

Valoración energética de los residuos sólidos orgánicos urbanos de la ciudad de Guayaquil para la generación de biogás a través de un biodigestor

Autora: Silvia Magdalena Coello Pisco

Tesis doctoral UDC / 2023

Director: Benigno Antonio Rodríguez Gómez

Codirector: Yomar Alexander González Cañizalez

Programa de doctorado en Energía y Propulsión Marina



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

BENIGNO ANTONIO RODRÍGUEZ GÓMEZ, Doctor en Ciencias Ambientales, Profesor Titular de Universidad, perteneciente al Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidade da Coruña con sede en la Escuela Politécnica de Ingeniería de Ferrol, y

YOMAR GONZÁLEZ CAÑIZALEZ, Doctor en Ciencias de la Ingeniería, Profesor Ocasional, perteneciente a la Facultad de Ingeniería Industrial, de la Universidad de Guayaquil.

A U T O R I Z A N

A D^a Silvia Magdalena Pisco Coello, con documento de identificación personal de Ecuador 0914328216, la presentación para depósito y defensa de la Tesis realizada bajo nuestra dirección y titulada: **Valoración energética de los residuos sólidos orgánicos urbanos de la ciudad de Guayaquil para la generación de biogás a través de un biodigestor**

Vº Bº

Los Directores,

A Coruña a 14 de febrero de 2023

En Guayaquil, 14 de febrero de 2023



Fdo.: Benigno A. Rodríguez Gómez



Fdo.: Yomar González Cañizalez

Dedicatoria

Dedicada a la Universidad de A Coruña y a quiénes conforman el Doctorado en Energía y Propulsión Marina que me brindó la oportunidad de realizar este estudio y logro académico.

Agradecimientos

A la Universidad de A Coruña por darme la oportunidad de realizar este estudio doctoral y abrirme las puertas en su Institución de prestigio.

A mi tutor Benigno Rodríguez Gómez por su gran paciencia y conocimientos dados en la dirección de esta tesis doctoral.

Al coordinador del Programa de Doctorado Álvaro Baaliña por su asesoramiento en este doctorado en Energía y Propulsión Marina.

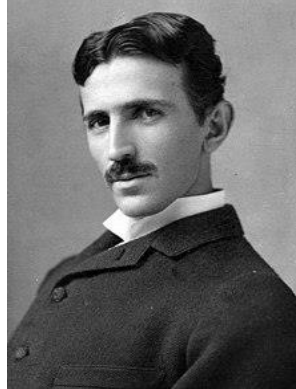
A mi codirector Yomar González Cañizalez por su cooperación y seguimiento en este estudio doctoral.

Al Universo y todas sus fuerzas invisibles que me alentaron en todo momento y que lo siguen haciendo en el avance de mi vida tanto académica, seglar y cotidiana.

A mis estudiantes de la asignatura de Física Aplicada del período 2018 - 2019 de la Facultad de Ingeniería Industrial por su apoyo en este estudio doctoral.

A todos ustedes, gracias por acompañarme en este logro académico.

¡Eternamente agradecida!



“Si quieres encontrar los secretos del Universo, piensa en términos de energía, frecuencia y vibración”

Nikola Tesla (1856 - 1943)

“No existe mayor satisfacción en la vida de un humano que disfrutar de su casa mayor y de cuidar a los más pequeños de ella, sin lastimar a la madre Tierra”.

Silvia Coello (1974 -)

RESUMEN

El objetivo del estudio ha sido demostrar la viabilidad de usar restos de comida urbana sin pretratamiento a una escala piloto mediante una combinación de métodos experimentales y teóricos. La caracterización experimental reveló que los residuos, poseen un contenido adecuado de sólidos totales volátiles (13 a 18 % ST), pero un bajo valor de materia seca (14,02 a 19,2 % s.m.f) y un valor bajo de pH (3,57 a 4,53 UpH), así como un alto contenido de humedad (73,43 a 83,17 %) y relación C/N (19,15 a 30,62), una alta conductividad eléctrica (1,23 a 4,16 dS/m). La producción de metano prevista fue de 440,7 [mlCH₄/gSV] con un %CH₄ Teórico (46,37 a 49,32) [CH₄/vol] valor superior a otros estudios con muestras FORSU. Por lo que, consideramos que estos residuos son potencialmente aprovechables para la fermentación metánica y pueden ser una alternativa que dé solución a la creciente demanda de consumo energético eléctrico y de gas doméstico para ser usados como fuente de energía ya que poseen un contenido energético óptimo de 4021,73 kcal/kg para PCS y 3566,45 PCI kcal/kg. En definitiva, este trabajo establece una base teórica de posibles soluciones para la gestión de los residuos orgánicos urbanos producidos en Ecuador.

RESUMO

O obxectivo do estudo foi demostrar a viabilidade de usar restos de comida urbana sen pretratamento a unha escala piloto mediante unha combinación de métodos experimentais e teóricos. A caracterización experimental revelou que os residuos, posúen un contido adecuado de sólidos totais volátiles (13 a 18 % ST), pero un baixo valor de materia seca (14,02 a 19,2 % s.m.f) e un valor baixo de pH (3,57 a 4,53 UpH), así como un alto contido de humidade (73,43 a 83,17 %) e relación C/N (19,15 a 30,62), unha alta condutividade eléctrica (1,23 a 4,16 dS/m).

A produción de metano prevista foi de 440,7 [mlCH₄/gSV] cun %CH₄ Teórico (46,37 a 49,32) [CH₄/vol] valor superior a outros estudos con mostras FORSU. Polo que, consideramos que estes residuos son potencialmente aproveitables para a fermentación metánica e poden ser unha alternativa que dea solución á crecente demanda de consumo enerxético eléctrico e de gas doméstico para ser usados como fonte de enerxía xa que posúen un contido enerxético óptimo de 4021,73 kcal/kg para PCS e 3566,45 PCI kcal/kg.

En definitiva, este traballo establece unha base teórica de posibles solucións para a xestión dos residuos orgánicos urbanos producidos en Ecuador

ABSTRACT

The objective of the study has been to demonstrate the feasibility of using urban food scraps without pretreatment on a pilot scale through a combination of experimental and theoretical methods. The experimental characterization revealed that the residues have an adequate content of total volatile solids (13 to 18% ST), but a low value of dry matter (14.02 to 19.2% s.m.f) and a low value of pH (3.57 to 4.53 UpH), as well as a high moisture content (73.43 to 83.17%) and C/N ratio (19.15 to 30.62), a high electrical conductivity (1.23 to 4.16dS/m). The predicted methane production was 440.7 [mlCH₄/gSV] with a %Theoretical CH₄ (46.37 to 49.32) [CH₄/vol] higher than other studies with FORSU samples. Therefore, we consider that these residues are potentially usable for methane fermentation and can be an alternative that provides a solution to the growing demand for electrical energy consumption and domestic gas to be used as a source of energy since they have an optimal energy content of 4021.73 kcal/kg for PCS and 3566.45 PCI kcal/kg. In short, this work establishes a theoretical basis of possible solutions for the management of urban organic waste produced in Ecuador.

ESTRUCTURA DE LA MEMORIA

Esta memoria se ha estructurado en los siguientes capítulos:

Capítulo I. En esta sección introductoria se detallan aspectos de importancia que dan sentido a la tesis con el propósito de articular el tema de investigación relacionando la fermentación metánica y el nivel de producción de biogás en un acercamiento a la viabilidad de obtener un sustituto del gas doméstico. Se plasman los objetivos relevantes del desarrollo de este estudio.

Capítulo II. En este capítulo se presenta el estudio documental bibliográfico sobre la biomasa urbana y las metodologías existentes que se usan a nivel regional en Ecuador.

Capítulo III. En este apartado mostramos el diseño y validación de un cuestionario sobre las tendencias y percepciones del consumidor energético del gas doméstico mediante la técnica de segmentación de mercado a priori, los análisis y resultados de las familias del área urbana marginal de la ciudad de Guayaquil.

Capítulo IV. Se realiza el análisis de las tendencias y percepciones del consumo energético de gas doméstico de las familias guayaquileñas

Capítulo V. Es el punto de partida de la valoración y aprovechamiento energético de los restos de comida de familias urbana marginales de Guayaquil para producción de biogás. En este capítulo, se trabajó con los residuos orgánicos (restos de comida) intradomiciliarios y no de vertederos, comprobando la viabilidad del proceso con la opción de utilizarlo como medio para producir biogás.

Capítulo VI. Se presentan los resultados alcanzados del análisis elemental y de contenido energético empleando como metodología la ingeniería de diseño conceptual y experimental procedente de la selección de restos de comida. El propósito es evaluar si se puede proporcionar un volumen de biogás superior al 45% de CH₄ para ser utilizado en cocción de alimentos.

Capítulo VII. Se estudia el efecto de las condiciones ambientales y de control en un modelo de reactor tipo Batch artesanal a pequeña escala experimental (BAPE) para comprobar la producción de metano a más del 45%.

Capítulo VIII. Se exponen las conclusiones de esta tesis.

Capítulo IX. Se presentan las referencias bibliográficas utilizadas para la producción científica de esta tesis doctoral.

PREFACIO

El aumento del consumo energético (fósil e hídrica) así como de los residuos generados por las grandes urbes metropolitanas en Ecuador se está convirtiendo en un grave problema para las familias ecuatorianas y el medio ambiente. Entre las necesidades que presentan las familias ecuatorianas es que los gobiernos venideros mantengan el subsidio en el sector energético (eléctrico y de gas doméstico) y mejora del tratamiento y recolección de los desechos urbanos. Gran parte, de esta cantidad de residuos urbanos tiene como destino final los vertederos donde son depositados y enterrados sin que sean reciclados o aprovechados en su totalidad.

Pero, existe una alternativa a estas dos situaciones problemáticas que cada año aumenta su presencia y afecta la economía de Ecuador. Se trata de la valorización con recuperación energética de estos residuos orgánicos urbanos. Los residuos sólidos urbanos (RSU) se someten a ciertos métodos o tratamientos, de manera que se reduce su volumen y se pueden tener dos posibles soluciones. Por un lado, pequeñas cantidades de biorresiduos en los vertederos y, a su vez, energía procedente de la materia prima contenida aprovechable. Esta energía adquirida es semejante, en muchas ocasiones y dependiendo de la materia prima aprovechada (residuos orgánicos e inorgánicos) a los combustibles convencionales (petróleo, gas natural, carbón, etc.) para suplir ciertas necesidades del consumo energético en la población.

Por ello, el estudio de la “Valoración energética de los residuos sólidos orgánicos urbanos de la ciudad de Guayaquil para la generación de biogás a través de un biodigestor” y dentro de los lineamientos del doctorado en Energía y Propulsión Marina con línea de investigación en Técnicas Energéticas, presenta esta indagación, con el fin de proveer una perspectiva general de la valorización energética de los residuos de restos de comida urbana a través de diversas experiencias prácticas, aplicaciones y posibilidades de desarrollo futuro.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido	Pág.
CAPÍTULO 1	1
A. Introducción	2
A.1 Acercamiento al tema objeto de estudio y su interés.	3
A.2 Aspectos generales de diagnóstico	5
A.2.2 Aspectos sociodemográficos de la zona de estudio	6
A.2.2.1 Educación	6
A.2.2.2 Salud	6
A.2.2.3 Nivel socioeconómico	6
A.2.2.4 Estructura ecológica – áreas de protección	6
B. Objetivos del estudio	7
B.1. Objetivo General	7
B.1.2 Objetivos específicos	7
C. Fundamento de la digestión anaerobia (DA)	8
C1. Conceptos básicos del digestor	8
C1.1 ¿Qué hace un digestor anaerobio?	8
C1.2 ¿Cómo funciona un digestor anaeróbico?	10
C1.3 Propiedades y beneficios del biogás.	11
C1.4 Tecnología de biogás doméstico	11
D. Materiales y métodos	15
CAPÍTULO 2	17
Estudio documental bibliográfico de la biomasa urbana y de las metodologías que se están realizando a nivel regional en Ecuador	17
A. Introducción	18
B. Objetivo General	21
B.1. Objetivos específicos	21
C. Materiales y métodos	22
C.1. Diseño de la investigación	22
D. Resultados y discusión	22
D.1 Análisis cualitativo del contenido, interpretación y comprensión exegética de la Biomasa urbana y de las técnicas que se están realizando a nivel regional y local en Ecuador	22

Contenido	Pág.
D.2. Análisis de resultados y discusión de la investigación Documental Bibliográfica	22
D.3. Análisis de resultados y discusión de aplicación de tecnologías en biomasa en Ecuador	23
D.4. Análisis de resultados y discusión de metodologías de aprovechamiento de residuos orgánicos del sector urbano	26
D.5. Análisis de resultados y discusión de los pros y contras de la aplicar la tecnología verde basada en Fermentación metánica para el sector urbano.	28
E. Conclusiones	29
CAPÍTULO 3	31
Diseño y validación de un cuestionario sobre las tendencias y percepciones del consumidor energético del gas doméstico mediante la técnica de segmentación de mercado a priori	31
A. Introducción	32
B. Objetivos	33
B.1 Objetivo general	33
B.2 Objetivos específicos	33
C. Material y métodos	34
C.1. Hipótesis con respecto a la validación del Instrumento	34
C.2. Dimensionamiento del cuestionario sobre tendencias y percepciones del consumidor de gas y validez del instrumento	34
C.3 Validación de la encuesta de tendencia y percepción al consumidor de gas GLP domiciliario	35
C.3.1 Procedimiento	35
D. Análisis y discusión de la validez del cuestionario de “Tendencias y percepciones del consumidor energético de gas doméstico (GLP)	38
E. Conclusiones	41
CAPÍTULO 4	43
Análisis de las tendencias y percepciones del consumo energético de gas doméstico de las familias guayaquileñas	43
A. Introducción	44

Contenido	Pág.
A.1. Área de estudio	45
B. Objetivos	46
B.1. Objetivo general	46
B.2. Objetivos específicos	46
C. Materiales y métodos	47
C.1. Diseño metodológico	47
C.2. Técnicas de análisis de los datos	47
C. 3 Conjetura con respecto a las tendencias y percepciones del consumidor	48
C.4 Selección de participantes para aplicar la encuesta sobre la “Tendencias y Percepciones del consumidor de gas domiciliario”	49
C.4.1. Fase 1 Muestreo no probabilístico o no aleatorio	49
C.4.2 Fase 2 Muestreo de poblaciones ocultas	50
C.4.3 Representatividad de la muestra	50
D. Resultados y discusión de la Investigación de campo exploratorio	51
D.1. Análisis y discusión de la estructura características de la vivienda	51
D.2. Análisis y discusión de la estructura consumo energético gas, electricidad	51
D.3. Análisis y discusión de la estructura de producción	56
D.4. Análisis y discusión del escenario futuro	60
E. Conclusiones	62
CAPÍTULO 5	63
Aprovechamiento energético de los restos de comida de familias en zonas urbanas marginales de Guayaquil para producción de biogás	63
A. Introducción	64
A.1 Área de estudio y localización geográfica	67
B. Objetivos del capítulo	68
B1. Objetivo general	68
B2. Objetivos específicos	68
C. Metodología	69
C.1. Diseño experimental del estudio	69
C1.1. Primera etapa. Cuaderno de campo	69
C1.2. Segunda etapa. Caracterización del resto de comida (RC)	70
C.1.3. Tercera etapa. Determinación de la humedad relativa y sólidos	

totales de los RC	72
Contenido	Pág.
C.1.4. Cuarta etapa. Análisis elemental de los RC	72
C.1.5. Quinta etapa: Caracterización y contenido energético de los RC, PCI y PCS	73
D. Resultados y discusión de la caracterización orgánica de los RC	74
D.1. Análisis de resultados de la composición física de los residuos orgánicos generados en los domicilios participantes.	78
D.2. Análisis de resultados de la caracterización fisicoquímico de los restos de comida de los hogares participantes.	79
D.3. Análisis de resultados elemental de los componentes de los RC	82
E. Conclusiones	84
CAPÍTULO 6	87
Ingeniería de diseño conceptual y experimental de un biodigestor artesanal a pequeña escala para producción de biogás	87
A. Introducción	88
A.1. Diseño de biodigestores basado en la fermentación metánica	88
A.2. Ingeniería del diseño	90
B. Objetivos del estudio	94
B1. Objetivo general	94
B2. Objetivos específicos	94
C. Materiales y Método	95
C.1. Metodología basada en la ingeniería del diseño	95
C.2. Modelación cuantitativa del proceso para el cálculo del rendimiento y estimación de biogás de los restos orgánicos domésticos	96
D. Resultados y discusión del método basado en ingeniería del diseño conceptual y experimental	100
D.1 Resultados y discusión del método basado en ingeniería del modelado: descriptivo lineal (demanda de consumo del gas) y cuantitativo del proceso (modelado matemático)	101
D.2.1 Resultados y discusión de la Estimación de la potencialidad de los hogares para la adopción de tecnología de biodigestor para la cocción de alimentos	105
D.2.2. Resultados y discusión del modelo basado en ingeniería de diseño	108

E. Conclusiones	111
Contenido	Pág.
CAPÍTULO 7	113
Evaluación de las condiciones ambientales y de control de un prototipo de biodigestor artesanal a pequeña escala experimental (BAPE) para comprobar la producción de metano a más del 45%.	113
A. Introducción	114
A.1. Evaluación de los parámetros del BAPE	115
B. Objetivos del capítulo	116
B.1. Objetivo general	116
B.2. Objetivos específicos	116
C. Materiales y métodos	117
C.1. Dimensionamiento del BAPE	119
C.2. Ubicación de los biodigestores artesanales	120
C.3. Diseño y características de los reactores BAPE experimentales	121
C.4 Calibración de los sensores MQ4	122
D. Análisis y discusión de los BAPE	124
D.1 Análisis y discusión de las condiciones ambientales de los restos de comida (factores químicos)	124
D.2. Análisis y discusión de los factores físicos o variables de control de los BAPE	125
D.3. Análisis y discusión del dimensionamiento del Sistema de Biodigestión para hogares familiares	131
D.3.1.1 Residuos de alimentación para el BAPE	139
D.3.1.2 Operación del BAPE	140
D.3.1.3 Recomendaciones para el colector de gas	142
D.3.1.4 Mantenimiento	143
E. Conclusiones	143
CAPÍTULO 8	145
Conclusiones sobre el estudio de la valoración energética de los residuos sólidos orgánicos urbanos de la ciudad de Guayaquil para la generación de biogás a través de un biodigestor	145
A. Conclusiones del estudio	146
B. Barreras económicas financieras y técnicas	147

Contenido	Pág.
CAPÍTULO 9	149
Bibliografía	149
Anexos	175

ÍNDICE DE TABLAS

Contenido	Pág.
Tabla 1. Funciones y equivalencia a otros combustibles del biogás	9
Tabla 2. Hogares que clasifican según el tipo de residuo, periodo 2010 – 2019, por año, nacional, área (urbano – rural)	12
Tabla 3. Cómo los hogares eliminaron los residuos orgánicos, periodo 2010 – 2019, por año, nacional, área (urbano – rural)	13
Tabla 4 Expresiones de búsqueda empleadas para el caso de investigación	22
Tabla 5. Proyectos de aprovechamiento energético de la biomasa	24
Tabla 6. Beneficios y limitaciones de la tecnología de metanización	28
Tabla 7 Descripción de los tipos de segmentaciones de mercado	32
Tabla 8 Estructura de la encuesta para familias del área urbana – marginal	35
Tabla 9 Niveles de Puntuación de confianza para el parámetro K_{comp}	37
Tabla 10 Puntuación de los criterios a validarse en el instrumento	37
Tabla 11 Codificación de los criterios a validarse en el instrumento	38
Tabla 12 Validación cualitativa del Instrumento por la Técnica Juez de experto	39
Tabla 13 KMO y Prueba de esfericidad de Bartlett	40
Tabla 14. Clasificación de los Criterios de segmentación de mercado	40
Tabla 15. Segmentación de estudio sobre tendencias y percepciones del consumidor de gas domiciliario.	47
Tabla 16 Características de los participantes de la encuesta domiciliaria	50
Tabla 17. Análisis de resultados de la estructura de producción (n=110, $\alpha=0,05$)	59
Tabla 18. Clasificación del sustrato para tratamiento con tecnología anaeróbica	65
Tabla 19. Formación de grupos de hogares participantes para analizar las muestras de cada hogar de manera independiente y sector parroquial al que pertenecen	71
Tabla 20. Normativa internacional para análisis de sustrato orgánico (RSU)	73
Tabla 21. Características de los restos orgánicos intradomiciliarios utilizados en este estudio (valores medio de los cinco grupos)	80
Tabla 22. Deducciones de la prueba “T” única para la hipótesis reclamada H_0	81
Tabla 23. Prueba T de hipótesis estadística de dos colas	82

Contenido	Pág.
Tabla 24. Análisis fisicoquímico de las muestras independiente de cada grupo de hogares colaboradores (400 g) en AGRORUM	82
Tabla 25. Análisis elemental de los hogares con muestra de 400 g en AGRORUM	83
Tabla 26. Prueba T de hipótesis estadística de dos colas	83
Tabla 27. Contenido energético kcal/kg-día	83
Tabla 28. Diseños de biodigestores comunes	89
Tabla 29. Producción promedio de volumen de gas que se genera por un día en $\frac{m^3 CH_4}{kg}$	103
Tabla 30. Relación entre el volumen teórico y experimentales obtenidos de los sustratos orgánicos de las viviendas participantes.	103
Tabla 31. Valores obtenidos de la producción de metano y porcentaje.	104
Tabla 32. Cuantificaciones a evaluarse en el BAPE con resto de comida urbana	116
Tabla 33. Tasación y descripción del sustrato orgánico recolectado en las dos viviendas	117
Tabla 34. Características de dos hogares colaboradores.	117
Tabla 35. Técnicas de análisis para las muestras orgánicas de los hogares.	118
Tabla 36. Cálculo del dimensionamiento del biodigestor según T[°C] vs T _{RH} [días]	119
Tabla 37. Característica y distribución del sustrato en el BAPE	121
Tabla 38. Caracterización de los restos de comida para el ensayo con el BAPE	124
Tabla 39. Régimen de alimentación de los BAPE	127
Tabla 40. Características físicas de los restos de comida generados en el hogar	135
Tabla 41. Cálculo del tamaño del BAPE (relación 1:1 de proporción de H ₂ O)	135
Tabla 42. Cálculo del tamaño del BAPE (relación 1:5 de proporción de H ₂ O)	136
Tabla 43. Tipos de desechos orgánicos para la alimentación del BAPE	139
Tabla 44. Tiempo de adaptación del sustrato por día en el BAPE	141
Tabla 45. Especificaciones del mantenimiento del BAPE	143

