro y Flores Paredes, Jorge Alan.** Uso de los Residuos Sólidos Municipales para la Generación de Energía Eléctrica en la provincia del Santa. *Tesis de Grado.* Chimbote : s.n., 2016.

10. **Andrés Siles, Fabián.** Generación de Energía Eléctrica a partir de la Producción de biogás. *Tesis de grado.* Oaxaca : s.n., 2012.
11. **Valladares Castillo, Erwin M. y Villegas Santana, Manuel A.** Potencial Energético del Biogás Generado por los Residuos Sólidos Domiciliarios (RSD) en la provincia de Concepción. *Tesis de Grado.* Concepción : s.n., 2013.
12. **Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA.** *Fiscalización Ambiental en Residuos Sólidos de Gestión Municipal Provincial - Informe 2014-2015.* Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA. Lima : IAKOB Comunicadores y Editores SAC, 2016.
13. **Ministerio del Ambiente - MINAN.** Guía de: Diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario mecanizado. *Diseño e Infraestructura de un Relleno Sanitario Mecanizado.* Lima, Perú : s.n., Abril de 2011.
14. **Ministerio del Ambiente - MINAM.** Guía Metodológica para el desarrollo de Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales (EC-RSM). *Etapas para elaborar e implementar Estudio EC-RSM.* Lima, Perú : s.n., 23 de Septiembre de 2017.
15. **Jaramillo, Jorge.** Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. *Diseño de un relleno sanitario manual.* Lima : s.n., 2002.
16. **Instituto de Investigaciones Eléctricas - IEE.** Guía Usuario: Generación de Electricidad mediante Residuos Sólidos Urbanos. *Generación eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario.* Mexico D.F., México : s.n., Octubre de 2012.
17. **Ministerio del Ambiente - MINAM.** Documentación: Sistema Nacional de Información Ambiental. *Sistema Nacional de Información Ambiental - SINIA.* [En línea] Abril de 2011. [Citado el: 23 de Septiembre de 2017.] <http://sinia.minam.gob.pe/download/file/fid/39579>.
18. **Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).** *Guía para la gestión integral de residuos sólidos municipales.* Mexico DF : Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental - SEMARNAT, 2001. 968-817-498-X.
19. **Ministerio del Ambiente - MINAM.** Decreto Supremo N° 014-2017- MINAM. *Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos.* Lima, Perú : s.n., 28 de Junio de 2017.
20. **Conestoga - Rovers & Associates.** *Tratamiento y Valorización Energética de Residuos.* Madrid : Díaz de Santos, S.A., 2012. 978-84-9969-141-1.
21. **Rajaram, Vasudevan, Zia Siddiqui, Faisal y Emran Khan, Mohd.** *From Landfill Gas to Energy - Technologies and Challenges.* [trad.] <http://dictionary.cambridge.org/translate/>. London : CRC Press, 2012. 978-0-415-66474-5.

22. **Iniciativa Global de Metano (GMI).** Global Methane Initiative: Documents. *Global Methane Initiative web site*. [En línea] Septiembre de 2011. [Citado el: 22 de Enero de 2018.] https://www.globalmethane.org/documents/landfill_fs_spa.pdf.
23. **ICLEI - Brasil - Governos Locais pela Sustentabilidade.** *Manual para aproveitamento de biogás*. Sao Paulo : Escritorio de Projectos no Brasil, 2009. Vol. 1. 978-85-99093-06-1.
24. **Elias Castells, Xavier.** *Tratamiento y Valorización Energética de Residuos*. Madrid : Ediciones Díaz de Santos, S.A., 2012. 978-84-9969-141-1.
25. **Landfill Methane Outreach Program.** LFG Energy Project Development Handbook. *United States Environmental Protection Agency Web site*. [En línea] Septiembre de 2016. [Citado el: 26 de Junio de 2017.] https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-11/documents/pdh_full.pdf.
26. **Global Methane Initiative.** International Best Practices Guide for Landfill Gas Energy Projects. *Global Methane Initiative sitio web*. [En línea] 2012. [Citado el: 19 de Julio de 2017.] http://www.globalmethane.org/documents/toolsres_lfg_IBPGcomplete.pdf.
27. **Conestoga - Rovers & Associates.** Documents & Reports: The World Bank. *The World Bank sitio Web*. [En línea] 01 de Enero de 2004. [Citado el: 01 de Junio de 2017.] <http://documents.worldbank.org/curated/en/954761468011430611/Handbook-for-the-preparation-of-landfill-gas-to-energy-projects-in-Latin-America-and-the-Caribbean>.
28. **Muñoz Dominguez, Marta y Rovira de Antonio, Antonio José.** *Máquinas Térmicas*. Madrid : Universidad Nacional de Educación a Distancia - UNED, 2014. 978-84-362-6886-7.
29. **R. Lindeburg, Michael y PE.** *Environmental Engineering Reference Manual For The PE Exam*. Belmont : PPI the Power to Pass, 2015. 978-1-59126-479-8.
30. **Landfill Methane Outreach Program - LMOP.** Partner Countries - Colombia: Global Methane Initiative. *Global Methane Initiative sitio web*. [En línea] [Citado el: 17 de Julio de 2017.] <http://www.globalmethane.org/documents/models/pdfs/ManualdeUsuarioModeloColombiano.pdf>.
31. **Masters, Gilbert M.** *Renewable and Efficient Electric Power Systems*. New Jersey : John Wiley & Sons, 2004. 0-471-28060-7.
32. **Centro de Conservación de Energía y del Ambiente - CENERGIA.** *Estudio de determinación de la potencia efectiva y rendimiento de los grupos CAT 1, 2 y 3 de la central térmica Huaycoloro*. Lima : CENERGIA, 2014.

33. **Gobierno del Perú.** Decreto Legislativo N°1002. *Decreto Legislativo de promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables.* Lima, Perú : s.n., 01 de Mayo de 2008.
34. —. Decreto Legislativo N° 1278. *Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos.* Lima, Perú : s.n., 22 de Diciembre de 2016.
35. **Gutarra Meza, Felipe Néstor.** Material de Estudio de la Universidad Continental. *Seminario de Tesis.* Huancayo : s.n., 2016.
36. **Hernandez Sampieri, Roberto y Varios.** *Metodología de la Investigación.* Quinta. Mexico D.F. : MacGraw-Hill, 2006. 978-607-15-0291-9.
37. **Arroyo Aliaga, Jacinto; Machuca Manrique, Elizabeth; Gurmendi Parraga, Pedro;.** *Balance Hídrico Superficial mediante el Método del Índice Climático del Valle del Mantaro 2010 - 2013.* Huancayo : Universidad Continental, 2013.
38. **PETRAMAS SAC.** Relleno Sanitario Huaycoloro - Programa de Adecuación y Manejo Ambiental - PAMA. *Proyecto de Captura de Gas Metano en el Marco del Mecanismo de Desarrollo Limpio - MDL.* Lima, Perú : Banco Mundial, Marzo de 2005.

