



**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TESIS PARA OBTENER
EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL
POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS PARA LA
GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL
RELLENO SANITARIO DE LA PROVINCIA DE BAGUA,
AMAZONAS, 2018.**

AUTORES:

**Bach. MARTHA VANESSA GARCÍA JIMÉNEZ
Bach. JHOSSI GREGORY TENORIO MONTENEGRO**

ASESOR:

Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN

Registro (.....)

**CHACHAPOYAS - PERÚ
2020**

DEDICATORIA

Con amor para mi familia a todos aquellos que estuvieron desde el inicio y siguen hasta hoy; en especial a Luis, Flor, Jhossi, Yury, Kassandra y Valentina quienes fueron mi mayor apoyo y motor.

Martha Vanessa García

Con vehemencia a mis seres amados en la infinita eternidad, José G. Tenorio Calderón y Clotilde Calderón Burgos. Así mismo a mi familia y a mi compañera de vida que día a día apoyaron y motivaron el esfuerzo entregado en el trayecto de esta carrera.

Jhossi Gregory Tenorio

AGRADECIMIENTO

A cada uno de nuestros familiares y todas las personas que se involucraron brindando su apoyo incondicional para el buen desempeño de nuestra carrera profesional de ingeniería ambiental.

A Marilú Montenegro Torres por su labor de madre y amiga, que desmide su apoyo económico y moral para nuestro desarrollo profesional. Así mismo a los padres de Vanessa; Luis Alberto García Bure y Flor Marcely Jiménez Brito, por su apoyo económico y su loable confianza en nosotros y poder ver cristalizado el sueño de su hija profesional.

A José Daniel y Mario Collyn Tenorio Montenegro, así como también a Kassandra M. y Yury Beatriz García Jiménez por su comprensión y apoyo en los momentos más difíciles de nuestras vidas convirtiéndose en nuestro motor y motivo de superación, pues siguen cada uno de nuestros pasos.

A Isolina Tenorio Calderón, Fanny Lalangui Brito y Euler Jave Diaz porque son tíos ejemplares, que con su apoyo y sus consejos nos exhortan llenándonos de esperanzas, saliendo adelante sobre las adversidades de la vida.

Al Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón, Asesor de la tesis; por su dedicación, conocimientos, experiencia, paciencia y motivación que han logrado que terminemos con éxito nuestro informe de tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.

A los docentes de la Carrera Profesional de Ingeniería Ambiental de nuestra Alma Mater la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, por habernos impartido sus conocimientos a lo largo de nuestra formación profesional.

A la Municipalidad Provincial de Bagua, por el apoyo otorgado, para desarrollar la presente investigación, en especial a todo el equipo técnico de la Gerencia de Residuos Sólidos (2018 y 2019).

Martha Vanessa y Jhossi Gregory.

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO
RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**

Dr. POLICARPIO CHAUCA VALQUI
Rector

Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN
Vicerrector Académico

Dra. FLOR TERESA GARCÍA HUAMÁN
Vicerrectora de Investigación

M.Sc. EDWIN ADOLFO DÍAZ ORTÍZ
Decano (e) de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS

Yo, Dr. Miguel Angel Barrena Gurbillón, docente de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, identificado con Documento de Identidad N° 17969339, Asesor de la tesis:

“Potencial de producción de biogás para la generación de energía eléctrica en el Relleno Sanitario de la Provincia de Bagua, Amazonas, 2018”

Realizada por los bachilleres:

Martha Vanessa García Jiménez

Jhossi Gregory Tenorio Montenegro

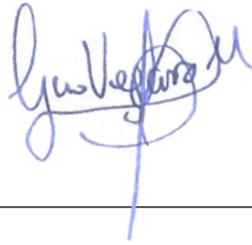
Habiendo revisado el informe final de la tesis en mención, doy la conformidad y el visto bueno para continuar con sus trámites correspondientes, comprometiéndome a apoyarlos en el levantamiento de observaciones para su sustentación.

Chachapoyas, 20 de febrero del 2020



Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón
Asesor de Tesis

JURADO EVALUADOR



M.Sc. GINO ALFREDO VERGARA MEDINA
PRESIDENTE



ING. WILDOR GOSGOT ANGELES
SECRETARIO



ING. BETTY KARINA GUZMAN VALQUI
VOCAL



ANEXO 3-K

**DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO DE TESIS
PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL**

Yo Martha Vanessa García Jiménez
identificado con DNI N° 76526491 Estudiante()/Egresado (X) de la Escuela Profesional de
Ingeniería Ambiental
Ingeniería Civil y Ambiental
de la Facultad de:
de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

DECLARO BAJO JURAMENTO QUE:

1. Soy autor de la Tesis titulada: Potencial de producción de biogás para la generación de energía eléctrica en el relleno sanitario de la Provincia de Bagua, Amazonas, 2018.

que presento para
obtener el Título Profesional de: Ingeniero Ambiental



- 2. La Tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, y para su realización se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
- 3. La Tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
- 4. La Tesis presentada no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
- 5. La información presentada es real y no ha sido falsificada, ni duplicada, ni copiada.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo toda responsabilidad que pudiera derivarse por la autría, originalidad y veracidad del contenido de la Tesis para obtener el Título Profesional, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. Asimismo, por la presente me comprometo a asumir además todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para la UNTRM en favor de terceros por motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontraren causa en el contenido de la Tesis.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que la Tesis para obtener el Título Profesional haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones civiles y penales que de mi acción se deriven.

Chachapoyas, 28 de enero de 2020

[Firma]
Firma del(a) tesista



ANEXO 3-K

**DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO DE TESIS
PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL**

Yo Jhossi Gregory Tenorio Montenegro
identificado con DNI N° 72361483 Estudiante()/Egresado (X) de la Escuela Profesional de
Ingeniería Ambiental
Ingeniería Civil y Ambiental
de la Facultad de:
de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

DECLARO BAJO JURAMENTO QUE:

1. Soy autor de la Tesis titulada: Potencial de producción de biogás para la generación de energía eléctrica en el Relleno Sanitario de la Provincia de Bagua, Amazonas, 2018.

que presento para
obtener el Título Profesional de: Ingeniero Ambiental

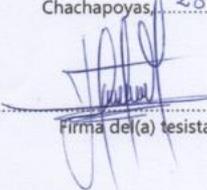


- 2. La Tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, y para su realización se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
- 3. La Tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
- 4. La Tesis presentada no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
- 5. La información presentada es real y no ha sido falsificada, ni duplicada, ni copiada.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo toda responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la Tesis para obtener el Título Profesional, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. Asimismo, por la presente me comprometo a asumir además todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para la UNTRM en favor de terceros por motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontraren causa en el contenido de la Tesis.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que la Tesis para obtener el Título Profesional haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones civiles y penales que de mi acción se deriven.

Chachapoyas, 28 de enero de 2020


Firma de(a) tesista

ANEXO 3-N

**ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL**

En la ciudad de Chachapoyas, el día 15 de junio del año 2020, siendo las 11:30 horas, el aspirante Martha Vanessa García Jiménez defiende en sesión pública la Tesis titulada: Potencial de Producción de Biogás para la Generación de Energía Eléctrica en el Relleno Sanitario de la Provincia de Pagua, Amazonas, 2018.

para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental
a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente: M.Sc. Gino Alfredo Vergara Medina

Secretario: Ing. Wildor Gasgot Angeles

Vocal: Ing. Betty Karina Guzman Valqui



Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y método, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto, a fin de que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

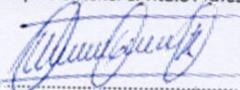
Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida la Tesis para obtener el Título Profesional, en términos de:

Aprobado ()

Desaprobado ()

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 12:50 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.


SECRETARIO


VOCAL


PRESIDENTE

OTROSA COSAS:

ANEXO 3-N

**ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL**

En la ciudad de Chachapoyas, el día 15 de junio del año 2020, siendo las 11:30 horas, el aspirante Jhossi Gregory Tenorio Montenegro defiende en sesión pública la Tesis titulada: Potencial de Producción de Biogás para la Generación de Energía Eléctrica en el Relleno Sanitario de la Provincia de Bagua, Amazonas, 2018.

para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, ante el Jurado Evaluador, constituido por:

- Presidente : M. Sc. Gino Alfredo Vargara Medina
Secretario : Ing. Wildor Gaspar Angeles
Vocal : Ing. Betty Karina Guzman Valqui



Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y método, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto, a fin de que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida la Tesis para obtener el Título Profesional, en términos de:

Aprobado () Desaprobado ()

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 12:50 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.

[Signature]
SECRETARIO

[Signature]
VOCAL

[Signature]
PRESIDENTE

INDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS.....	iv
VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS.....	v
JURADO EVALUADOR.....	vi
DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO DE TESIS.....	vii
ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS.....	ix
ÍNDICE GENERAL	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
I. INTRODUCCIÓN.....	17
II. MATERIAL Y MÉTODOS.....	20
2.1. Área de estudio.....	20
2.2. Ubicación del relleno sanitario de la Provincia de Bagua.....	21
2.3. Diseño de la investigación.....	21
2.4. Metodología.....	21
2.4.1. Estudio de caracterización de residuos sólidos orgánicos municipales....	23
2.4.2. Cálculo de la producción de biogás según George Tchobanoglous (1994).....	37
III. RESULTADOS.....	44
3.1. Resultados del estudio de caracterización de residuos sólidos.....	44
3.2. Cálculo de la cantidad de biogás que se producirá en el Relleno Sanitario de la Provincia de Bagua.....	50
IV. DISCUSIÓN.....	63
V. CONCLUSIONES.....	65
VI. RECOMENDACIONES.....	66
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67
ANEXOS.....	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Número de muestras domiciliarias de los distritos de Bagua, La Peca, El Parco, Copallín y Aramango.....	25
Tabla 2. Número de muestras no domiciliarias de los distritos de Bagua, La Peca, El Parco, Copallín y Aramango.....	25
Tabla 3. Número de muestras no domiciliarias por giros de actividades comerciales en los distritos de Bagua, La Peca, El Parco, Copallín y Aramango.....	26
Tabla 4. Contenido de humedad promedio típica de los residuos.....	39
Tabla 5. Valores promedio de % en peso de los elementos por componente.....	40
Tabla 6. Composición porcentual de residuos sólidos municipales de la Provincia de Bagua.....	49
Tabla 7. Cálculo del peso seco de los residuos sólidos municipales.....	50
Tabla 8. Subíndices de C, H, O y N para la fórmula general del residuo sólido.....	51
Tabla 9. Cálculo de la producción de biogás por año.....	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de los distritos de Bagua donde se intervino.....	20
Figura 2. Ubicación del relleno sanitario de la Provincia de Bagua.....	21
Figura 3. Metodología de cálculo- Modelo Tchobanoglous.....	22
Figura 4. Formato de registro de generadores de residuos sólidos domiciliarios.....	28
Figura 5. Formato de registro de generadores de residuos sólidos no domiciliarios.....	29
Figura 6. Capacitación al equipo de trabajo.....	30
Figura 7. Registro de participante domiciliario y no domiciliario.....	31
Figura 8. Codificación de bolsas.....	32
Figura 9. Entrega de bolsas para recolectar los residuos sólidos.....	32
Figura 10. Recojo de residuos sólidos y entrega de bolsas.....	33
Figura 11. Recepción de las muestras de residuos sólidos.....	33
Figura 12. Transporte de los residuos sólidos.....	34
Figura 13. Clasificación de los residuos.....	35
Figura 14. Peso de los residuos sólidos domiciliarios recolectados del día 1 al día 7 del Distrito de Bagua.....	36
Figura 15. Composición porcentual de residuos sólidos del Distrito de Bagua.....	37
Figura 16. Tasa de producción de Biogás RRD.....	42
Figura 17. Tasa de producción de Biogás RLD.....	42
Figura 18. Composición porcentual de residuos sólidos municipales del Distrito de Bagua.....	44
Figura 19. Composición porcentual de residuos sólidos municipales del Distrito La Peca.....	45
Figura 20. Composición porcentual de residuos sólidos municipales del Distrito El Parco.....	46
Figura 21. Composición porcentual de residuos sólidos municipales del Distrito Copallín.....	47
Figura 22. Composición porcentual de residuos sólidos municipales del Distrito Aramango	48
Figura 23. Producción de biogás a partir de RRD por año.....	56
Figura 24. Producción de biogás a partir de RLD por año.....	56
Figura 25. Producción total de biogás a partir de RRD y RLD por año.....	57
Figura 26. Producción acumulada de biogás en el relleno sanitario de Bagua.....	57

Figura 27. Cantidad de biogás que podrá generarse en el Relleno Sanitario de la Provincia de Bagua durante 24 años, el cual está expresado m ³	58
Figura 28. Transformación del biogás a generación de electricidad.....	60
Figura 29. Componentes de un sistema de extracción de biogás en un relleno sanitario.....	61

RESUMEN

A partir de la descomposición por acción de microorganismos en condiciones anaeróbicas de los residuos sólidos municipales de los distritos de Bagua, La Peca, El Parco, Copallin y Aramango depositados en el relleno sanitario de la provincia de Bagua, se producen gases como el metano (CH_4), el cual es el principal constituyente del efecto invernadero contribuyendo así en el calentamiento global. Para el estudio de investigación se propuso como objetivo evaluar el potencial de producción de biogás para la generación de energía eléctrica en el Relleno Sanitario de la Provincia de Bagua, Amazonas, 2018 utilizando el modelo propuesto por George Tchobanoglous (1994); esta metodología toma en consideración datos cualitativos y cuantitativos de la materia orgánica de rápida degradación (residuos orgánicos, papel, cartón, residuos de jardín (60%)) y, lenta degradación (textiles, hule, piel, madera, jardín (40%)). Se determinó el potencial de producción de biogás disponible en el Relleno Sanitario de la Provincia de Bagua con una composición de 81,14% de residuos orgánicos de rápida y lenta degradación. La estimación demuestra que el potencial de generación de biogás es de 5,31 kWh/m³ y que el flujo de biogás llega al nivel máximo y posee la máxima potencia eléctrica de 922.26 kWh al año 10 por un grupo electrógeno a biogás con una eficiencia de motor de 68%.

Palabras Clave: Residuos orgánicos, biogás, grupo electrógeno, gases de efecto invernadero.

ABSTRACT

From the decomposition by action of microorganisms in anaerobic conditions of municipal solid waste from the districts of Bagua, La Peca, El Parco, Copallin and Aramango deposited in the sanitary landfill of the province of Bagua, gases such as methane are produced (CH_4), which is the main constituent of the greenhouse effect, thus contributing to global warming. The objective of the research study was to evaluate the potential of biogas production for the generation of electrical energy in the Sanitary Landfill of the Bagua Province, Amazonas, 2018 using the model proposed by George Tchobanoglous (1994); This methodology takes into account qualitative and quantitative data on rapidly degrading organic matter (organic waste, paper, cardboard, garden waste (60%)) and, slow degradation (textiles, rubber, leather, wood, garden (40%)). The biogas production potential available in the Sanitary Landfill of the Bagua Province was determined with a composition of 81.14% of fast and slow degradation organic waste. The estimate shows that the potential for biogas generation is $5.31 \text{ kWh} / \text{m}^3$ and that the biogas flow reaches the maximum level and has the maximum electrical power of 922.26 kWh per year 10 by a biogas generator set with an efficiency of 68% engine.

Keywords: Organic waste, biogás, electrogen group, gases Of greenhouse effect.

I. INTRODUCCIÓN

Los rellenos sanitarios municipales constituyen la tercera fuente mundial de emisiones antropogénicas de metano, como resultado de la degradación de residuos sólidos orgánicos en condiciones anaeróbicas (Martín et al, 2018). Durante la digestión anaeróbica, se producen una serie de reacciones bioquímicas generando biogás, el cual, está constituido principalmente por metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), incluyendo trazas de hidrógeno (H_2), nitrógeno (N_2), monóxido de carbono (CO), oxígeno (O_2) y sulfuro de hidrógeno (H_2S) (Blanco et al., 2011). Por otro lado, hay que tener en consideración que el gas metano, principal componente del biogás, 40 a 70%(v/v) (Blanco et al., 2011) debe ser controlado debido a su aporte en el calentamiento global que es 25 veces mayor que el del dióxido de carbono (Silva et al., 2013).

Ante esta problemática y con el objetivo de mitigar los efectos del cambio climático y sus consecuencias para el ambiente, a nivel internacional, nacional, regional y local se han suscrito diversos compromisos, leyes y ordenanzas; entre los más representativos se encuentran: el Protocolo de Kioto (1997), el Acuerdo de Copenhague (2009), la Plataforma de Durban (2011), el acuerdo de París (2015), la Ley Marco del Cambio Climático (2018) y la Ordenanza Municipal 037-2019-CMPB. Estos compromisos han permitido la difusión y concientización a la sociedad, de las consecuencias que tendría una fuerte variación en la temperatura del planeta.

En el Perú, dentro de los lineamientos de la gestión integral de residuos sólidos, menciona que la gestión integral de los residuos sólidos deberá estar orientada a: contribuir a la lucha contra el cambio climático mediante la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (DL 1278, 2016). Por ende, buscar alternativas de solución para la disminución de gases de efecto invernadero mediante energías renovables representa un reto para la investigación. Por ello, es necesario tomar alternativas de aprovechamiento energético sostenible considerando que el biogás es un combustible adecuado para motores de combustión interna, lámpara de camiseta y cocina (Barrena et al., 2019).