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Pág.
Figura 1. Mapa político del Ecuador y de las provincias que lo componen y detalle ampliado de la Provincia del Guayas. Adaptado por la autora.	5
Figura 2. Composición del subproducto biogás dentro de un digestor anaerobio	9
Figura 3. Esquema de la degradación de la biomasa en el proceso de DA.	10
Figura 4. Métodos de determinación del potencial de biometano	13
Figura 5. Principios de jerarquización de la Gestión residuos sólidos orgánicos	21
Figura 6. Entidades universitarias investigando “Waste to Energy” en Ecuador.	25
Figura 7 Cronología de implementación de biodigestores en Ecuador	25
Figura 8. Aprovechamiento parcial de restos orgánicos a nivel regional	26
Figura 9. Métodos de aprovechamiento para residuos orgánicos usados por GADM	27
Figura 10. Valoraciones del contenido y criterio de la encuesta	38
Figura 11. Valoraciones cualitativas del constructo por dimensión de la encuesta	39
Figura 12. Diseño metodológico de estudio de la valoración orgánica	41
Figura 13. Mapa del Cantón Guayaquil y detalle ampliado de las parroquias urbanas de la urbe metropolitana. Adaptado por la autora	46
Figura 14. Sectores urbanos marginales participantes de la ciudad de Guayaquil.	49
Figura 15 Diagrama de árbol de las familias que consumen energía fósil (gas doméstico) e hídrica (electricidad)	52
Figura 16. Diagrama de árbol de conocimientos de subsidio energía sustituta del gas GLP	53
Figura 17. Diagrama de árbol de conocimientos de costos y defectos del cilindro de gas GLP – cocina eléctrica/inducción	54
Figura 18. Diagrama de árbol de conocimientos de costos y defectos del cilindro de gas GLP – cocina eléctrica/inducción	54
Figura 19. Diagrama de árbol sobre la práctica con respecto al reciclaje en el hogar	55
Figura 20. Diagrama de árbol sobre la práctica ahorro de energía eléctrica en el hogar	57

Contenido	Pág.
Figura 21. Hábitos de las familias sobre la conexión de los equipos eléctricos en el hogar	57
Figura 22. Percepción de las familias con respecto al ahorro energético eléctrico según el nivel socioeconómico.	58
Figura 23 Diagrama de árbol sobre la disposición de adquirir un dispositivo anaerobio doméstico	60
Figura 24 Diagrama de árbol sobre las tendencias y actitudes sustentables y ambientales.	61
Figura 25. Mapa del Cantón Guayaquil y detalle ampliado de las parroquias urbanas de los sectores marginales (Hogares voluntarios participantes).	67
Figura 26. Distribución de los valores diarios de los desechos generados per cápita en los 28 días	74
Figura 27. Distribución de los residuos generados en los 28 días por hogar	76
Figura 28. Distribución de la relación entre la cantidad de residuos generados Por hogar y el gas consumido.	77
Figura 29. Generación de residuos orgánicos en los hogares de estudio.	78
Figura 30. Relación de los factores sociodemográficos con la producción de biogás y diseño conceptual de un prototipo de digestor anaerobio	84
Figura 31. Pasos a seguir para modelar el prototipo de digestor anaerobio.	95
Figura 32. Metodología del estudio conceptual de la ingeniería del diseño	96
Figura 33. Modelo descriptivo lineal de diseño conceptual, experimental del biodigestor artesanal a pequeña escala (BAPE).	100
Figura 34. Cantidad de consumo de cilindros por mes de gas GLP	101
Figura 35. Tiempo empleado en la preparación de los alimentos en los hogares	102
Figura 36. Modelo BAPE tipo Batch propuesto para evaluar las condiciones operacionales experimentalmente.	108
Figura 37. Modelado de medición del biogás por método de desplazamiento y jeringa para BAPE con alimentación única (B ₁ , B ₃)	109
Figura 38. Modelado de medición del biogás por método de desplazamiento y jeringa para BAPE con régimen de alimentación diaria (B ₂ , B ₄).	110
Figura 39. Curvas características de sensibilidad de cada gas del MQ4	122
Figura 40. Curva de sensibilidad del metano del sensor MQ4	123

Contenido	Pág.
Figura 41. Calibración del Sensor MQ4 en el aire y cálculo del Ro	123
Figura 42. Temperatura promedio en Guayaquil desde 1961 – 2022	125
Figura 43. Temperatura promedio en Guayaquil desde enero hasta julio de 2022	126
Figura 44. Temperatura máxima y mínima promedio en Guayaquil (1 marzo – 17 julio)	126
Figura 45. Comportamiento de la temperatura en el interior de cada biodigestor BAPE según el tiempo de retención hidráulico (T_{RH})	128
Figura 46. Comportamiento del pH en el interior de cada biodigestor BAPE según el tiempo de retención hidráulico (T_{RH})	129
Figura 47. Variación de producción de CH_4 de cada reactor BAPE con respecto al tiempo de operación (CH_4 vs T_{RH})	130
Figura 48. Dimensionamiento frecuente de los patios participantes	132
Figura 49. Tipos de dimensionamiento de las viviendas participantes	133
Figura 50. Distribución de un domicilio de la parroquia Ximena	134
Figura 51. Modelo de miniplanta de biogás con un único tanque de almacenamiento	136
Figura 52. Modelo de miniplanta de biogás con tanque colector de almacenamiento	137
Figura 53. Modelo de miniplanta de biogás con tanque invertido con colector de gas	138
Figura 54. Filtros de seguridad y manómetro para el BAPE	138
Figura 55. Modelo de colector de biogás con tanque invertido	142

ÍNDICE DE IMAGENES

Contenido	Pág.
Imagen 1. Estudiantes de la carrera de ingeniería industrial entrevistando a un Miembro del hogar cercano a su sector	50
Imagen 2. Familias voluntarias confirmando su participación en la Clasificación de desechos orgánicos	67
Imagen 3. Estudiantes y miembros del hogar participando en la clasificación de los restos de comida en las viviendas	70
Imagen 4. Clasificación de restos de comida mezclada de un hogar	70
Imagen 5. (a) Diferentes tipos de residuos orgánicos para ser triturados de un grupo de familias (b) muestra triturada para su respectivo análisis Elemental y de contenido energético (400 g y 100g) en los laboratorios AGRORUM y UG	71
Imagen 6. (a) Materia orgánica triturada de un grupo de familias para su respectivo análisis, % humedad y contenido energético (100g) (b) Muestra seca a 105°C (c) Estudiante colaborando en el análisis de secado de materia orgánica en el laboratorio de Facultad de Ingeniería Industrial	79
Imagen 7. (a) Materia orgánica triturada y pesada 100 g (b) muestra de un grupo de 10 familias identificadas según el líder de cada zona y la materia orgánica seca a 105°C	79
Imagen 8. Biodigestor discontinuo tipo Batch experimental y artesanal	91

LISTA DE ABREVIATURAS

%H: porcentaje de humedad

AGRORUM: Agro-productivo, alimentario y medio ambiental

AGV: ácidos grasos volátiles

BAPE: biodigestor artesanal a pequeña escala experimental

Bt: Potencial de metano teórico

C/N: Relación carbón/ nitrógeno

CE: Conductividad eléctrica

DA: Digestión anaerobia

DQO: demanda química de oxígeno

FORSU: fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos

GADM: Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales

GIRSM: Gestión integral de los residuos sólidos municipales

GLP: gas licuado de petróleo

MOBR: Materia rápidamente biodegradable

Mt: Millones de toneladas

PBM: Potencial bioquímico de metano

PCI: poder calórico inferior

PCS: poder calórico superior

pH: potencial de Hidrógeno

PPC: Producción per cápita

RC: Resto de comida

RL: Resistencia de carga

Ro: resistencia en el aire

ROU: residuos orgánicos urbanos

Rs: resistencia de sensibilidad

RSD: Residuos Sólidos Domésticos

RSM: Residuos sólidos municipales

RSU: Residuos sólidos urbanos

ST: Sólidos totales

SV: Sólidos volátiles

T_{RH}: Tiempo retención hidráulica

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

A. INTRODUCCIÓN

La población a nivel mundial es dependiente de los recursos naturales para satisfacer sus necesidades como son: la alimentación, salud, y servicios energéticos, entre otros (Ballardo, 2016; Percebois y Pommeret, 2021). Para ejemplificar, los países que más consumen un tipo de energía no renovable como es el gas licuado de petróleo (GLP) en millones de toneladas (Mt) son: EEUU con 772 Mt, Rusia (512 Mt), Arabia Saudita (502 Mt) y América Latina con 327 Mt. A pesar, de que este recurso disminuyó en 6,1% en 2020 debido a la pandemia del Covid-19, la disminución fue más paulatina que la de otros recursos fósiles (ENERDATA, 2021). El consumo de fuentes no renovables a nivel mundial fue de 72%, mientras que las renovables solo representan un 28% según se detalla en el anuario estadístico de energía y clima mundial Enerdata (2021). Continuando con la idea anterior, añadimos el incremento poblacional que genera más demanda de satisfacción de necesidades y recursos a nivel mundial. Esta insuficiencia de recursos y exigencias de necesidades de las poblaciones crecientes ocasiona dependencia energética. Tal situación, podría colapsar en una guerra energética a nivel local, nacional y mundial que pueden afectar a las economías de los países.

Coello et al. (2019a) mencionan que: *“desde el año 2013 surge el pensamiento, por parte de las entidades gubernamentales, disminuir el uso del gas importado interno que era de 88% mediante la idea de implementar cocinas de inducción”* (p.1). La autora Coello (2019) indica, que el propósito era disminuir a partir del año 2015 *“el subsidio al gas de uso doméstico”* el cual alcanzó los \$700 millones. La proyección del Gobierno era que en un lapso de tiempo de tres años se crearan y mejoraran las infraestructuras hidroeléctricas con el fin de promover una campaña de ahorro en lo que concierne al recurso fósil del gas licuado (GLP) (Coello et al., 2019a). Se consideró esta propuesta totalmente viable ya que Ecuador cuenta con recursos hídricos abundantes, sin embargo, la mayoría de los ecuatorianos se aferran al consumo de GLP por su bajo costo y porque está al alcance de su bolsillo poder adquirirlo (Beltrán y Velasteguí, 2021). Desde el año 2016, se ha venido incrementado la demanda de gas doméstico se despacharon 1063 millones de kilogramos (EP Petroecuador, 2016), de este tipo de energía fósil. La empresa pública Petroecuador describe en su informe de gestión acerca de los subsidios derivados del gas, que el 60% se usó en sector doméstico, es decir, aproximadamente 2000 millones de dólares (EP Petroecuador, 2010; Agencia de Regulación y Control Hidrocarburíferas. 2016).

Actualmente, el subsidio del gas de cocina ha sido y es un tema polémico de carácter político – social – económico, Ecuador se encuentra en el dilema de si elimina o no tal subsidio al gas licuado de petróleo (GLP) que es la energía fósil de mayor consumo residencial a nivel nacional. Autoridades gubernamentales de periodos anteriores (Coello, 2019a; Petroecuador, 2021) y actuales han considerado la posibilidad de eliminar tal subsidio; aunque hasta la actualidad, no hay una decisión definitiva al respecto. Por otro lado, debido al incremento de la demanda de este tipo de recurso fósil y con la escasa infraestructura para refinarlo, ambas cuestiones afectan a las importaciones del derivado (Coello et al., 2019a), esto se debe al alza de los precios internacionales y a la variación de los precios internos que han sido mínimos o casi nulos en periodos extensos de tiempo, lo cual provocó que los subsidios crezcan y afecten la economía del país (EP Petroecuador, 2021). Otro problema, es la generación de los residuos sólidos urbanos (RSU) de las grandes urbes metropolitanas.

Según datos del Instituto Nacional de Censos y Estadística (INEC) y de la Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales (GADM), muestran en sus resultados que un ciudadano ecuatoriano del área urbana, genera en promedio 0,58 kilogramos de desechos sólidos; sin contar los residuos asociados a la actividad industrial (EC INEC, 2018, Coello et al., 2021b). En el estudio sobre las relaciones entre los factores sociodemográficos con los de producción de CH₄, la autora Coello (2019a), que “la gestión de los biorresiduos orgánicos es un reto al que se debe enfrentar la ciudadanía ecuatoriana actual, dada su generación creciente y su gran impacto ambiental, social y económico a nivel local, regional y nacional” (EC INEC, 2018; UNICEF, 2020 pág37; SENAGUA, 2016). Con estos pensamientos, se puede indicar que Ecuador requiere de tecnologías verdes que no contaminen nuestro hábitat y entorno, ya que el recurso hídrico el cual provee energía hidroeléctrica no tiene garantizada su sostenibilidad (Pacheco, 2016; Percebois y Pommeret, 2021). Ambos problemas, como el aumento de consumo de energía fósil y generación de desechos en los vertederos guardan una relación que puede dar solución a la economía del país y de la mejora del medio ambiente a partir de valorizar el sustrato orgánico que se genera en los hogares ecuatorianos.

A.1 Acercamiento al tema objeto de estudio y su interés.

El estudio de la valoración energética de los residuos sólidos orgánicos urbanos de la ciudad de Guayaquil tiene como fin proporcionar dos posibles soluciones: primera, una

nueva opción de ahorro del consumo de gas para los hogares ecuatorianos y, por ende, tendrá un impacto positivo en la economía del país al verse reducida la cantidad de gas licuado de petróleo (GLP) subsidiado y de la reducción de desechos orgánicos en los vertederos (Coello et al. 2022c). Como segundo suceso, se pretende describir el proceso de diseño de un modelo biodigestor conceptual - experimental que permita detallar las condiciones idóneas para su uso (variables de control del dispositivo) y finalmente comprobar si estos restos de comida generados producen más del 45% de biogás para su respectivo uso como sustituto del gas doméstico (Delgado, 2021; Coello et al., 2021b).

Con estas alternativas, fundamentamos nuestra propuesta de un prototipo biodigestor anaerobio para uso urbano de generación sostenible, a bajo costo en beneficio de las familias ecuatorianas de los niveles socioeconómicos medio bajo y bajo; y que además supone la implementación del primer biodigestor de este tipo dirigido al mercado ecuatoriano para la zona urbana marginal (Coello et al., 2022b). La meta es usar materia prima de nuestro mercado local, de fácil acceso y adquisición. A su vez de tener, aceptación por parte de las familias estaríamos abriendo oportunidades de empleo (Caraballo y García, 2017), generación de conocimientos, innovación, y cuidado de los recursos naturales y reutilización de los productos de desechos orgánicos para producir biogás (Coello et al., 2021b; Bautista, 2021). También, se beneficia el medio ambiente mejorando las condiciones higiénicas (rellenos sanitarios en los vertederos) del suelo y uso del biogás como fuente alternativa.

Por otro lado, de ser viable y tener la aceptación de las familias ecuatorianas el uso de este dispositivo y evidentemente al ser adoptado por la ciudadanía; estaríamos promoviendo una cultura de ahorro de recursos no renovables. A su vez, también se estaría, educando a la comunidad ecuatoriana en alcanzar una conducta sostenible (Mosquera y Cedeño, 2021). Con el uso del biodigestor doméstico, consideramos que se resolverán en parte una serie de problemas que enfrenta nuestro país, en lo que respecta al subsidio del gas licuado del petróleo (GLP), consumo energético y ambiental. Por ende, la valorización energética de los restos de comida urbana de la ciudad de Guayaquil tiene como objetivo analizar la factibilidad de utilizar energías limpias para disminuir la tasa de consumo del gas domiciliario (G importado). Para lo cual es necesario, realizar un estudio de las tendencias del consumidor energético (gas doméstico), con el fin de acercarnos un poco a la percepción de consumo de las familias urbanas (Coello et al., 2022d). Posteriormente, a partir del análisis de las percepciones y tendencias de consumo

energético y conocimiento de energía, entre otras variables sociodemográficas, de los consumidores pretendemos dar una respuesta que nos permita proponer un sistema biológico que produzca biogás con desechos orgánicos domésticos. A continuación, se realizará la caracterización del sustrato a través del análisis elemental, y de las propiedades fisicoquímicas de la materia orgánica para comprobar si existe producción de biogás a partir de estos restos de comida urbana. En caso de no ser así, ¿qué variables ambientales o de control están interviniendo en el proceso de producción de biogás fuera de lo que conocemos? Finalmente, se expondrá la viabilidad de desarrollar el dispositivo basado en fermentación metánica.

A.2 Aspectos generales de diagnóstico

El estudio se concentró en la Provincia del Guayas del Cantón Guayaquil. La ciudad Santiago de Guayaquil está ubicada a 20 km de la costa sudamericana del Pacífico en la desembocadura del río Guayas, a $2^{\circ}10'S79^{\circ}54'O$, a una altitud promedio de cuatro metros sobre el nivel del mar. El Cantón Guayaquil está distribuido en un conjunto de 25 parroquias, 16 del sector urbano y 9 rurales. De las 16 parroquias que componen al sector urbano se tomó como muestra a 9 parroquias urbana marginales donde se presentan la mayor demanda de consumo de gas doméstico, excluyendo a las parroquias rurales que son cinco (figura 1).



Figura 1. Mapa político del Ecuador y de las provincias que lo compone y detalle ampliado de la Provincia del Guayas. Adaptado por la autora.

Para alcanzar los objetivos específicos se estudiaron nueve sectores considerados los más demandantes, en cuanto a consumo energético y generación de residuos sólidos urbanos. A continuación, especificamos las características del lugar de estudio.

A.2.2 Aspectos sociodemográficos de las zonas de estudio

A.2.2.1 Educación

El nivel de educación en el sector de estudio es heterogéneo y diverso, es decir, la mayoría de los sectores y barrios urbanos y marginales de la ciudad disponen de equipamientos educativos de diversos tipos entre escuelas (1109) y colegios (646) siendo los de mayor cobertura las escuelas fiscales y en minoría las particulares. En los hogares el nivel educativo es variado, teniendo padres con nivel de educación básica, media y escasamente superior, lo mismo ocurre con el nivel educativo de los miembros del hogar donde el nivel educativo es básico, medio o superior. (Dirección de planificación urbana, proyectos y ordenamiento territorial, 2022). La mayoría de los miembros del hogar de clase media baja, baja y muy baja con edades mayores a 18 años asisten a universidades públicas de la ciudad siendo la de mayor demanda de estudio la Universidad de Guayaquil (UG) y con poca demanda la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) donde por lo general las familias son de nivel socioeconómico medio y medio bajo.

A.2.2.2 Salud

La distribución de los equipamientos de salud es homogénea, pero debido al incremento poblacional en ciertas zonas hay carencias de centros de salud pública. Las zonas más afectadas por la falta de cobertura en el área de la salud son los sectores urbanos marginales donde últimamente debido a la migración de otras provincias y cantones de Guayaquil se ven afectados en el tema de salud.

Por el momento, varios sectores cuentan con algunos ministerios de salud con pequeñas atenciones para la vasta población que maneja cada barrio marginal ya que la concentración de hospitales está en la ciudad e inclusive los hospitales de la ciudad de Guayaquil funcionan a escala regional por la demanda de otros servicios especializados.

A.2.2.3 Nivel socioeconómico

El nivel socioeconómico de las familias es variado lo más común es encontrar familias de nivel medio (C+), medio bajo (C-) y bajo (D), en las parroquias urbanas marginales.

A.2.2.4 Estructura ecológica – áreas de protección

En lo que respecta, al límite urbano y sus alrededores, Guayaquil cuenta con áreas de preservación para recreación de los ciudadanos cómo también cuenta con algunos sectores que tienen protección ambiental. Entre las áreas de preservación está el estero de

Viernes Santo, los manglares del Estero Salado la flora y fauna de estos sectores son endémicos, pero estas áreas se encuentran constantemente amenazadas por la urbanización informal. La ciudad también cuenta con un sistema de áreas verdes compuesto por plazas, parques y áreas de reserva dentro y fuera de los límites urbanos (Dirección de planificación urbana, proyectos y ordenamiento territorial, 2022).

B. Objetivos del estudio

B.1. Objetivo General

Analizar la factibilidad de uso de la energía de Biomasa para disminuir la tasa de consumo del gas domiciliario (GLP) importado a través de la evaluación del contenido energético de diferentes residuos de comida urbana mediante el análisis elemental de sus propiedades fisicoquímicas en un prototipo de digestor artesanal doméstico.

B.1.2 Objetivos específicos

- i.** Elaborar un instrumento de recolección de información basado en los criterios de segmentación (demográficos, geográficos, psicográfica, de comportamiento) para su respectiva validación e identificación de los espacios de desarrollo tecnológico que se abren al contar con fuentes de energías limpias según las tendencias y percepción del consumidor energético de gas doméstico (GLP).
- ii.** Caracterizar la relación C/N de los sustratos orgánicos para evaluar las condiciones físicas químicas y biológicas de los restos de comida de los hogares guayaquileños para producción de biogás de las familias participantes.
- iii.** Estudiar los diferentes modelos de biodigestores basado en la tecnología de fermentación metánica y de su régimen de alimentación para modelar un esquema conceptual experimental del reactor ideal para producción de biogás a través de la técnica de la ingeniería del diseño conceptual.
- iv.** Evaluar las condiciones ambientales y de control de un dispositivo de biodigestor artesanal a pequeña escala (BAPE) experimental para comprobar la producción de metano a más del 45%.
- v.** Establecer un régimen de alimentación del biodigestor anaerobio con una mezcla de residuos en cantidades adecuadas, consiguiendo una estabilización del proceso y una producción de biogás significativa.