ANEXOS

Anexo 1: Solicitud de Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales del Distrito de El Tambo



SOLICITO: Información de la Gestión de los Residuos Sólidos Municipales

Señor:

Ing. David Ruso Giraldo Valentín, Sub-Gerente de Ornato, Limpieza Pública y Medio Ambiente de la Municipalidad Distrital de El Tambo

Yo Irving Aldo Huaylinos Sosa, con DNI 45196615, domiciliado en el Jr. Jorge Chávez 115 El Tambo - Huancayo, con el debido respeto me presento y expongo, que siendo bachiller en Ingeniería Eléctrica de la Universidad Continental, vengo realizando la elaboración mi tesis titulado "Determinación de la potencia eléctrica a partir del biogás obtenido de los residuos sólidos municipales de la provincia de Huancayo" y siendo indispensable contar con datos que administra su oficina, solicito a usted me brinde la información acerca de la generación total de residuos sólidos municipales del distrito en los últimos años y el Estudio de Caracterización de residuos sólidos más reciente

Por lo tanto,

Pido a usted acceda a mi solicitud por ser de justicia.

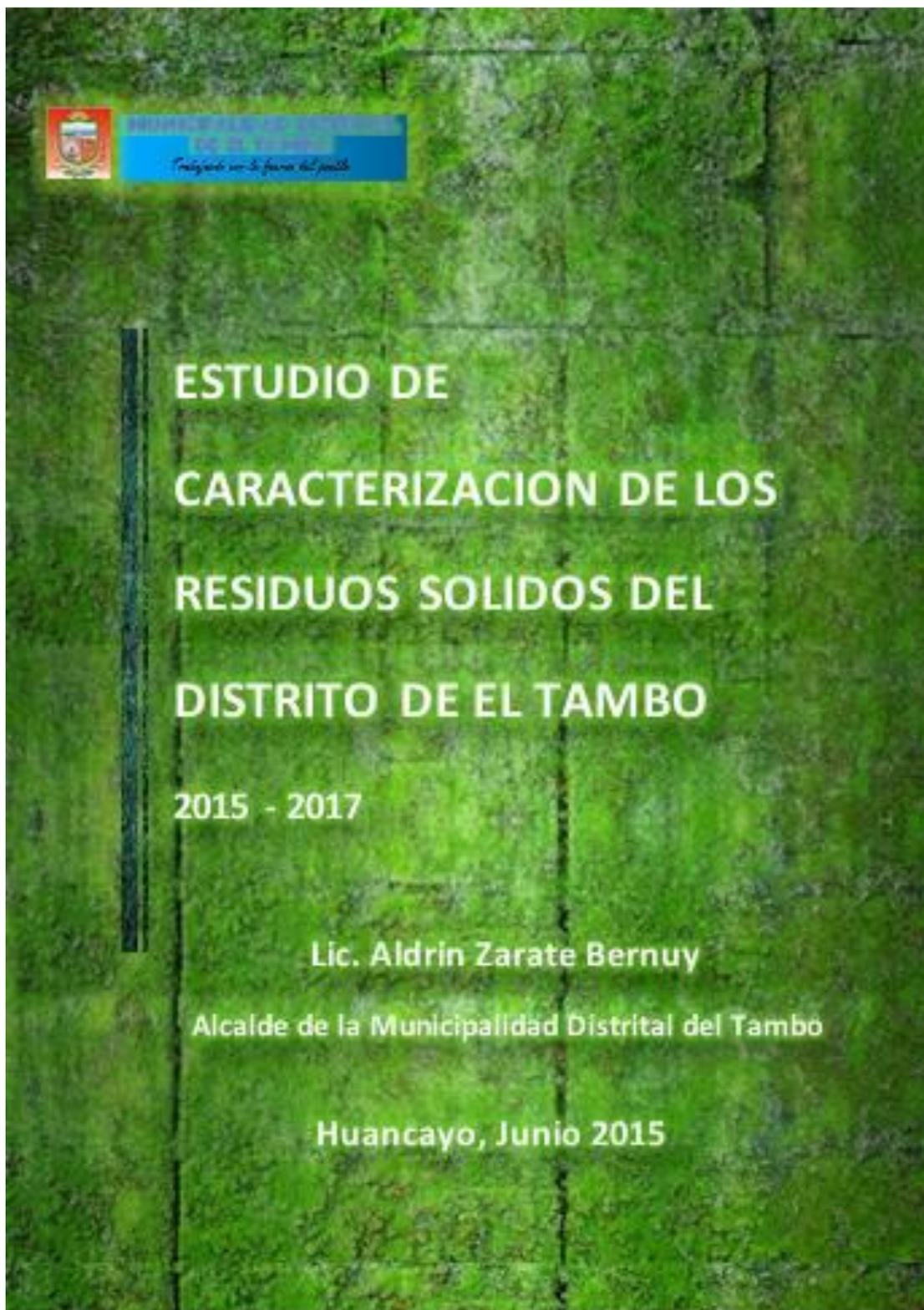
Huancayo 15 de agosto del 2017

Atentamente.