Por otro lado, un aspecto importante para determinar la cantidad de metano que se genera en un relleno sanitario, es la composición de los residuos sólidos; el porcentaje de cada tipo de materia orgánica establece la velocidad de degradación, permitiendo determinar la tasa de generación de biogás en el tiempo (López, 2016).

Según el MINAM (2016), la composición de los residuos sólidos en el Perú en el año 2014 fue de 53,16% de materia orgánica, 18,64% residuos no reaprovechables, 18,64% residuos reaprovechables y el 6,83% estuvo compuesto por residuos reciclables. En el año 2018, la generación de residuos sólidos municipales en la Región Amazonas fue de 54 454, 82 toneladas; de los cuales el 21, 50% fueron generados en la Provincia de Bagua (MINAM, 2019).

Según el estudio de caracterización de residuos sólidos municipales, en el distrito de Bagua se generan 13,31 Tn de residuos; de los cuales el 85,37% son residuos orgánicos, el 8,07% son residuos no aprovechables y el 6,56% son residuos aprovechables.

El biogás que contiene metano superior al 45% puede ser capturado y usado como combustible y/o electricidad; permitiendo de esta forma disminuir la cantidad de materia orgánica contaminante, estabilizándola y al mismo tiempo, producir energía renovable (FAO et al., 2011).

En cuanto a la combustión, un metro cúbico de biogás utilizado en un motor híbrido (biogás y diésel) genera un equivalente de 1,22 kW de electricidad (Villacis, 2016). La tasa calorífica del biogás es de 12000 Btu/kWh en turbinas de ciclo combinado. Un equipo de cogeneración (motor térmico, generador asincrónico, sistema de refrigeración externo) consume 8 m³ de biogás/h y produce 13 kW eléctricos y 32000 Kcal/h (Borda, 2016). Por su parte Villacis (2016), determinó el volumen de biogás producido en el Relleno Sanitario de San Pedro de Jachaguango, cantón Salcedo, Ecuador; de acuerdo al tipo de residuo sólido urbano, con el modelo planteado por George Tchobanoglous, concluyó que la cantidad de residuos sólidos que ingresaron al relleno sanitario el año 2016 fueron 6 574 545 kg producido por una población de 64 602 habitantes del Cantón, lo cual permite generar 656 944 m³ de biogás por año, que puede transformarse en 67,27 kWh de energía, el cual año tras año irá en crecimiento.

El Relleno Sanitario Doña Juana, Bogotá, Colombia; tiene una capacidad instalada para producir 15000 m³ de biogás/h, en la actualidad convierte térmicamente por combustión aproximadamente 5500 m³/h de biogás en condiciones normales, cuya composición se encuentra entre el 52% y el 53% de metano, alrededor del 30% de CO₂ y el 2% de oxígeno. La reducción de emisiones de CO₂/mes desde el 22 de septiembre de 2009, hasta enero de 2016 es de 4 382 044 Tn de CO₂ equivalente. Además, en la actualidad la planta de Biogás Doña Juana tiene la capacidad de generar 0,6 MW/h de energía. Desde noviembre del 2010 hasta el año 2016, se obtuvieron 2 382 378 kW de energía. (Borda, 2016).

La disposición controlada (sanitaria y ambientalmente segura) de los residuos sólidos municipales en la provincia de Bagua es realizada en el relleno sanitario semi-mecanizado ubicado en la parcela denominada “La Peña del Loro”, sector Achahuay, distrito de Bagua; dicho relleno está diseñado para una vida útil de 10 años; con una capacidad de 106 485 toneladas de residuos procedentes de los distritos de La Peca, El Parco, Copallín y Aramango (Consortio Fichner 2014).

Frente a esta problemática nace la idea de evaluar el potencial de producción de biogás para la generación de energía eléctrica en el Relleno Sanitario de la Provincia de Bagua, Amazonas, 2018. El presente estudio permitió obtener información relevante de la generación de residuos sólidos orgánicos municipales de los distritos de Bagua, La Peca, El Parco, Copallín y Aramango, que podrán ser utilizados para la generación de energía eléctrica a partir de digestión anaerobia en el relleno sanitario; asimismo, proporcionar datos para que puedan ser usados en el futuro en los proyectos de aprovechamiento, como energías renovables, así como también la reducción de emisión de GEI que son los principales causantes del cambio climático.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

La investigación incluyó una fase de campo y otra de gabinete. En la fase de campo se recolectó datos como la cantidad de residuos de rápida degradación, lenta degradación y no degradables en los distritos de Bagua, La Peca, El Parco, Copallín y Aramango en la Provincia de Bagua, región Amazonas. En la Figura 1, se presenta el mapa de ubicación geográfica de los distritos de donde se obtuvieron los datos.

La siguiente fase se llevó a cabo en una vivienda en la ciudad de Bagua donde se realizó un análisis cualitativo y cuantitativo de las muestras obtenidas en campo, utilizando la estadística descriptiva como tablas, gráficos, hojas de Microsoft Excel.

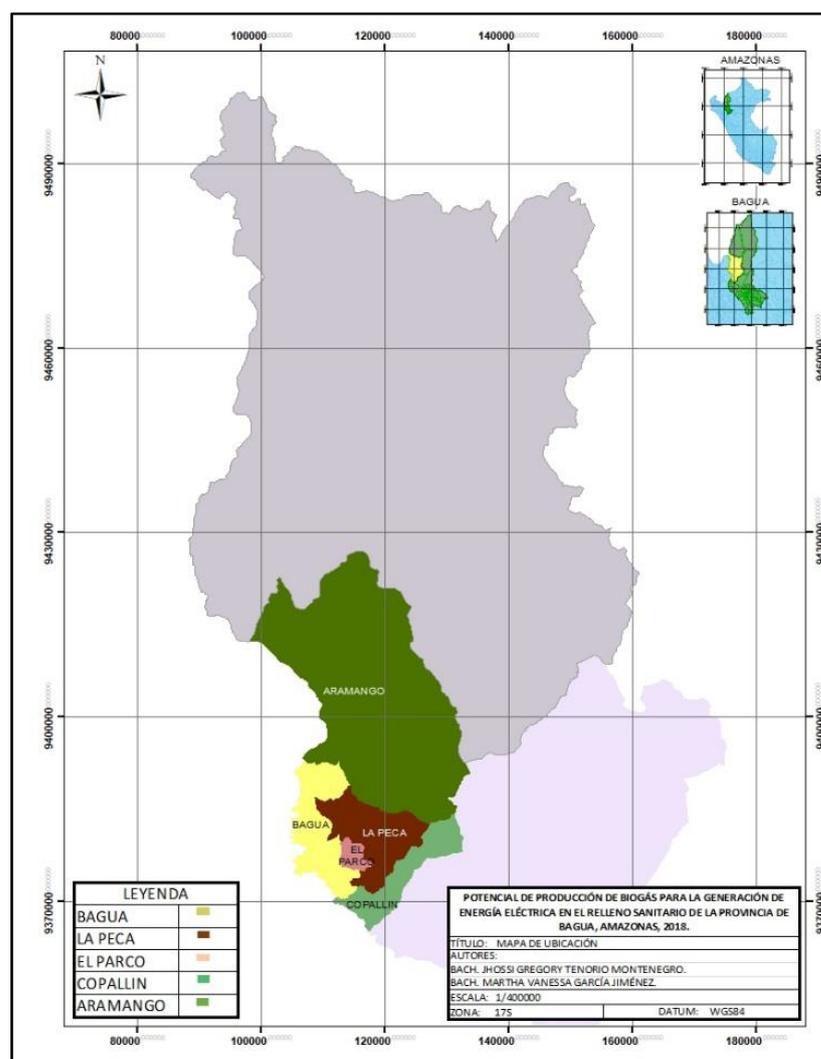


Figura 1. Mapa de ubicación de los distritos de intervención de la Provincia de Bagua.

2.2. Ubicación del relleno sanitario de la Provincia de Bagua

El relleno sanitario de la Provincia de Bagua, está ubicado en la Parcela Peña del Loro, Sector Achahuay, Distrito de Bagua, Provincia de Bagua, Región Amazonas.



Figura 2. Ubicación del relleno sanitario de la Provincia de Bagua.

Fuente: Consorcio Fichtner, 2015.

2.3. Diseño de la investigación

Se basó en el cálculo estequiométrico para determinar la cantidad de biogás que se produce a partir de la descomposición de los residuos sólidos orgánicos de rápida degradación (residuos orgánicos, papel, cartón, residuos de jardín) y lenta degradación (textiles, hule, piel, madera) que son dispuestos en el relleno sanitario de la Provincia de Bagua.

Con el volumen de biogás estimado se determinó el funcionamiento de un grupo electrógeno a petróleo para cuyo funcionamiento se puede reemplazar el 68% de petróleo por biogás.

2.4. Metodología

Para estimar la producción de biogás en el relleno sanitario de la Provincia de Bagua, se utilizó el modelo propuesto por George Tchobanoglous (1994); esta metodología toma en consideración datos cualitativos y cuantitativos de la materia orgánica de rápida degradación (residuos orgánicos, papel, cartón, residuos de jardín) y lenta degradación (textiles, hule, piel, madera).

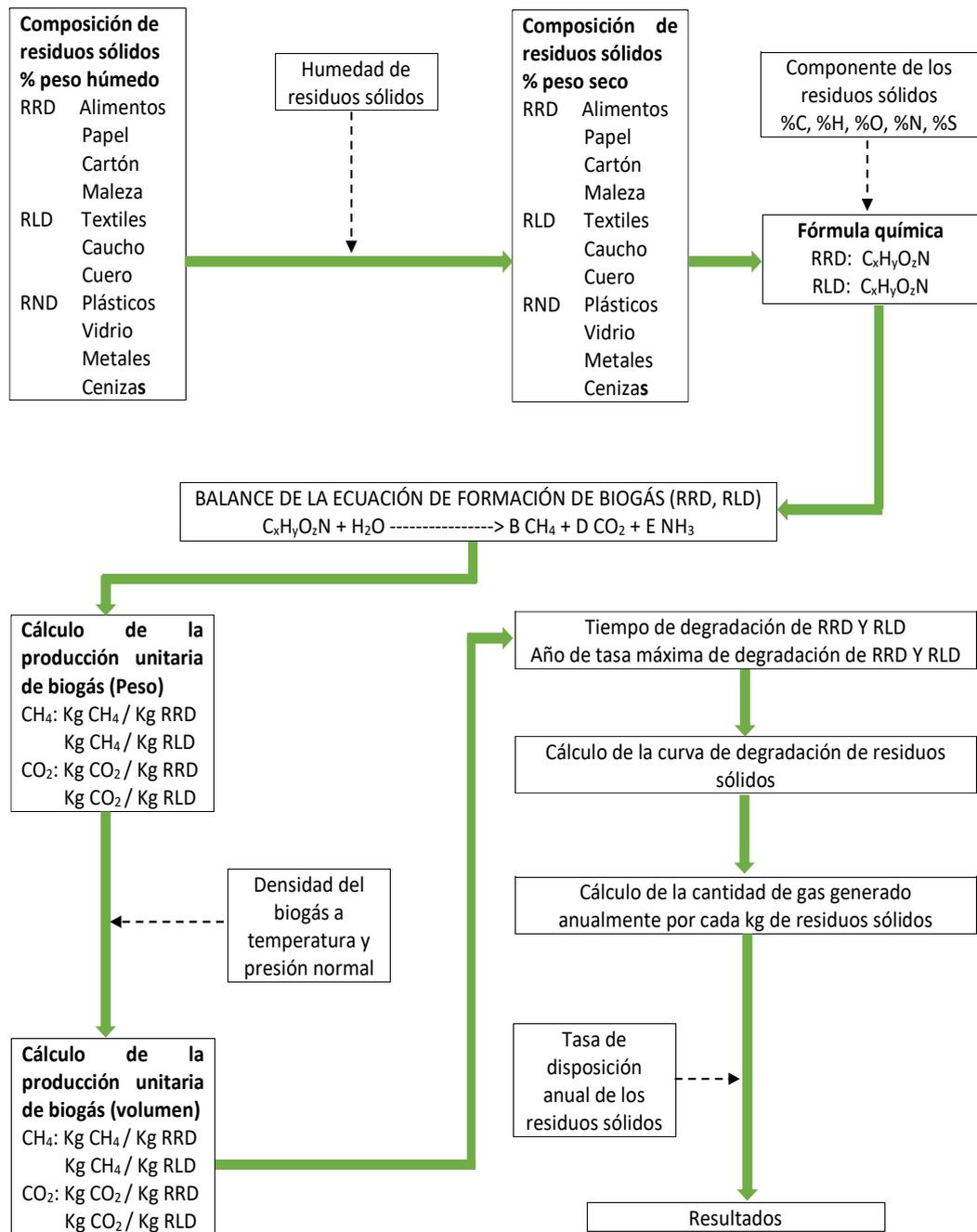


Figura 3. Metodología de cálculo- Modelo Tchobanoglous

Para obtener la información requerida por la metodología antes mencionada, relacionado a las características físicas de la materia orgánica que ingresa al relleno sanitario de la Provincia de Bagua, se realizó la caracterización de residuos sólidos orgánicos municipales en los distritos de Bagua, La Peca, El Parco, Copallín y Aramango; empleando las Guías Metodológicas para el desarrollo del Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos (EC-RSM) del año 2015 (<https://redrrss.minam.gob.pe/material/20150302182233.pdf>) y la Guía para la Caracterización de Residuos Sólidos Municipales del año 2018, aprobada mediante Resolución Ministerial 457-2018-MINAM.

Posteriormente, con los datos obtenidos en la caracterización mencionada líneas arriba, se procedió a calcular la producción unitaria de biogás con el método de George Tchobanoglous.

2.4.1. Estudio de caracterización de residuos sólidos orgánicos municipales

Para el estudio se consideró a los generadores domiciliarios (viviendas) y no domiciliarios (establecimientos, servicios, instituciones y especiales) que comprenden las principales fuentes de generación de residuos sólidos de las ciudades de Bagua, La Peca, El Parco, Copallín y Aramango. El estudio de caracterización de los residuos sólidos orgánicos municipales, permitió obtener la composición de los residuos de rápida y lenta degradación, así como también de los residuos de nula degradación en la Provincia de Bagua.

Cálculo del número de muestras domiciliarias y no domiciliarias

Para determinar el número de muestras de las viviendas se usó la fórmula propuesta por el Dr. Kunitoshi Sakurai publicada en la HDT-N°97 CEPIS, 2005 y sugerida por la Guía Metodológica para el desarrollo del Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos (EC-RSM) - MIMAN para el año 2015.

La fórmula empleada se muestra a continuación y se utilizó para cada uno de los distritos de Bagua, La Peca, El Parco, Copallín y Aramango.

$$n = \frac{Z_{1-\alpha/2}^2 N \sigma^2}{(N-1)E^2 + Z_{1-\alpha/2}^2 \sigma^2} \quad (1)$$

Donde:

n = Muestra de las viviendas y/o establecimientos que participaron en el estudio de caracterización.

N = Número total de viviendas y/o establecimientos de la zona urbana del distrito.

$Z_{1-\alpha/2}$ = Nivel de confianza 95%, y calculado se obtiene 1,96.

σ = Desviación estándar de las muestras, en caso no hubiera cálculos en estudios anteriores, considerar 0,25.

E = Error permisible que es el 10% del GPC nacional.

La determinación del número de muestras domiciliarias quedó definida según la cantidad total de viviendas del distrito, de acuerdo al Censo Nacional del Instituto Nacional de Estadística e Informática (en adelante INEI) del año 2017, con nivel de confianza del 95%, desviación estándar 0,25 kg/hab/día, y el error permisible que equivale al 10% de la GPC nacional (0,56 kg/hab/día).

De igual manera para la determinación del número de muestras para los generadores de residuos sólidos municipales de fuentes no domiciliarias, se aplicó la ecuación (1), que se empleó para determinar las muestras de los residuos sólidos domiciliarios.

Determinación del número de muestras domiciliarias

En la Tabla 1, se observa la cantidad de muestras realizadas por distrito; se realizó con el 20% de contingencia para lograr realizar el estudio al 96%, considerando como base el número de muestras obtenida con la ecuación 1. Durante la recolección de muestras se eliminaron las viviendas que no entregaron los residuos por dos días.

En el Distrito de Bagua, participaron 306 personas y tiene un promedio de participación de 4 personas por vivienda, en el distrito de la Peca 303 participantes con un promedio de 4 personas por vivienda, en el distrito de El Parco 149 participantes con un promedio de 3 personas por vivienda, en el distrito de Copallín 263 participantes con un promedio de 4 personas por vivienda y en Aramango 278 participantes con un promedio de 4 personas por vivienda.

Tabla 1. Número de muestras domiciliarias de los distritos de Bagua, La Peca, El Parco, Copallín y Aramango.