C. Fundamento de la digestión anaerobia (DA)

Los sistemas de biogás y digestión anaerobia (DA) están diseñados para convertir residuos orgánicos o materiales biodegradables en un gas rico en metano aprovechable y un digestato estabilizado a través de una técnica bien documentada para el proceso biológico complejo. En la DA la fase de operación tendrá éxito si se consigue un ambiente favorable para el crecimiento de las bacterias o microorganismos y se mantiene una población estable. Si se alcanza este objetivo, los microorganismos convertirán eficazmente los sustratos orgánicos fácilmente biodegradables en biogás. El resultado de esta fase es que si se generan otros gases o productos pueden ser capturados y utilizados, inhibiendo su liberación a la biósfera (Luz Gallego et al., 2022). Para llegar a esta fase, es necesario comprender el sistema complejo de la ingeniería biológica y mecánica que deben trabajar en armonía para que su operación sea eficiente. En otras palabras, si se tiene un sistema mecánico de bajo rendimiento limitará la capacidad del sistema DA/biogás para efectuar los procesos biológicos necesarios. Si el error viene del sistema biológico independientemente de tener un sistema mecánico eficaz, éste sólo será útil para mover la materia orgánica ineficaz fuera del depósito del reactor. Este error requerirá que se dé un reinicio del proceso (Environmental Protection Agency EPA, 2020).

C.1 Conceptos básicos del digestor

C1.1 ¿Qué hace un digestor anaerobio?

En términos resumidos, los microbios anaeróbicos dentro del reactor degradan el sustrato orgánico para conseguir energía y nutrientes para el crecimiento y la reproducción. A través de este proceso, se obtiene un subproducto que es el biogás, su compuesto principalmente es CH_4 . Este biogás, que se produce de la mezcla de gases combustibles, se compone de metano en un 50 a 75% y de dióxido de carbono (CO_2) en un 25 – 45% (figura 2), metilmercaptanos, oxígeno, y pequeñas cantidades de ácido sulfhídrico (H_2S) y amoníaco (NH_3), estos últimos deben ser eliminados para ciertos usos del biogás (F. Granzotto et al., 2021). De acuerdo con la composición del biogás, el CH_4 al estar presente en mayor porcentaje es el gas que le confiere las características de combustibles. López y Suárez (2018), en sus indagaciones sobre cómo distribuir biogás para una comunidad con estiércol porcino cita de Werner et al. (1989) que el valor energético del biogás está determinado por la concentración del CH_4 con valores entre 20 MJ/m^3 a 25 MJ/m^3 , comparado con 33-38 MJ/m^3 en el gas natural.

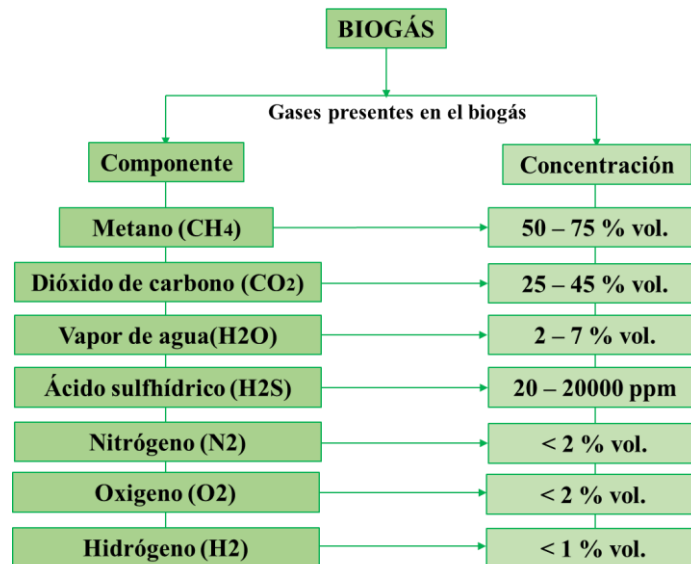


Figura 2. Composición del subproducto biogás dentro de un digestor anaerobio

En otras palabras, “esta liberación de energía” permitiría usar al biogás como un combustible de bajo costo en cualquier país, es decir, sus usos pueden ser: calefacción, cocción e incluso en energía eléctrica o mecánica. A continuación, se muestra el biogás equivalente a diferentes combustibles y principales funciones de la digestión anaerobia o fermentación metánica (tabla 1)

Tabla 1. Funciones de la DA y equivalencia a otros combustibles del biogás

Funciones	Equivalencia
1. Convierte el sustrato orgánico biodegradable en biogás, que puede venderse como combustible o quemado para el uso de energía en granjas.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 1 Kg de leña \geq 0,2 m³ de biogás ▪ 1 Kg de estiércol seco de vaca \geq 0,1 m³ de biogás
2. Reduce la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO).	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 1 Kg de carbón vegetal \geq 0,5 m³ de biogás
3. Reducción de olores.	
4. Convierte nitrógeno orgánico en formas más disponibles para las plantas que puedan usarse como fertilizante.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 1 litro de queroseno \geq 2,0 m³ de biogás
5. Reduce los patógenos.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0,76 m³ de gas natural \geq 1,0 m³ de biogás
6. Captura CH ₄ que de otro modo sería liberado.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0,45 litros de GLP \geq 1,0 m³ de biogás

Fuente: Environmental Protection Agency EPA, 2020.

El biogás es un combustible renovable y la electricidad producida a partir de él se puede utilizar para atraer subsidios de energía renovable en algunas partes del mundo.

C.1.2 ¿Cómo funciona un digestor anaeróbico?

Cómo se explicó en párrafos anteriores, las transformaciones bioquímicas en un reactor anaerobio son muy complejas. Sabemos que los microorganismos son los protagonistas principales, ellos son los que fraccionan la biomasa fácilmente biodegradable para crear biogás. Esta biomasa, anaeróbicamente se descompone de forma natural bajo ciertas condiciones de humedad, sin presencia de oxígeno (Obileke, 2021). Para tener una idea de lo antedicho, se puede ejemplificar este proceso que se da de manera común en los depósitos del fondo de lagos y estanques, pantanos, y el interior de los vertederos de residuos sólidos urbanos (RSU). El proceso de DA implica cuatro fases: la primera fase es la hidrólisis, en esta etapa la biomasa compleja se descompone en compuestos orgánicos simples (hidrolítico), es decir, proteínas, carbohidratos, etc. En la segunda etapa acidogénesis, estos microorganismos fermentan los compuestos simples en cadenas cortas (ácidos grasos volátiles, AGV), CO₂ y gases de hidrógeno.

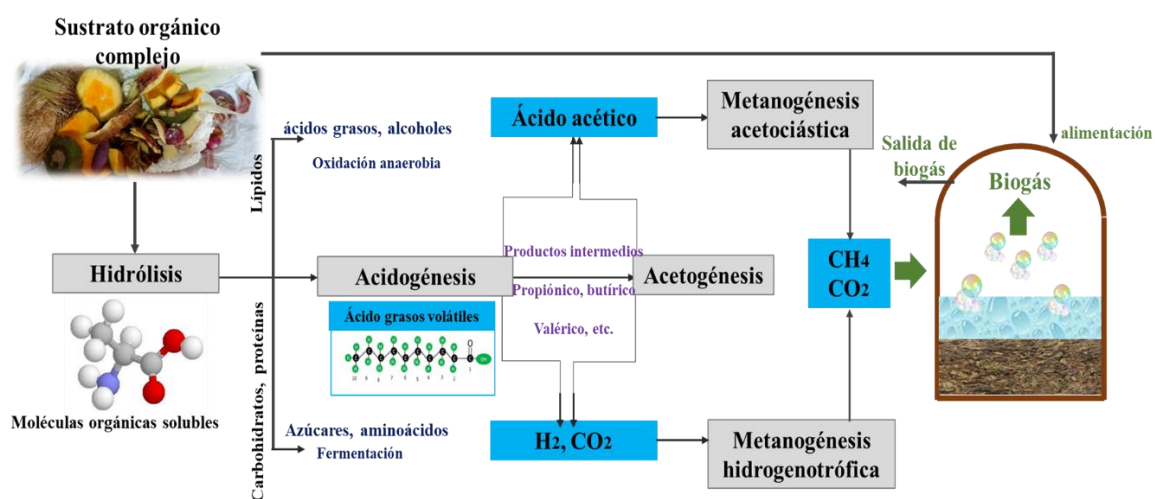


Figura 3. Esquema de la degradación de la biomasa en el proceso de DA.

En la tercera fase que es la acetogénesis, se convierte a los AGV en acetato (ácido acético) de diversas fuentes de energía liberando más CO₂ e hidrógeno (H₂), esta diversidad de bacterias se las conoce colectivamente como acetógenos. Como última etapa, está la metanogénesis los microorganismos producen CH₄ entre el 50 al 75% (Xiaofei Zhao et al., 2019). En esta fase el ácido acético y el hidrógeno se convierten en biogás por los llamados metanógenos formando otros gases descritos en párrafos anteriores. Hay dos variedades de metanógenos: un tipo que convierte el acético ácido a CH₄, mientras que el otro tipo combina el hidrógeno y CO₂ en CH₄; algunos metanógenos

únicos pueden hacer ambas cosas (figura 3). Para conservar estos metanógenos, la tasa de pérdida de metanógenos en el efluente del reactor no debe ser superior a la tasa de crecimiento del metanógeno. Esto se puede mantener a través del control del tiempo de retención hidráulica (T_{RH}) en que el sustrato orgánico estará en el reactor respetando los valores de diseños específicos del reactor para los tiempos de residencia o retención hidráulica (Environmental Protection Agency EPA, 2020; Xiaofei Zhao et al., 2019). En síntesis, la máxima producción de gas se da según el tipo de sustrato y la cantidad de materia prima que se coloque en el reactor.

C.1.3. Propiedades y beneficios del biogás.

La producción de biogás tiene ciertas propiedades, su dependencia está en la presión, la temperatura y el contenido de humedad. Existen otros parámetros que pueden ser afectados por estas tres variables como la variación en: el volumen, poder calorífico y el contenido de vapor de agua. El poder calorífico del biogás es de aproximadamente 6 kWh/m³ y depende de la eficiencia de los quemadores o dispositivos de uso (RedBioLAC, 2015; Aponte, 2021). Los sistemas basados en la fermentación metánica o tecnología anaerobia que son eficientes generan ciertos beneficios para quienes aplican este tipo de energía basado en la biomasa. Entre las que podemos mencionar esta su uso en producción de energía, reducción de desechos orgánicos en los vertederos, transformación de sustrato orgánico en abono de alta calidad, protección del ecosistema, mejora en la economía a nivel macro y micro del país al sustituir combustibles fósiles por renovables y en la ganadería a través de la sustitución de energía y fertilizantes (De Oliveira et al., 2021; Caraballo y García, 2017). Por lo tanto, la tecnología de la biomasa puede aportar esencialmente a la preservación y el desarrollo de un país, si los contextos concretos son propicios. Sin embargo, entre las limitaciones estaría los ingresos e inversiones por parte de los gobiernos y de la tecnología anaerobia que conviene ser estimados cuidadosamente.

C.1.4. Tecnología de biogás doméstico

En la actualidad, la tecnología del biogás se utiliza en el sector industrial y en el área rural donde se aprovecha los productos resultantes con fines energéticos. Las plantas domésticas basadas en sistemas anaerobios convierten las excretas de los animales y humanos a una escala pequeña, pero valiosas cantidades de gas metano en combustible usados para cocción de alimentos y energía lumínica. El biolodo que se produce se

recolecta como fertilizante orgánico para optimizar la productividad agrícola. Aproximadamente, con 20 kg de estiércol se puede alimentar un dispositivo anaerobio, los cuáles muchos de ellos se conectan con los inodoros de los hogares. En Ecuador el uso de biodigestores es usado a nivel rural no se tiene plantas domésticas en los hogares urbanos.

Tabla 2. Hogares que clasifican según el tipo de residuo, periodo 2010 – 2019, por año, nacional, área (urbano – rural)

Año	Desagregación	Orgánicos	Papel-Cartón	Plástico	Vidrio	Metal	Tetrapak
		%	%	%	%	%	%
2010	Nacional	15,2%	19,7%	17,5%	-	-	-
2011	Nacional	14,2%	22,3%	23,2%	-	-	-
2012	Nacional	20,4%	20,7%	25,4%	-	-	-
2013	Nacional	14,7%	15,3%	19,7%	11,4%	-	-
2014	Nacional	22,8%	20,9%	31,5%	12,7%	-	-
2015	Nacional	22,8%	21,7%	32,7%	12,3%	-	-
2016	Nacional	25,1%	24,5%	34,1%	15,1%	-	-
2017	Nacional	27,0%	21,4%	33,0%	12,7%	-	-
2018	Nacional	33,2%	32,0%	37,4%	17,6%	15,5%	9,9%
2019	Nacional	40,1%	37,7%	46,0%	20,1%	20,2%	11,0%
	Urbano	29,3%	38,2%	48,3%	18,9%	18,0%	10,8%
	Rural	64,5%	36,5%	40,8%	22,8%	25,1%	11,5%

Fuente: Módulo de Información Ambiental en Hogares - Encuesta ENEMDU (2010 - 2017), Encuesta Seguimiento al Plan Nacional de Desarrollo (ESPND) 2018-2019. (INEC, 2019c)

Consideramos que, debido a las demandas y necesidades de la población ecuatoriana y el aumento de desechos en los vertederos, se podría aprovechar esta materia orgánica para ser utilizada como un recurso energético renovable en sustitución de ciertos combustibles fósiles como lo es, el gas de uso doméstico. Por ejemplo, desde el año 2010 la cultura del reciclaje de los desechos orgánicos de un 15,2% se incrementó a un 40,1% para el año 2019 a nivel nacional (tabla 2). Pero, ¿Quiénes están aprovechando este recurso orgánico? El sector rural con un 64,5%; donde el 56,28% está destinado al compostaje y lombricultura y digestión anaerobia, el 8,22% menciona que los quema. Cómo podemos visualizar en la tabla 3 el sector urbano no manifiesta una cultura de reciclaje se tiene que en el año 2019 el porcentaje es de 77%, tal desecho al no ser aprovechados se incrementa cada vez más en los vertederos dañando el medio ambiente debido a los gases que se generan.

Tabla 3. Cómo los hogares eliminaron los residuos orgánicos, periodo 2010 – 2019, por año, nacional, área (urbano – rural)

Año	Desagregación	Envío a un centro de acopio o depositó en un contenedor especial		Regaló (escuela, vecina..), vendió		Depositó con el resto de la basura común	
		Número	%	Número	%	Número	%
2015	Nacional	116.321	6,71%	75.267	4,34%	869.067	50,11%
2016	Nacional	108.437	5,92%	78.157	4,26%	873.577	47,66%
2017	Nacional	114.861	5,33%	77.112	3,58%	988.672	45,89%
2018	Nacional	188.367	3,90%	63.268	1,30%	3.067.335	63,90%
2019	Nacional	91.059	2,00%	73.982	1,60%	2.878.447	62,25%
	Urbano	76.655	2,40%	62.424	1,90%	491.136	15,31%
	Rural	14.404	1,00%	11.558	0,80%	797.529	56,28%

Fuente: Módulo de Información Ambiental en Hogares - Encuesta ENEMDU (2010 - 2017), Encuesta Seguimiento al Plan Nacional de Desarrollo (ESPND) 2018-2019. (INEC, 2019c)

Continuando con la idea de la tecnología doméstica del biogás, creemos que usar estos sustratos como materia prima para alimentar un reactor anaerobio destinado al área urbana se puede realizar a manera piloto. Un diagrama que demuestra diferentes métodos para determinar el potencial de biometano se presenta en la figura 4.

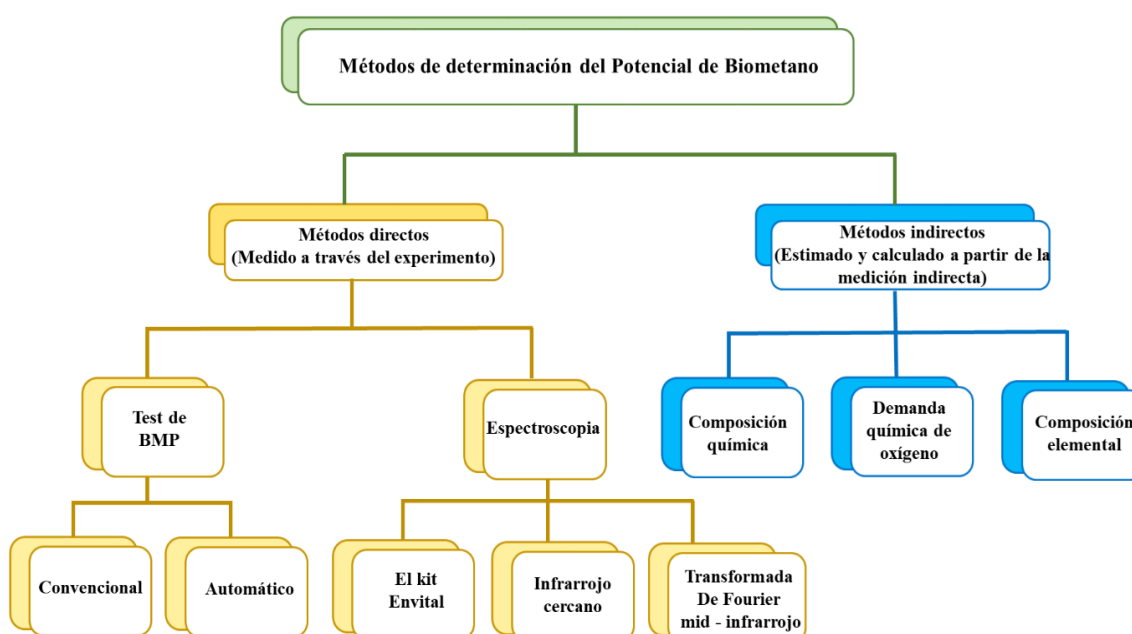


Figura 4. Métodos de determinación del potencial de biometano

Existen dos métodos experimentales para determinar el potencial bioquímico de metano (BMP), por el método directo o indirecto. El primer método, consiste en una metodología experimental, es un ensayo que estudia la digestibilidad por lotes (Batch) a

escala de laboratorio (Environmental Protection Agency EPA, 2020; Hegde y Trabold, 2019). En este tipo de digestor al sustrato se le agrega un reactivo, convirtiéndolo en elementos orgánicos sencillos a través del proceso de la nutrición, a esto se le conoce como “heterótrofos anaeróbicos” y “metanógenos”. Este tipo de ensayo piloto experimental puede ser esencialmente ventajoso para experimentar el uso con éxito de la digestión anaerobia para mezclas de estiércol y otros sustratos orgánicos, por ejemplo, los restos de comida mezclada urbana. El modelo Batch o por lotes permite determinar específicamente el BMP ya que el ensayo de los sustratos combinados en las proporciones esperadas es más exacto capturando cualquier posible efecto sinérgico; también reduce el número de pruebas y por lo tanto los costos (Gómez, 2020; Gupta, Ratnakar, Rao y Kumar, 2021).

Estos tipos de pruebas del potencial de CH₄ se realizan en condiciones controladas y tienden a sobreestimar el biogás producido en comparación con las condiciones reales de campo a escala mayor. Por otro lado, si se desea tener mayor precisión del cálculo de la producción de biogás, pero con costos más elevados, sería el diseño de un reactor a escala real de una planta piloto con simulaciones de las condiciones operativas esperadas para un diseño de un dispositivo anaerobio a gran escala. Este tipo de trabajo de ensayos pilotos a escala de planta es típico en evaluaciones para sistemas municipales, pero es poco común para sistemas domésticos de uso rural o urbano.

En segundo lugar, tenemos a los métodos indirectos, en esta técnica se evalúan y deducen a partir de medidas indirectas, es decir, del análisis de diferentes cuantificaciones como lo es: los sólidos totales (ST), demanda química de oxígeno (DQO) y los sólidos volátiles (SV), en combinación con procesamiento de datos posteriores para valorar la producción de biogás. Otra característica del método, es que son relativamente rápidos, de menor costo, pero también requieren supuestos sobre la biodegradabilidad. Cabe indicar, que los métodos indirectos son estimaciones basadas en hipótesis, los resultados son menos precisos que las mediciones directas (Hilbert, s.f; Huerga, Butti, Llorente y Mato, 2020). Por ello, proponemos realizar un estudio de valoración y aprovechamiento de estos restos de comida mezclada que se generan en los hogares sin ser pretratado. El potencial para producir biogás a partir de los residuos orgánicos se puede determinar tanto experimental como teóricamente. A continuación, explicamos el procedimiento a seguir en este estudio.

D. Material y métodos

La metodología de este estudio doctoral se basa en una investigación mixta (cualitativa – cuantitativa) la cual permite triangular de manera eficiente los datos obtenidos de las fuentes primarias (investigaciones documentales y bibliográficas) y secundarias (encuestas). El diseño del estudio es de tipo exploratorio basado en diseños no experimentales y experimentales según los objetivos que se deseen demostrar.

Debido a la gran información obtenida en esta exploración se procede a trabajar cada objetivo como un capítulo en el que detallamos y fundamentamos el tema de nuestro trabajo sobre: “la valoración energética de los residuos orgánicos urbanos”, con el propósito de dar respuesta a una situación problemática sobre el consumo de gas doméstico. La descripción de la selección de los participantes del estudio (muestra), el diseño y técnicas estadísticas para validar cada uno de los objetivos propuestos se detallarán en cada capítulo.

CAPÍTULO 2

**ESTUDIO CUALITATIVO DEL CONTENIDO, INTERPRETACIÓN Y
COMPRENSIÓN EXEGÉTICA DE LA BIOMASA URBANA Y DE LAS
TÉCNICAS QUE SE ESTÁN REALIZANDO A NIVEL REGIONAL Y LOCAL
EN ECUADOR**

A. Introducción

La valoración energética de los residuos orgánicos urbanos (ROU) y su tratamiento a escala mundial tiene como fin reducir los impactos climático y ambientales nocivos. Por ejemplo, Carhuanco y León (2015) mencionan que tales externalidades negativas ambientales, pueden afectar al ecosistema y a la humanidad. Coello et al. (2021b) menciona que “el propósito es recobrar y restituir estos restos vegetales, frutas y comida urbana como materia prima en las cadenas de valor”. En otras palabras, los autores diagnostican que las previsiones sobre el crecimiento de los RSU, en la provincia de Guayas crecen año a año debido al consumo descomedido de recursos e incremento poblacional (INEC, 2018; Coello et al., 2022c).