Irving Aldo Huaylinos Sosa

DNI: 45196615

Anexo 2: Resumen del Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales del Distrito de El Tambo 2015



RESUMEN DEL ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES DEL DISTRITO DE EL TAMBO 2015

Fecha de Ejecución: 07/06/2015 al 14/06/2015

Duración: 8 días

Población Urbana del distrito proyectada al 2015	GPC domiciliaria (Kg/hab-día)	Generación Domiciliaria (Kg/Día)	Generación no Domiciliaria (Kg/Día)	Generación Municipal (Kg/Día)	GPC Municipal (Kg/hab-día)	Generación diaria (Ton/día)	Generación mensual (Ton/mes)	Generación anual (Ton/año)
161,429	0.702	113323.16	13829.000	127,152.16	0.787666144	127.152	3814.565	46410.538

Generación de Residuos Sólidos No Domiciliarios	
Sectores Generadores de Residuos Sólidos	Generación Total (t/día)
Residuos sólidos de comercios de giros comunes	2829
Residuos sólidos de farmacias y boticas	-
Residuos sólidos de restaurantes	-
Residuos sólidos de hoteles y hospedajes	-
Residuos sólidos de instituciones públicas	-
Residuos sólidos de instituciones educativas	-
Residuos sólidos en mercados y supermercados	-
Residuos sólidos en Establecimientos de Salud	-
Residuos recolectados en el servicio de barrido	11000
TOTAL (t/día)	13829

Composición Física de Residuos Sólidos Municipales - El Tambo								
Tipo de residuos sólidos	Residuos Domiciliarios		Residuos No Domiciliarios		Residuos de Barrido		TOTAL	
	Peso Total Kg/día	Composición porcentual %	Peso Total Kg/día	Composición porcentual %	Peso Total Kg/día	Composición porcentual %	Peso Total Kg	Composición porcentual %
1. Materia Orgánica	49364	43.56%	1100	38.88%	4790.6	43.55%	55254.6	43.46%
2. Madera, Follaje	-	0.00%	-	0.00%	-	0.00%	-	0.00%
3. Papel	8284	7.31%	178	6.29%	804.1	7.31%	9266.1	7.29%
4. Cartón	6391	5.64%	208	7.35%	620.4	5.64%	7219.4	5.68%
5. Vidrio	4329	3.82%	124	4.38%	420.2	3.82%	4873.2	3.83%
6. Plástico PET	8635	7.62%	56	1.98%	838.2	7.62%	9529.2	7.49%
7. Plástico Duro	10063	8.88%	75	2.65%	977.8	8.89%	11115.8	8.74%
8. Bolsas	-	0.00%	-	0.00%	-	0.00%	-	0.00%
9. Tetrapak	-	0.00%	-	0.00%	-	0.00%	-	0.00%
10. Tecnopor y similares	-	0.00%	-	0.00%	-	0.00%	-	0.00%
11. Metal	-	0.00%	-	0.00%	-	0.00%	-	0.00%
12. Telas, textiles	1451	1.28%	223	7.88%	140.8	1.28%	1814.8	1.43%
13. Caucho, cuero, jebe	-	0.00%	-	0.00%	-	0.00%	-	0.00%
14. Pilas	-	0.00%	-	0.00%	-	0.00%	-	0.00%
15. Restos de medicinas, etc.	-	0.00%	-	0.00%	-	0.00%	-	0.00%
16. Residuos Sanitarios	12409	10.95%	166	5.87%	1204.5	10.95%	13779.5	10.84%
17. Residuos Inertes	-	0.00%	-	0.00%	-	0.00%	-	0.00%
18. Envolturas	-	0.00%	-	0.00%	-	0.00%	-	0.00%
19. Latas	3898	3.44%	44	1.56%	378.4	3.44%	4320.4	3.40%
20. RAEE	-	0.00%	-	0.00%	-	0.00%	-	0.00%
21. Huesos	-	0.00%	-	0.00%	-	0.00%	-	0.00%
22. Otros	8499	7.50%	655	23.15%	825	7.50%	9979	7.85%
Total	113323	100%	2829	100%	11000	100%	127152	100%

Anexo 3: Solicitud de Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales del Distrito de Huancayo



SOLICITO: Información de la Gestión de los Residuos Sólidos Municipales

Señor:

Alcalde de la provincia de Huancayo Alcides Chamorro Balbín

Yo Irving Aldo Huaylinos Sosa, con DNI 45196615, domiciliado en el Jr. Jorge Chávez 115 El Tambo - Huancayo, con el debido respeto me presento y expongo, que siendo bachiller en Ingeniería Eléctrica de la Universidad Continental, vengo realizando la elaboración mi tesis titulado "Determinación de la potencia eléctrica a partir del biogás obtenido de los residuos sólidos municipales de la provincia de Huancayo" y siendo indispensable contar con datos que administra su oficina, solicito a usted me brinde la información acerca de la generación total de residuos sólidos municipales del distrito en los últimos años y el Estudio de Caracterización de residuos sólidos más reciente

Por lo tanto,

Pido a usted acceda a mi solicitud por ser de justicia.

Huancayo 21 de agosto del 2017

Atentamente.

Irving Aldo Huaylinos Sosa

DNI: 45196615

Anexo 4: Resumen del Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales del Distrito de Huancayo 2016



Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales del Distrito de Huancayo



MAYO - 2016

ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES DEL DISTRITO DE HUANCAYO 2016

Fecha de Ejecución: 29/03/2016 al 06/04/2016

Duración: 8 días

Población Urbana del distrito proyectada al 2016	GPC domiciliaria (Kg/hab-día)	Generación Domiciliaria (Kg/Día)	Generación no Domiciliaria (Kg/Día)	Generación Municipal (Kg/Día)	GPC Municipal (Kg/hab-día)	Generación diaria (Ton/día)	Generación mensual (Ton/mes)	Generación anual (Ton/año)
119,459	0.53	63313.27	36752.200	100,065.47	0.8376553	100.065	3001.964	36523.897

Generación de Residuos Sólidos No Domiciliarios	
Sectores Generadores de Residuos Sólidos	Generación Total (t/día)
Residuos sólidos de comercios de giros comunes	10.796
Residuos sólidos de farmacias y boticas	0.181
Residuos sólidos de restaurantes	3.093
Residuos sólidos de hoteles y hospedajes	0.432
Residuos sólidos de instituciones públicas	0.5392
Residuos sólidos de instituciones educativas	2
Residuos sólidos en mercados y supermercados	9.813
Residuos sólidos en Establecimientos de Salud	0.659
Residuos recolectados en el servicio de barrido	9.239
TOTAL (t/día)	36.7522