Nombre del distrito	N° Viviendas INEI 2017	N° de muestra	Contingencia 20%	N° total de muestras
Bagua	6 806	74	46	120
La Peca	1 237	71	14	85
El Parco	198	55	11	66
Copallín	739	68	14	82
Aramango	801	69	14	83

Determinación del número de muestras no domiciliarias

En la Tabla 2, se observa la cantidad de muestras realizadas por distrito; se realizó con el 20% de contingencia para lograr realizar el estudio al 96%. Durante la recolección de muestras se eliminaron los establecimientos que no entregaron los residuos por dos días.

En los distritos de El Parco, Copallín y Aramango se realizaron las muestras al 100% ya que la población mostro disponibilidad y el número de muestras fue manejable tal como se ve en la Tabla 2.

Tabla 2. Número de muestras no domiciliarias de los distritos de Bagua, La Peca, El Parco, Copallín y Aramango.

Nombre del distrito	N° de establecimientos	N° de muestra	Contingencia 20%	N° total de muestras
Bagua	1 045	46	8,9	55
La Peca	105	38		38
El Parco	11	11		11
Copallín	38	38		38
Aramango	38	38		38

Determinación del número de muestras por giro de actividades comerciales

Para distribuir la muestra de generadores no domiciliarios, ésta se realizó teniendo en cuenta el tipo de predio no domiciliario; tal como lo indica la Guía para el Estudio de Caracterización 2016, propuesta por el Ministerio del Ambiente.

El 64,25% de las muestras realizadas corresponden a comercios (bodegas, panaderías, mercado y parada, ferreterías, multiservicios, mercería, venta de gas, bar y grifos), seguido del 25,14% que representan a servicios (restaurantes, hoteles, estéticas, reparación de artefactos, carpintería, carpintería metálica, molino, moto repuestos y transportes); el 8,94% de las muestras son de procedencia de predio especial (fertilizantes veterinarias agroveterinarias y boticas) y en pequeño porcentaje (0,56%) de instituciones públicas.

Tabla 3. Número de muestras no domiciliarias por giros de actividades comerciales en los distritos de Bagua, La Peca, El Parco, Copallín y Aramango.

Tipo de predio no domiciliario	Bagua	La Peca	El Parco	Copallín	Aramango
Comercio	36	26	10	22	21
Servicios	13	7	1	11	13
Instituciones	1				
Especiales	4	3		5	4
Total	54	38	11	38	38

Distribución de la muestra

El número de muestras calculadas fueron distribuidas de manera aleatoria en función del mapa catastral de cada localidad. Ver Anexo 1. Plano de las zonas de muestreo del Distrito de Bagua. Anexo 2. Plano de las zonas de muestreo del Distrito de La Peca. Anexo 3. Plano de las zonas de muestreo del Distrito Aramango. Anexo 4. Plano de las zonas de muestreo del Distrito El Parco. Anexo 5. Plano de las zonas de muestreo del Distrito de Copallín.

Elaboración del formato para el empadronamiento e identificación de las viviendas

Para el registro de información de los generadores de residuos sólidos domiciliarios participantes en el estudio, se elaboró un formato que consta de: número de muestra, código, dirección, sector, nombre de la persona que brinda la información, número de habitantes por vivienda, DNI y firma; tal como se puede observar en la figura 4.

El formato de registro de generadores no domiciliarios consta de: número de muestra, código, dirección, sector, giro, razón social, DNI y firma; tal como se puede observar en la figura 5.



REGISTRO DE GENERADORES DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS PARTICIPANTES DEL ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES DEL DISTRITO DE BAGUA

N°	Código	Dirección	Sector	Apellidos y Nombres	N° de habitantes por vivienda	DNI	Firma
1	001-R1001	Jr. 29 de Agosto N° 272	Bagua	Zeballos Revilla Lurdas	4	45375518	<i>Lurdas</i>
2	002-R1001	Jr. Rodríguez de Mendoza N° 255	Bagua	Rojas Flores Daysi	3	46526040	<i>D. Rojas</i>
3	003-R1001	Jr. Malecon N° 1551	Bagua	Albanto Rodrigo Esperanza	3	16805605	<i>Rodrigo Albanto</i>
4	004-R1001	Jr. Rodríguez de Mendoza N° 359	Bagua	Olivares de Becerra María	4	33564981	<i>María</i>
5	005-R1001	Av. Heroes del Cenepa N° 1512	Bagua	Burga Cathina Ana	5	33566494	<i>Ana</i>
6	006-R1001	Jr. Mesones Muro N° 307	Bagua	Hernandez Perez Mariano	2	33562856	<i>Mariano</i>
7	007-R1001	Jr. Madre de Dios N° 448	Bagua	Regalado Cueva Marisol	6	33589935	<i>Marisol</i>
8	008-R1001	Jr. 28 de Julio N° 745	Bagua	Maña Llique Margarita	3	33565205	<i>Margarita</i>
9	009-R1001	Jr. Cajamarca N° 343	Bagua	Diaz Mago Maria Teresa	7	33564867	<i>Maria Teresa</i>
10	010-R1001	Jr. Lambayeque N° 227	los Olivos	Paz Pinedo Santos	4	44933647	<i>Santos</i>
11	011-R1001	Jr. Tacna N° 135	Bagua	Ullca García Luz	5	33592536	<i>Luz</i>
12	012-R1001	Jr. Comercio N° 1131	Bagua	Lozada León Graciela	3	33568499	<i>Graciela</i>

Figura 4. Formato de registro de generadores de residuos sólidos domiciliarios.



REGISTRO DE GENERADORES DE RESIDUOS SÓLIDOS NO DOMICILIARIOS PARTICIPANTES DEL ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES DEL DISTRITO DE BAGUA

N°	Código	Dirección	Sector	Giro	Razón Social	DNI	Firma
1	001- B1	Jr. Tumbes N° 339	Bagua	Bodega	María	33561548	<i>[Signature]</i>
2	002- B2	Jr. Maquegua N°500	Bagua	Bodega	Gladis	45802388	<i>[Signature]</i>
3	003- B3	Jr. Arequipa N°605	Bagua	Bodega	Alicia	43244819	<i>[Signature]</i>
4	004- B4	Jr. Mesones Muño N°198	Bagua	Bodega	María del Rosario	33588117	<i>[Signature]</i>
5	005- P1	Av. Heroes del Cenepa N°815	Bagua	Panadería	Dulce Capricho	46455082	<i>[Signature]</i>
6	006- MPP1	Mercado	Mercado	Avícola	Graciela	33566441	<i>[Signature]</i>
7	007- MPP2	Mercado	Mercado	Avícola	Fátima	33560964	<i>[Signature]</i>
8	008- MPP3	Mercado	Mercado	Avícola	Perez	33566882	<i>[Signature]</i>
9	009- MPP4	Mercado	Mercado	Avícola	María	33565704	<i>[Signature]</i>
10	010- MPP5	Parada	Mercado	Sastriaría	Magno	17587422	<i>[Signature]</i>
11	011- MPJ1	Mercado	Mercado	Juguería	García	33592312	<i>[Signature]</i>
12	012- MPJ2	Parada	Mercado	Juguería	Patricia	75843050	<i>[Signature]</i>

Figura 5. Formato de registro de generadores de residuos sólidos no domiciliarios.

Capacitación al equipo de trabajo

Se conformó un equipo de ocho personas a quienes se les brindó capacitación, explicando las tareas a realizar durante la ejecución del estudio; los temas de capacitación fueron los siguientes:

- Definiciones, importancia y etapas de la caracterización de los residuos sólidos municipales.
- Indicaciones sobre el uso de los materiales.
- Sensibilización a la población y su participación en el Estudio.
- Empadronamiento a la población.
- Recolección de muestras.
- Manipulación de residuos.
- Medidas de seguridad.



Figura 6. Capacitación al equipo de trabajo.

Información, sensibilización y empadronamiento de los participantes del estudio

Tal como se determinó en la distribución de la muestra y con el plano catastral se procedió a visitar domicilios y establecimientos, para solicitarles su apoyo con la recolección y entrega de los residuos sólidos que generen durante el día, por un periodo de ocho días consecutivos. Cuando la respuesta de una persona adulta representante del hogar era positiva, se continuó con el registro de información en el formato de empadronamiento de las viviendas y/o establecimientos participantes y la colocación de un sticker con su respectivo código de participación en el frontis del predio; si la respuesta era negativa se continuó con la vivienda y/o establecimiento comercial más cercano respetando la calle y dirección de la misma.



Figura 7. Registro de participante domiciliario y no domiciliario.

Codificación de bolsas

Con el objetivo de llevar un control de cada una de las muestras, se codificó las bolsas que fueron entregadas a los generadores de residuos sólidos domiciliarios; (número de muestra + ruta y/o zona) y no domiciliarios (número de muestra + giro) para que recojan los residuos sólidos generados durante un día.



Figura 8. Codificación de bolsas.

Entrega de bolsas

Un día antes que inicie la recolección de los residuos sólidos, ya contando con el registro de participantes, se visitó a cada vivienda y establecimiento y se le proporcionó una bolsa codificada de 35 litros de capacidad, para que recolecten los residuos sólidos generados durante el día. Se entregaron bolsas de dos colores para diferenciar los residuos sólidos, verde para orgánicos y amarilla para los inorgánicos.



Figura 9. Entrega de bolsas para recolectar los residuos sólidos.

Recolección y transporte de muestras de viviendas y establecimientos comerciales

Al siguiente día de haber entregado las bolsas se recogieron con la totalidad de los residuos sólidos generados en un día; y se entregaron nuevas bolsas debidamente codificadas, esta acción se efectuó durante 8 días continuos de 6:00 am hasta las 9:30 am; para cada una de las fuentes de generación domiciliaria y no domiciliaria.



Figura 10. Recojo de residuos sólidos y entrega de bolsas.

Por último, las muestras domiciliares y no domiciliares se trasladaron al ambiente designado ubicado en el Centro Poblado El Tomaque, donde se procedió a determinar el parámetro de composición física de los residuos sólidos.



Figura 11. Transporte de los residuos sólidos

Para evitar accidentes durante el trabajo de campo se tomaron las medidas necesarias de seguridad usando los equipos de protección personal (guantes, mascarillas, botas y mandil) y teniendo en cuenta las posiciones ergonómicas correctas (al recoger las muestras y al realizar el pesaje).

Determinación del parámetro de composición física porcentual de los residuos sólidos

La composición física de los residuos sólidos fue el parámetro determinado durante el estudio de caracterización de residuos sólidos orgánicos municipales, en las ciudades de Bagua, La Peca, El Parco, Copallín y Aramango.

En el ambiente destinado para la manipulación de los residuos sólidos ubicado en el caserío El Tomaque; primero se procedió a descargar las bolsas cuidadosamente y ubicarlas en orden correlativo para su respectivo pesaje.



Figura 12. Recepción de las muestras de residuos sólidos.

Luego se abrieron las bolsas y verificó que los residuos sólidos orgánicos estén separados de los residuos inorgánicos para facilitar el pesaje.



Figura 13. Clasificación de los residuos

A continuación, se separó los residuos sólidos por cada componente: residuos rápidamente degradables (residuos orgánicos, papel, cartón, residuos de jardín) y residuos lentamente degradables (textiles, hule, piel, madera).

Seguidamente en un balde de 38,3 cm de largo; 34,2 cm de diámetro y con una capacidad de 23 litros se procedió a pesar los residuos sólidos por componentes, de cada una de las muestras.

Posteriormente en una hoja de cálculo de Excel se obtuvo el peso de los residuos sólidos recolectados del día 1 al día 7, tal como se ve en la Figura 14.

N°	Código	Número de habitantes	RESIDUOS ORGÁNICOS - CIUDAD DE BAGUA						
			Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
			Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg
1	001- R1001	4	1,35	1,55	1,65	1,15	1,85	1,40	1,35
2	002- R1001	3	1,05	0,85	1,90	0,65	1,90	2,05	1,55
3	003- R1001	3	1,20	1,35	1,15	1,15	1,30	1,55	1,30
4	004- R1001	4	1,55	1,45	1,25	1,40	1,20	1,15	1,25
5	006- R1001	2	0,10	0,15	0,60	0,50	0,45	0,25	0,55
6	008- R1001	3	0,35	0,15	0,30	0,65	0,50	0,40	0,25
7	011- R1001	5	1,35	1,85	1,15	1,05	1,05	1,00	1,15
8	012- R1001	3	1,25	0,95	1,05	0,75	1,20	0,80	0,95
9	014- R1001	5	3,55	3,95	1,25	2,15	1,55	1,60	3,00
10	015- R1001	7	3,15	2,60	3,01	4,00	2,60	2,15	3,70
11	016- R1001	5	1,35	1,10	1,65	1,05	1,60	1,01	1,20
12	017- R1001	8	2,90	3,35	2,95	1,75	1,70	1,85	3,20
13	020- R1001	2	0,15	0,35	0,35	0,50	0,40	0,45	0,40
14	021- R1001	3	0,70	0,85	0,50	0,90	1,65	0,50	0,75
15	028- R1001	6	1,90	1,05	1,40	1,65	2,00	1,00	1,70
16	029- R1001	8	2,75	3,50	1,90	2,85	2,10	2,50	3,50
17	030- R1001	4	1,15	1,00	1,10	1,55	1,50	0,90	1,30
18	034- R1001	4	1,50	1,65	1,50	0,95	1,55	0,90	1,70
19	036- R1001	3	1,20	0,90	1,35	1,05	0,80	1,00	1,35
20	037- R1001	5	1,40	1,60	1,10	1,45	1,40	1,70	1,15
21	038- R1001	5	1,45	1,30	1,60	1,20	2,10	1,95	1,90
22	039- R1001	4	1,45	1,55	1,65	1,40	1,75	1,50	1,60
23	040- R1001	3	1,20	1,00	1,05	1,00	0,95	1,00	1,05
24	041- R2001	3	1,00	0,75	1,10	7,45	3,50	3,80	0,60
25	042- R2001	4	1,65	1,80	1,45	1,25	1,50	1,25	1,00
26	043- R2001	3	1,90	1,50	1,35	1,75	1,65	1,60	1,15
27	044- R2001	4	1,70	1,60	1,80	1,05	1,00	1,25	1,70
28	045- R2001	4	2,30	2,00	2,15	2,65	2,70	1,90	2,35
29	046- R2001	6	3,30	3,20	2,75	2,85	2,90	2,55	2,65
30	048- R2001	4	1,60	1,90	1,95	1,05	1,85	1,90	0,95
31	051- R2001	3	0,75	0,80	0,90	0,55	0,95	0,75	0,75
32	054- R2001	5	1,85	1,10	1,20	1,45	1,55	1,75	1,40
33	057- R2001	4	1,45	1,40	1,40	1,00	0,90	1,20	1,15
34	059- R2001	6	3,70	2,75	2,90	2,65	2,15	2,60	2,05
35	060- R2001	5	1,00	1,15	1,15	1,25	0,95	1,10	1,20
36	062- R2001	3	0,80	1,00	0,90	0,75	0,75	0,95	1,10
37	063- R2001	3	0,95	0,50	0,65	0,75	0,80	0,55	0,60
38	064- R2001	4	0,75	1,00	0,80	0,95	0,70	0,85	0,65
39	068- R2001	7	3,05	2,95	2,60	2,80	3,05	2,40	2,65
40	069- R2001	4	1,90	1,90	1,65	1,85	2,00	1,45	1,90
41	070- R2001	4	1,45	1,50	1,35	1,20	1,10	1,65	1,35
42	071- R2001	4	1,60	1,00	0,95	1,75	1,65	1,65	1,05
43	073- R2001	3	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30	0,45	0,35
44	074- R2001	4	0,40	0,75	0,65	0,80	0,60	0,85	0,65
45	075- R2001	3	0,10	0,25	0,55	0,30	0,30	0,40	0,05
46	076- R2001	3	0,75	0,55	0,50	0,30	0,35	0,45	0,45
47	082- R2002	3	0,20	0,45	0,25	0,25	0,65	0,35	0,25
48	084- R2002	2	0,30	0,25	0,25	0,25	0,25	0,35	0,10
49	087- R2002	3	0,85	0,80	0,75	0,90	0,70	0,60	0,80
50	088- R2002	7	2,70	2,10	2,95	2,90	2,40	2,90	2,75
51	089- R2002	3	0,30	0,50	0,25	0,15	0,40	0,25	0,40
52	090- R2002	6	2,60	3,00	2,85	2,65	2,60	2,70	2,90
53	092- R2002	4	2,25	1,95	2,50	2,15	2,75	2,65	2,45
54	093- R2002	4	1,05	1,30	0,95	1,30	1,20	1,20	1,35
55	096- R2002	7	3,20	3,00	3,90	2,65	3,50	3,20	3,60
56	098- R2002	2	0,50	0,40	0,65	0,35	0,50	0,25	0,25
57	100- R2002	3	0,60	0,80	0,65	0,55	0,55	0,75	0,70
58	101- R2002	3	0,80	0,65	0,95	0,55	0,70	0,85	0,80
59	102- R2002	4	0,85	0,95	0,90	0,70	0,90	0,75	0,95
60	103- R2002	5	1,35	1,40	1,75	1,50	1,35	1,50	1,30
61	104- R2002	4	1,10	1,35	1,25	1,35	1,40	1,10	1,00
62	105- R2002	3	0,95	1,15	1,00	1,00	0,90	1,20	1,00
63	106- R2002	6	2,25	2,45	2,35	2,15	2,35	2,45	2,15
64	107- R2002	2	0,35	0,25	0,25	0,35	0,15	0,35	0,15
65	108- R2002	5	1,45	1,60	1,20	1,15	1,40	1,45	1,20
66	109- R2002	2	0,55	0,75	0,50	0,60	0,45	0,35	0,75
67	111- R2002	4	1,00	1,70	1,60	1,85	1,55	1,75	1,35
68	112- R2002	7	3,60	3,70	3,45	3,90	3,85	3,55	3,65
69	113- R2002	4	1,25	1,10	1,70	1,95	1,85	1,40	1,90
70	115- R2002	4	1,95	1,82	2,15	1,90	2,00	2,15	1,85
71	116- R2002	6	2,30	2,10	2,00	2,15	1,95	1,90	2,25
72	117- R2002	6	1,90	2,15	2,55	2,85	2,50	2,25	2,45
73	118- R2002	2	0,45	0,35	0,50	0,30	0,45	0,35	0,35
74	120- R2002	3	1,10	1,00	1,60	1,80	1,95	1,90	1,00
	Total		106,20	104,87	104,16	107,65	107,5	102,36	103,25

Figura 14. Peso de los residuos sólidos domiciliarios recolectados del día 1 al día 7 del Distrito de Bagua.