Por lo tanto, es preciso utilizar métodos adecuados para valorar estos desechos orgánicos entre los beneficios de la reposición de los RSU y su valor pueden ser: entradas monetarias, mercantilización y expansión del producto, disminución de desechos en vertederos (extensión de la vida útil), capital económico en la operación de procedimiento en los vertederos (Tello et al., 2018). Por ejemplo, Europa se caracteriza por tener una cultura de recuperación de energía hondamente radicada y comprometida relacionada al patrocinio del ecosistema. Las naciones europeas invierten mucho en métodos y tratamientos basados tecnología limpia; sus niveles de vertido son inferiores al 3%, lo que significa que se tiene una buena cultura del reciclaje para convertir RSU (Caraballo y García, 2017). Los países de América del Norte poseen un alto volumen estimado de desechos alimentarios per cápita siendo el más alto del mundo, sumando a esto los 168 millones de toneladas de alimentos perdidos y desperdiciados (APD) al año aproximadamente (Gustavsson et al., 2013; CCA, 2017). En cuanto, a los países de América Latina y el Caribe (LAC) se tiene que el 80% de sus habitantes viven en las ciudades en proceso de urbanización las cuales se mantienen en un aumento continuo en los sectores urbanos marginales (Coello et al., 2022d).

Según, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), en sus estadísticas detalla que la generación per cápita de Residuos Sólidos Domésticos (RSD) y Residuos Sólidos Urbanos (RSU) es de 0,6 kg/hab/día y 0,9 kg/hab/día (Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat, 2009; Rondón E., Szantó M., Pacheco J., y Contreras E., 2016); pero que podemos decir de Ecuador en cuanto a si tiene una cultura de reciclaje, existen proyectos o metodologías que traten de valorar a estos RSU o más bien ¿Cuál es su situación de valoración de la

biomasa y su consumo energético a nivel nacional, regional o local? En cuanto a, consumo energético en Ecuador el Balance energético del año 2020 indica que el recurso hídrico tuvo un crecimiento del 118 % como producción de energía renovable (EC MERNNR, 2019b).

De acuerdo, con el informe del Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables, la producción de petróleo fue de un 86,3 %, gas natural un 4,3% mientras que las fuentes renovables (hidroenergía, leña, productos de caña, energía eólica, fotovoltaica y biogás) un 9,4 %; en el año 2020. Esto implica, que en una década la demanda energética superó a la producción de energía secundaria. En otras palabras, Ecuador requiere importar recursos energéticos secundarios para cubrir parte de la demanda existente (EC MERNNR, 2020). A partir de este escenario, la demanda energética creció al 14,3 % en los últimos diez años, los sectores de mayor consumo son: transporte (45.4 %), industria (17.4%) y residencial (15.7%). A esta situación demandante de consumo energético se suma “la pureza del uso de energía”, es decir, la tasa entre las emisiones de dióxido de carbono con el consumo energético.

En esta última década, tal indicador se incrementó en un 14.2%, en una menor proporción que el consumo final de la energía. Continuando con esta idea, la fuente energética renovable de mayor consumo para este año 2021 es el recurso hídrico, tal recurso disminuyó a mínimos históricos el uso de energía fósil.

No obstante, este uso desmedido de producir electricidad es muy dependiente del agua; el cual también es un recurso natural de disponibilidad variable (SENAGUA, 2016; Guzmán N., 2021; Lentini, E., 2022). Otro factor latente y preocupante, es el consumo del gas licuado de petróleo (GLP) la demanda se disparó en el sector residencial en un 88,64 % (EC MERNNR, 2019a). Desde el año 2014, se promovió la disminución de este tipo de recurso energético (gas domiciliario) al proponer las cocinas de inducción con subsidios por parte del Gobierno hasta el 80% durante dos años. A pesar, de que pocas familias se motivaron al uso de una cocina de inducción los costes en energía eléctrica no representaban ningún decremento en sus pagos mensuales. El precio de las cocinas de inducción no se encontraba al alcance de las familias de estrato social medio bajo; actualmente se tiene 77497 cocinas de inducción almacenadas, cubriendo un área de 5500 metros, situada en el kilómetro 22,5 de la vía Perimetral, en Guayaquil (Torres, 2020). Otro problema, que se generó fue el uso de ambos recursos gas doméstico (fósil) y consumo eléctrico (hidroeléctrico). Además, se sumó a esto el uso del gas doméstico en los vehículos ligeros, la especulación del precio del gas y ventas ilegales en la frontera.

Así que, en vez de tener una disminución del coste energético, este se incrementó principalmente en el sector residencial; la electricidad en un 31,7% (25,418 GWh) y el gas en un 71,4% (82 millones de cilindros de 15 kg). Ambas propuestas de implementaciones presentaron desafíos que en vez de mejorar la economía del país y disminuir el consumo energético lo dispararon (EC MERNNR, 2020)

Ecuador es un país rico en biomasa que actualmente no es utilizada ampliamente como un recurso energético para producción de biocombustibles; la mayor aplicación está en el compostaje y Lombricultura (Ministerio del Ambiente y Agua del Ecuador, 2020). A pesar de tener una vasta y variada producción agrícola, la biomasa generada tanto en el sector agrícola y urbano en sus cuatros regiones Costa, Sierra, Oriente y Región Insular que es excluida, no es vista como un potencial energético. La biomasa agrícola para generar energía puede producir severos daños ambientales o repercutir en la provisión de alimentos, mientras la biomasa que proviene de residuos de las áreas urbanas es una alternativa, pues esta no tiene valor ecológico o agrícola (Heinrichs, A., 2011; Voinov y Arodudu et al., 2014; Gupta, A. et al., 2021).

El aprovechamiento y valorización de los biorresiduos orgánicos urbanos que se generan en las grandes urbes metropolitanas del país, es una etapa significativa internamente de la Gestión integral de los residuos sólidos municipales (GIRSM). Al reciclar tales desechos, se pueden obtener nutrientes (abonos orgánicos) que pueden ser aprovechados para generar energía a partir del biogás. Cabe indicar, que al reciclar los residuos sólidos municipales (RSM) se contribuye con la Economía Circular al utilizar los abonos orgánicos (nutrientes) en proyectos de agricultura orgánica como en la generación de energía y suministrarla a nuevos ciclos productivos.

No obstante, el proceso que siguen los municipios regionales y cantonales para garantizar y valorizar estos RSM consisten en: reducción de la fuente, redistribución a personas y animales, compostaje (casero, descentralizado a pequeña escala, digestión anaerobia), tratamiento mecánico biológico y recuperación de biogás en relleno sanitario (incineración, coprocesamiento, gasificación, vertedero) todos estos aspectos son preferibles si son de menos costo neto (Ministerio del Ambiente y Agua del Ecuador, 2020; ESIN, 2014).

Para valorizar la biomasa urbana se aplica la siguiente jerarquía con un orden de prioridad (figura 5) fundamentada en las normativas ambientales que se debe aplicar en la gestión de residuos sólidos orgánicos municipales para cuatro regiones del país (Costa, Sierra, Oriente e Insular).

De acuerdo con la jerarquía, en la etapa tres se procede con la clasificación de estos desechos para su respectivo aprovechamiento aplicando el método más idóneo (aerobio, anaerobio y secado) según lo que se requiera obtener de estos biorresiduos.



Figura 5. Principios de jerarquización de la Gestión residuos sólidos orgánicos
Fuente: MAE-PNGIDS (2021). Adaptado por Silvia Coello

Por ende, proponemos realizar un análisis cualitativo del contenido, interpretación y comprensión exegética de la Biomasa urbana y de las técnicas que se están realizando a nivel regional y local en Ecuador. El propósito es promover una mayor contribución de las energías limpias como una opción primordial para transformar la matriz energética en el país.

B. Objetivo General

Analizar a través de un estudio documental y bibliográfico sobre las metodologías de tratamiento que se están realizando a nivel regional y local para valorizar la biomasa en Ecuador.

B.1. Objetivos específicos

1. Indagar mediante la búsqueda científica las principales técnicas y métodos de tratamiento para uso correcto de la biomasa en Ecuador
2. Proponer una técnica idónea para la valorización energética de residuos orgánicos para el sector urbano marginal según los resultados obtenidos en la revisión bibliográfica a nivel de Ecuador.

C. Material y métodos

C.1 Diseño de la investigación

La investigación tiene un diseño no experimental y se basa en un estudio cualitativo que busca la interpretación y comprensión hermenéutica del problema sobre: la valoración energética y tratamientos de los residuos sólidos en Ecuador. Por los objetivos de la investigación, será un estudio de carácter descriptivo, explicativo y exploratorio basado en fuentes secundarias; como también, en la consulta a diferentes entidades públicas y privadas que han realizado proyectos en el campo de la biomasa con tecnología renovables sobre el contenido a tratar (técnica de información de contenido).

D. Resultados y discusión

D.1 Análisis cualitativo del contenido, interpretación y comprensión exegética de la Biomasa urbana y de las técnicas que se están realizando a nivel regional y local en Ecuador

Basándonos en la técnica de información de contenido, se han localizado 9 proyectos relacionado con la Biomasa, y 15 entidades educativas públicas realizando investigaciones en tecnología limpia conocida como “Waste to Energy” (WtE); aproximadamente 9 instituciones y empresas se dedican a promover el uso de tecnología anaerobia, 25 estudios basado en la producción de biogás a través del sustrato orgánico (tabla 4).

Tabla 4. Expresiones de búsqueda empleadas para el caso de investigación

Expresiones de búsqueda	Resultados
Aprovechamiento biomasa en Ecuador	25
Proyectos en biomasa urbana en Ecuador	9
Biodigestores en Ecuador	5
Tecnología Waste to Energy en Ecuador	9

A continuación, exponemos lo hallado con respecto a la Valoración de la biomasa en Ecuador y los proyectos que se han venido desarrollando a través del tiempo.

D.2. Análisis de resultados y discusión de la investigación Documental-Bibliográfica

Los resultados derivados de la búsqueda bibliográfica, se han enumerado en tres puntos. Como primer punto, se presentan las investigaciones verificadas sobre la obtención de biogás mediante la fermentación metánica de restos orgánicos urbanos.

A continuación, se exponen los proyectos realizados o en proceso en el campo sostenible y renovable aplicados en Ecuador a partir de Biomasa, y como último punto se explica los pros y contra de esta tecnología a partir de estudios técnicos empíricos, comprobados acerca de la metodología de metanización de restos de comida urbana.

D.3. Análisis de resultados y discusión de aplicación de tecnologías en biomasa en Ecuador

En cuanto a los resultados bibliográficos en la “Web of SCIENCE, Google Académico, Latindex y Elsevier” se encontró que los estudios y proyectos con respecto al uso de la biomasa urbana en Ecuador son escasos y exploratorios. La mayoría de los proyectos se concentran en los restos agrícolas basados en tecnologías de termovalorización, codigestión o propuestas en gasificación. Entre los métodos de aprovechamiento propuesto por los municipios cantonales a nivel nacional está la metanización, sistema aerobio y de secado.

De acuerdo, con la Constitución Ecuatoriana en el artículo 413 del registro oficial N° 449 (2008) se incita a la disminución del uso de energía fósil (combustibles derivados del petróleo) por otras fuentes alternativas renovables que cubran las necesidades básicas de los diferentes sectores del país con respecto al consumo energético.

Por tales causas, el Ministerio de Electricidad y Energía renovable (MEER) impulsa el aprovechamiento energético de la biomasa residual que se generen en el sector agrícola, industrial, domiciliario (tabla 5), usando tecnología de metanización. Tal motivación, permite la creación del “Programa Nacional de Construcción de Biodigestores” clasificado como prioritario por los Art. 28 y 30 de la Ley de Presupuesto del Sector Público (MAGAP, 2016; ENT/MAE/URC/GEF, 2012; Soria y Carvajal, 2013).

Los resultados nos muestran, que los proyectos relacionados con el aprovechamiento de la biomasa en Ecuador son en su mayoría gestionados por entidades públicas y privadas o la combinación de ellas (tabla 5), cuyos fines permiten la dinamización de la economía ecuatoriana. Algunas entidades privadas se interesan en cómo utilizar la basura orgánica para estudiar la capacidad energética de este tipo de biomasa residual.

El Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER) propuso un dispositivo tecnológico para producir pellets aprovechando el despojo del piñón

después de su proceso de elaboración de aceite vegetal. Otro tipo de biomasa que se aprovecha es la palma africana, arroz y café para producción de biocombustibles (etanol).

Mientras que, nuevos estudios consideran los desechos del plátano para obtención de hidrógeno a través de la técnica de “Gasificación Catalítica en Agua a Temperatura Supercrítica” (Coviello M., Gómez J., Razo C. y Rodríguez A., 2008; SENESCYT; 2014; Ministerio del Ambiente y Agua del Ecuador, 2020; INP, 2021).

Tabla 5. Proyectos de aprovechamiento energético de la biomasa

Proyecto	Financiamiento	Duración	Estado del Proyecto
Implementación de Laboratorio para Termovalorización de biomasa y residuos sólidos urbanos		15-06-2012 al 31-12-2013	
Estudio de alternativas para el aprovechamiento energético de biomasa residual del proyecto Piñón para Galápagos	SENPLADES-IIGE	01-01-2014 al 31-12-2018	
Modelo Cinético e Implementación de Reactor Piloto para Cogasificación de Residuos Sólidos y Carbón Vegetal para producción de Combustibles	SENESCYT-IIGE	25-06-2013 al 24-04-2015	Finalizado
Producción de Hidrógeno a partir de la biomasa procedente de los residuos de la planta de banano mediante gasificación catalítica en agua a temperatura supercrítica		16-05-2015 al 16-05-2018	
Estudio de la viabilidad de producción de bioetanol a partir de la hidrólisis enzimática de la cáscara de la semilla de <i>Jatropha Curcas</i> ” (Fase 1)	AECID-IIGE	01-01-2017 al 31-12-2018	
Implementación de una planta prototipo para producción de etanol a partir de la cáscara de piñón” (Fase 2)		11-02-2019 al 18-08-2021	
Estudio de captura de carbono para la producción de biocombustibles a partir de biomasa microalgal, <i>Chlorella Sp</i> , empleando fotobiorreactores	AECID-IIGE	01-01-2020 al 26-12-2023	Ejecución
Implementación de una planta de cogeneración a partir de los residuos generados en la industria de la palma africana	SENESCYT-IIGE		
Proyectos hidroeléctricos Cadernillo (de 596 MW), Santiago (de 2400 MW). Proyectos hidroeléctricos Abitagua, de 165 MW; un proyecto fotovoltaico flotante sobre el embalse Mazar, de 200 MW; y el proyecto eólico Pimo (Azuay), de 130 MW	Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC) Alianza pública privadas (APP)		En proceso

Elaborado por la autora.

Otros resultados, indican una nueva aceptación a la tecnología “Waste-to-Energy” (WtE) de las cuáles se tiene cuatro entidades de educación superior que realizan estudios

en las líneas de investigación sobre Ecología, Ciencias (Ambientales, Tecnología, Combustibles) y Energía, así como Ingeniería en general (figura 6); son siete artículos generados como producción científica con cuartiles en Q1, y Q2 (Bravo L., Urgilés J., 2020; Energía Estratégica, 2019); lo que evidencia que es un tema poco explorado en Ecuador.

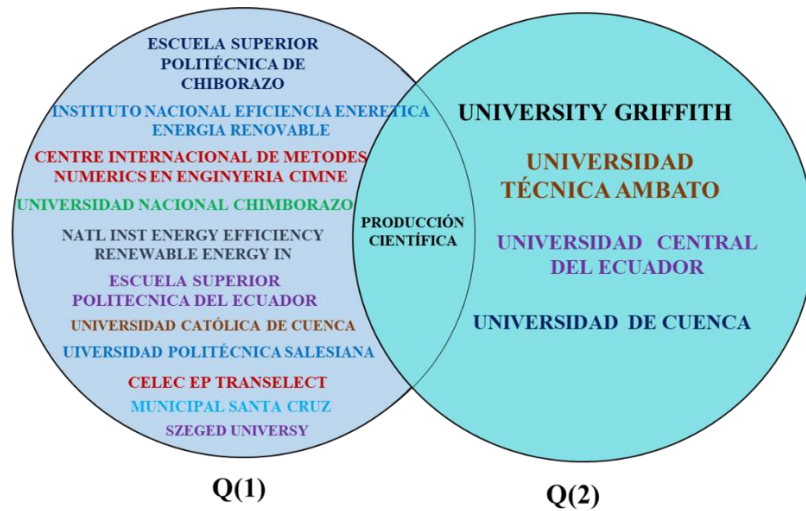


Figura 6. Entidades universitarias investigando “Waste to Energy” en Ecuador. Fuente: Bravo y Urgilés (2020). Adaptado por Silvia Coello

Algo similar ocurre con la tecnología de metanización, los biodigestores implementados son a nivel rural y de tamaño considerables.

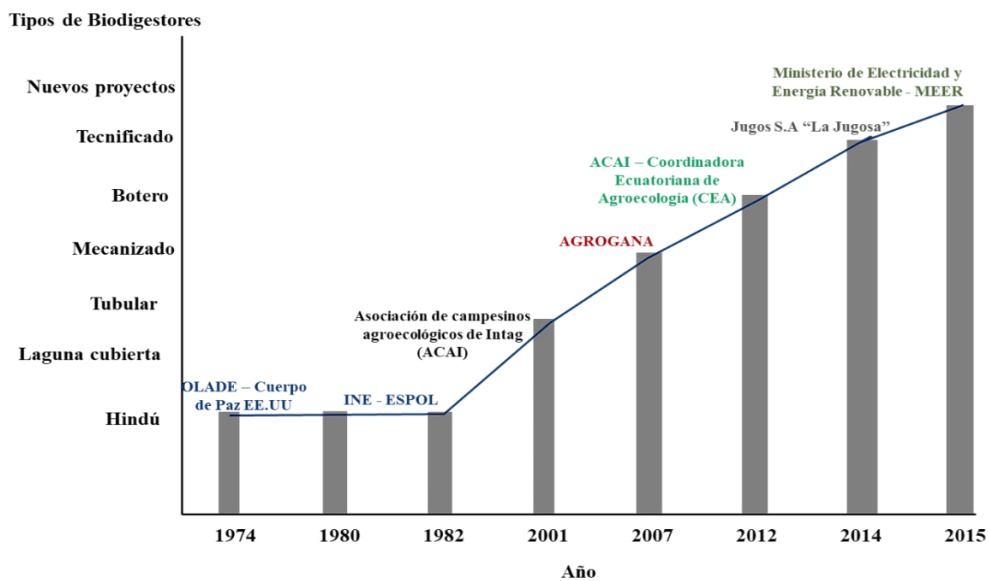


Figura 7. Cronología de implementación de biodigestores en Ecuador

Los más disponibles están en el sector agropecuario y son de tipo Tubular de Geomembrana PVC construido con materiales comunes (polietileno tubular plástico de

invernadero). Los biodigestores construidos en Ecuador son aproximadamente 112, la técnica más empleada a inicios de 1974 era el hindú, entre 2001 al 2006 se construyeron los tipos tubulares, para luego diseñar modelos mecanizados, de laguna cubierta, de botero y tecnificados (figura 7). Por otro lado, existen empresas o proveedores (tecnología tubular de geomembrana) e instaladores no profesionales (biodigestores tubulares plásticos) destinados al diseño, instalación y venta de insumos como ROTOPLAS (2020) y BIODIGESTORES ECUADOR (2020) dedicadas al sector urbano y rural (Axionar Consulting Group et al, 2015). Otras empresas privadas utilizan los desechos residuales o agrícolas para producción de biogás. Para ejemplificar, tenemos a EMAC EP - Cuenca, o EMGIRS-EP - Quito, PRONACA (2017) y esta última aplica la técnica de metanización para reducción de su huella ecológica (Martí J. et al., 2017; PNGIDS., 2015).

D.4. Análisis de resultados y discusión de metodologías de aprovechamiento de residuos orgánicos del sector urbano

Los 221 Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales (GADM) a nivel nacional que aprovechan los restos orgánicos de manera parcial son: región Costa con un 15.12 % de 86 GADM, región Sierra un 54.35% (92 GADM), región Oriente-Amazonía (40 GADM) tiene el 60% y la región Insular aprovecha estos desechos en un 100%. (figura 8).

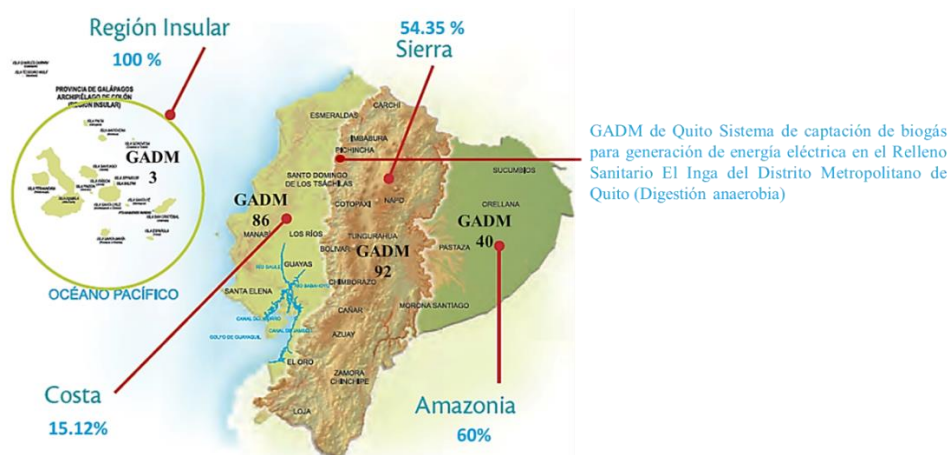


Figura 8. Aprovechamiento parcial de restos orgánicos a nivel regional
Adaptado por Silvia Coello

Las técnicas de aprovechamiento más aplicadas por los GADM es el Compostaje, con 29 %, Lombricultura 11%, Bokashi 5% y escasamente la digestión anaerobia o metanización.

La región que más aplica el aprovechamiento parcial de estos desechos orgánicos es la Sierra, y apenas 2 de los 90 municipios a nivel nacional que aprovechan estos recursos aplican las tres técnicas (figura 9) (Ministerio del Ambiente y Agua del Ecuador, 2020).