Composición Física de Residuos Sólidos Municipales						
Tipo de residuos sólidos	Residuos Domiciliarios		Residuos No Domiciliarios		TOTAL	
	Peso Total Kg	Composición porcentual %	Peso Total Kg	Composición porcentual %	Peso Total Kg	Composición porcentual %
1. Materia Orgánica	698.02	59.55%	112.09	25.82%	810.11	50.43%
2. Madera, Follaje	55.37	4.72%	6.02	1.39%	61.39	3.82%
3. Papel	33.36	2.85%	49.2	11.33%	82.56	5.14%
4. Cartón	22.48	1.92%	56.45	13.00%	78.93	4.91%
5. Vidrio	21.25	1.81%	15.95	3.67%	37.2	2.32%
6. Plástico PET	20.16	1.72%	34.9	8.04%	55.06	3.43%
7. Plástico Duro	17.59	1.50%	7.88	1.81%	25.47	1.59%
8. Bolsas	45.34	3.87%	60.66	13.97%	106	6.60%
9. Tetrapak	6.52	0.56%	6.15	1.42%	12.67	0.79%
10. Tecnopor y similares	6.65	0.57%	6.36	1.46%	13.01	0.81%
11. Metal	7.66	0.65%	0.75	0.17%	8.41	0.52%
12. Telas, textiles	16.35	1.39%	10.4	2.39%	26.75	1.67%
13. Caucho, cuero, jebe	0.94	0.08%	0.25	0.06%	1.19	0.07%
14. Pilas	0.74	0.06%	0	0.00%	0.74	0.05%
15. Restos de medicinas, etc.	0.78	0.07%	4.88	1.12%	5.66	0.35%
16. Residuos Sanitarios	118.87	10.14%	20.28	4.67%	139.15	8.66%
17. Residuos Inertes	49.36	4.21%	15.8	3.64%	65.16	4.06%
18. Envolturas	9.46	0.81%	8.66	1.99%	18.12	1.13%
19. Latas	22.93	1.96%	6.4	1.47%	29.33	1.83%
20. RAEE	2.27	0.19%	0.25	0.06%	2.52	0.16%
21. Huesos	9.52	0.81%	0.05	0.01%	9.57	0.60%
22. Otros	6.64	0.57%	10.8	2.49%	17.44	1.09%
Total	1172.26	100%	434.17	100%	1606.44	100%

Anexo 5: Solicitud de Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales del Distrito de Chilca



SOLICITO: Información de la Gestión de los Residuos Sólidos Municipales

Señor:

Gerencia de Servicios Públicos y Medio Ambiente de la Municipalidad Distrital de Chilca

Yo Irving Aldo Huaylinos Sosa, con DNI 45196615, domiciliado en el Jr. Jorge Chávez 115 El Tambo - Huancayo, con el debido respeto me presento y expongo, que siendo bachiller en Ingeniería Eléctrica de la Universidad Continental, vengo realizando la elaboración mi tesis titulado "Determinación de la potencia eléctrica a partir del biogás obtenido de los residuos sólidos municipales de la provincia de Huancayo" y siendo indispensable contar con datos que administra su oficina, solicito a usted me brinde la información acerca de la generación total de residuos sólidos municipales del distrito en los últimos años y el Estudio de Caracterización de residuos sólidos más reciente

Por lo tanto,

Pido a usted acceda a mi solicitud por ser de justicia.

Huancayo 23 de agosto del 2017

Atentamente.

Irving Aldo Huaylinos Sosa

DNI: 45196615

Anexo 6: Resumen de Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales del Distrito de Chilca 2016



ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES DEL DISTRITO DE CHILCA 2016

Fecha: 01/04/2015 al 08/04/2015

Duración: 8 días

Población Urbana del distrito proyectada al 2015	GPC domiciliaria (Kg/hab-día)	Generación Domiciliaria (Kg/Día)	Generación no Domiciliaria (Kg/Día)	Generación Municipal (Kg/Día)	GPC Municipal (Kg/hab-día)	Generación diaria (Ton/día)	Generación mensual (Ton/mes)	Generación anual (Ton/año)
92,161	0.582	53637.70	18318	71,955.97	0.7807638	71.96	2158.68	26,263.93

Generación de Residuos Sólidos No Domiciliarios	
Sectores Generadores de Residuos Sólidos	Generación Total (t/día)
Comercio	4575.45
Mercado	2289.3
Institucional	5233.61
Servicios	4067.5
Especiales	393.55
Áreas Públicas	1758.86
TOTAL (t/día)	18318.2671

Composición Física de Residuos Sólidos Municipales						
Tipo de residuos sólidos	Residuos Domiciliarios		Residuos No Domiciliarios		TOTAL	
	Peso Total Kg	Composición porcentual %	Peso Total Kg	Composición porcentual %	Peso Total Kg	Composición porcentual %
1. Materia Orgánica	199.15	55.25%	454.73	32.35%	653.88	37.02%
2. Madera, Follaje	-	0.00%	29.52	2.10%	29.52	1.67%
3. Papel	15.22	4.22%	294.91	20.98%	310.13	17.56%
4. Cartón	13	3.61%	63.39	4.51%	76.39	4.33%
5. Vidrio	7.22	2.00%	45.26	3.22%	52.48	2.97%
6. Plástico PET	6.35	1.76%	78.86	5.61%	85.21	4.82%
7. Plástico Duro	6.66	1.85%	28.25	2.01%	34.91	1.98%
8. Bolsas	23.44	6.50%	32.33	2.30%	55.77	3.16%
9. Tetrapak	2.67	0.74%	4.36	0.31%	7.03	0.40%
10. Tecnopor y similares	0	0.00%	1.41	0.10%	1.41	0.08%
11. Metal	6.31	1.75%	6.33	0.45%	12.64	0.72%
12. Telas, textiles	14.52	4.03%	88.56	6.30%	103.08	5.84%
13. Caucho, cuero, jebe	4.35	1.21%	26.71	1.90%	31.06	1.76%
14. Pilas	0.48	0.13%	3.51	0.25%	3.99	0.23%
15. Restos de medicinas, etc.	1.13	0.31%	18.41	1.31%	19.54	1.11%
16. Residuos Sanitarios	29.53	8.19%	94.18	6.70%	123.71	7.00%
17. Residuos Inertes	25.8	7.16%	106.83	7.60%	132.63	7.51%
18. Envolturas	-	0.00%	-	0.00%	-	0.00%
19. Latas	-	0.00%	-	0.00%	-	0.00%
20. RAEE	-	0.00%	-	0.00%	-	0.00%
21. Huesos	-	0.00%	-	0.00%	-	0.00%
22. Otros	4.6	1.28%	28.11	2.00%	32.71	1.85%
Total	360.43	100%	1405.66	100%	1766.09	100%

Anexo 7: Proyección de la Población Anual de los Distritos de Huancayo, Chilca y El Tambo