Para realizar el cálculo se eliminó los datos del día cero debido a que no se puede controlar que el primer día se entreguen residuos de los días anteriores; por tal motivo, solo se consideró a partir del día 1. Si se hubiesen considerado habría reducido el promedio injustificadamente.

Conocida la sumatoria de la generación de residuos sólidos de cada muestra, se procedió a dividirlo entre la cantidad total de los residuos sólidos recolectados; y multiplicándolo por 100, obteniendo así la composición porcentual domiciliaria y no domiciliaria por distrito; y después obtener la composición de residuos sólidos provincial.

Residuos sólidos domiciliarios día 1 a día 7 - Distrito de Bagua									
Tipo de residuo sólido	Día 1 kg	Día 2 kg	Día 3 kg	Día 4 kg	Día 5 kg	Día 6 kg	Día 7 kg	Total kg (Suma día 1; día 7)	Composición porcentual %
Orgánicos	106,20	104,87	104,16	107,65	107,50	102,36	103,25	735,99	78,10
Papel	2,98	3,04	3,72	4,94	2,87	2,45	4,80	24,79	2,63
Cartón	2,61	2,90	2,40	2,30	2,60	2,00	2,85	17,66	1,87
Jardín	1,00	0,75	0,80	0,90	0,85	0,80	0,95	6,05	0,64
Tela	0,01	0,01	0,01		0,02			0,04	0,00
Hule	0,04	0,02	0,05	0,01			0,01	0,12	0,01
Piel			0,00					0,00	0,00
Madera	0,00			0,01			0,02	0,03	0,00
Otros	21,72	23,05	23,10	22,75	22,80	22,15	22,10	157,67	16,73
Suma total	134,57	134,63	134,23	138,56	136,63	129,76	133,97	942,347	100,000

Figura 15. Composición porcentual de residuos sólidos del Distrito de Bagua.

2.4.2. Cálculo de la producción de biogás según George Tchobanoglous (1994)

Para estimar la producción de gases en el relleno sanitario, se utilizó el modelo propuesto por el profesor George Tchobanoglous. La metodología permitió determinar las tasas de producción de gases, la producción anual y la cantidad de biogás hasta un determinado año, partiendo de las siguientes premisas:

- La producción de biogás a lo largo de la vida útil de un relleno sanitario será una distribución triangular y la tasa de descomposición alcanza un pico dentro de los dos primeros años y posteriormente tiende a decaer.
- La composición de los residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario es constante durante la operación del relleno.

- Existe humedad suficiente para que ocurra la reacción de conversión orgánica de los residuos sólidos.
- Los residuos sólidos dispuestos se componen de residuos de rápida degradación (RRD) residuos de lenta degradación (RLD) y residuos no degradables o inertes (RND).
- Los RRD están compuestos por residuos de alimentos, papel, cartón y el 60% de residuos de jardín (material vegetal).
- Los RLD están compuestos por textiles, caucho, cuero, madera y 40% de los residuos de jardín (material vegetal).
- Los RND están compuestos de plásticos, vidrio, metales y cenizas.
- El 75% de los RRD y el 50% de los RLD están disponibles para degradación, en vista que una fracción de los residuos no presenta condiciones de humedad suficientes como para que pueda soportar la actividad biológica o no son disgregados suficientemente durante su disposición. El tiempo total de descomposición de los RRD es de 5 años y los RLD es de 15 años.
- La tasa de descomposición de los residuos sólidos presenta una forma triangular y los valores máximos para los RRD se presentan al final de año 1 y para los RLD al final del año 5 de acuerdo con Tchobanoglous (1994).
- No hay inhibición del proceso biológico debido a la acumulación de gases y lixiviados dentro de la masa de residuos sólidos.

Cálculo del peso seco de los residuos

El cálculo del peso seco de cada uno de los componentes de residuos sólidos (% en peso) se determinó a partir de la composición porcentual de residuos obtenida en el estudio de caracterización y la humedad promedio típica de los residuos establecida por George Tchobanoglous mediante la siguiente expresión:

$$\text{Peso seco} = \text{Peso húmedo} (1 - \% \text{ humedad}/100) \quad (2)$$

Tabla 4. Contenido de humedad promedio típica de los residuos

Componentes	Contenido de humedad %
Residuos orgánicos	70
Residuos de papel	6
Residuos de cartón	5
Residuos de jardín	60
Residuos de tela	10
Residuos de hule	2
Residuos de piel	10
Residuos de madera	20

Fuente: Tchobanoglous (1994).

Cálculo de la composición química de los residuos

Tchobanoglous indica que los residuos sólidos pueden expresarse mediante fórmula química $C_xH_yO_zN_d$ y que la producción de gas puede estimarse con la siguiente ecuación, basada en una conversión completa de los residuos biodegradables:



Los valores de x, y, z y d se determinan con el aporte de los elementos C, H, O y N, de cada uno de los componentes secos de los residuos sólidos calculados mediante la fórmula (2) y mediante una regla de tres simple se determinó cada uno de los valores teniendo en cuenta los valores típicos propuestos por Tchobanoglous (Tabla 5). Dichos aportes se expresaron en unidades de moles por cada 100 kilogramos de residuos y posteriormente en unidades de moles de Nitrógeno.

Tabla 5. Valores promedio de % en peso de los elementos por componente

Componente	% en peso (base seca)					
	C	H	O	N	S	C
Residuos orgánicos rápidamente degradables						
Residuos orgánicos	48,0	6,4	37,6	2,6	0,4	5,0
Papel	43,5	6,0	44,0	0,3	0,2	0,6
Cartón	44,0	5,9	44,6	0,3	0,2	5,0
Residuos de jardín	47,8	6,0	38,0	3,4	0,3	4,5
Residuos orgánicos lentamente degradables						
Textiles	55,0	6,6	31,2	4,6	0,2	2,5
Hule	78,0	10,0		2,0		10,0
Piel	60,0	8,0	11,6	10,0	0,4	10,0
Madera	47,8	6,0	38,0	3,4	0,3	4,5

Fuente: Tchobanoglous (1994).

Cálculo de la Ecuación estequiométrica

Se realizó una suma de las cantidades en peso seco de cada uno de los elementos constituyentes de la materia orgánica C, H, O, N, S, con esto y con los pesos atómicos de cada uno de los elementos mencionados anteriormente, se obtiene una fórmula aproximada de la generación de metano y dióxido de carbono.

Con el balance de las ecuaciones estequiométricas se determinó la cantidad en Kg de metano, dióxido de carbono y amonio.

Producción unitaria de biogás

Con las ecuaciones estequiométricas balanceadas para los Residuos de Rápida Degradación (RRD) y Residuos de Lenta Degradación (RLD), se determinó la cantidad de metano y dióxido de carbono por cada kilogramo de residuo, mediante los siguientes cálculos:

- **Cálculo de la densidad del metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂)**

El potencial de biogás en los rellenos sanitarios se determina comúnmente para condiciones normales, en la cual se supone una temperatura de 0°C y una presión a 1 atmósfera.

$$PV = nRT \quad : \text{ Ley del gas ideal}$$

Donde:

P = Presión absoluta del gas, igual a 1 atm a nivel del mar.

V = Volumen ocupado por el biogás (en litros)

n = Número de moles; $n = W/PM$

T = Temperatura 273,15 K, igual a 0°C

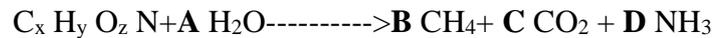
R = Constante del gas ideal: 0,082057 L.atm/(mol.K)

W = Peso de biogás en gramos

PM = Peso molecular del gas: 16,04 g/mol para CH₄ y 44,01 g/mol para CO₂ y 30,03 g/mol para el biogás, suponiendo 50% de metano y 50% de dióxido de carbono.

- **Cálculo de la cantidad de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂) por cada kg de RRD**

Empleando la ecuación estequiométrica balanceada:



Metano RRD = Metano (Kg) / RRD (Kg)

- **Cálculo cantidad de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂) por cada kg de RLD**

Se empleó la ecuación estequiométrica balanceada para los residuos de rápida degradación.

Cálculo de la producción de biogás por año

Para el cálculo de los residuos de rápida degradación, la propuesta de Tchobanoglous considera que la tasa de producción máxima se genera al final del primer año y disminuye progresivamente hasta los cinco años; tal como se muestra en la Figura 16.

Para ello se calcula cada una de las áreas de la figura mostrada a continuación.

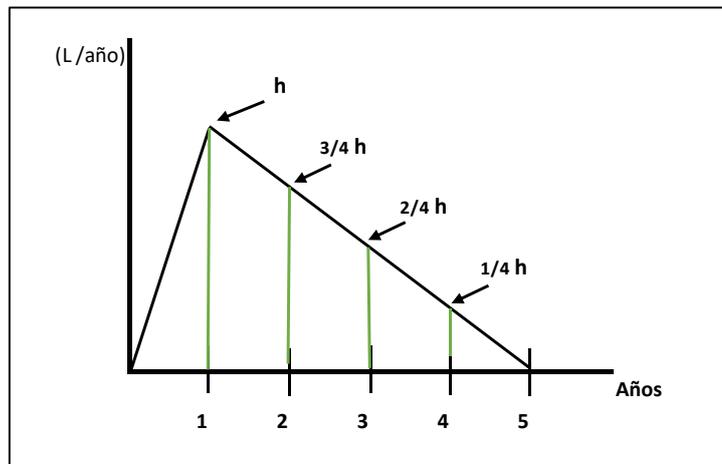


Figura 16. Tasa de producción de Biogás RRD

Para el cálculo de los residuos de lenta degradación, la propuesta considera que la tasa de producción máxima a los cinco años ($t=5$) y disminuye progresivamente hasta los quince años; tal como se muestra en la Figura 17.

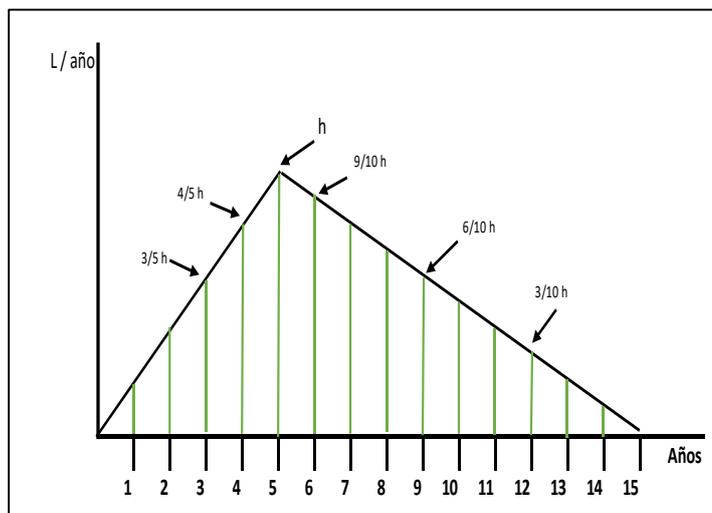


Figura 17. Tasa de producción de Biogás RLD

Conocido el biogás producido por año de los residuos de rápida degradación y lenta degradación se procede a realizar una suma de los residuos de RRD hasta el año 5 más los RLD hasta el año 15; obteniendo así la producción total de biogás por año.

Cálculo del potencial de generación del biogás

El potencial de generación de biogás equivale al porcentaje del metano multiplicado por su valor calorífico (10 kw/h m³) Crisanto (2013).

Potencia eléctrica neta

Potencia eléctrica neta= Volumen de Biogás x Potencial energético x eficiencia de motor.

III. RESULTADOS

3.1. Resultados del estudio de caracterización de residuos sólidos

Composición porcentual de los residuos sólidos municipales del Distrito de Bagua

En la Figura 18, se observa que el 78,10% de los residuos orgánicos son producidos por generadores domiciliarios; mientras que el 71,29% son de procedencia de generadores no domiciliarios; siendo este tipo de residuo el que se genera en mayor cantidad, seguido de otros (plásticos, vidrio, metales y cenizas) con un 16,73% de generadores domiciliarios y un 15,52% de generadores no domiciliarios. Los residuos de papel representan el 4,24% del total de residuos municipales de lo que corresponde 2,63% a generadores domiciliarios y 5,86 a generadores no domiciliarios; así mismo el cartón producido por los generadores no domiciliarios es mayor (7,10%) que el generado por las viviendas (1,87). En pequeñas cantidades se generan los residuos de jardín, tela, hule, piel y madera con un promedio municipal de 0,35%; 0,04%; 0,02%; 0,04% y un 0,004%, respectivamente. Solo el 16,3% de los residuos municipales son residuos no degradables; mientras que el 83,87% son residuos de rápida y lenta degradación, estos últimos permiten la producción de gases que conforman el biogás.

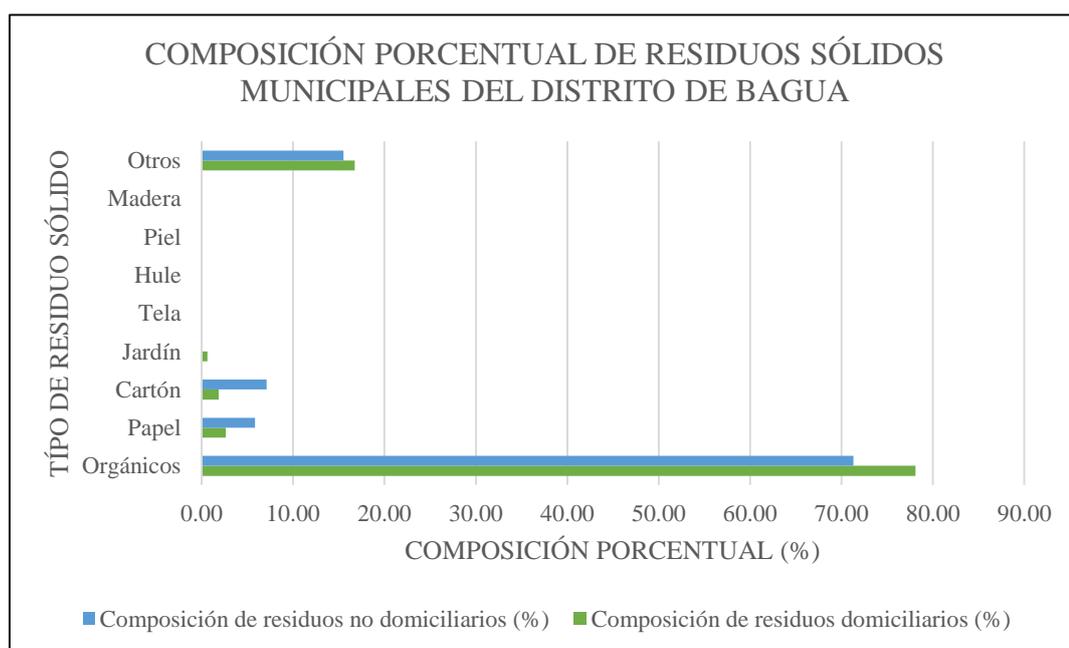


Figura 18. Composición porcentual de residuos sólidos municipales del Distrito de Bagua.

Composición porcentual de los residuos sólidos municipales del Distrito La Peca

En la Figura 19, se observa que el 70,60% de los residuos orgánicos son producidos por generadores no domiciliarios; mientras que el 36,18% son de procedencia de generadores domiciliarios; siendo este tipo de residuo el que se genera en mayor cantidad; representando el 53,39% de los residuos municipales, seguido los residuos de jardín con una producción de 51,81% procedente de residuos domiciliarios y el 7,76% por generadores no domiciliarios; esto representa el 29,79% de la generación municipal. Después le sigue la generación de otros residuos con un 11,84% de generadores domiciliarios y un 17,30% de generadores no domiciliarios. En pequeñas cantidades se generan los residuos de papel, cartón, tela, hule, piel y madera con un promedio de generación municipal de 1,29%; 0,69%; 0,17%; 0,05%; 0,01%; y un 0,03%, respectivamente.