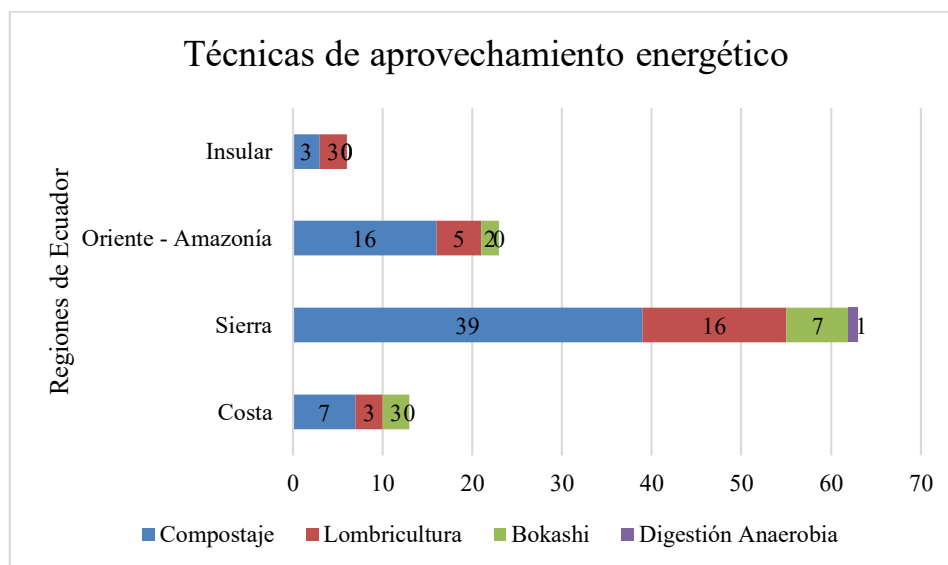


Figura 9. Métodos de aprovechamiento para residuos orgánicos usados por GADM

Con estas observaciones, se puede acotar que la técnica de metanización es muy escasa ya que sólo un municipio del Distrito de Quito a nivel nacional aprovecha tales desechos mediante un proceso bioquímico (Figura 5). A su vez, la técnica del Bokashi se caracteriza por ser un acelerador de la degradación del sustrato orgánico reduciendo el tiempo de digestión elevando la temperatura durante el proceso, esto hace que el tiempo de obtención del abono este entre un periodo de 12 a 21 días.

No obstante, es el método menos utilizados por los municipios cantonales (Hidalgo, 2020; Tello E., Campani D, y Sarafian D, 2018). Sin embargo, la construcción, diseño e instalación de biodigestores queda sólo en el ámbito rural, con modelos de metanización de tipo tubular de geomembrana o plásticos los cuáles son montados por no profesionales o empresas proveedoras. Todas las técnicas tienen como fin utilizar estos desechos para obtención de gas CH₄ para ser utilizados en cocción de alimentos, generación de electricidad, entre otros usos. Por otro lado, son esporádicos los estudios a nivel de Ecuador que contribuyan al uso de la tecnología de metanización para producción de CH₄ como sustituto del gas doméstico GLP (Coello S., Rodríguez B., González Y. y Hidalgo J., 2021). Se proponen estudios piloto basados en investigaciones bibliográficas fomentando el uso del Biodigestor como una estrategia ecológica, o simplemente se usan ciertos restos de vegetales o frutos como régimen alimenticio del dispositivo (Sánchez

M., Martillo I. y Fiallo D., 2020). Otros autores, simplemente describen un resultado puntual a partir de la generación per carpita y caracterización de los residuos tratados (Muñoz M., 2020), algunos determinan ciertos parámetros de la digestión anaerobia. Por ejemplo, Orozco M. (2018) aporta con su estudio al indicar que a través de una “metodología del EPA para la estimación de las emisiones de gases de efectos invernaderos como son: el CO₂ y CH₄, determinaron la caracterización de estos residuos que se utilizaron en su estudio como contribución a la matriz energética para coadyuvar el suministro eléctrico”

D.5. Análisis de resultados y discusión de los pros y contras de la aplicar la tecnología verde basada en Fermentación metánica para el sector urbano.

En lo que respecta, al uso de la biodegradación anaerobia del sustrato, los pequeños municipios (GADM) tienen dificultades con los financiamientos. Aun cuando este tipo de tecnología contribuya a satisfacer mejoras en el contexto sanitario y control de la contaminación ambiental urbana, producción de energía limpia para actividades domésticas y de suministrar fertilizantes para los cultivos, no se promueve mucho el uso de la tecnología para el sector urbano marginal en donde el consumo de energía fósil es elevado (tabla 6).

Tabla 6. Beneficios y limitaciones de la tecnología de metanización

PRO	CONTRAS
En condiciones ideales los microorganismos se producen óptimamente.	El poder calorífico es bajo comparado con los combustibles fósiles.
El 90 % de la energía disponible se transforma en CH ₄ , el crecimiento microbiano se desarrolla idóneamente debido a que su consumo energético es bajo	Durante el proceso puede haber afectación por ciertos parámetros: sustrato usado, temperatura, pH, relación C/N, agitación, presencia de inhibidores entre otros que pueden generar imprecisión en cuanto a la predicción del volumen del biogás.
El CH ₄ se produce en mayor proporción que los demás componentes del biogás, siendo su proceso eficiente al querer separar gases.	Las entidades municipales pequeñas (GADMS) su limitación está en el financiamiento, para ejecutar proyectos basado en tecnologías renovables en beneficio de la población.
No necesita refinación en caso de ser usado para fines domésticos (cocción)	
EL biogás también puede ser utilizado como alternativa de generación eléctrica.	
El subproducto obtenido durante el proceso se puede utilizar como biabono.	

Fuente: Hidalgo, 2020. Adaptado por Silvia Coello.

E. Conclusiones

De acuerdo, al estudio realizado todo indica que en la ciudad de Guayaquil no se aplica ningún tratamiento a favor de la valoración de la Biomasa urbana más bien se deduce que el consumo energético se aumenta exponencialmente con la población y sus necesidades. Es decir, que el incremento exponencial, la tasa de crecimiento per cápita (por persona) de la población ecuatoriana es la misma. En otras palabras, afecta el tamaño de la población, lo que hace que aumente cada vez más rápido acorde se hace mayor. Con esto en mente, queremos indicar que el aumento de la población ecuatoriana crece exponencialmente por un tiempo, pero finalmente se verán limitadas por la disponibilidad de recursos. Los resultados preliminares obtenidos del análisis documental del consumo energético en Ecuador (nacional, regional y local) permiten afirmar que, es necesario, aplicar tecnologías amigables con el medio ambiente y principalmente en las grandes urbes metropolitanas donde se asienta cada vez más la población en un 88,64 % (crecimiento poblacional y consumo de recursos energéticos). Como se explicó en esta indagación, los altos consumos energéticos de energía fósil (gas doméstico) e hídrica (electricidad), son debidos a los subsidios que están afectando a la economía del país y del incremento de la población guayaquileña. Por ende, proponemos elaborar y diseñar un instrumento para obtener información fidedigna acerca del consumo energético de las familias urbanas marginales donde se da el mayor gasto energético. A partir, de la técnica estadística “criterio de segmentación de mercado a priori” pretendemos dar respuesta a este fenómeno social y a la vez dar una respuesta tecnológica amigable desde la óptica del consumidor energético de gas doméstico (GLP).

CAPÍTULO 3

DISEÑO Y VALIDACIÓN DE UN CUESTIONARIO SOBRE LAS TENDENCIAS Y PERCEPCIONES DEL CONSUMIDOR ENERGÉTICO DEL GAS DOMÉSTICO MEDIANTE LA TÉCNICA DE SEGMENTACIÓN DE MERCADO A PRIORI

A. Introducción

En la actualidad, existe insuficiente información sobre el proceso de construcción, adaptación y validación de escalas en temas relacionado con los fenómenos sociales y consumos energéticos. Es bastante común, sobre todo en los fenómenos sociales, usar escalas, encuestas, entrevistas o test en la práctica de ciencias sociales, que en diversas cuestiones sabemos que han pasado el proceso de validación y fiabilidad en su país de origen, pero que no sabemos si ha pasado dicho proceso en nuestro contexto (Agueda, 2018; Coello S, González e Hidalgo J., 2019; Arreaga, 2020; Coello et al., 2022).

Para elaborar y construir un cuestionario que pueda ser usado y adaptado en diferente contexto nos valemos de las técnicas de segmentación de mercado (tabla 7) (Viscarri, 2010; Boluarte y Tamari, 2017; Arsova, M., y Temjanovski, R., 2019). A partir de estos criterios y sus objetivos para cada segmentación se identificará las principales tendencias de los consumidores energéticos de gas domésticos y se verá cómo las familias guayaquileñas tratan de adaptarse a las mismas desde distintos ambientes (Baldini, M., Trivella, A., y Wente., J., 2018; Bian, Y., Song, K., y Bai, J., 2019; Agudo, 2021).

Tabla 7. Descripción de los tipos de segmentaciones de mercado

Variables de segmentación de mercados			
Tipo de segmentación	Descripción	Variables observables	
Basadas en las características del consumidor	Geográfica	Se fracciona acorde a la ubicación de la vivienda, expone tipologías culturales que se asemejan de acuerdo al lugar donde habiten (país, pueblo o región)	Regiones, tamaño de la ciudad, densidad clima
	Demográfica	Se distribuye a los individuos de diferentes edades, tamaños o etapas dentro de una población	Edad y etapa de ciclo de vida, Ingresos, género, tamaño familiar, Profesión Educación, religión, generación, nacionalidad
	Psicográfica	Define los rasgos psicológicos de los consumidores en sus reacciones frente al entorno	Clase social, estilo de vida, personalidad, intereses, opiniones, valores
Basadas en las características del comportamiento	Función del comportamiento	Se refiere al comportamiento de compra o de uso con relación a un producto dado, esta sección es de fácil medición	Según el momento de uso. Según los beneficios buscados. Según la frecuencia de uso. Según el nivel de la lealtad Según su disposición Según su actitud hacia el producto o la marca

Fuente: (Agueda 2008; Coello et al, 2022c). Adaptado por la autora.

Sin embargo, se necesita de habitantes de consumo maduro (consumidores que viven la vida sin renunciar a los pequeños placeres, siempre con tranquilidad y adaptándose a los cambios), en el cual radica la búsqueda de soluciones a largo plazo sin crear impactos perjudiciales en la población y ecosistemas (Rachanap, R; Piyanka, D y Ajeya, J. (2020; Funk, A., Sütterlin, B., y Siegrist, M., 2020; Salgado, L., 2019). Se indagan externalidades positivas de consumo energético, en beneficio de la economía del país que van a hacer algo útil para la sociedad ecuatoriana con los beneficios que los consumidores generen (Fernández; D., y Domínguez., G., 2020). Estos fenómenos sociales radicados en el sistema socioeconómico se podrían dar por una crisis económica, originada por elementos externos o internos; una dificultad política, que detona como consecuencia de la disputa por el dominio entre varios ímpetus políticos; una desvalorización del desarrollo económico, que puede trasladar a una crisis de ciertos grupos sociales, es decir, externalidad negativa producto del coste energético desmedido por parte de la ciudadanía ecuatoriana. (Malkoc, Meshcherina y Korotayev, 2020, p. 7). En síntesis, se hará una relación entre los tipos de segmentación de mercado con los factores sociodemográficos y los factores de producción de biogás cuyo fin es modelar un prototipo basado en una tecnología renovable que sea factible y de alcance para las familias ecuatorianas.

B. Objetivos

B.1 Objetivo general

Elaborar un instrumento para internalizar los efectos externos generados/negativos o evitados/positivos basado en la tendencia y percepción social de la sustitución parcial del consumo de gas doméstico GLP (recurso no renovable) por un dispositivo (tecnología limpia) que se adapte a las cocinas a gas a través de la técnica de segmentación de mercado.

B.2 Objetivos específicos

1. Identificar las segmentaciones que se relacionan entre los factores sociodemográficos con los de producción de metano de un digestor anaerobio.
2. Estructurar un instrumento de medición que permita identificar las externalidades positivas o negativas del consumidor de gas doméstico en beneficio de la economía del país y del medio ambiente.

3. Validar el instrumento de acuerdo a los factores sociodemográficos según las tendencias y percepciones de los consumidores de gas domésticos del sector urbano marginal.

C. Material y métodos

Para que nuestro instrumento sea confiable y válido debe cumplir con los siguientes requisitos: ser fiable y capaz de evaluar sin error y de detectar cambios que puedan ser medibles, tener un lenguaje claro para los participantes e investigadores y finalmente adecuado para medir el fenómeno que se pretenda medir. En otras palabras, la fiabilidad será el grado que nuestro instrumento sea capaz de medir sin errores. Para ello se validará su consistencia interna en cuanto a criterio, contenido y constructo por la técnica “Juez de expertos” (Arquer, 1994; López, y Fachelli, 2020), con los estadígrafos pertinentes (anexo 1). Con respecto, a las hipótesis de si es viable y consistente aplicar el cuestionario se realizarán los respectivos análisis descriptivos e inferenciales (Análisis Varianza, Test de esfericidad de Barlett, Prueba de Kaiser-Meyer-Olkin, Método de Belson y Chi cuadrada) para verificar los supuestos propuestos en este capítulo.

C.1 Hipótesis con respecto a la validación del Instrumento

H₀: El juicio de expertos no es consistente para utilizar la indagación de diagnóstico de las percepciones de los consumidores de gas doméstico del sector urbano marginal.

H_a: El juicio de expertos es consistente para utilizar la indagación de diagnóstico de las percepciones de los consumidores de gas doméstico del sector urbano marginal.

A continuación, exponemos la estructura y dimensionamiento del cuestionario para obtener información de las tendencias y percepciones del consumidor energético de gas doméstico (GLP).

C.2 Dimensionamiento del cuestionario sobre tendencias y percepciones del consumidor de gas y validez del instrumento

El cuestionario se encuentra estructurado por preguntas tipo batería-Likert-Dicotómica en donde su dimensionamiento constituye cinco fases: información del hogar, consumo energético, información ambiental, gastos de alimentos y conocimiento en energía (tabla 8). donde se detalla la subcategoría y objetivo de cada estructura para este estudio de percepción y tendencia del consumidor de gas doméstico (Arreaga, 2020).

Tabla 8. Estructura de la encuesta para familias del área urbana - marginal

Dimensión	Subcategoría	Objetivo	Ítems	Descripción del ítem
Información del hogar	Características de la vivienda	Identificar las dimensiones de los predios para comprobar el tamaño que podría tener un dispositivo anaerobio en los patios de las familias o en su lugar uno a escala reducida para ser ubicado en el cuarto de cocina	13	Selecciones múltiples (tipo batería)
Consumo energético	Consumo de energía fósil (GLP)	Determinar el uso frecuente de energía de la familia partícipe	18	Dicotómica Likert
	Consumo de energía eléctrica		11	Tipo batería
Información ambiental	Residuos del hogar	Obtener información de la percepción de la familia con respecto a su entorno, derechos y obligaciones basados en su estilo de vida y hábitos	5	Dicotómica
	Conciencia ambiental		7	
	Hábitos		8	Likert
	Pautas del consumo responsable		3	Tipo batería
Gastos de alimentos	Consumo de alimentos de uso frecuente	Diagnosticar la inversión diaria en consumo de alimentos orgánicos de uso frecuente	6	
Conocimiento de energía		Comprobar el nivel de conocimiento de la familia con respecto a uso de la energía verde	11	Dicotómica Tipo batería

Fuente: (Coello et al, 2022)

C.3 Validación de la encuesta de tendencia y percepción al consumidor de gas GLP domiciliario

Presentamos los elementos integrantes del diseño y validación del cuestionario, enmarcados en una metodología de investigación de corte descriptivo-exploratorio e interpretativo (campo) dirigida a informar sobre la estructura del cuestionario según los “criterios de segmentación de mercados a priori” y la categorización de variables en armonía con los ítems (anexo 2). Por su relevancia metodológica y profundidad este trabajo atiende a las evidencias de validez de contenido y consistencia interna del cuestionario (Solomon, 2008; Hurtado, 2012; Boluarte y Tamari, 2017). Las cuales se detallan a continuación:

C.3.1 Procedimiento:

1) La primera fase, consiste en seleccionar los tipos de estadígrafos que se aplicará al instrumento para la recolección de datos a utilizar. Con la finalidad, de ilustrar el contenido del cuestionario valorado y aplicado, en un primer momento describimos las tareas que fueron emprendidas para el diseño experimental del cuestionario (Vera Barahona y Vera Chang, 2018; Viscarri J., López B. y Mas M., 2010; Agueda T.,

Madariaga J., 2009; Mina C., 2020); posteriormente, en un segundo apartado describimos el proceso de validación desarrollado según las fases del estudio (anexo 1).

2) La segunda fase, es seleccionar los candidatos para evaluar el instrumento de recolección de los datos en los hogares.

Para la elección del “Juez experto” se utilizan técnicas estructuradas que evalúe su idoneidad por medio del Coeficiente de competencia experta (K_{comp}) el cual es considerado como una medida del nivel de competencia de los componentes de panel de expertos (anexo 3 - 4), y en este sentido puede ser de utilidad la obtención del coeficiente de competencia propuesto por Oñate 1988 y López 2008 (Cabero J. y Barroso J., 2013). Otros autores, como Marín F., Pérez J., Senior A., y García J. (2021) acota que: “el cálculo de K_{comp} se verifica a partir del informe expuesto por el experto sobre su nivel de juicio acerca del tema de estudio o problema”.

En otras palabras, abarca el tipo de fuente que le permite discutir el criterio establecido, generalmente de un lenguaje común o coloquial. Es decir, evidencia de la pertinencia del perfil del “Juez experto” en relación con el constructo a evaluar (Galicia A., Balderrama J. y Edel R., 2017). Por ello, es necesario que la selección de quiénes validen el instrumento de recolección de datos tengan relación con el contexto de estudio académico, producción científica y campo laboral a nivel de industria se enviaron vía correo las respectivas solicitudes a 15 posibles “candidatos expertos” nacionales e internacionales de los cuáles respondieron solamente 10.

La selección del número de expertos se realiza mediante los siguientes juicios:

$$K_{comp} = \frac{1}{2}(K_c - K_a) \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde:

K_{comp} : Coeficiente de competencia del experto (anexo 4).

K_c : El coeficiente de conocimiento resulta del promedio de los valores según la tabla de puntuación de confianza para el parámetro K_{comp} (anexo 4).

K_a : Coeficiente de Argumentación resulta de la suma de los valores según la tabla de puntuación para la selección de la fuente de argumentación para Expertos (anexo 3).

Vinculado a esto, y a partir del informe expuesto por el experto “sobre su nivel de juicio” acerca del tema de estudio, se determina la cantidad de expertos requeridos para

la validación del instrumento, contenido, criterio y constructo, mediante la siguiente fórmula:

$$n = \frac{p(1-p)k}{i^2} \quad \text{Ecuación 2}$$

Dónde:

i: Nivel de precisión deseada (0,15). (Valores recomendados para encuestas).

p: Proporción estimada de errores (0,01).

k: Parámetro cuyo valor está asociado al nivel de confianza establecido en la tabla 6.

Para este caso con un nivel de confianza de 99 % el valor de K es 6,6564 (tabla 9).

Tabla 9. Niveles de Puntuación de confianza para el parámetro K_{comp}

Nivel de confianza (%)	Valor de K_{comp}
99	6,6564
95	3,8416
90	2,6806

A continuación, se calcula el número de expertos que da como resultado un valor aproximado de 3 jueces (ecuación 2).

3) La tercera fase consiste en determinar la validez total del cuestionario como la media de las valideces (anexo 5 - 6) se aplica la ecuación 3.

$$V_T = \frac{V_{cont} + V_{cri} + V_{const}}{3} \quad \text{Ecuación 3}$$

V_T : Validez total

V_{cont} : Validez de contenido

V_{cri} : Validez de criterio

V_{const} : Validez de constructo

En la tabla 10 y 11 presentamos el código para identificar los diferentes criterios en las validaciones estadísticas por los Jueces expertos (anexo 6).

Tabla 10. Puntuación de los criterios a validarse en el instrumento

Puntuación	
No válida reformular	(4 - 11)
No válida, modificar	(12 - 14)
Válido, mejorar	(15 - 17)
Válido, aplicar	(18 - 20)

Tabla 11. Codificación de los criterios a validarse en el instrumento

Criterio de validez	Código
Contenido	VC
Medición y objetividad	VI-O
Medición y observación	VM-O
Presentación y formalidad del instrumento	VP-F-I

4) Finalmente, la última fase es comprobar las hipótesis planteadas y estructurar el cuestionario basado en las técnicas de “Criterios de segmentación a Priori” para realizar la partición del mercado de manera que los grupos que se obtengan sean lo más homogéneos (intragrupos) y heterogéneos (intergrupos) entre sí (Viscarri, 2010; Boluarte y Tamari, 2017; Raffino, M., 2020).

D. Análisis y discusión de la validez del cuestionario de “Tendencias y percepciones del consumidor energético de gas doméstico (GLP)”

Los puntajes obtenidos de los 10 jueces participantes de manera voluntaria se presentan en el Anexo 4 donde cuatro expertos obtuvieron un valor mayor $K_{comp} > 0,8$ (alta) y sólo seis con un nivel medio entre 0,62 y 0,77.