PROYECCIÓN DE POBLACION POR AÑOS

	AÑOS	DPTO	DISTRITO			HUANCAYO METROPOLIATNO	
		JUNIN	Huancayo	Chilca	El Tambo		
	1993	1,035,841	100,116	60,466	112,284	272,866	
Po	2007	1,225,474	112,054	77,392	146,847	336,293	
Tiempo	t						
Pt	9	2016	1,358,713	120,470	90,699	174,497	385,666
	10	2017	1,373,518	121,443	92,312	177,874	391,629
	11	2018	1,388,322	122,424	93,953	181,317	397,694
	12	2019	1,403,127	123,413	95,624	184,826	403,864
	13	2020	1,417,931	124,410	97,325	188,403	410,138
	14	2021	1,432,735	125,416	99,056	192,049	416,521
	15	2022	1,447,540	126,429	100,818	195,766	423,012
	16	2023	1,462,344	127,450	102,611	199,555	429,616
	17	2024	1,477,148	128,480	104,436	203,417	436,332
	18	2025	1,491,953	129,518	106,293	207,354	443,164
	19	2026	1,506,757	130,564	108,184	211,367	450,114
	20	2027	1,521,562	131,619	110,108	215,457	457,184
	21	2028	1,536,366	132,682	112,066	219,627	464,375
	22	2029	1,551,170	133,754	114,059	223,878	471,691
	23	2030	1,565,975	134,835	116,087	228,210	479,133
	24	2031	1,580,779	135,924	118,152	232,627	486,703
	25	2032	1,595,583	137,022	120,253	237,129	494,405
	26	2033	1,610,388	138,129	122,392	241,718	502,240
	27	2034	1,625,192	139,245	124,569	246,397	510,211
	28	2035	1,639,997	140,370	126,784	251,165	518,320

Nota: Elaborado y brindado por el Ingeniero Saúl Hurtado, quien labora en el INEI sede Huancayo

Anexo 8: Registro Nacional de Municipalidades (RENAMU)

PERÚ: CANTIDAD PROMEDIO DIARIA DE RESIDUOS SÓLIDOS QUE RECOGE LA MUNICIPALIDAD, SEGÚN DISTRITO (Kilogramos)

Ubigeo	Departamento	Provincia	Distrito	RENAMU 2015	RENAMU 2016
120101	JUNIN	HUANCAYO	HUANCAYO	110,000	110,500
120104	JUNIN	HUANCAYO	CARHUACALLANGA	100	500
120105	JUNIN	HUANCAYO	CHACAPAMPA	30	40
120106	JUNIN	HUANCAYO	CHICCHE	0	0
120107	JUNIN	HUANCAYO	CHILCA	54,000	70,000
120108	JUNIN	HUANCAYO	CHONGOS ALTO	150	145
120111	JUNIN	HUANCAYO	CHUPURO	500	275
120112	JUNIN	HUANCAYO	COLCA	500	200
120113	JUNIN	HUANCAYO	CULLHUAS	0	0
120114	JUNIN	HUANCAYO	EL TAMBO	139,000	125,000
120116	JUNIN	HUANCAYO	HUACRAPUQUIO	200	200
120117	JUNIN	HUANCAYO	HUALHUAS	300	286
120119	JUNIN	HUANCAYO	HUANCAN	3,000	7,791
120120	JUNIN	HUANCAYO	HUASICANCHA	0	86
120121	JUNIN	HUANCAYO	HUAYUCACHI	2,000	2,000
120122	JUNIN	HUANCAYO	INGENIO	60	100
120124	JUNIN	HUANCAYO	PARIAHUANCA	150	130
120125	JUNIN	HUANCAYO	PILCOMAYO	9,530	8,000
120126	JUNIN	HUANCAYO	PUCARA	228	357
120127	JUNIN	HUANCAYO	QUICHUAY	500	500
120128	JUNIN	HUANCAYO	QUILCAS	800	750
120129	JUNIN	HUANCAYO	SAN AGUSTIN	3,500	2,540
120130	JUNIN	HUANCAYO	SAN JERONIMO DE TUNAN	1,000	1,071
120132	JUNIN	HUANCAYO	SAÑO	500	780
120133	JUNIN	HUANCAYO	SAPALLANGA	6,000	7,210
120134	JUNIN	HUANCAYO	SICAYA	1,500	3,500
120135	JUNIN	HUANCAYO	SANTO DOMINGO DE ACOBAMBA	214	250
120136	JUNIN	HUANCAYO	VIQUES	398	3,000

Nota: Brindado por el INEI sede Huancayo

**Anexo 9: Resultados de la Prueba de Rendimiento de las Unidades CAT
Grupos 1, 2 y 3 de la CTB Huaycoloro**

CUADRO N° 6.1							
RESULTADOS DE LA PRUEBA DE RENDIMIENTO DE LAS UNIDADES CAT GRUPOS 1, 2 y 3 DE LA CTB HUAYCOLORO							
UNIDAD	Carga		Consumo horario combustible MPCs/h	Consumo específico combustible MPCs/kWh	Consumo específico calor - HR (BTU/kWh)	Rendimiento (kWh/MPCs)	Eficiencia (%)
	%	kW					
GRUPO 1	100%	1 508,7	39,68	0,0263	10 389	38,02	32,85%
	75%	1 145,4	32,63	0,0285	11 252	35,10	30,32%
	50%	764,5	23,89	0,0312	12 341	32,01	27,65%
	25%	384,7	15,25	0,0396	15 652	25,24	21,80%
GRUPO 2	100%	1 537,5	41,63	0,0271	10 694	36,94	31,91%
	75%	1 147,4	32,45	0,0283	11 172	35,36	30,54%
	50%	764,6	23,63	0,0309	12 206	32,36	27,95%
	25%	382,6	14,95	0,0391	15 437	25,59	22,10%
GRUPO 3	100%	1 563,4	42,10	0,0269	10 637	37,14	32,08%
	75%	1 148,4	32,19	0,0280	11 071	35,68	30,82%
	50%	763,7	23,26	0,0305	12 031	32,83	28,36%
	25%	380,7	14,99	0,0394	15 556	25,39	21,93%