Del total de residuos generados en el distrito de La Peca, el 85,43% son residuos de rápida y lenta degradación que permiten la producción de gases que conforman el biogás. El 14,57% son residuos no degradables.

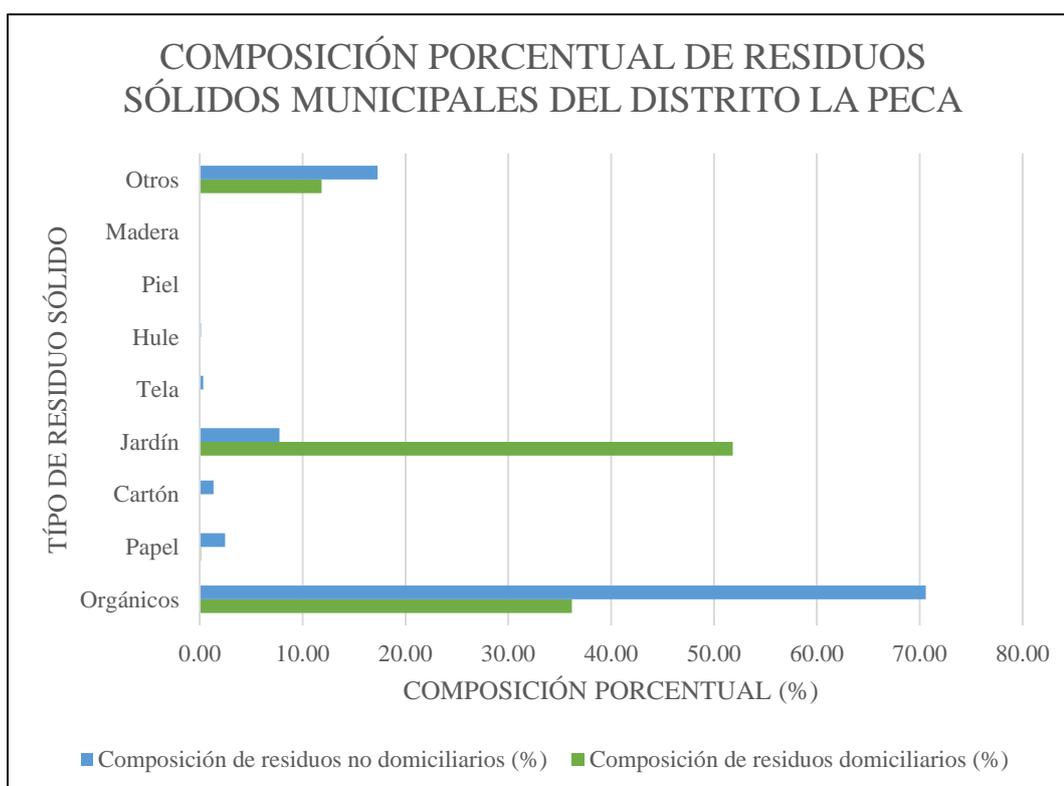


Figura 19. Composición porcentual de residuos sólidos municipales del Distrito La Peca.

Composición porcentual de los residuos sólidos municipales del Distrito El Parco

En la Figura 20, se observa que los residuos orgánicos se generan en mayor cantidad por establecimientos con un 83,69%; mientras que las viviendas generan solo 2,48%; lo que representa el 43,08% de la generación municipal. Le sigue con un 31, 21% de generación municipal los residuos de jardín de los cuales 56,26% son generados por domicilios y 6,16% producidos por generadores no domiciliarios; así como también el 20,38% de la generación municipal representan a otros tipos de residuos, en menores cantidades se generan residuos de papel, cartón, jardín, tela, hule, piel y madera con un promedio municipal de 1,48%; 1,64%; 1,22%; 0,60%; 0,32% y un 0,06%, respectivamente.

Solo el 20,38% de los residuos municipales son residuos no degradables; mientras que el 79,62% son residuos de rápida y lenta degradación, estos últimos permiten la producción de gases que conforman el biogás.

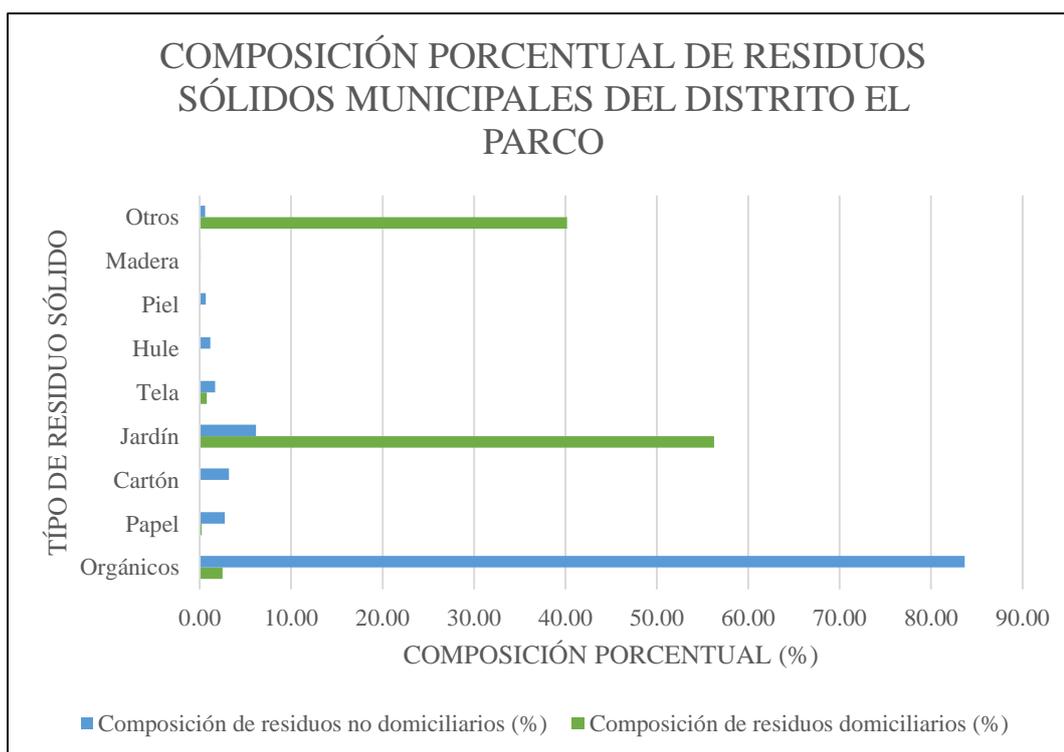


Figura 20. Composición porcentual de residuos sólidos municipales del Distrito El Parco.

Composición porcentual de los residuos sólidos municipales del Distrito Copallín

En la Figura 21, se observa que el 66,84% de los residuos orgánicos son producidos por generadores no domiciliarios; mientras que el 25,44% son de procedencia de generadores domiciliarios; siendo este tipo de residuo el que se genera en mayor cantidad; representando el 46,14% de los residuos municipales, seguido los residuos de jardín con una producción de 55,38% procedente de residuos domiciliarios y el 16,22% por generadores no domiciliarios; esto representa el 35,80% de la generación municipal. Después le sigue la generación de otros residuos con un 15,19% de generadores domiciliarios y un 9,54% de generadores no domiciliarios. En pequeñas cantidades se generan los residuos de papel, cartón, tela, hule, piel y madera con un promedio de generación municipal de 2,15%; 1,69%; 0,30%; 0,75%; 0,73%; y un 0,07%, respectivamente.

Del total de residuos generados en el distrito; el 87,64% son residuos de rápida y lenta degradación que permiten la producción de gases que conforman el biogás y el 12,36% restante representa a los residuos no degradables.

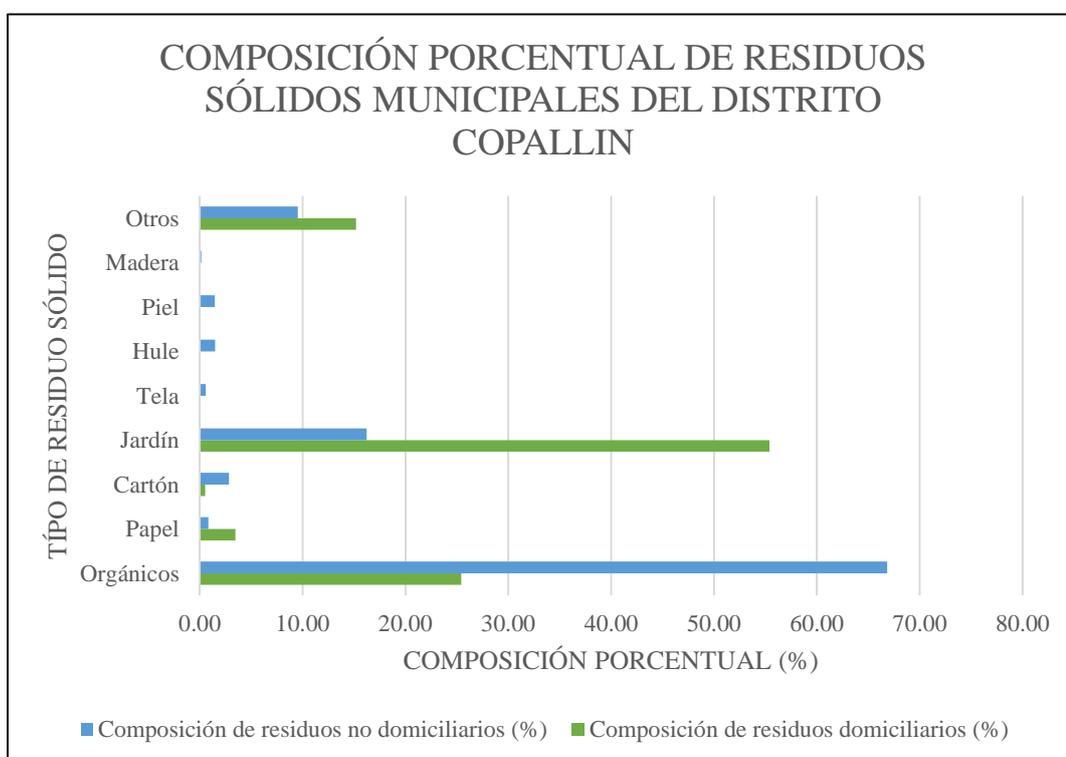


Figura 21. Composición porcentual de residuos sólidos municipales del Distrito Copallín.

Composición porcentual de los residuos sólidos municipales del Distrito Aramango

En la Figura 22, se observa que el 61,53% de los residuos orgánicos son producidos por generadores no domiciliarios; mientras que el 6,48% son de procedencia de generadores domiciliarios; siendo este tipo de residuo el que se genera en mayor cantidad; representando el 34% de los residuos municipales, seguido los residuos de jardín con una producción de 55,08% procedente de residuos domiciliarios y el 8,04% por generadores no domiciliarios; esto representa el 31,56% de la generación municipal. Después le sigue la generación de otros residuos con un 38,40% de generadores domiciliarios y un 23,29% de generadores no domiciliarios. En pequeñas cantidades se generan los residuos de papel, cartón, tela, hule, piel y madera con un promedio de generación municipal de 0,78%; 1,19%; 0,59%; 0,27%; 0,62%; y un 0,13%, respectivamente.

Del total de residuos generados en el distrito; el 69,16% son residuos de rápida y lenta degradación que permiten la producción de gases que conforman el biogás y el 30,84% restante representa a los residuos no degradables.

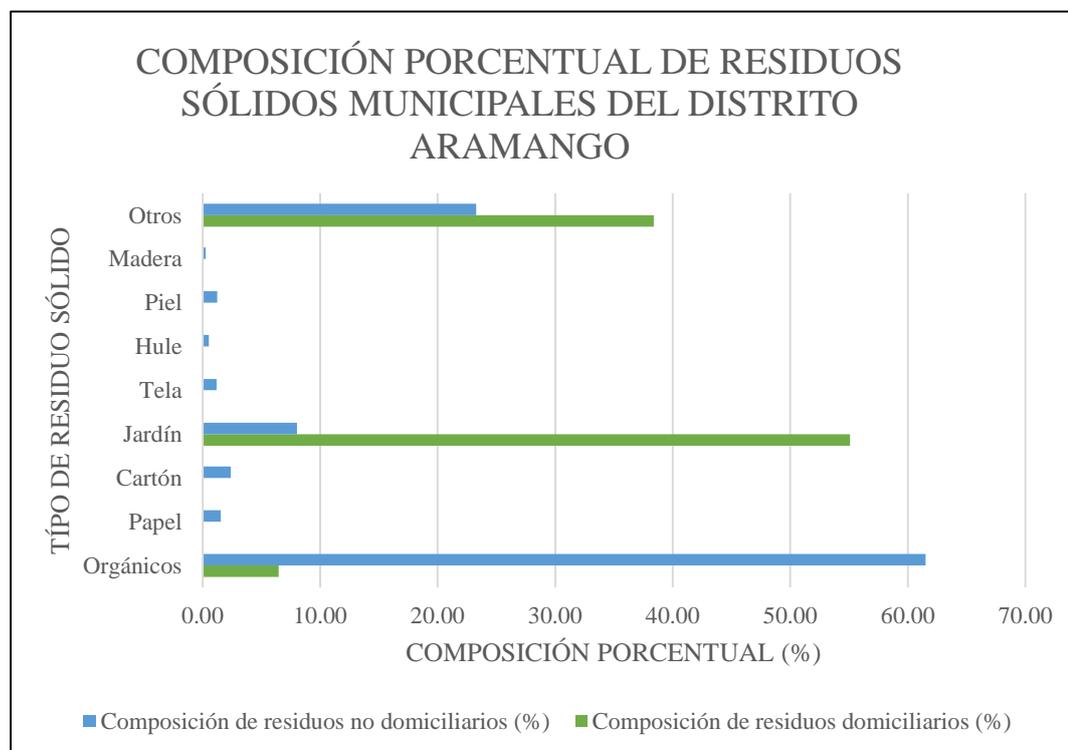


Figura 22. Composición porcentual de residuos sólidos municipales del Distrito Aramango.

Composición porcentual de los residuos sólidos municipales que ingresan al relleno sanitario de la Provincia de Bagua

Durante 8 días se obtuvo el peso diario por componente de los residuos; tanto de generadores domiciliarios como no domiciliarios de cada distrito (Tabla 6).

El 50,26% de los residuos sólidos que se disponen en el relleno sanitario de la Provincia de Bagua son residuos orgánicos (restos de frutas, verduras y alimentos cocinados); procedentes de los distritos beneficiarios de la disposición final en el relleno sanitario; y si consideramos la composición de papel, cartón, jardín, tela, hule, piel y madera (que son considerados como residuos orgánicos de rápida y lenta degradación); el porcentaje total de residuos orgánicos es de 81,14% que son los residuos sólidos aprovechables. Se evidencia claramente una gran variación de porcentaje de los residuos de jardín en el distrito de La Peca, El Parco, Copallin y Aramango con respecto al distrito de Bagua; esto se debe a que son lugares de alta producción agrícola y de crianza de cuyes, que generan tipos de residuos sólidos considerados similares a los restos de jardín.

Tabla 6. Composición porcentual de residuos sólidos municipales de la Provincia de Bagua.

Composición porcentual de residuos sólidos municipales - Provincia de Bagua						
Tipo de residuo sólido	Distrito Bagua (%)	Distrito La Peca (%)	Distrito El Parco (%)	Distrito Copallín (%)	Distrito Aramango (%)	Promedio (%)
Orgánicos	74,70	53,39	43,08	46,14	34,00	50,26
Papel	4,24	1,29	1,48	2,15	0,78	1,99
Cartón	4,49	0,69	1,64	1,69	1,19	1,94
Jardín	0,35	29,79	31,21	35,80	31,56	25,74
Tela	0,04	0,17	1,22	0,30	0,59	0,47
Hule	0,02	0,05	0,60	0,75	0,27	0,34
Piel	0,04	0,01	0,32	0,73	0,62	0,34
Madera	0,00	0,03	0,06	0,07	0,13	0,06
Otros	16,13	14,57	20,38	12,36	30,84	18,86

3.2. Cálculo de la cantidad de biogás que se producirá en el Relleno Sanitario de la Provincia de Bagua

Cálculo del peso seco de los residuos

En la Tabla 7 se presenta el cálculo del peso seco de los residuos que se disponen en el Relleno Sanitario de la Provincia de Bagua (Formula 2). Los datos de la humedad para cada componente corresponden a los valores promedio típicos propuestos por Tchobanoglous (1994) y la composición porcentual de los residuos sólidos son los datos obtenidos en el estudio de caracterización.

Tabla 7. Cálculo del peso seco de los residuos sólidos municipales.