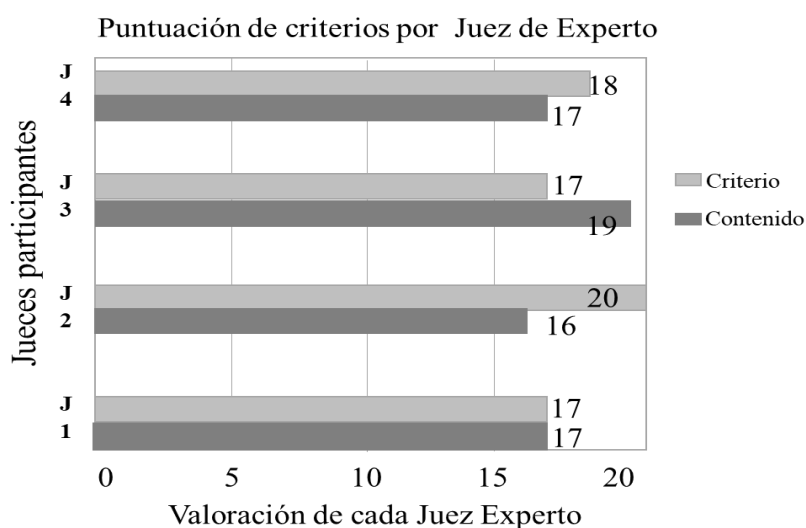


Figura 10. Valoraciones del contenido y criterio de la encuesta

Con esta información, se procedió a trabajar con cuatro expertos, según lo propuesto por los estudios de Prieto y Delgado (2010) que tuvieron la puntuación más alta (Anexo 3). En la validación del contenido y del criterio se obtuvo una puntuación promedio de desviación típica de 1,414 la media fue de 17,63 (Figura 10). De acuerdo, con la tabla 3

el promedio recae en la puntuación de “válido” para ser aplicada la encuesta a las familias de la ciudad de Guayaquil. Las tipologías con las que se está trabajando, al ser cualitativas y representar actitudes o percepciones, no se pueden medir directamente, sino que han de ser valorarlas a través de indicadores (anexo 2). Se trata ahora de examinar el grado en que los indicadores definidos miden adecuadamente el concepto (constructo) que se quiere medir (Arquer, 1994; Dávila, Garrido y Martínez, 2019).

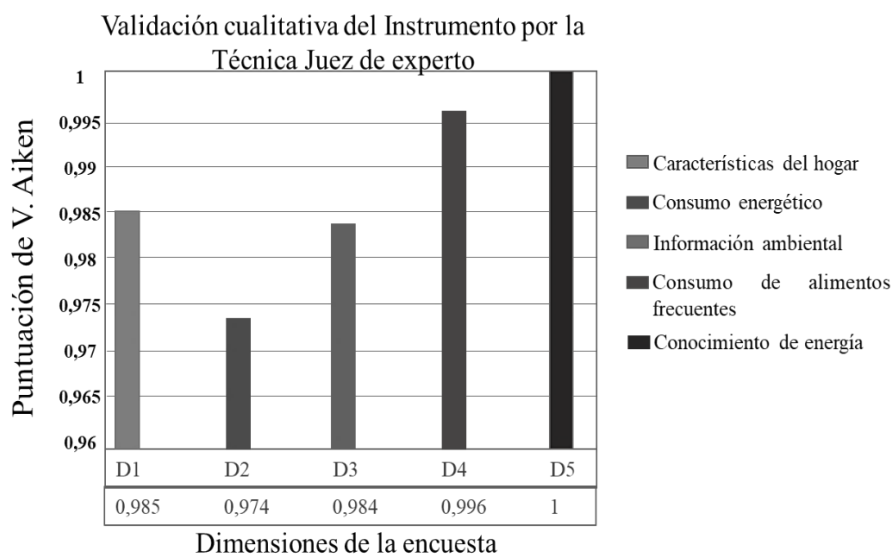


Figura 11. Valoraciones cualitativas del constructo por dimensión de la encuesta

Asimismo, la validación cualitativa del constructo se obtuvo puntuaciones mayores a 0,9 según la escala de V. Aiken y Alfa de Cronbach (figura 11). Los resultados obtenidos según los estadígrafos aplicados por cada dimensión son cercanos al “1” lo que indica que su validez es confiable y alta (tabla 12)

Tabla 12. Validación cualitativa del Instrumento por la Técnica Juez de experto

Validez	Puntuación	Estadígrafo/Técnica
Contenido	1,00	Juicio Experto /Proporción de acuerdo
Constructo	0,9702	Alfa Cronbach
Criterio	0,986	V. Aiken
Validez Total		0,985

Decisión estadística: Se valida el criterio de los expertos según la prueba de hipótesis estadística del valor obtenido de las medias de cada validación:

$$V_T = \frac{V_{cont} + V_{cri} + V_{const}}{3} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$V_T = \frac{\text{Juicio Experto} + V. \text{Aiken} + \text{Alfa Cronbach}}{3}$$

$$V_T = 0,985$$

Por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa: “: El juicio de expertos es consistente para utilizar la indagación de diagnóstico de las percepciones de los consumidores de gas doméstico del sector urbano marginal”.

Tabla 13. KMO y Prueba de esfericidad de Bartlett

KMO Medida de adecuación muestral	0,823	
Prueba de esfericidad de Bartlett	Aprox. Chi-Square	791,56
	df	232
	Sig.	.000

Por otro lado, para validar el constructo desde la óptica de la percepción del consumidor energético y debido a que existen segmentaciones cuyas características son de naturaleza cualitativas no se pueden medir directamente, por lo que se valoran a través de indicadores. Aplicamos para esta parte el análisis de Káiser Meyer Olkin (KMO) y la prueba de esfericidad de Bartlett cuyos resultados se aprecian en la tabla 13.

Tabla 14. Clasificación de los Criterios de segmentación de mercado*

Criterio	Generales		Específicos	
	Obtención directa	Inferidos	Obtención directa	Inferidos
Objetivos	*Demográficos	*Clase social	*Uso del producto	*Valor relacional del comprador
	*Sociodemográficos	*Ciclo de vida	*Situación de uso y compra	
Objetivos	*Geográficos		*Categoría de usuario	*Estrategia de compra
			*Tipo de compra	
			*Fidelidad/Lealtad a la marca	
			*Lugar de compra	
			*Frecuencia	
			*Nivel de Gasto	
			*Lugar de la Compra	
			*Asociación de productos adquiridos	
Subjetivos	*Características psicográfica	*Personalidad	*Ventaja/beneficio buscado	*Hábitos beneficios buscados y actitudes latentes
	*Actividades	*Estilos de vida	*Actitudes percepciones	
	*Intereses	*Percepciones	*Preferencias	
	*Opiniones	*Preferencias		

*Nota: La segmentación de mercado es una técnica estadística que detalla las características y conductas de adquisición o uso de los productos mediante criterios de segmentación. Es decir, un segmento determinado de población es un conjunto de sujetos que satisfacen los contextos de categorización de cada criterio determinado. (Viscarri, 2010; Boluarte y Tamari, 2017; Coello et al., 2018)

La prueba de KMO con un valor de 0,823 que es aceptable y la esfericidad de Bartlett, la significatividad con valor cercano a cero indica que los ítems están correctamente interrelacionados. Basado en los resultados obtenidos, se procede a diseñar las fases del estudio para lograr este objetivo optamos por aplicar las técnicas de segmentación de mercado según los criterios o variables de interés que se desee determinar (tabla 14).

E. Conclusiones

El proceso de construcción y validación en este estudio derivó en un cuestionario validado y listo para ser utilizado en los hogares ecuatorianos el cual está constituido por cinco estructuras o segmentaciones dirigidas a recolectar información sobre la estructura futura, producción, consumo, percepción e información ambiental de las familias de los sectores urbanos marginales de la ciudad de Guayaquil. Los resultados indican que el juicio de los expertos es consistente para aplicar el cuestionario a los hogares del sector urbano marginal. Por ende, se crea un diseño metodológico a seguir en donde se puede apreciar la relación que hay entre las segmentaciones de mercado con los factores sociodemográficos de los consumidores y los factores de producción para modelar un prototipo experimental basado en tecnología anaeróbica (Baca, 2016; Coello et al., 2018; Coello et al. 2022). El diseño metodológico a seguir consta de tres etapas: primeramente, la fase proyectiva para realizar el estudio preliminar/análisis/exploración del lugar donde se desea implementar el dispositivo anaerobio

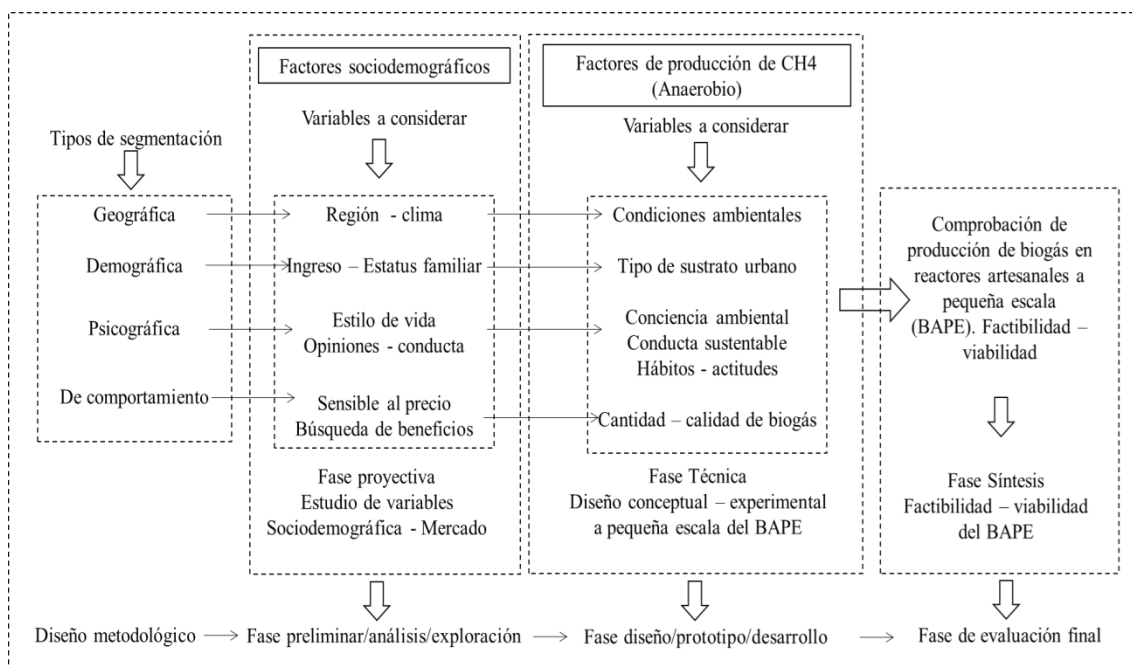


Figura 12. Diseño metodológico de estudio de la valoración orgánica

En segundo lugar, la fase técnica para relacionar los factores sociodemográficos con los de producción del prototipo y analizar como última fase la factibilidad o viabilidad de aplicar un diseño conceptual – experimental basado en los resultados de la caracterización del sustrato y de su análisis elemental como de sus propiedades fisicoquímica y de las variables de control del reactor a modelar (figura 12).

En conclusión, este diseño metodológico tiene como fin internalizar los efectos externos generados/negativos o evitados/positivos basado en la percepción social de la sustitución parcial del consumo de gas doméstico GLP (recurso no renovable) por un dispositivo (tecnología limpia) que se adapte a las cocinas a gas. Tales tendencias y percepciones se explicarán en el capítulo siguiente.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE LAS TENDENCIAS Y PERCEPCIONES DEL CONSUMO ENERGÉTICO DE GAS DOMÉSTICO DE LAS FAMILIAS GUAYAQUILEÑAS

A. Introducción

En la actualidad, los países en América Latina y el Caribe son considerados consumidores potenciales de energía fósil, pues siguen dependiendo de fuentes tradicionales y de transición. En este contexto, los consumidores residenciales han experimentado una evolución hacia las fuentes de energía moderna. Las consecuencias de esta transición es que al mejorar los ingresos y la mejora del acceso a este tipo de recurso energético (eléctrico, gas doméstico, combustible), las familias incrementan su consumo. Evidentemente, el avance hacia el desarrollo económico hace que los países en América Latina y el Caribe dependan de estas fuentes tradicionales o recursos fósiles. Los resultados desde 1971 al 2013 muestran un incremento del 300% en el consumo eléctrico y de gas doméstico (Jiménez y Yépez, 2020). Es decir, al crecer el desarrollo económico y dependencia de los recursos fósiles, el sector residencial pasaría a convertirse en un protagonista central en el incremento de la demanda de energía.

Cabe indicar, que la demanda de consumo a nivel nacional se concentra en el gas doméstico: “el mayor consumo energético provino del GLP con 51,8% del total, seguido por la electricidad con 38,4%” según lo indica el Balance de energético Nacional de Ecuador (2020b, pág. 26, 29); y Jiménez y Yépez (2020), en las regiones de América Latina y el Caribe el consumo de este GLP es del 80%. Esta situación problemática sobre el gasto energético se convierte en la segunda partida presupuestaría de estos países.

Entonces, nos preguntamos ¿Cómo coadyuvar al país de manera económica sin afectar al sector residencial? La respuesta estaría en la diversificación energética para mejorar o contribuir a la eficiencia energética. La disposición o tendencias, percepciones del consumo, reside en las vicisitudes que se exteriorizan en las experiencias culturales, sociales de una región, estado o país. Como menciona, Dueñas y Villa (2014), incluyen los procesos de consumo; es decir, proceso que marcan un diferencial social entre sus demografías, al exteriorizar como fenómenos cíclicos adquieren la capacidad de reinventarse y adaptarse (Mina, 2020; Moratorio, Rocco y Castelli, 2012; Mosquera y Cedeño 2021).

Con respecto, a este concepto optamos por un análisis acerca de las tendencias de consumo de las familias del área urbana marginal de la ciudad de Guayaquil (Coello et al., 2022). El propósito es identificar cuáles son sus estilos de consumo, hábitos y actitudes desde la óptica de la percepción del individuo.

De esta manera, se pretende realizar una externalización de su economía, positiva y negativa según su estilo de vida y cómo afecta tal consumo al coste energético del hogar y economía del país por posibles contingencias del mercado (Jiménez y Yépez, 2020; Dammenrt y García, 2019). También, estudiar su actitud con respecto al medio ambiente y de su participación responsable, tendencia que gana más fuerza según el avance del desarrollo sostenible.

A partir, de estas situaciones problemáticas sobre el consumo de gas doméstico en Ecuador se propone una nueva alternativa energética que contribuya a la economía del país y de las familias ecuatorianas o a su vez para establecer políticas de economía verde (Arrocha, 2019; Troche, 2018; Grand, Rasteletti, y Muñoz, 2022).

A.1 Área de estudio

En octubre del 2019 se aplica una encuesta domiciliaria urbana sociodemográfica basada en un estudio sobre técnicas energéticas y medio ambiente. El tema del instrumento fue “Prototipo de dispositivo anaerobio domiciliario para cocina de gas de uso domésticos” para determinar las tendencias y percepciones de los consumidores de gas doméstico (GLP) (anexo 7). Se inició la selección y capacitación de campo con estudiantes de las asignaturas de Física, Física Aplicada y Electricidad pertenecientes a la carrera de Ingeniería Industrial.

Este programa de capacitación se llevó a cabo en las aulas de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad de Guayaquil (UG) en septiembre del 2019, en donde se explicó a los estudiantes entrevistadores cómo llenar el instrumento y abordar a las personas en el sector de estudio.

El cuestionario se aplicó en nueve parroquias que constituyen la zona urbana marginal de la ciudad de Guayaquil, cuya ubicación es norte, sur, sureste y noroeste de la urbe metropolitana. La ubicación de la misma se puede visualizar en la figura 13. Todos los cuestionarios fueron recolectados por el grupo de investigación de la Mg. Coello Pisco Silvia Tecnol., docente investigadora de la Facultad de Ingeniería Industrial de la UG para su respectivo análisis estadístico.

Asimismo, las verificaciones y análisis se realizaron en el laboratorio de Física Aplicada de la Facultad, luego los cuestionarios fueron pasados uno a uno a un formulario

de Google para almacenar los mismos en una memoria digital en caso de pérdidas o deterioros de los documentos.

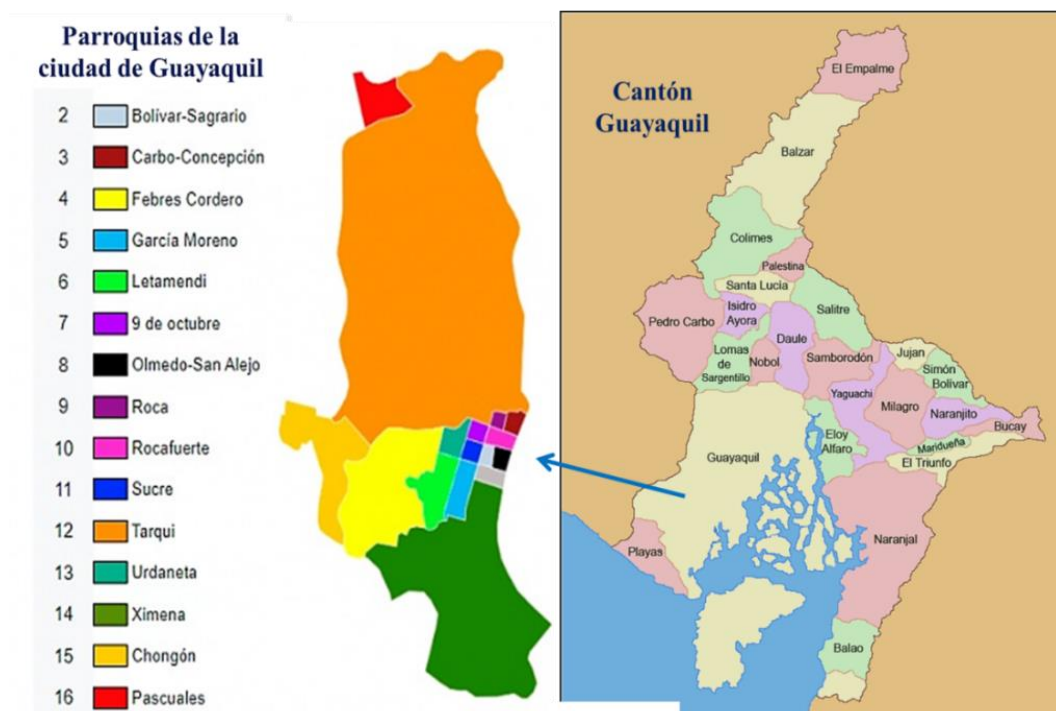


Figura 13. Mapa del Cantón Guayaquil y detalle ampliado de las parroquias urbanas de la urbe metropolitana. Adaptado por la autora.

A continuación, explicamos los objetivos que se persiguen en este capítulo como el proceso de análisis y resultados obtenidos.

B. Objetivos

B.1. Objetivo general:

Estudiar las tendencias y percepciones del consumidor energético de gas doméstico y su incidencia en la economía del país a través del criterio de segmentación de mercados para dar una posible solución a la situación energética en la ciudad de Guayaquil

B.2. Objetivos específicos:

1. Identificar las tendencias, percepciones a través del análisis de segmentación de mercado de los consumidores para comprobar la incidencia en el coste energético.
2. Evaluar desde el punto de vista del consumidor energético de gas domiciliario la viabilidad de incorporar un dispositivo basado en fermentación metánica con sustrato orgánico.

C. Materiales y métodos

Para proporcionar una respuesta al fenómeno social del consumo energético de gas doméstico y facilitar una posible solución al problema formulado se acudió a una metodología de tipo descriptiva - exploratoria con un enfoque mixto, a partir de la cual se plantea el siguiente diseño.

C.1. Diseño metodológico

El diseño metodológico del instrumento está segmentado en cuatro estructuras para ser analizado con la técnica más idónea es de diseño no experimental, transversal, correlacional (tabla 15). A continuación, explicamos en que consiste cada estructura o segmentación:

Tabla 15. Segmentación de estudio sobre tendencias y percepciones del consumidor de gas domiciliario.

Estructura	Descripción
Caracterización del hogar	En esta segmentación se indaga los datos socioeconómicos de los participantes entre otras variables (género, estrato social, composición de la unidad familiar, etc.)
Consumo	En esta segmentación buscamos obtener información sobre el uso de gas y electricidad domiciliaria, consumo energético (medidas de ahorro, conocimiento del precio, impuestos), identificación de conductas proambientales.
Producción	En esta estructura se estudia el conocimiento sobre el peso del consumo de gas GLP y electricidad en hogares, el precio de la electricidad para usuarios residenciales, la identificación de energías renovables y se investigan las fuentes de energía no renovables y los problemas asociados con la producción y consumo de gas doméstico.
Escenario futuro	En esta división se examinará la percepción de las familias guayaquileñas sobre la posibilidad de sustitución parcial de la producción de gas GLP (fuente fósil) y de modelar un nuevo dispositivo con la generación de biorresiduos orgánicos (restos de comida) y se analiza la importancia de la aplicación de una nueva tecnología amigable (Biomasa).

C.2. Técnicas de análisis de los datos

La técnica para realizar el respectivo análisis de las segmentaciones del cuestionario es el Análisis Chi-Squared Automatic Interaction Detector (CHAID) o su nombre en español, Detector de Interacción Automática con Chi-Cuadrado.

Esta técnica se basa en el AID o “Automatic Interaction Detection” y en el CART, “Classification and Regresión Trees” fundamentándose en el estudio la varianza secuencialmente mediante divisiones exclusivamente dicotómicas de la variable dependiente.

Esto permitirá organizar en cada distribución desde dos subconjuntos hasta el mismo número de grupos de categorías de la variable predictora, obteniendo la reducción en mayor medida de la varianza residual y, al mismo tiempo, mejorar la selección de otras variables explicativas.

En el algoritmo Chaid se aplica una prueba de Chi-cuadrado (χ^2 , estadístico de chi-cuadrado) para determinar la condición de división. El CHAID equipara rápidamente y fácilmente las relaciones significativas entre las variables de estudio (Nadelsticher A., 2001; Calderón J., 2021).

Rueda (2021) detalla que este estadígrafo CHAID, “es una variedad de regresión múltiple para variables de tipo categóricas (discretas, discontinuas)”, en la que coexiste una variable dependiente (VD) y al menos una variable independiente (VI); y de lo que se trata es de predecir la VD a través de las VI's La técnica descrita nos permitirá examinar “segmentos del mercado “y explicar las diferencias en el estudio de “satisfacción del consumidor energético” o las “tendencias y percepciones de los consumidores” (Rueda R., 2021; Coello et al., 2022d). Como también, conocer los perfiles de las familias participantes a los que les gustó el nuevo concepto propuesto de un prototipo doméstico basado en energía renovable.

También, se aplicará estadística descriptiva (medidas de tendencia central, de dispersión, presentados en gráficos estadísticos y organizados en las tablas estadísticas) para tabular otros datos del cuestionario.

C.3. Conjetura con respecto a las tendencias y percepciones del consumidor:

Supuesto:

El consumo de gas doméstico en los sectores del cantón Guayaquil se ha visto afectado en los últimos cuatro años por el coste energético en el sector eléctrico, lo que significa un aporte negativo para la economía del país y el proceso de urbanización.