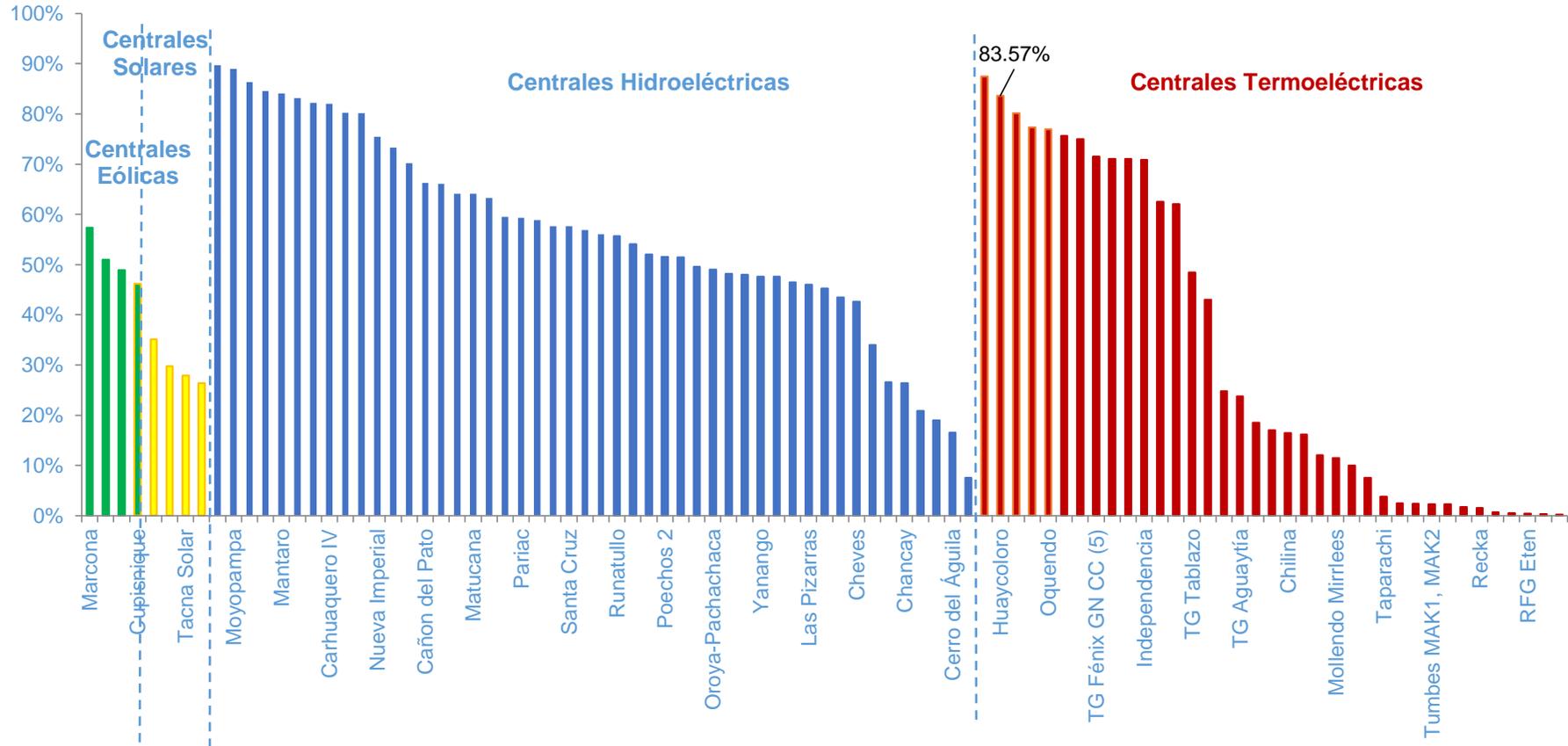
Poder Calorífico Superior (HHV): 564 Btu/pc

Poder Calorífico Inferior (LHV): 395 Btu/pc

Fuente: Estudio de la Determinación de la Potencia Efectiva y Rendimiento de los grupos CAT 1, 2 y 3 de la central Térmica Huaycoloro

Anexo 10: Factor de Planta Anual de las Centrales Eléctricas 2016

GRAFICO N° 5.10
FACTOR DE PLANTA ANUAL DE LAS CENTRALES ELÉCTRICAS 2016



Fuente: Comité de Operación Económica del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional – COES SINAC

Anexo 11: Ficha Técnica de la Central Térmica de Huaycoloro



CENTRAL TERMOELÉCTRICA HUAYCOLORO (OPERANDO)

DENOMINACIÓN	CENTRAL TERMOELÉCTRICA HUAYCOLORO		
EMPRESA CONCESIONARIA	PETRAMAS S.A.C.		
TECNOLOGÍA	Generación Termoeléctrica - Biomasa		
UBICACIÓN Departamento Provincia Distrito Altitud	Lima Huarochiri Huaycoloro 60 msnm		
DATOS TÉCNICOS DE CENTRAL Potencia Instalada Número de Unidades de Generación Fuente de Energía	4,0 MW 3 Grupos Diesel Gas		
DATOS MOTOR COMB. INTERNA Potencia Nominal Marca Nivel de Tensión	Motor 1 1,6 MW Caterpillar 0,48 kV	Motor 2 1,6 MW Caterpillar 0,48 kV	Motor 3 1,6 MW Caterpillar 0,48 kV
DATOS DE TRANSFORMADOR Potencia Nivel de Tensión	2 x 3MVA 0,48/22,9 kV		
DATOS DE CONTRATO Tipo de contrato Firma de Contrato Puesta en Operación Comercial (POC) Energía Anual Ofertada Precio de energía Ofertado	Contrato RER (Primera Subasta) 31.03.2010 12.11.2011 28 295 MWh 11 Ctps.USS / kWh		
INFORMACIÓN RELEVANTE	<ul style="list-style-type: none"> El 20.02.2010, Petramás obtuvo la buena pro para suministrar energía eléctrica por 20 años al Estado Peruano por un total de 28 295 MWh por año, dentro del marco de la "Primera Subasta para el Suministro de Energía Eléctrica, con Recursos Energéticos Renovables (RER) al Sistema Eléctrico (SEIN)". El proyecto está compuesto por 250 pozos de captación de biogás; un gaseoducto de más de 15 km y una moderna estación de succión y quemado automatizada. La central genera energía eléctrica a partir de la basura, emplea el biogás generado en las plataformas del relleno sanitario Huaycoloro para la generación eléctrica, para lo cual se ha instalado una moderna estación automatizada de limpieza de biogás, una moderna central de Generación de 4,8 MW, una sala de control, una subestación de elevación de voltaje de 480V a 22 kV, una red de sub transmisión de 5,5 Km y una S.E. de recepción (Luz del Sur) para la interconexión con las redes del SEIN. La Central Termoeléctrica Huaycoloro ingresó en operación comercial el 12.11.2011 (Carta COES/DP-644-2011), con una potencia efectiva de 2,4 MW; posteriormente, el 29.12.2011, mediante Carta COES/DP-847-2011 se actualizó la potencia efectiva de la C.T a 3,41 MW a partir del 06.012.2011. Monto aproximado de la inversión es de 10,5 MM US\$. 		