N°	Componente	Peso húmedo	Humedad típica	Peso seco
		(kg/100 kg base seca)	% peso	(kg/100 kg base seca)
RRD		(a)	(b)	(c)
1	Orgánicos (alimentos)	50,26	70,00	15,08
2	Papel	1,99	6,00	1,87
3	Cartón	1,94	5,00	1,84
4	% 60 jardín	15,45	60,00	6,18
Suma		69,64		24,97
RLD				
1	Telas (textiles)	0,47	10,00	0,42
2	Hule	0,34	2,00	0,33
3	Piel	0,34	10,00	0,31
4	40% de jardín	10,30	60,00	4,12
5	Madera	0,06	20,00	0,048
Suma		11,51		5,23
RND				
1	Otros	16,13	5,10	15,304
Suma total		97,00		45,50
Humedad promedio (100- suma total (c))			54,50	

Cálculo de la composición química de los residuos

Según Tchobanoglous (1994), los residuos sólidos tienen la fórmula general $C_x H_y O_z N_d$ y la producción de gas puede estimarse con base en la siguiente ecuación, que se basa en una conversión completa de los residuos biodegradables:



Tabla 8. Subíndices de C, H, O y N para la fórmula general del residuo sólido.

N°	Componente	kg/100 kg base seca				
		C (x)	H (y)	O (z)	N (d)	Suma
A Aporte de los residuos de rápida degradación (RRD)						
1	Orgánicos (alimentos)	7,24	0,97	5,67	0,39	14,26
2	Papel	0,81	0,11	0,82	0,01	1,75
3	Cartón	0,81	0,11	0,82	0,01	1,75
4	% 60 maleza	2,95	0,37	2,35	0,21	5,88
	Suma	11,82	1,56	9,66	0,61	23,65
	Peso atómico (g/mol)	12,01	1,01	16,00	14,01	
	Aporte (moles/100 kg base seca)	983,86	1541,35	603,92	43,78	
	Aporte (moles/mol de N (x, y, z))	22,00	35,00	14,00	1,00	
B Aporte de los residuos de lenta degradación (RLD)						
1	Textiles	0,23	0,03	0,13	0,02	0,41
2	Hule	0,26	0,03	0,00	0,01	0,30
3	Piel	0,19	0,02	0,04	0,03	0,28
4	40% de maleza	1,97	0,25	1,57	0,14	3,92
5	Madera	0,02	0,00	0,02	0,00	0,05
	Suma	2,67	0,34	1,75	0,20	4,95
	Peso atómico (gr/mol)	12,01	1,01	16,00	14,01	
	Aporte (moles/100 Kg base seca)	222,03	332,27	109,39	14,17	
	Aporte (moles/Mol de N(x, y, z))	16,00	23,00	8,00	1,00	

C: Carbono, H: Hidrógeno; O: Oxígeno; N: Nitrógeno.

En la Tabla 8 se presenta el cálculo de los subíndices x, y, z de la fórmula general del residuo sólido, en base al aporte de los elementos C, H, O y N, de cada uno de los componentes secos de los residuos sólidos. Dichos aportes fueron expresados en unidades de moles por cada 100 kilogramos de residuos y posteriormente fueron expresados en moles de nitrógeno. De los datos calculados se obtuvo que las fórmulas químicas para los RRD y los RLD de los residuos de la provincia de Bagua son:

RRD: $C_{22}H_{35}O_{14}N$ y RLD: $C_{16}H_{23}O_8N$.

Con el balance de las ecuaciones estequiométricas se determinó la cantidad en kg de metano, dióxido de carbono y amoníaco. Estos cálculos se realizaron teniendo en cuenta el peso atómico de cada elemento componente: C = 12, H = 1, O = 16, N = 14.

Balance de la ecuación estequiométrica

Ecuación básica:

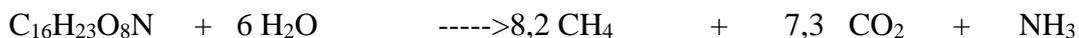


Residuos de rápida degradación:



537 kg RRD 142,2 kg H₂O 188,8 kg de CH₄ 448,8 kg de CO₂ 17 kg NH₃

Residuos de lenta degradación:



537 kg RLD 108 kg H₂O 131,2 kg de CH₄ 321,2 kg de CO₂ 17 kg NH₃

Producción unitaria de biogás

Con las ecuaciones estequiométricas balanceadas para los residuos de rápida degradación (RRD) y residuos de lenta degradación (RLD), se determinó la cantidad de metano y dióxido de carbono por cada kilogramo de residuo, para lo que fue necesario primero calcular sus densidades con la ecuación del gas ideal; obteniéndose como resultado: densidad del metano = 0,72 kg/m³ y la densidad del dióxido de carbono = 1,96 kg/m³.

Cálculo cantidad de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂) por cada kg de residuos de rápida degradación

La cantidad de biogás disponible de los residuos de rápida degradación es de 171,31 L por cada kg de residuo dispuesto, calculado con los datos del balance de la ecuación estequiométrica, como se muestra a continuación:

$$\text{CH}_4 \text{ RRD} = 188,80 \text{ kg CH}_4 / 537 \text{ kg RRD} = 0,35 \text{ kg CH}_4 / \text{kg RRD}$$

$$\text{CO}_2 \text{ RRD} = 448,80 \text{ kg CO}_2 / 537 \text{ kg RRD} = 0,84 \text{ kg CO}_2 / \text{kg RRD}$$

$$\text{CH}_4 \text{ RRD} / \text{densidad} = (0,35 \text{ kg CH}_4 / \text{kg RRD}) / 0,72 \text{ kg CH}_4 / \text{m}^3 \text{ CH}_4 = 0,49 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 / \text{kg RRD}$$

$$\text{CO}_2 \text{ RRD} / \text{densidad} = 0,84 \text{ kg CO}_2 / \text{kg RRD} / 1,96 \text{ kg CO}_2 / \text{m}^3 \text{ CO}_2 = 0,43 \text{ m}^3 \text{ CO}_2 / \text{kg RRD}$$

$$\text{Gas total RRD} = 0,49 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 + 0,43 \text{ m}^3 \text{ CO}_2 = 0,91 \text{ m}^3 \text{ gas} / \text{kg RRD}$$

$$\text{Gas total disponible} = 0,91 \text{ m}^3 \text{ gas} / \text{kg RRD} \times 0,75 (\text{aprovechable}) = 0,686 \text{ m}^3 \text{ gas} / \text{kg RRD}$$

$$\text{Gas total disponible} = 0,686044 \text{ m}^3 \text{ gas} / \text{kg RRD} \times 1000 \text{ L} / \text{m}^3 = 686,04 \text{ L gas} / \text{kg RRD}$$

Gas total disponible x peso seco de los residuos (Tabla 7)

$$\text{Gas total disponible: } 686,04 \text{ L gas} / \text{kg RRD} \times 24,97\% = 171,31 \text{ L gas} / \text{kg RRD}$$

La cantidad de biogás disponible de los residuos de lenta degradación es de 25,34 L por cada kg de residuo dispuesto, calculado como se explicó para RRD, con los datos del balance de la ecuación estequiométrica, como se muestra a continuación:

$$\text{Metano RLD} = 131,20 / 357 = 0,37 \text{ kg CH}_4 / \text{kg RLD}$$

$$\text{Dióxido de carbono RLD} = 321,20 / 357 = 0,90 \text{ kg CO}_2 / \text{kg RLD}$$

$$\text{Metano RLD} / \text{densidad} = 0,37 / 0,72 = 0,51 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 / \text{kg RLD}$$

$$\text{Dióxido de carbono} / \text{densidad} = 0,90 / 1,96 = 0,46 \text{ m}^3 \text{ CO}_2 / \text{kg RLD}$$

$$\text{Gas total RLD} = 0,97 \text{ m}^3 \text{ gas} / \text{kg RLD}$$

$$\text{Gas total RLD disponible} = 0,97 \times 0,50 = 0,48 \text{ m}^3 \text{ gas} / \text{kg RLD}$$

$$\text{Gas total disponible} = 0,48 \times 1000 = 484,04 \text{ L gas} / \text{kg RLD}$$

Gas total disponible x peso seco de los residuos

$$\text{Gas total disponible: } 484,734 \times 5,23\% = 25,34 \text{ L gas RRD} / \text{kg RS}$$

Gas total del Relleno Sanitario de la Provincia de Bagua:

171,31 L gas/kg RRD + 25,34 L gas RRD/kg RS = 196,65 L gas/kg residuos sólidos.

En resumen, los residuos de Bagua tienen un potencial para producir 196,65 litros de gas por cada kg de residuos sólidos dispuestos; sin embargo, cabe mencionar que se obtendrá de manera progresiva mientras avance el tiempo de degradación.

Producción y proyección de biogás

De la Tabla 9, se puede deducir que, por cada kilogramo de residuos sólidos municipales que se depositan en el Relleno Sanitario de la Provincia de Bagua, se genera un total de 206,826 L de biogás el cual se puede aprovechar. De esta cantidad, 179,91 L se producirán durante los primeros 5 años y corresponderán a la aportación de la materia que se degrada rápidamente. Por otra parte, los 26,92 L de biogás restantes serán de la materia orgánica cuya velocidad de degradación es lenta. Si la totalidad de los residuos fuera de residuos de rápida degradación, el valor de producción alcanzada en cinco años sería el determinado previamente como RRD = 206,83 L biogás/kg MRD.

Asimismo, de acuerdo con estas estimaciones, la mayor producción de biogás se genera durante los primeros cinco años de haber sido depositados los residuos sólidos. De ahí que se plantea que en los proyectos que desean aprovechar el biogás, sea muy importante considerar estos primeros años útiles.

Tabla 9. Cálculo de la producción de biogás por año.

Biogás producido (L / kg residuos sólidos municipales)			
Año	RRD	RLD	Total
1	34,26	0,32	34,58
2	60,00	1,62	61,62
3	42,83	2,26	45,09
4	25,70	2,95	28,65
5	17,13	3,56	20,69
6	-	3,08	3,08
7	-	2,75	2,75
8	-	2,43	2,43
9	-	2,11	2,11
10	-	1,78	1,78
11	-	1,46	1,46
12	-	1,13	1,13
13	-	0,81	0,81
14	-	0,49	0,49
15	-	0,16	0,16
Total	179,91	26,92	206,83

Para el cálculo de los residuos de rápida degradación, la propuesta considera que la tasa de producción máxima es al final del primer año y disminuye progresivamente hasta el año 5 siguiendo un comportamiento triangular; tal como se muestra en la Figura 23.

La Figura 23, muestra que la mayor producción de biogás con respecto al tiempo, para los residuos rápidamente degradables, se produce a finales del año 1 y descenderá hasta el año 5; tal como lo indica Tchobanoglous (1994).

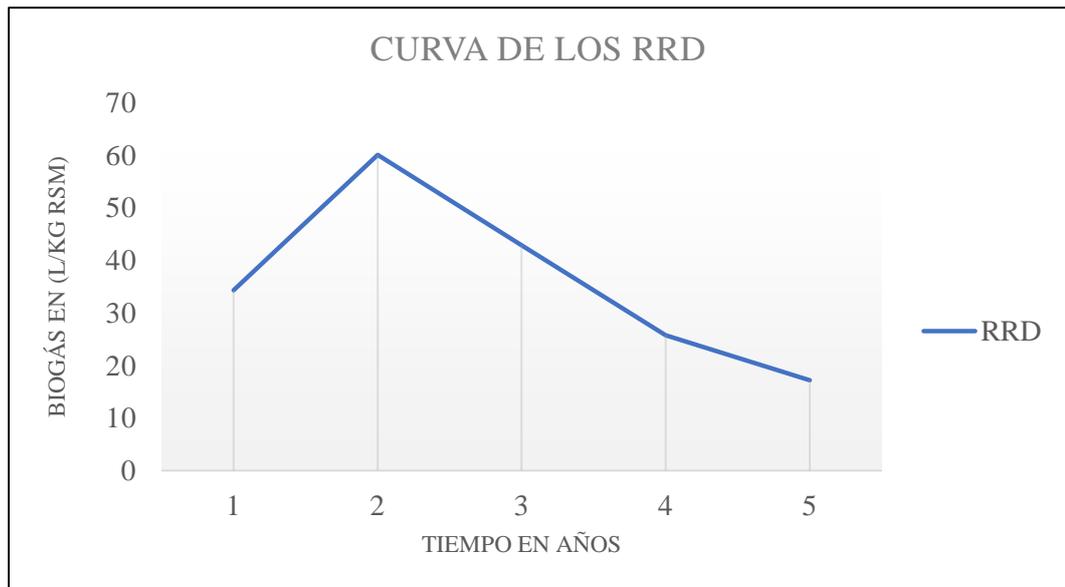


Figura 23. Producción de biogás a partir de RRD por año.

Para los residuos que se degradan con lenta velocidad; la mayor producción se produce después del año 5 y la producción decae paulatinamente al año 15 después que fueron confinados los residuos.

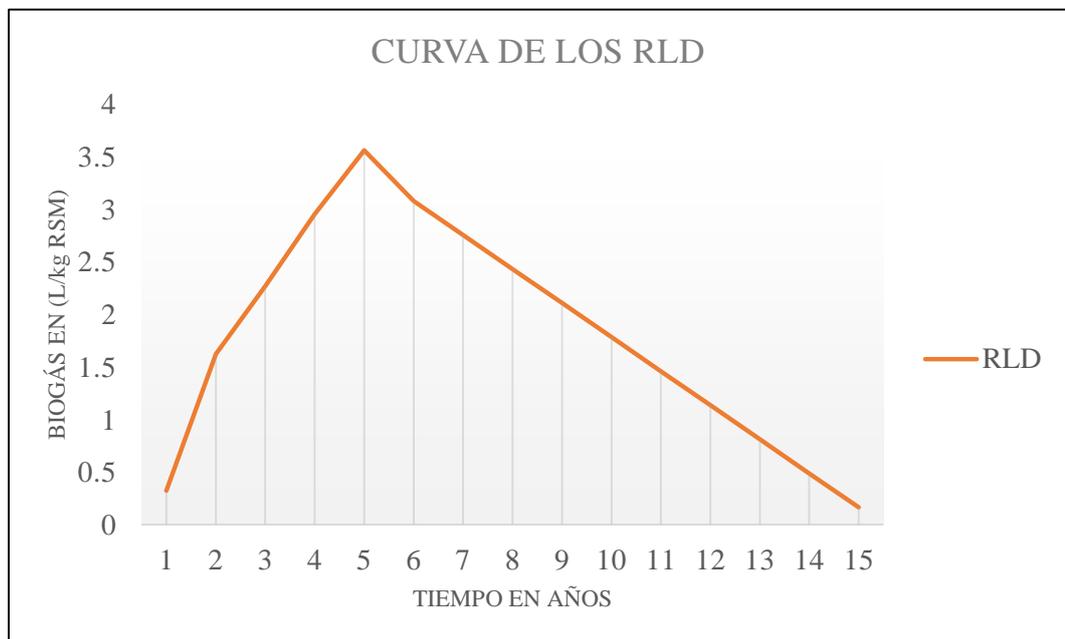


Figura 24. Producción de biogás a partir de RLD por año.



Figura 25. Producción total de biogás a partir de RRD y RLD por año.

Con base a los parámetros anteriores y la generación total de residuos sólidos proyectados por fitchner en el año 2014, se realizó una estimación de biogás generado por la actividad del Relleno Sanitario de la Provincia de Bagua. En la Figura 26, se puede observar la generación de gas acumulada a lo largo de un período de tiempo de 24 años, que es lo estimado para la generación del biogás.

La producción de biogás en el Relleno Sanitario de la Provincia de Bagua llegará a su máxima producción acumulada en el año 10; observando además que el biogás decae con el paso del tiempo.

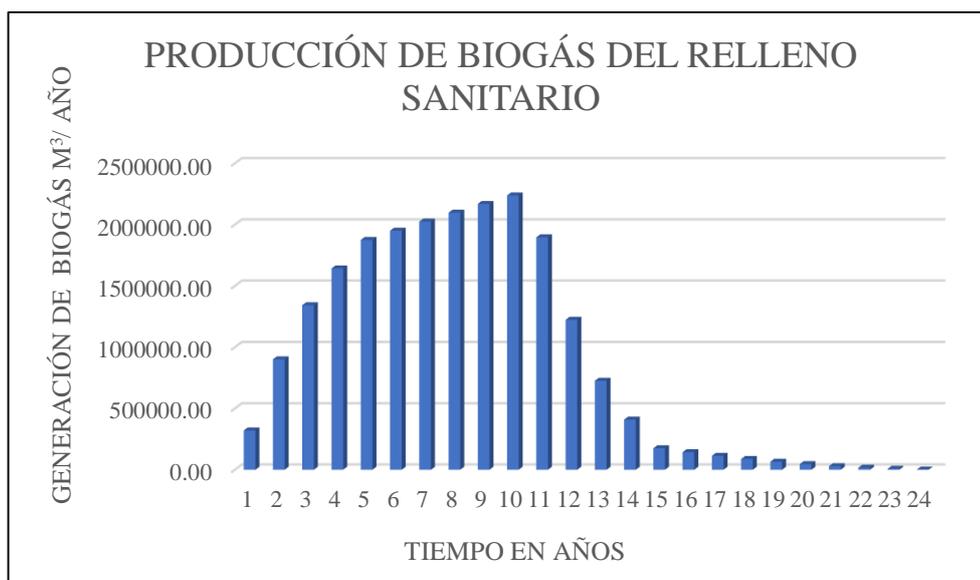


Figura 26. Producción acumulada de biogás en el relleno sanitario de Bagua.