A continuación, exponemos el proceso de recolección de la información y selección de las familias participantes.

C.4. Selección de participantes para aplicar la encuesta sobre la “Tendencias y Percepciones del consumidor de gas domiciliario”

Presentamos el proceso de selección de la muestra para dar credibilidad a las derivaciones de nuestra búsqueda (López P., Fachelli S., 2015; Ochoa C., 2015; Fryn, F. 2019).



Figura 14. Sectores urbanos marginales participantes de la ciudad de Guayaquil. Adaptado por Silvia Coello

Para elegir las familias participantes del estudio se seleccionó de las 16 parroquias que pertenecen a la Ciudad de Guayaquil (EC INEC, 2019b), los sectores urbanos marginales que presentan mayor consumo del gas doméstico (GLP) (Sánchez y Reyes, 2016; Coello P.S, González e Hidalgo, 2019; Mina, 2020) que son 9 parroquias: Pascuales, Tarqui, Ximena, Febres Cordero, García Moreno, Chongón, Letamendi y Rocafuerte donde se agrupa la mayor concentración de barrios marginales de la ciudad de Guayaquil (figura 14). Entre las técnicas empleadas se tiene: muestreo por conveniencia y poblaciones ocultas, las cuales se explican su procedimiento.

C.4.1. Fase 1 Muestreo no probabilístico o no aleatorio:

La técnica de muestreo por conveniencia se aplica principalmente en trabajos iniciales para comprobar el cumplimiento de ciertos supuestos que se planteen en el estudio (Otzen T., y Manterola C., 2017; Hernández R., Fernández C. y Baptista P., 2014). Debido a la

peligrosidad de algunos sectores, se decide elegir como encuestadores a los alumnos que residen en esos lugares, y que se limitarán a realizar las encuestas en su entorno cercano, para evitar cualquier tipo de exposición al peligro diferente a aquella que ya forma parte de su vida diaria. Los estudiantes seleccionados son 10 grupos de las asignaturas de Física, Física Aplicada y Electricidad, los cuales conforman un total de 450 estudiantes, son seleccionados por ser de fácil acceso al investigador. De estos 450 estudiantes se eligen a 194 estudiantes que habitan en los lugares de interés para nuestra exploración.

C.4.2. Fase 2 Muestreo de poblaciones ocultas:

De acuerdo con la selección de estudiantes que habitan en la zona, y si son favorables las predicciones propuestas del estudio, los 194 educandos elegidos realizarían tres entrevistas a familias cercanas de su sector de origen.



Imagen 1. Estudiantes de la carrera de Ingeniería Industrial entrevistando a un miembro del hogar cercano a su sector para obtener información de las tendencias y percepciones de las familias urbanas marginales. (Fuente: Tomado de los cuadernos de campo).

Podemos apreciar en la imagen el método empleado para la recopilación de los datos, las fotos fueron autorizadas por los estudiantes participantes de ser publicada en este estudio doctoral (imagen 1). De esta manera, se finaliza la encuesta y el sondeo mediante el procedimiento de bola de nieve, es decir basada en la técnica para hallar el objeto de exploración. En otras palabras, un sujeto le da al investigador el seudónimo de otro, que a su vez proporciona el seudónimo de un tercero, y así recíprocamente (Boluarte A., y Tamari, K., 2017; Atkinson R., y Flint J., 2001: página 1). La muestra de poblaciones ocultas partícipe fue de 596 hogares, las parroquias que participaron en la encuesta.

C.4.3. Representatividad de la muestra

En el apartado C.4.1. ya se ha indicado que la técnica de muestreo no es aleatoria, en el sentido de que los hogares encuestados no han sido asignados a la muestra por un

proceso de sorteo dentro del área de estudio, sino que, por conveniencia y seguridad, se han elegido estudiantes residentes en la misma. Si bien, por tanto, no se puede garantizar que la muestra elegida mantenga las propiedades de representatividad de una aleatoria, a continuación, se argumenta que las características socioeconómicas de la muestra son próximas a las de una muestra aleatoria.

Se comentó en el apartado A.2.2.3 que el nivel socioeconómico, en las parroquias marginales urbanas, corresponde a los niveles medio (C+), medio bajo (C-) y bajo (D).

D. Resultados y discusión de la investigación de campo exploratorio.

Se desarrolló una encuesta presencial en los hogares voluntarios de nueve parroquias de la ciudad de Guayaquil entre el 5 y el 12 de octubre de 2019. La selección de los participantes a encuestar fue realizada bajo la limitación de que debían pertenecer al Cantón Guayaquil; principalmente del casco urbano marginal, sector que más gas GLP consume. El número total de participantes fue de 596 personas que manifestó su participación voluntaria a la encuesta personal en su domicilio. Las variables sociodemográficas fueron: edad, género, hábitat, estructura familiar, nivel o estrato social. Cabe señalar, que existen otras variables de análisis (criterios de segmentación) que contribuyen a completar el perfil socioeconómico, caracterización del hogar según nuestros objetivos de estudio.

D.1 Análisis y discusión de la estructura características de la vivienda

En esta segmentación se indaga los datos socioeconómicos de los participantes entre otras variables (ingresos, estudios, composición de la unidad familiar, etc.)

Tabla 16. Características de los participantes de la encuesta domiciliaria

Género		Estrato social			Edad		
Hombre	Mujer	C(+)	C(-)	D	20 - 35	36 - 50	51 - 65
352	244	70	368	158	101	417	78

D.2 Análisis y discusión de la estructura consumo energético gas – electricidad

En esta división buscamos obtener información sobre el uso de gas y electricidad domiciliaria, consumo (medidas de ahorro, conocimiento del precio, impuestos). Basados en el análisis de datos CHAID, se encontró cinco variables que predicen de manera

significativa la disposición del consumidor energético en cuanto al uso de energía fósil (gas doméstico) e hídrica (electricidad). Estas variables que predicen el perfil del consumidor son: nivel socioeconómico, tipo de consumo, tiempo, cantidad y hora de consumo. Al analizar los porcentajes de cada “rama” del árbol, encontramos que la características o segmento de consumo energético recaen en las familias de nivel C (-), es decir el nivel medio bajo con un 92,29%, el tipo de consumo es el gas con un 53,19%, la dedicación a usar este tipo de energía fósil es de una hora de consumo mientras cocinan.

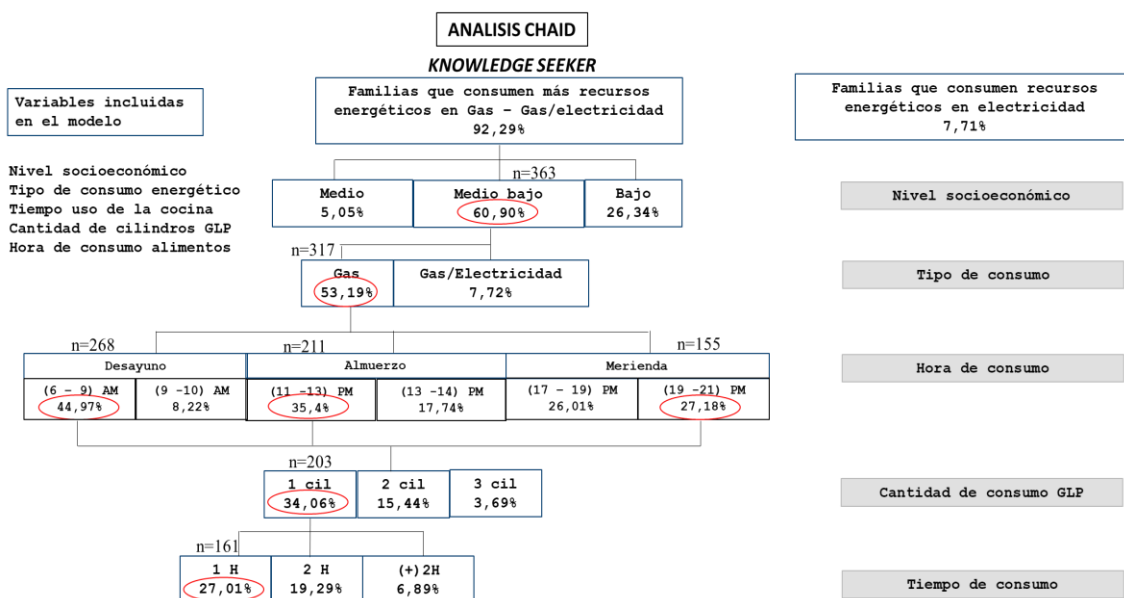


Figura 15. Diagrama de árbol de las familias que consumen energía fósil (gas doméstico) e hídrica (electricidad)

La cantidad de cilindros que se utilizan al mes es uno que es usado por un 34,06%. La mayor concentración de consumo durante las mañanas se da en las horas más tempranas con 44,97%, mientras en la tarde y noche la distribución es más dispersa (figura 15).

Los resultados con respecto al consumo eléctrico, de las familias de nivel medio C (+), que consumen ambos recursos energéticos gas/electricidad representa un 2,85%, el tiempo de uso de los electrodomésticos de una hora de cocción es 5,71% y las horas de consumo se concentran en las horas picos entre un 2,52% a 3,69% (anexo 8). En cuanto a las familias de nivel bajo su consumo también recae en el uso de gas doméstico con un 26,17% pero a diferencia del grupo anterior consumen mayor tiempo de cocción (2 horas) con un 11,24%; la hora de preparación de los alimentos se concentra también en las horas picos en un 54,61% de promedio entre las tres jornadas de alimentación (anexo 9).

El análisis de resultados con respecto al conocimiento de costos y defectos en los cilindros para uso doméstico en el nivel socioeconómico medio bajo, es de 92,11% el

valor del cilindro con valor de 2,50 USD; aunque muchas familias comentaban que deben pagar adicionalmente 0,50 centavos de dólar cuando solicitan el cilindro a domicilio o en algunas ocasiones un dólar esto representa el 34,56%. Los consumidores manifiestan que entre los defectos más comunes (32,05%) del cilindro de 15 kg son: 31,27% para el caucho del interior y 0,78% para la conexión entre el cilindro y la boquilla. Este tipo de defectos, ocasiona que los usuarios tengan que comprar boquillas nuevas o a su vez devolver el producto al distribuidor a cambio de otro en buen estado. Lo mismo ocurre con el caucho, muchos cilindros al tener un caucho defectuoso no permiten la correcta conexión entre la boquilla y el cilindro, por ende, muchas familias indican que esto ha ocasionado fugas o incluso explosiones de gas (anexo 10 y 11).

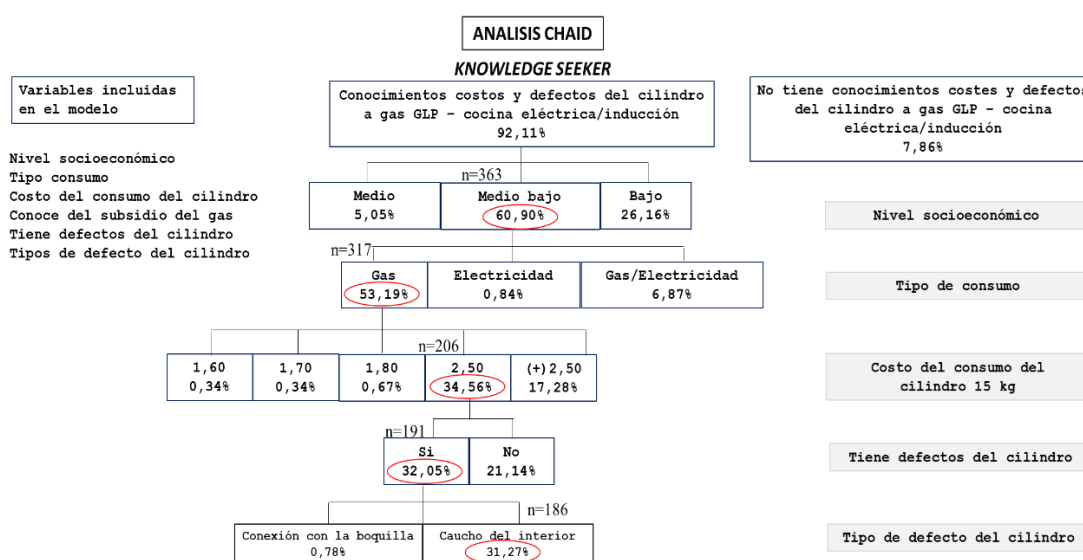


Figura 16. Diagrama de árbol de conocimientos costos y defectos del cilindro de gas.

En el diagrama de árbol 17, sobre “conocimiento de subsidios y energía sustitutiva” se tiene que en el nivel medio bajo, los conocimientos del subsidio del gas son del 64,6%. Pero el valor del cilindro sin tal subsidio es desconocido, con un 25,84% de los entrevistados que indican no tener idea de su precio. El 25,17% manifiestas no conocer algún sustituto de este tipo de recurso fósil. El estrato social medio y bajo de las familias que consumen ambos recursos gas/electricidad manifiesta tener un conocimiento del subsidio al gas del 3,86% para el estrato medio y 4,33 % para el bajo; el promedio entre ambos grupos de no conocer el valor del cilindro de 15 kg sin subsidio es de 6,97%; el desconocimiento de las otras fuentes que sustituyan a este recurso es del 11% (anexos 12 y 13)

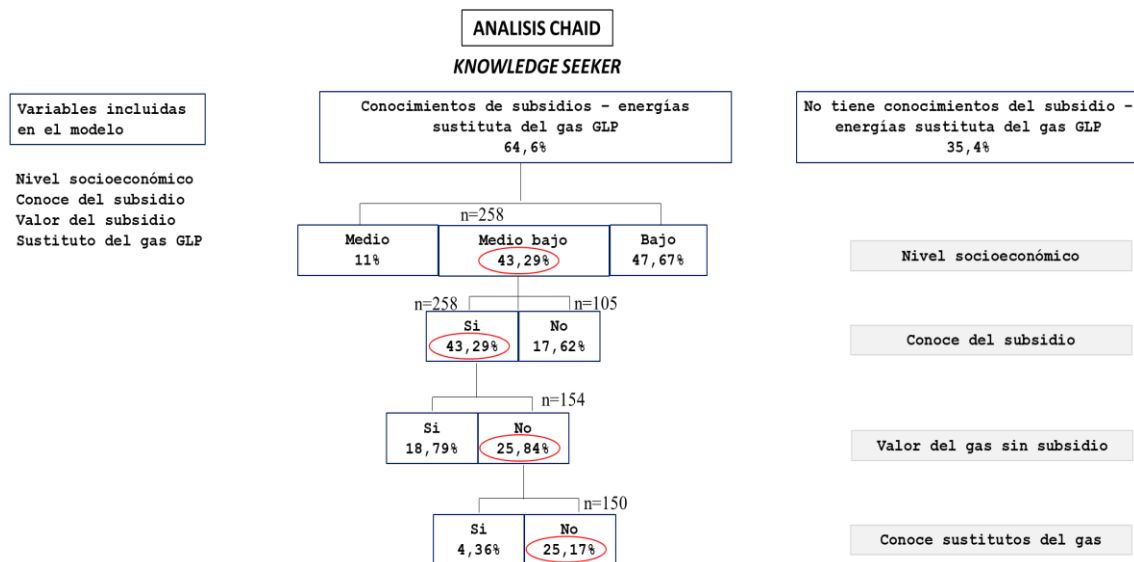


Figura 17. Diagrama de conocimientos de subsidios – energía sustituta al gas GLP.

En esta distribución de la figura 18, se obtuvo un 12,08% de los hogares participantes de los tres niveles socioeconómicos consideran que el uso de las cocinas de inducción o eléctrica no han disminuido el costo mensual en su economía doméstica. El total de participantes para esta segmentación fue de 51 encuestados de los 368 que pertenecen a la clase media baja.

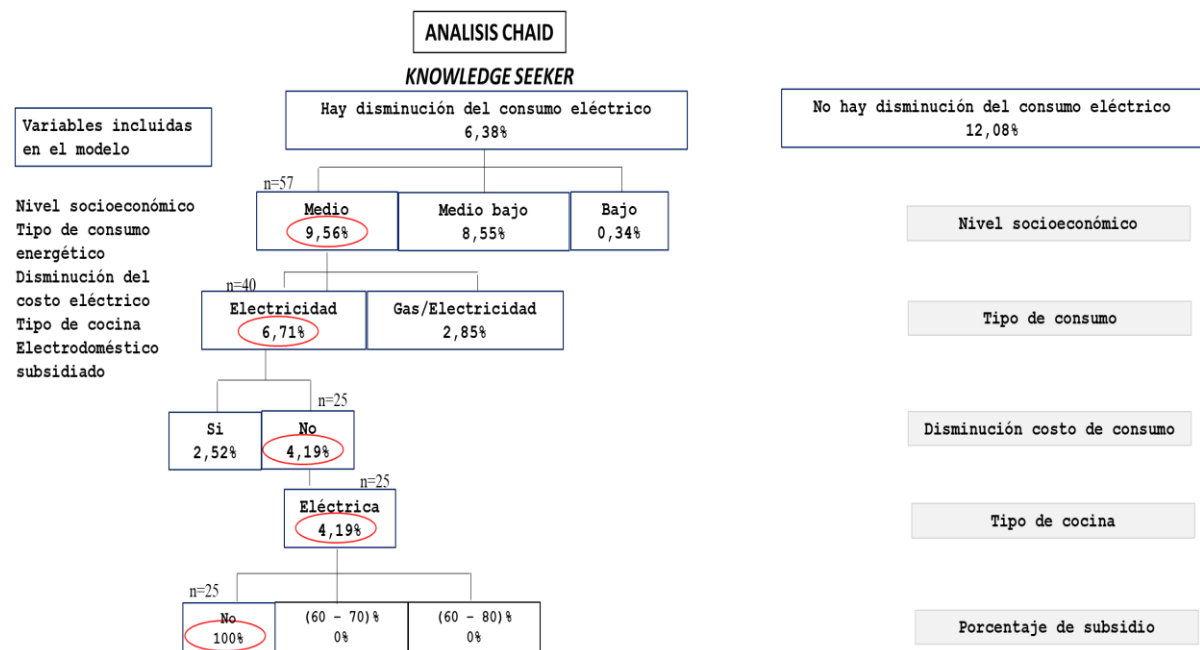


Figura 18. Diagrama de árbol de disminución de costos de consumo en energía eléctrica.

En el diagrama de árbol 18 sobre: “la disminución del consumo energético”, recae en el estrato social medio. Las familias de este nivel consumen ambos recursos energéticos

(gas/electricidad), y los que utilizan solo electricidad, mencionan que los pagos de consumo eléctrico mensuales no han disminuido; sino todo lo contrario se han incrementado. Este segmento está compuesto del 18,46% (110 encuestados). Los hogares participantes que no tienen subsidio para disminuir el costo mensual en sus facturas eléctricas es del 100%; el tipo de cocina es eléctrica y no cumple con las normativas para ser acreedores del subsidio que es para las cocinas de inducción.

Lo mismo ocurre con las familias de nivel medio bajo, donde el 8,55% (51 encuestados) manifiesta no tener rebajas sino incrementos lo que representa el 4,19% (anexo 12). Mientras que las familias que tienen cocinas de inducción que cuentan con un subsidio son un 0,67% y el 100% (32 hogares) manifiesta no tener beneficios del subsidio al consumo eléctrico. En cuanto, a las familias de estrato social bajo que representan el 0,34%, dijeron no tener una disminución en su costo mensual de presupuesto eléctrico y no tienen subsidio de parte del gobierno para disminución de costo en el consumo eléctrico. Cabe indicar, que estas familias indican que sólo usan este tipo de electrodoméstico cuando no tiene gas doméstico; así que su uso es de tres a cuatro veces al mes como mucho (anexo 14 y 15).

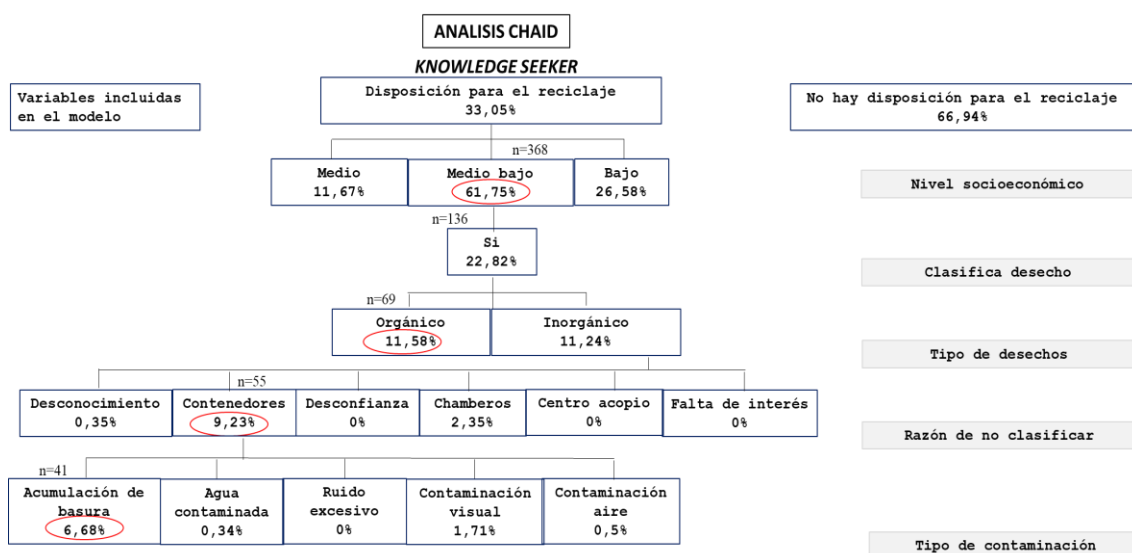


Figura 19. Diagrama de árbol sobre la práctica con respecto al reciclaje en el hogar

En esta distribución 19, se obtuvo un 66,94% de los hogares participantes no presentan una buena disposición al reciclaje. El total de partícipes para esta división fue de 368 encuestados de la clase media baja y 232 familias expresaron no realizar reciclaje en sus hogares. Sí, examinamos con cuidado los porcentajes de cada “rama” del árbol, hallamos que el segmento de información ambiental de las familias que no están dispuestos a

reciclar los desechos orgánicos corresponde a un 38,93%. Las razones según, los entrevistados son: la falta de contenedores (39,4%), seguido de los desórdenes que generan las personas que reciclan conocidas como chamberos(as) en un 23,1%. Las familias indican que el resultado del desorden que originan estas personas recicladoras es la contaminación visual (30,16%) y de la basura (24,46%). Mientras que las familias que si reciclan consideran que el tipo de contaminación es la acumulación de la basura en un 6,68% y que se debe a la falta de contenedores (9,23%).