Planta de tratamiento de Biogás



Quemador de Biogás



Grupos de Generación 3 x 1,6 MW



Central Termoeléctrica Huaycoloro



Línea de subtransmisión 22,9 kV



Fuente: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería - Osinergmin

Anexo 12: Demanda y Oferta en el Valle del Mantaro

6.3.1 Situación de la Demanda

De acuerdo con información del Plan de Inversiones 2013-2017, la proyección del crecimiento de la demanda en la zona del Valle del Mantaro es la que se muestra en la Tabla N° 6.3.

Tabla N° 6.3
Proyección de la Demanda en el Valle del Mantaro

	Máxima Demanda por Año (en MW)												
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Chala Nueva	0,19	0,29	0,31	0,34	0,36	0,38	0,41	0,43	0,45	0,47	0,49	0,51	0,54
Chuicon	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Chupaca	2,79	3,32	3,54	3,78	4,03	4,22	4,43	4,65	4,86	5,07	5,28	5,49	5,71
Comas	0,27	0,28	0,30	0,32	0,35	0,37	0,39	0,41	0,43	0,45	0,47	0,49	0,51
Concepción	4,35	6,31	6,71	7,09	7,49	7,80	8,14	8,48	8,82	9,16	9,50	9,84	10,18
Huancayo Este	7,22	5,91	6,40	6,90	7,43	7,83	8,28	8,72	9,17	9,61	10,06	10,51	10,95
Huarisca	0,28	0,32	0,35	0,38	0,41	0,43	0,45	0,48	0,50	0,53	0,55	0,58	0,60
Huayucachi II	3,88	4,01	4,39	4,80	5,16	5,43	5,78	6,08	6,38	6,69	6,99	7,29	7,59
Jauja	3,58	3,84	4,13	4,44	4,76	5,01	5,28	5,56	5,83	6,10	6,38	6,65	6,92
La Libertad	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
El Machu (13)	0,40	0,60	0,66	0,71	0,76	0,80	0,92	0,97	1,01	1,06	1,10	1,15	1,19
El Machu (22.9)	0,10	0,15	0,16	0,18	0,19	0,20	0,23	0,24	0,25	0,26	0,28	0,29	0,30
Matapa	0,08	0,08	0,12	0,12	0,13	0,14	0,20	0,21	0,22	0,22	0,23	0,23	0,24
Parque Industrial	14,70	14,45	16,06	17,42	18,65	19,83	21,06	22,15	23,24	24,33	25,41	26,50	27,59
Salesianos (10)	11,45	11,59	13,22	14,15	15,14	15,98	16,71	17,54	18,37	19,20	20,03	20,85	21,68
Salesianos (10B)	7,63	7,72	8,82	9,43	10,09	10,59	11,14	11,69	12,24	12,80	13,35	13,90	14,46
Sinaycocha	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
El Tambo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Total Sistema	57,93	59,89	66,13	71,08	76,18	79,92	84,44	88,61	92,79	96,96	101,14	105,31	109,49

Fuente: Elaboración propia con datos publicados por OSINERGMIN como parte del proceso de elaboración del Plan de Inversiones 2013-2017

6.3.2 Situación de la Oferta

La oferta, o potencia instalada, existente para el suministro de energía en el Valle del Mantaro está constituida por las instalaciones que se muestran en la Tabla N° 6.4, donde también se aprecia la máxima demanda que se prevé debe ser atendida a partir de estas instalaciones y el factor de uso correspondiente.

Tabla N° 6.4
Máxima Demanda y Potencia Instalada en el Valle del Mantaro

	Máxima Demanda y Potencia Instalada por Año (en MVA)												
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Máxima Demanda (MVA)	61,0	63,0	69,6	74,8	80,2	84,1	88,9	93,3	97,7	102,1	106,5	110,9	115,3
Potencia Instalada	SE Huayucachi	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0
	C.H. Huaycha	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	C.H. Huarisca	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
	C.H. Ingenio	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
	C.H. El Machu	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
C.H. Chamisería	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	
Potencia Instalada Total (MVA)	84,4	84,4	84,4	84,4	84,4	84,4	84,4	84,4	84,4	84,4	84,4	84,4	84,4
Factor de uso	72%	75%	82%	89%	95%	100%	105%	110%	116%	121%	126%	131%	137%

Fuente: Elaboración propia con datos publicados por OSINERGMIN como parte del proceso de elaboración del Plan de Inversiones 2013-2017

Notas:

1) Las demandas en MVA se calcularon con un factor de potencia 0,95 inductivo

Fuente: INFORME N° 011-2013 – MEM/DGE -- Línea de transmisión de 220 kV Friaspata - Mollepata y Subestación Orcotuna 220/60 kV

Anexo 13: Entrevista Realizada a la Empresa Diestra SAC

Razón Social: DIESTRA CONSECIÓN HUANCAYO SAC

Dirección Legal: Jr. Daniel Alcides Carrión Nro. 674 (al costado del sauna cielito Huanca)

Gerente General: Diestra Saavedra Alejandrina

Contacto: Gerente de Operaciones - Humberto Huester

Celular: 964926353

Fecha: 23/08/2017

1. ¿En qué fecha entra en operaciones la empresa DIESTRA SAC?

La empresa entra en operaciones el 1 de septiembre del 2004

2. ¿Qué cantidad de Residuos Sólidos Municipales recogen diariamente?

Nosotros teníamos el conocimiento que la cantidad producida en el distrito de Huancayo en el año 2003 era de 65 Ton/día, posteriormente cuando ingresamos en operaciones la cantidad de RSM producidas es como sigue:

2004	75 ton/día	2011	103 ton/día
2005	82ton/día	2012	104 ton/día
2006	89 ton/día	2013	105 ton/día
2007	92 ton/día	2014	105 ton/día
2008	93 ton/día	2015	110 ton/día
2009	98 ton/día	2016	112 ton/día
2010	101 ton/día	2017	115 ton/día

3. ¿Cómo obtiene la cantidad RSM generados?

En estos momentos no se cuenta con un relleno sanitario y una balanza donde se pueda realizar el pesaje diario, lo que hacemos es sacar una muestra de 1 o 2 meses en donde realizamos el pesaje diario de los RSM que recogemos y desde ese dato es donde calculamos la generación total para el año.