Generación total de residuos (kg/año)	Producción total año (L gas/ kg residuo)	Producción de acuerdo al año de producción del relleno sanitario (L)										Año de producción	Generación m ³	Generación acumulada		
		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027					
9277800,0	34,58	320826324,0												1	320826,33	320826,33
9513400,0	61,62	571698036,0	328973372,0											2	900671,41	1221497,74
9753500,0	45,09	418326724,2	586215708,0	337276030,0										3	1341818,47	2563316,20
9998000,0	28,65	265781136,6	428949692,6	601010670,0	345730840,0									4	1641472,34	4204788,54
10247100,0	20,69	191957682,0	272530369,8	439775561,5	616076760,0	354344718,0								5	1874685,10	6079473,64
10500900,0	3,08	28557068,4	196832246,0	279408514,5	450799822,0	631426302,0	363121122,0							6	1950145,08	8029618,72
10759300,0	2,75	25551061,2	29282245,2	201799915,0	286412706,0	462031491,9	647065458,0	372056594,0						7	2024199,48	10053818,20
11022600,0	2,43	22545054,0	26199903,6	30021273,0	206858620,0	293548673,7	473475080,1	662988066,0	381161508,0					8	2096798,19	12150616,39
11290800,0	2,11	19539046,8	23117562,0	26861139,0	30773844,0	212012499,0	300819282,3	485126077,7	679212612,0	390435864,0				9	2167897,94	14318514,32
11564000,0	1,78	16533039,6	20035220,4	23701005,0	27534492,0	31540573,8	217263621,0	308221667,1	496998011,4	695739096,0	399883120,0			10	2237449,86	16555964,18
11842300,0	1,46	13527032,4	16952878,8	20540871,0	24295140,0	28220513,4	32321770,2	222609917,0	315764422,2	509090881,2	712573680,0			11	1895897,12	18451861,29
	1,13	10521025,2	13870537,2	17380737,0	21055788,0	24900453,0	28919478,6	33117125,4	228057594,0	323447547,6	521409196,0			12	1222679,49	19674540,79
	0,81	7515018,0	10788195,6	14220603,0	17816436,0	21580392,6	25517187,0	29631112,2	33927562,8	233606652,0	331273908,0			13	725877,08	20400417,87
	0,49	4509010,8	7705854,0	11060469,0	14577084,0	18260332,2	22114895,4	26145099,0	30356240,4	34753082,4	239259160,0			14	408741,24	20809159,11
	0,16	1503003,6	4623512,4	7900335,0	11337732,0	14940271,8	18712603,8	22659085,8	26784918,0	31094863,2	35593992,0			15	175150,33	20984309,44
			1541170,8	4740201,0	8098380,0	11620211,4	15310312,2	19173072,6	23213595,6	27436644,0	31847256,0			16	142980,86	21127290,30
				1580067,0	4859028,0	8300151,0	11908020,6	15687059,4	19642273,2	23778424,8	28100520,0			17	113855,56	21241145,86
					1619676,0	4980090,6	8505729,0	12201046,2	16070950,8	20120205,6	24353784,0			18	87851,50	21328997,36
						1660030,2	5103437,4	8715033,0	12499628,4	16461986,4	20607048,0			19	65047,18	21394044,55
							1701145,8	5229019,8	8928306,0	12803767,2	16860312,0			20	45522,57	21439567,12
								1743006,6	5356983,6	9145548,0	13113576,0			21	29359,14	21468926,25
									1785661,2	5487328,8	9366840,0			22	16639,85	21485566,10
										1829109,6	5620104,0			23	7449,24	21493015,34
											1873368,0			24	1873,39	21494888,73
															TOTAL	21494888,73

Figura 27. Cantidad de biogás que podrá generarse en el Relleno Sanitario de la Provincia de Bagua durante 24 años, el cual está expresado

m³.

Potencial energético del biogás

El biogás, luego de ser recolectado, puede ser utilizado como combustible para la generación de energía eléctrica, lo que constituye una oportunidad de contribución adicional al desarrollo sustentable. El uso de esta energía puede generar reducción de consumo de petróleo utilizado en el relleno para este fin.

Es muy importante considerar que, en este estudio, para estimar el potencial de generación de energía eléctrica se supondrá un mínimo de 14 años después del cierre del relleno sanitario, tiempo esperado para concretar un alto volumen de biogás y la estabilización del metano. El relleno sanitario de Bagua tiene una vida útil de 10 años, esto quiere decir que para realizar los cálculos de biogás y del potencial eléctrico debe considerarse desde el año 1 al año 24.

Para realizar este cálculo, se consideró la siguiente información:

- Por cada kg de residuos de rápida degradación se obtiene 0,48 m³ de metano y 0,43 m³ de dióxido de carbono.
- Por cada kg de residuos de lenta degradación se obtiene 0,51 m³ de metano y 0,46 m³ de dióxido de carbono.
- La suma total de biogás es 1,88 m³ de biogás por cada kg de residuo dispuesto.
- Si 0,999 m³ de metano.
- El volumen en porcentaje del metano es igual a 53,12%.

Conociendo el porcentaje de metano (53,12%) y su valor calorífico (10 kW/hm³) se concluye que el potencial energético de biogás es de 5,31 kWh/m³

Potencia eléctrica neta

La potencia eléctrica neta, se calculó teniendo en cuenta el volumen del biogás por año, el potencial energético (5,31kWh) y la eficiencia del motor (68%). Según la Figura 28 tendrá una producción máxima de 922,26 kWh en el año 10.

Potencia eléctrica neta								
Año de producción	Generación anual de biogás en m ³	Generación acumulada de biogás en m ³	Generación de biogás en (m ³ / día)	Generación de biogás en (m ³ / h)	Potencial energético de biogás por m ³ en (kWh)	Potencia energética (kW)	Eficiencia del motor (%)	Potencia eléctrica neta (kWh)
1	320826,33	320826,33	878,98	36,624	5,31	194,47	68%	132,24
2	900671,41	1221497,74	2467,59	102,816	5,31	545,95	68%	371,25
3	1341818,47	2563316,20	3676,21	153,176	5,31	813,36	68%	553,09
4	1641472,34	4204788,54	4497,18	187,383	5,31	995,00	68%	676,60
5	1874685,10	6079473,64	5136,12	214,005	5,31	1136,37	68%	772,73
6	1950145,08	8029618,72	5342,86	222,619	5,31	1182,11	68%	803,83
7	2024199,48	10053818,20	5545,75	231,073	5,31	1227,00	68%	834,36
8	2096798,19	12150616,39	5744,65	239,361	5,31	1271,00	68%	864,28
9	2167897,94	14318514,32	5939,45	247,477	5,31	1314,10	68%	893,59
10	2237449,86	16555964,18	6130,00	255,417	5,31	1356,26	68%	922,26
11	1895897,12	18451861,29	5194,24	216,427	5,31	1149,23	68%	781,47
12	1222679,49	19674540,79	3349,81	139,575	5,31	741,14	68%	503,98
13	725877,08	20400417,87	1988,70	82,863	5,31	440,00	68%	299,20
14	408741,24	20809159,11	1119,84	46,660	5,31	247,76	68%	168,48
15	175150,33	20984309,44	479,86	19,994	5,31	106,17	68%	72,20
16	142980,86	21127290,30	391,73	16,322	5,31	86,67	68%	58,94
17	113855,56	21241145,86	311,93	12,997	5,31	69,02	68%	46,93
18	87851,50	21328997,36	240,69	10,029	5,31	53,25	68%	36,21
19	65047,18	21394044,55	178,21	7,425	5,31	39,43	68%	26,81
20	45522,57	21439567,12	124,72	5,197	5,31	27,59	68%	18,76
21	29359,14	21468926,25	80,44	3,351	5,31	17,80	68%	12,10
22	16639,85	21485566,10	45,59	1,900	5,31	10,09	68%	6,86
23	7449,24	21493015,34	20,41	0,850	5,31	4,52	68%	3,07
24	1873,39	21494888,73	5,13	0,214	5,31	1,14	68%	0,77

Figura 28. Transformación del biogás a generación de electricidad.

Aprovechamiento de biogás

Captación y purificación del biogás

Para la captación del biogás en la terraza del relleno sanitario de la Provincia de Bagua se ha considerado la construcción de un sistema de evacuación vertical, conectado a los filtros de fondo que hacen parte del sistema de drenaje de lixiviados ubicados en el fondo de la terraza. Estas estructuras se han construido verticalmente desde la base del relleno a una altura de 2.0 m, requeridas para iniciar la operación. Las chimeneas comprenden una malla de gavión de 1,0 m x 1,0 m x 2,0 m de altura, calibre 14 de triple torsión con hueco de 10 a 12 centímetros rellenas con piedras de 10” de diámetro alrededor de un tubo de PEAD de 6” perforado PN 12.5. Consorcio Fichtner (2015).

Por las condiciones constructivas del relleno sanitario la extracción de biogás se realiza mediante un sistema pasivo; es decir el biogás drena al interior del relleno sanitario mediante las chimeneas existentes que otorgan un paso de baja pérdida de carga para el biogás.

Para efectos de aprovechamiento energético Según López, D. (2016), se deben considerar sistemas de extracción activos, estos sistemas emplean equipos de extracción que generan la diferencia de presión necesaria para evacuar el biogás del interior del relleno sanitario, estos sistemas consisten en los siguientes componentes:

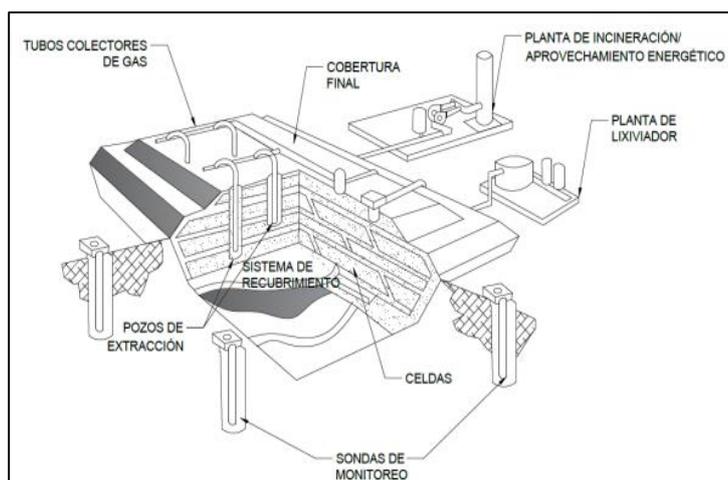


Figura 29. Componentes de un sistema de extracción de biogás en un relleno sanitario

Fuente: López, D. (2016).

Después de extraer el biogás es necesario darle un tratamiento, con el fin de extraer la humedad y el material particulado. Esto se conoce como tratamiento primario. En algunas aplicaciones se requiere la remoción de compuestos sulfurados y siloxanos, ya que aumentan los efectos de la corrosión y erosión, respectivamente. A este proceso se le conoce como tratamiento secundario.

Por consiguiente, se traslada el biogás al motor diesel para operar con una sustitución del diesel por biogas hasta un 70%, y un consumo de diesel del 30% restante por lo que el motor no sufre ninguna alteración al consumir los dos tipos de combustible al mismo tiempo. Cabe mencionar que previo a realizar esta operación se tiene que hacer adaptaciones en el motor diesel colocando una “T” entre el filtro y el sistema de admisión del aire, donde se conecta la tubería del biogás. Se debe de instalar una válvula en esta tubería para regular el suministro del biogás y ajustarlo al porcentaje requerido de operación. (Barrena, et al., 2019).

IV. DISCUSIÓN

Algunos de los parámetros más influyentes en la generación de biogás son la composición y la cantidad de los residuos sólidos dispuestos, evidenciando una influencia lineal en la generación de biogás (Juárez, 2016).

Según Monteiro et al. (2001) la composición de los residuos sólidos varía por aspectos sociales, económicos, culturales, geográficos y climáticos. En Río Claro, Brasil, el 79% de los residuos sólidos domiciliarios son residuos de rápida y lenta degradación (Braz, 2001). De la Cruz et al. (2011), en Maracaibo – Venezuela, encontró el 72,62% de residuos de rápida y lenta degradación con una población de 232 549 habitantes. En la São Carlos, Brasil, Frésca (2007), determinó que el 65,52% de residuos del municipio son de rápida y lenta degradación, con 364 571 habitantes.

En la provincia de Bagua, sus 48 778 habitantes disponen los residuos en relleno sanitario, con 81,14% de residuos de rápida y lenta degradación, siendo uno de los parámetros que permite una eficiente producción de biogás; evidenciándose un porcentaje mayor en relación a las ciudades de Brasil y Venezuela mencionadas.

Además, el distrito de Bagua que representa el 69,58% de la población intervenida, tiene la mayor composición de residuos degradables (83,66%). Por otro lado, los distritos de La Peca, El Parco, Copallín y Aramango tienen una cantidad de generación de residuos degradables menores que Bagua debido al menor número de habitantes; asimismo, se conoce que en estos distritos los residuos de jardín representan el 32,09%; mientras que en el Distrito de Bagua solo tiene el 0,35%. Esto se debe a que los distritos de El Parco, Copallín, La Peca y Aramango son lugares de alta producción agrícola aumentando la probabilidad de existencia de residuos sólidos de jardín. Por consiguiente, se reafirma lo que menciona Monteiro et al. (2001); que los países desarrollados tienden a producir menos materia orgánica debido a la oferta de alimentos semipreparados disponibles en el mercado.

Para medir el potencial de producción de biogás en un relleno sanitario se aplica generalmente el modelo triangular propuesto por Tchobanoglous (1994), que contrasta una mejor precisión en el cálculo del biogás determinando por específico cada elemento de los residuos sólidos, y no como otros modelos que lo calculan de un todo general (Galindo, 2009). Pero de igual manera, los resultados de generación total de biogás con modelos como; orden cero, triangular Tchobanoglous, landGEM, british Columbia, y landGEM alternativo; con su correspondiente generación unitaria de residuos sólidos, no difieren de manera exorbitante uno de otro (Juárez, 2016).

En el relleno sanitario de la Provincia de Bagua, se determinó la generación de biogás con el modelo triangular de George Tchobanoglous (1994), obteniendo un valor pico en el año 10 de 2 237 449,86 m³ de biogás; lo que corresponde a la potencia eléctrica neta es de 922,26 kWh. En cuanto a la energía eléctrica generada, según Mazzonetto et al. (2016), es directamente proporcional al flujo de biogás en el relleno sanitario.

V. CONCLUSIONES

- El potencial de producción de biogás para la generación de energía eléctrica a partir de residuos sólidos depositados en el Relleno Sanitario de la Provincia de Bagua, alcanzará su valor pico en el año 10; es decir al cierre del relleno sanitario, con una máxima potencia eléctrica neta de 922,26 kWh.
- La caracterización de los residuos sólidos municipales en la Provincia de Bagua, para todos sus distritos (Bagua, La Peca, Copallin, Aramango y Parco) que disponen en su relleno, muestra que el 81,14% son residuos de rápida y lenta degradación, que producen gases que conforman el biogás.
- Durante un periodo de 24 años, en el que se producirá biogás en el relleno sanitario de Bagua, Amazonas; se obtendrá una producción total de 21 494 888,73 m³ de biogás, teniendo un valor pico en el año 10 de 2 237 449,86 m³ de biogás.
- La generación de energía eléctrica con grupo electrógeno a biogás, con eficiencia de motor de 68%; tendrá una máxima potencia eléctrica neta de 922,26 kWh.

VI. RECOMENDACIONES

- Por los análisis y las conclusiones anteriormente señaladas, se recomienda que se realice un estudio de factibilidad para la ejecución del aprovechamiento del biogás; donde se determine la infraestructura eléctrica necesaria para la instalación de una planta de generación de energía eléctrica en el Relleno Sanitario de la Provincia de Bagua.
- Se recomienda aprovechar el biogás generado por la descomposición anaeróbica de los residuos sólidos en el relleno sanitario y reducción de emisión de gases de efecto invernadero que son los principales causantes del cambio climático y al mismo tiempo promover el consumo de energía renovables.
- En las instalaciones del relleno sanitario existe un generador de energía eléctrica, el cual puede ser adaptado y convertirlo al sistema híbrido, es decir funcionamiento con biogás y diésel.
- Se debe tener en cuenta que el contenido de metano en el biogás decae con el paso del tiempo; por lo que se recomienda que vaya de 40 a 60%, en los primeros años y de 25 a 45% en los años posteriores.
- De acuerdo al objetivo de la investigación, que es evaluar el potencial de generación de biogás para la generación de energía eléctrica, lo que significa que se busca el aprovechamiento energético de biogás del relleno sanitario en energía útil; para efectos de aprovechamiento energético se recomienda considerar sistemas activos, estos sistemas emplean equipos de extracción que generan la diferencia de presión necesaria para evacuar el biogás del interior del relleno sanitario.
- Se recomienda a la Municipalidad Provincial de Bagua considerar la valorización energética de residuos sólidos que son depositados en el relleno sanitario cumpliendo así con lo establecido en la normativa de residuos sólidos.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barrena, M., Maicelo, J., Gamarra, O., Oliva, S., Leiva, S., Taramona, L., Huanes y M., Ordinola, C. (2019). Biogas: producción y aplicaciones. Chachapoyas, Perú: UNTRM, INDESCES Y PROCICEA.
- Borda, C. (2016). Biogas: una alternativa energética para los rellenos sanitarios urbanos y un beneficio mitigador de cambio climático. Universidad Militar Nueva Granada. Bogota. Colombia. Recuperado de <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/15271/1/BordaPerezCarlosGeovanny2016.pdf> . Pag 9.
- Braz, J. A; Silva, C. L. (2001). Evaluación del potencial energético de los vertederos generados por residuos sólidos domésticos en el municipio de Rio Claro. 21° Congreso Brasileiro de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.
- Cepero, L., Savran, V., Blanco, D., Díaz- Piñón, M. R., Suárez, J., y Palacios, A. (2012). Producción de biogás y bioabonos a partir de efluentes de biodigestores. Pastos y Forrajes, 35 (2) 219-226. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s086403942012000200009&Ing=es&nrm=iso.
- Consorcio Fichner. (2015). Proyecto de desarrollo de sistemas de gestión de residuos sólidos en zonas prioritarias- Municipalidad Provincial de Bagua. Lima. Perú.
- Crisanto, L. (2013). Estudio de factibilidad para implementar una central eléctrica aprovechando el biogas generado por el relleno sanitario del inga. (tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito. Quito, Ecuador. Consulta: 14 de diciembre de 2017. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6350/1/UPS-KT00806.pdf> . pag. 25.
- Decreto legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos sólidos (Decreto Legislativo N° 1278) (22 de diciembre del 2016). Normas legales, 2016,22, diciembre pag. 34.

- De la Cruz, M., Ruza, A. (2011). Diseño de una propuesta de un relleno sanitario para la disposición final de los desechos sólidos de tres parroquias del municipio de Maracaibo del estado de Zulia – República de Venezuela. Trabajo Especial de Grado, Universidad Rafael Urdaneta.
- Frésca, C. (2007). Estudio da generación de residuos sólidos domiciliarios del municipio de São Carlos, SP, a partir da caracterización física. Escuela de Ingeniería de São Carlos, Universidad de São Paulo – USP. São Carlos.
- Galindo, O. (2009). Diseño del relleno intermunicipal para los municipios de Átoyac de Alvarez – Benito Juárez y Técpan. (Tesis para obtener el grado de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Juarez, M. (2016). Evaluación De Generación De Biogás En El Vertedero De Piedras Blancas, Córdoba (Práctica Supervisada De Ingeniería Civil). Universidad Nacional De Córdoba.
- López, D. (2016). Modelo para el diseño de sistemas de captación y aprovechamiento de biogás producido en rellenos sanitarios (Tesis de pregrado). Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.
- Martín, L., Rivera, J., Catizo, R. (2018). Cambio climático y desarrollo sostenible. La Rábida, Huelva
- Ministerio del Ambiente (2016). Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016-2024.
- Ministerio del Ambiente (2015). Guía metodológica para el desarrollo del Estudio de Caracterización para Residuos Sólidos Municipales. Consulta: 20 de diciembre de 2017. Recuperado de <http://redrrss.minam.gob.pe/material/20150302182233.pdf>
- Ministerio del Ambiente (2018). Guía metodológica para el desarrollo del Estudio de Caracterización para Residuos Sólidos Municipales.
- Ministerio del Ambiente. (2019). Amazonas, estadísticas ambientales.

- Monteiro, J., Figueiredo, C., Magalhães, A., Melo, M. De, Brito, J. De, Almeida, F. De, Mansur, G L. (2001). Manual de Gerenciamiento Integrado de Resíduos Sólidos Del Gobierno Federal, 1. Ed. Rio De Janeiro.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) , Ministerio de Energia (MINERGIA), Programa de las Naciones Unidas Para el Desarrollo (PNDU) y Global Environment Facility (GEF). (2011). Manual de biogás. Santiago de Chile, Chile.
- Resolución Ministerial 457-2018-MINAM. Ministerio del Ambiente, Lima, Perú, 4 de enero del 2019.
- Siles, F. (2012). Generación de energía eléctrica a partir de producción de biogás (Tesis de pregrado). Instituto politécnico nacional, México.
- Silva, A., Gomez, A., Landazury, B., y Preciado, B. (2013). Evaluación de gases de efecto invernadero (GEI) en sistemas ganaderos asociados con pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* hoechts ex chiov). Revista Colombiana de ciencia animal.
- Tchobanoglous, G., & Kreith F. (1994). Handbook of solid waste management (2a ed.). California: Copyright. Pag. 669- 698.
- Villacis, D. (2016). Determinar el Potencial Energético para la Generación de Electricidad con el Biogás Emitido en el Relleno Sanitario del Cantón Salcedo. Universidad Técnica De Cotopaxi. Latacunga. Ecuador. Consulta 20 de diciembre del 2017. Recuperado de <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/3657/1/T-UTC-000090.pdf>

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Plano de las zonas de muestreo del distrito de Bagua (ZM-01)

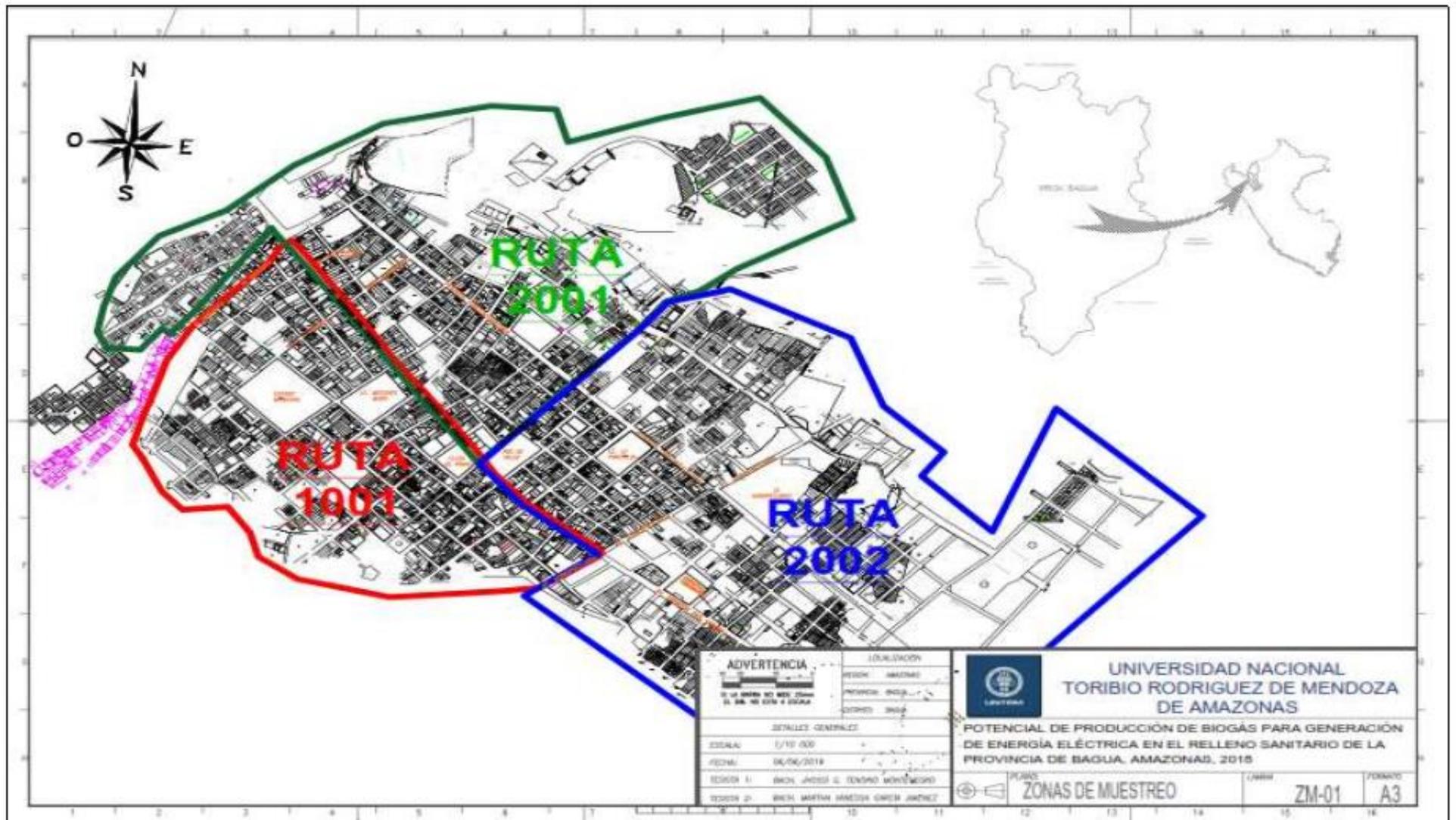
Anexo 2: Plano de las zonas de muestreo del distrito de La Peca (ZM-02)

Anexo 3: Plano de las zonas de muestreo del distrito de Aramango (ZM-03)

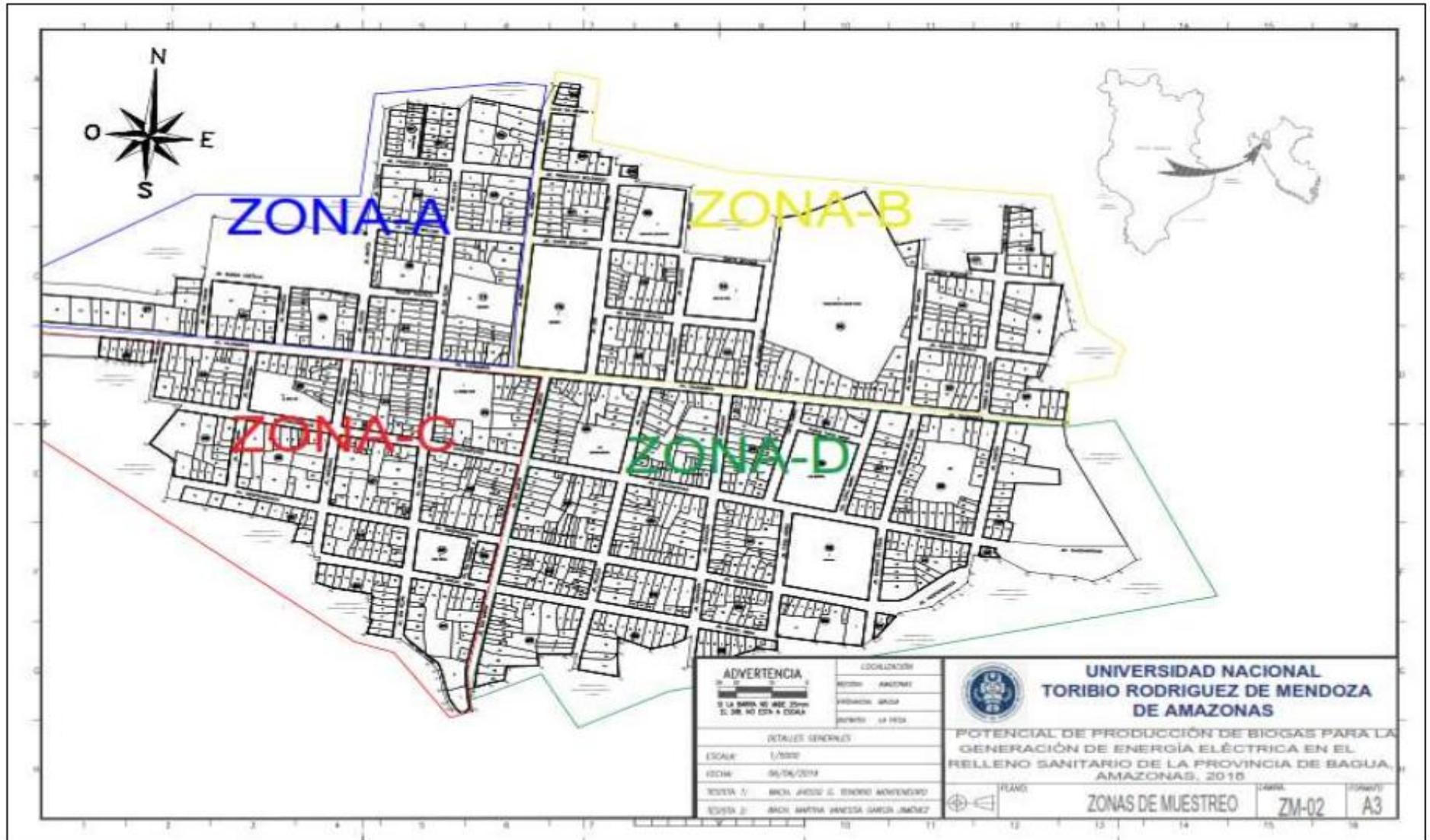
Anexo 4: Plano de las zonas de muestreo del distrito El Parco (ZM-04)

Anexo 5: Plano de las zonas de muestreo del distrito de Copallín (ZM-05)

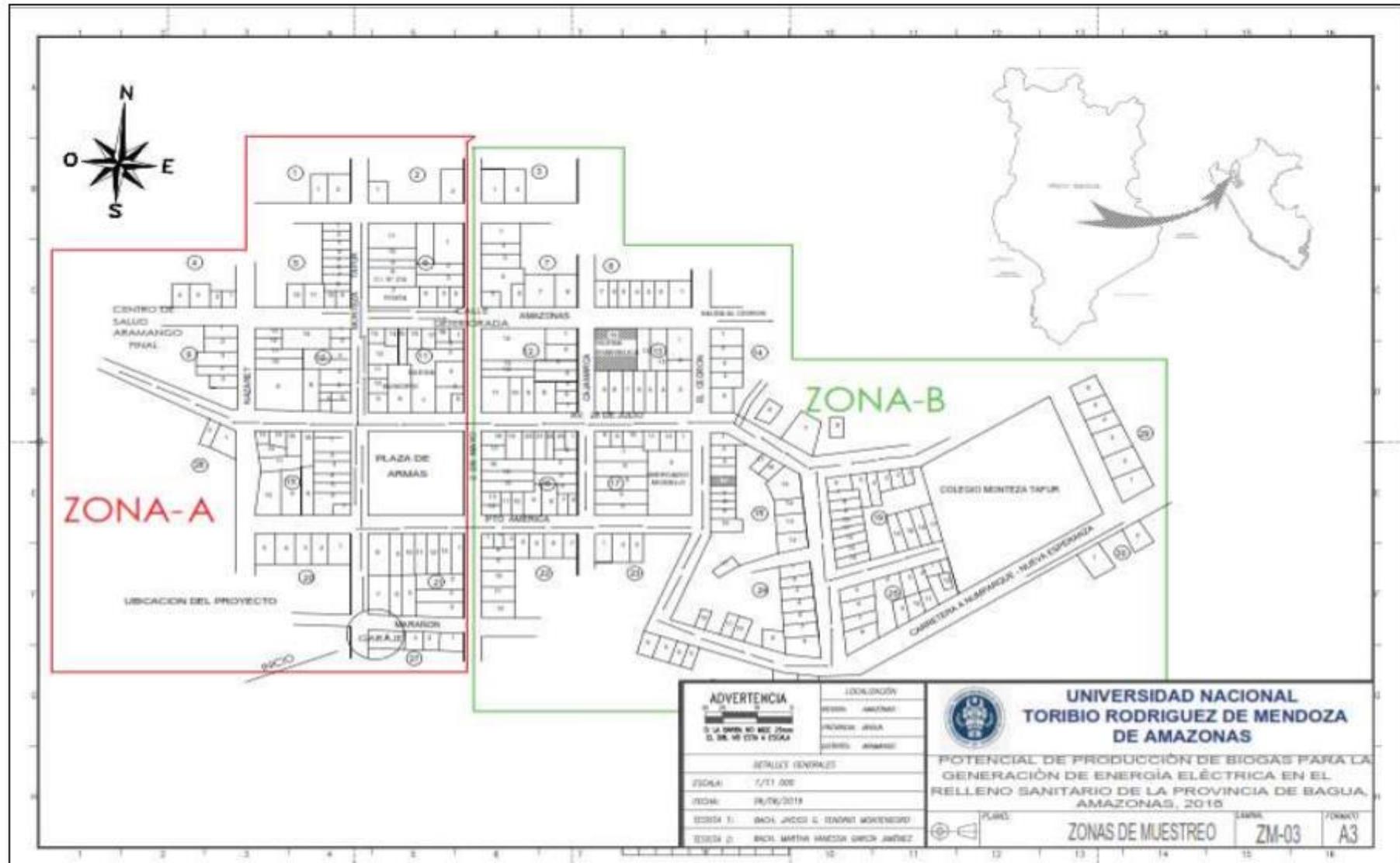
Anexo 1: Plano de las zonas de muestreo del distrito de Bagua



Anexo 2: Plano de las zonas de muestreo del distrito de La Peca



Anexo 3: Plano de las zonas de muestreo del distrito de Aramango



Anexo 4: Plano de las zonas de muestreo del distrito El Parco