4. ¿Cuáles son los días en donde hay mayor generación de RSM?

Generalmente se produce mayor cantidad de RSM los días lunes, martes y miércoles y cuando hay días festivos, feriados etc. Realizamos aproximadamente 13 a 16 viajes por día con los carros recolectores. Aproximadamente en todo el valle del Mantaro se generan 360 ton/día

5. ¿Por qué hasta la fecha no se cuenta con un relleno sanitario en Huancayo?

Existe un proyecto de una planta de tratamiento de residuos sólidos en Azapampa, la cual incluye un relleno sanitario, nosotros tenemos la maquinaria lista para la instalación, pero la municipalidad de Huancayo no cumple con realizar las obras civiles en el lugar. Este proyecto ya cuenta con el permiso social y medio ambiental, las cuales son muy difíciles de conseguir.

Anexo 14: Respuesta al Correo Electrónico Enviado a la Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. (EPA)

20/1/2018

Correo - irvinghs1@hotmail.com

FW: Consulta sobre la generación de biogás modelo Mexicano

John Carter <John.Carter@erg.com>

mar 12/09/2017 18:49

Para: irvinghs1@hotmail.com <irvinghs1@hotmail.com>;

Cc: Ludwig.Victoria@epa.gov <Ludwig.Victoria@epa.gov>;

Hola Irving,

I received your request for information on the Mexico biogas model from Victoria. I have checked with the consultant that developed that model and he offered the following explanation for the inclusion of the 1.00201 factor in the equation you referenced:

“The 1.00201 adjustment factor was applied so that the calculated LFG generation rate matches the results produced by LandGEM if the same inputs were used for waste disposal, k, and Lo. We found a consistent slight difference between calculated methane generation in the country-specific models we developed and LandGEM results, which appears to be due to differences in the conversion factors used. It is nothing more than a 0.2% linear adjustment in all outputs to be consistent with LandGEM.”

For your reference, LandGEM is the U.S. EPA’s Landfill Gas Emissions Model on which the country-specific GMI models were based. You can find more information about that model here: <https://www.epa.gov/land-research/models-tools-and-databases-land-and-waste-management-research>

Please let me know if you have any additional questions.

Regards,

John Carter
GMI Biogas Subcommittee Coordinator (MSW Technical Group)
ERG (Contractor to GMI)

From: irving huaylinos <irvinghs1@hotmail.com>
Sent: Friday, August 18, 2017 5:22 PM
To: Ludwig, Victoria
Subject: Consulta sobre la generación de biogás modelo Mexicano

Buenas tardes, le escribo para preguntarle sobre una duda que tengo en la hoja Calc del archivo excel del modelo Mexicano, Colombiano y C. Americano.

¿Por que cuando convierten de pies cúbicos por año a pies cúbicos por minuto lo multiplican por 1.00201

Le pido por favor que me ayude a resolver esta interrogante ya que estoy haciendo una investigación para obtener mi título universitario.

Disposal Rate (tons/yr)	Refuse In-Place (tons)	Methane Generation			
		cf/yr	(cfm)	(mmBtu/hr)	(cfm)
2,183	2,183	0	-	0.000	-
2,183	4,367	0	-	0.000	-
2,183	6,550	0	-	0.000	-
2,183	8,734	0	-	0.000	-
2,183	10,917	0	-	0.000	-
2,183	13,101	950,407	2	0.110	4
2,183	15,284	1,800,134	4	0.218	2

Anexo 15: Matriz De Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLES	METODOLOGÍA	INSTRUMENTOS / TÉCNICAS
<p>Problema General</p> <p>¿Cuál sería la potencia eléctrica generada a partir del biogás obtenido de los residuos sólidos municipales de la provincia de Huancayo?</p>	<p>Objetivo General</p> <p>Determinar la potencia eléctrica generada a través de la conversión del biogás obtenido de los residuos sólidos municipales de la provincia de Huancayo.</p> <p>Objetivos Específicos</p> <p>Describir la composición y la cantidad de los residuos sólidos municipales generados en la provincia de Huancayo.</p> <p>Estimar la cantidad del biogás obtenido a partir de los residuos sólidos municipales de la provincia de Huancayo.</p> <p>Seleccionar la tecnología idónea de generación eléctrica mediante la conversión de biogás para la provincia de Huancayo.</p>	<p>Variable Independiente</p> <p>Residuos Sólidos Municipales</p> <p>Variable Dependiente</p> <p>Potencia Eléctrica</p>	<p>Método:</p> <p>Modelación</p> <p>Nivel:</p> <p>Cuantitativo</p> <p>Descriptivo</p> <p>Diseño:</p> <p>No experimental transeccional</p> <p>Población:</p> <p>Residuos Sólidos Municipales generados en los 28 distritos de la provincia de Huancayo</p> <p>Muestra:</p> <p>Residuos Sólidos Municipales generados en los distritos de Huancayo, El Tambo y Chilca.</p>	<p>Instrumento:</p> <p>Recopilación y análisis de datos secundarios</p> <p>Técnicas:</p> <p>Datos estadísticos provenientes de fuentes oficiales.</p> <p>Datos para metaanálisis</p>

Anexo 16: Operacionalización de la Variable

Variable	Definición	Indicadores	Instrumentos	Unidades de Medida
Residuos Sólidos Municipales (variable independiente)	Los Residuos Sólidos Municipales (RSM) se definen como los desechos recolectados por municipalidades u otras autoridades locales. Sin embargo, esta definición varía según el país. Típicamente, los RSM incluyen desechos domésticos; desechos de jardines y parques; y desechos comerciales/institucionales	<ul style="list-style-type: none"> • Peso • Composición 	Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales de los distritos de Huancayo, El Tambo y Chilca.	Ton / Año (Toneladas por año)
Potencia Eléctrica (variable dependiente)	Cantidad de energía que puede ser entregada o distribuida a un sistema en una unidad de tiempo. La potencia eléctrica se mide en watts, unidad de potencia activa del Sistema Internacional de Unidades. Un watt es equivalente a un joule (unidad internacional para energía y trabajo) por segundo (unidad de tiempo).	<ul style="list-style-type: none"> • Flujo de biogás • Poder calorífico • Eficiencia de Equipo de Conversión o Consumo específico de combustible (Heat Rate) 	<ul style="list-style-type: none"> • Modelos matemáticos de estimación de biogás Scholl Canyon e IPCC. • Formula de conversión de biogás en energía eléctrica. 	kW (kilowatt)