A diferencia, de las familias de nivel bajo, que consideran que las razones están en la falta de contenedores y de los chamberos(as) en un 32,28% de concordancia en ambas variables; pero concuerdan con las familias de nivel medio bajo al explicar que esto genera contaminación visual (23,41) junto con acumulación de basura en un 25,95%. A cambio, las familias de nivel medio consideran que no reciclan debido a la falta de contenedores (34,29%) y que esto provoca la contaminación del aire (35,71%) al quedar la basura expuesta en las calles al aire libre (anexo 16 y 17, figura 19).

D.3. Análisis y discusión de la estructura de producción

En este apartado se describe la percepción que tienen las familias con respecto al conocimiento sobre el peso del consumo de gas GLP y electricidad en sus hogares, el precio de la electricidad para usuarios residenciales, la identificación y hábitos de consumo de energías renovables (si los hubiere) y se indagan las fuentes de energía no renovables y los problemas asociados con la producción y consumo de gas doméstico. A continuación, explicamos los resultados obtenidos en esta sección.

Para las familias entrevistadas en esta estructura sobre disposición para ahorro de energía eléctrica se tiene que el 40,27 % están considerando en economizar el consumo energético eléctrico (figura 20).

Para este diagrama de árbol tenemos cuatro variables para los hogares de nivel medio bajo: el estrato social, el buen uso, ahorro y beneficios con respecto al consumo eléctrico. Se tiene que el 35,23% de los miembros cooperan rara vez en el ahorro energético y evidentemente no hay un buen uso de la energía por ende los beneficios son pocos al alcanzar un 12,42%. Las familias de nivel bajo consideran que sus familiares no dan buen uso de la energía con un 13,59%, los beneficios son de 14,93% con un ahorro del 12,75% en algunas ocasiones (anexo 18). En cuanto, a los hogares de nivel medio los beneficios, ahorro y uso correcto de la energía cae en un promedio de 6,21 % (anexo 19).

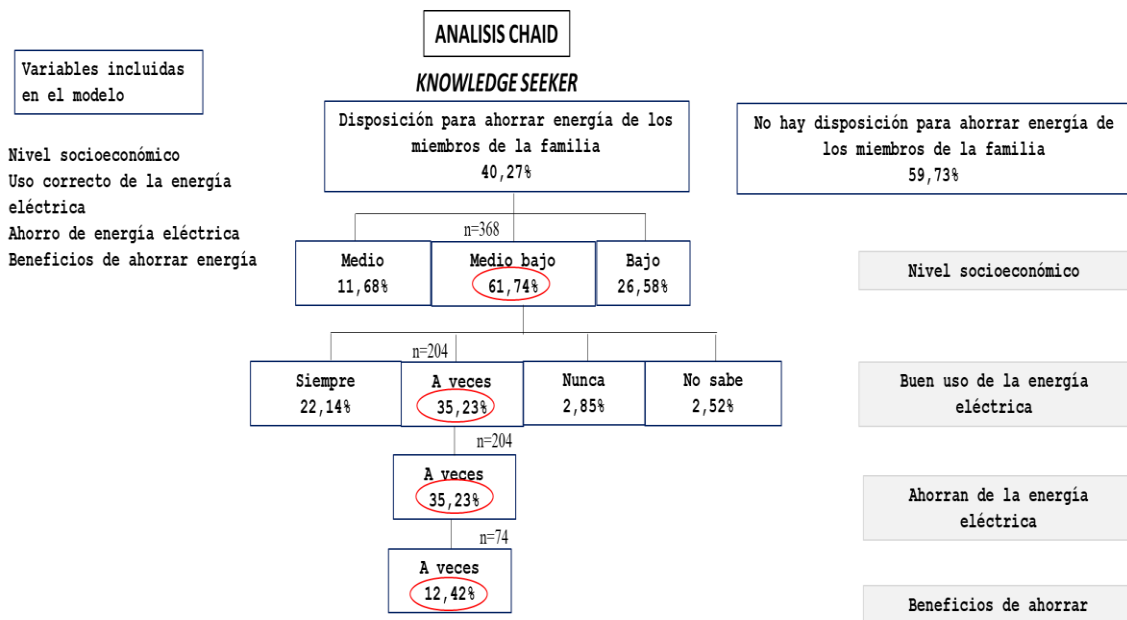


Figura 20. Diagrama de árbol sobre la práctica ahorro de energía eléctrica en el hogar

En la figura 21, se observa que muchas familias mantienen conectado los equipos a la toma de corriente sin ser usados. Siendo el estrato medio bajo, el que más sobresale en esta mala práctica con un 32,38%. Cabe recordar, que la mejor forma de ahorrar la energía eléctrica es desconectar los electrodomésticos que no se utilizan. El uso de estos dispositivos (televisión, computadoras, electrodomésticos y videojuegos) consume el 40% de la energía en la vivienda y es conveniente evitar consumos fantasmas (Camarda, 2021; Gazzolo, 2022).

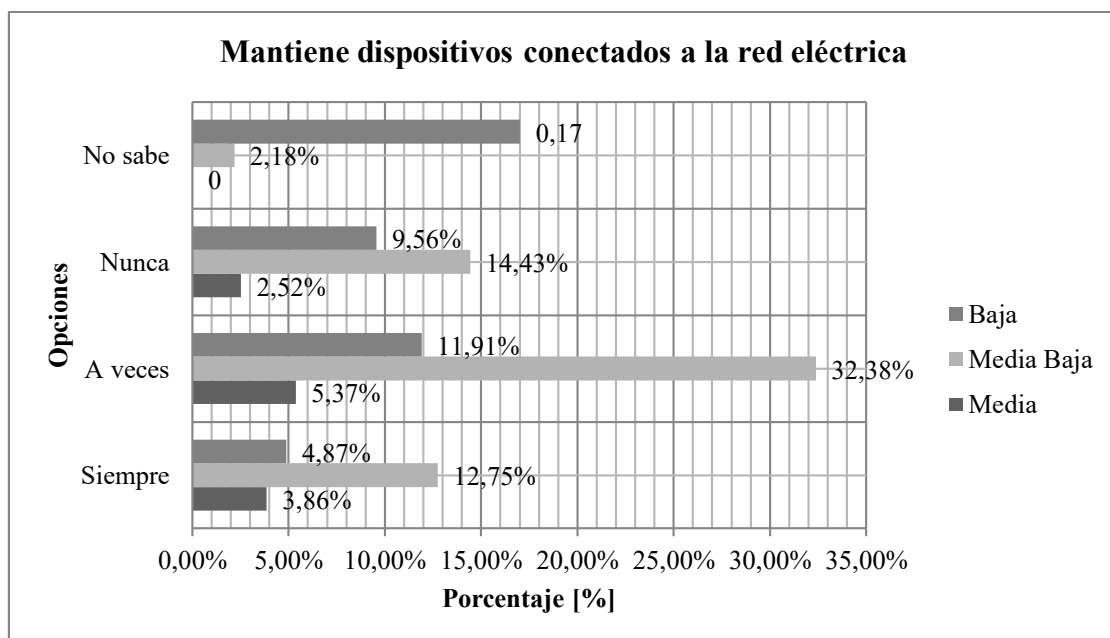


Figura 21. Hábitos de las familias sobre la conexión de los equipos eléctricos en el hogar

Con estos resultados obtenidos, los datos estadísticos oficiales del Balance energético (2019), el consumo promedio de energía eléctrica de los domicilios a nivel nacional en Ecuador es superior a 1656 kWh. Por ejemplo, en las zonas urbanas este valor puede elevarse hasta 1860 kWh, mientras que en sector rural el consumo es tan bajo como 90,9 kWh. Sin embargo, el incremento y la poca importancia del consumo eléctrico en las familias guayaquileñas no se da sólo por el área en donde viven, sino también por la región. Por ejemplo, en la región Costa presenta un gasto promedio anual aproximado de \$225,36, en Amazonía \$200,00 y en la Sierra \$192,0. La ciudad de Guayaquil tiene un gasto anual promedio por hogar de \$263,00, en el año 2019 se determinó que cada habitante ecuatoriano consumía alrededor de 1.517 kWh al año. Este coste energético sigue en acrecentamiento, ya que representa un aumento del 2 % en paralelo con estudios realizados años atrás (Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2019)

Algunas familias consideran que practicar ciertos hábitos para disminuir el consumo energético eléctrico no incide de manera positiva en el pago mensual de sus recibos eléctricos (anexos, 14, 15, figura 22). Las percepciones del usuario sobre el consumo eléctrico es pensar que sí, los equipos están apagados estos no consumen. Este desconocimiento de las familias sobre el consumo fantasma puede estar contribuyendo al incremento energético en sus recibos mensuales ya que los dispositivos al estar en modo stand by o modo de espera provocan lo que se conoce como “consumo fantasma” (Soule, 2021).

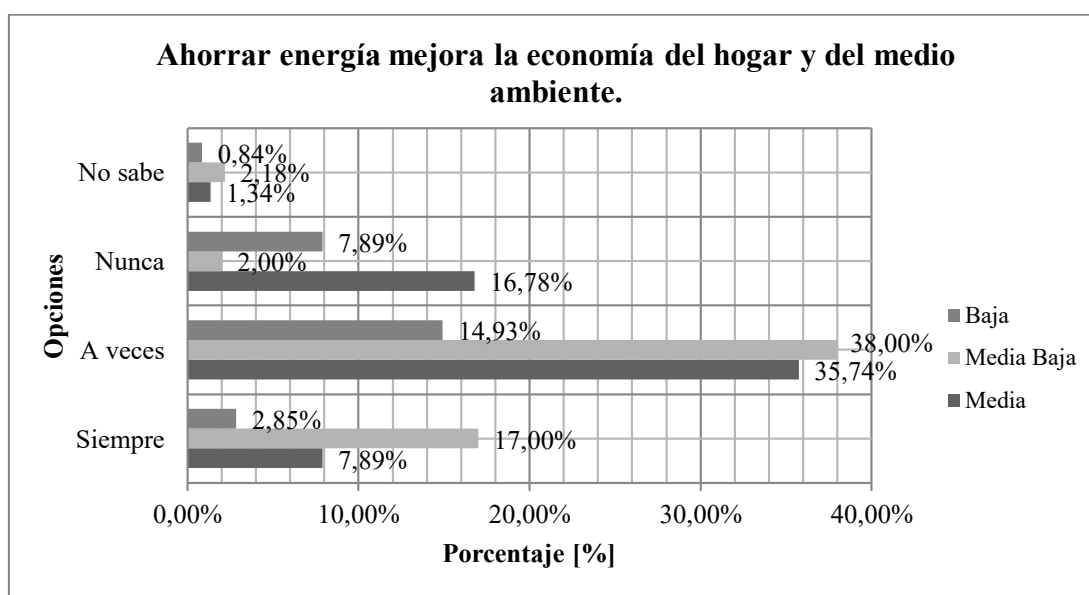


Figura 22. Percepción de las familias con respecto al ahorro energético eléctrico según el nivel socioeconómico.

En función de lo planteado, se procede a comprobar las siguientes conjeturas para esta estructura o segmentación:

H₁: El tipo de consumo energético afecta positivamente a la economía del hogar disminuyendo el coste energético eléctrico.

H₂: El uso de cocinas de inducción incrementa el coste energético eléctrico

H₃: El ahorro de energía mejora a la economía del hogar y del medio ambiente

El análisis estadístico de las hipótesis se presenta en la tabla 17, en donde los resultados obtenidos nos indican que el consumo de gas doméstico en los sectores urbanos participantes de la ciudad de Guayaquil, se han visto afectado en los últimos cuatro años por el coste energético en el sector eléctrico, lo que significa un aporte negativo para la economía del país y el proceso de urbanización.

Basado en los resultados obtenidos, se evidencia la percepción de que el uso de las cocinas de inducción no contribuye a la economía del hogar y más bien se eleva el coste energético eléctrico.

Tabla 17. Análisis de resultados de la estructura de producción (n=110, $\alpha=0,05$)

Descriptores	Chi Cuadrado	gl	p-valor	Coefficiente ϕ Pearson	Interpretación estadística
Disminución coste eléctrico	30,215	1	0.0000	0,524	$p\text{-valor} \leq \alpha$
Uso de cocina inducción	5,936	6	0.4303	0,226	$p\text{-valor} \geq \alpha$
Ahorro en energía	10,629	6	0.1001	0,311	$p\text{-valor} \geq \alpha$

Esto se da debido a que las familias están consumiendo mucha energía de tipo fósil (gas doméstico GLP) e hídrica (eléctrica). Pero el alto consumo de energía también se encuentra relacionado al deterioro del entorno. Es decir, un aumento en el gasto de energía por parte de las familias puede causar impactos negativos en los ecosistemas y en la salud de las personas debido a que, en la actualidad, la producción de energía se cimienta primordialmente en combustibles fósiles (Morales, 2015; Soule, 2021). Por ende, el ahorro de energía está altamente relacionado con la mejora en la economía del hogar y del medio ambiente, aunque las percepciones de los consumidores lo consideren negativo.

D.4. Análisis y discusión del escenario futuro

En esta segmentación se analiza la percepción de las familias guayaquileñas sobre la posibilidad de sustituir de manera progresiva la producción de gas GLP (fuente fósil) y modelar un dispositivo alimentado con biorresiduos orgánicos (restos de comida) y la aceptación de este tipo de tecnología amigable basado en la Biomasa. Los resultados sobre la disposición de adquirir un dispositivo que sustituya al gas doméstico (GLP) tienen mayor aceptación en el nivel medio bajo (61,74%), es decir, 368 participantes. En este estrato social el 54,36% de interés por el producto son del sexo masculino, mientras que el 7,21% está dado por el sexo femenino.

La técnica CHAID recae en la decisión del sexo masculino con un 31,54% en donde los hogares están compuestos por 4 miembros (30,85%) y la producción de desechos solamente orgánicos es menos de 2 libras con un 31,38% (figura 23).

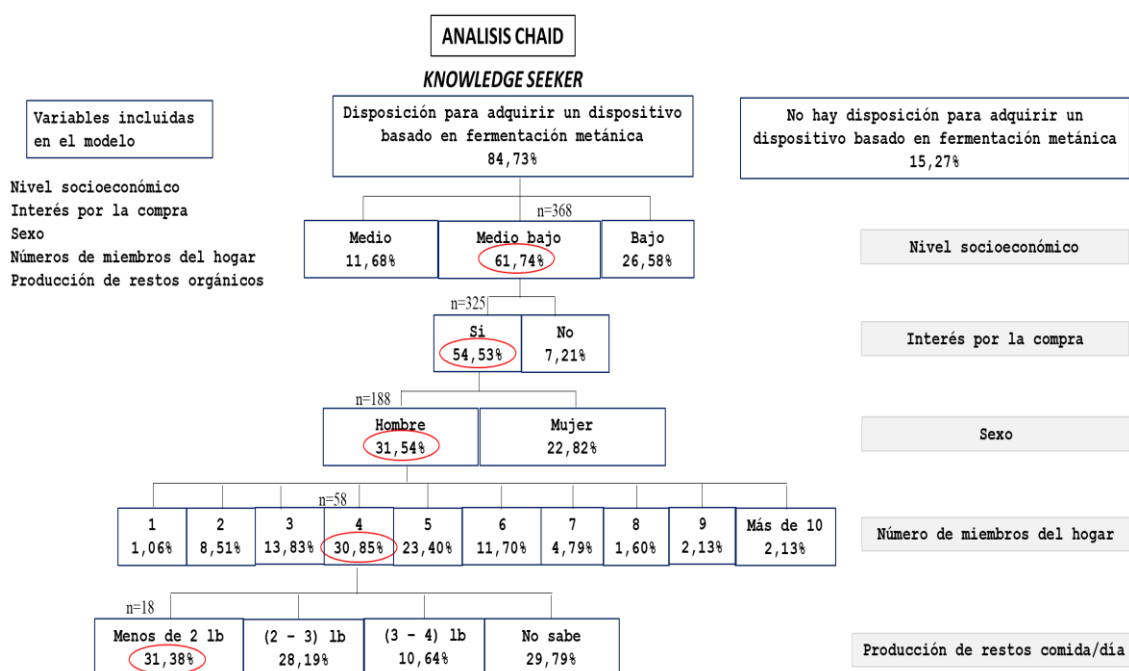


Figura 23. Diagrama de árbol sobre la disposición de adquirir un dispositivo anaerobio doméstico.

Cabe indicar, que los resultados de los otros estratos sociales (medio y bajo) recaen también en el sexo masculino, mostrando interés por la compra del dispositivo. Pero, el número de miembros en los estratos medio y bajo son de tres por hogar y con producción de desechos orgánicos de menos de 2 libras (47,47% aproximadamente), con un interés promedio del producto de 15,94% (anexo 20 y 21).

En lo que se refiere, a las tendencias y actitudes de las familias del nivel medio bajo los resultados nos indican que el 45,13% no tienen conocimiento en energías limpias, mientras que un 40,6% participa en programas que guardan relación con actividades ambientales, los cuales corresponden a niveles de educación básica y medio en donde participan algunos miembros del hogar (Mosquera y Cedeño, 2021; Bautista, 2021). Las familias entrevistadas muestran interés (54,53%) en tener charlas basadas en cómo desechar correctamente los residuos del hogar, y de temas sobre mejoras para el medio ambiente y el bien de la comunidad (figura 24).

En cambio, las familias del nivel bajo muestran un interés por participar de charlas de como reciclar los desechos que generan en sus hogares con el 4,2 % (nivel medio), y 16,44% para el nivel socioeconómico bajo. Además, se tiene que un 15,92 % de los hogares manifiestan no tener una conducta sustentable, es decir, los niveles socioeconómicos medios y bajo (anexo 22 y 23).

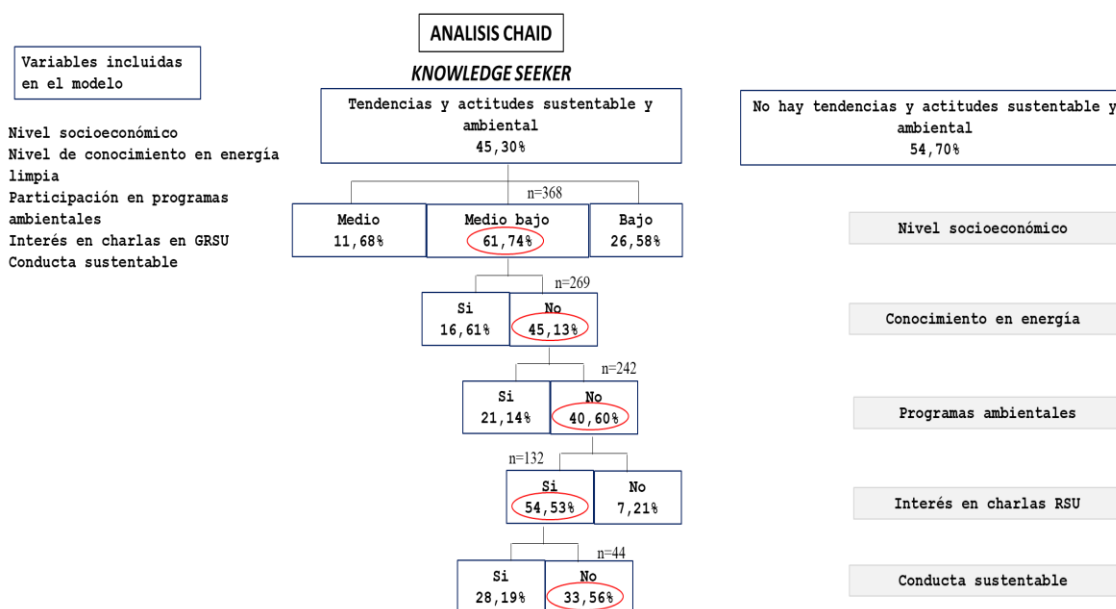


Figura 24. Diagrama de árbol sobre las tendencias y actitudes sustentables y ambientales.

Como consecuencia, la gestión inadecuada de los residuos produce impactos negativos que afectan al ecosistema, salud de las familias y aumento de la presión sobre los recursos naturales. En otras palabras, los estilos de vida basados en el confort que nos pueda proveer el uso tecnológico demanda un incremento del consumo energético como el uso de otros recursos naturales (Mosquera y Cedeño, 2021; Rueda, Rivera, y Alvarado, 2021).

La necesidad de uso de energía y del agua para el procesamiento de energía eléctrica. En síntesis, las tendencias y percepciones del consumidor energético favorables en relación con la generación, consumo de gas doméstico y el deterioro ambiental son elementos importantes para estimular un consumo diferente basado en la concientización ambiental y diversificación energética para mejorar la eficiencia energética (Bautista, 2021; Centre for Sustainable Development, 2004; Soule, 2021; Dueñas, Perdomo y Villa, 2014).

E. Conclusiones

Así como el crecimiento de la población exige necesidades básicas para tener una mejor calidad de vida, también debe contribuir con un estilo de vida sostenible. Todos los actores que habitan el planeta Tierra están en la posición de aportar con actitudes y conductas proambientales que beneficiarán a las futuras generaciones. Es necesario, comprender que cuando no se cubren las necesidades básicas de la sociedad como alimentación, vivienda, tecnología, etc., estaríamos en contra de un estilo de vida sostenible. El dejar de consumir recursos tampoco es la respuesta o solución. Nuestra indagación nos indica que si las familias del sector urbano marginal consumen ambos recursos como lo es: el gas de uso doméstico y electricidad a un nivel bajo (ambientalmente aceptable), esta contribución aparente de consumo energético se da por la falta de recursos económicos para poder pagar los recibos de ambos servicios básicos energéticos, lo cual genera un problema de sostenibilidad. En los respectivos análisis, observamos un nuevo tipo de consumidor, es decir, familias que son juiciosas con respecto a la adquisición y compra de productos ecológicos. Estas familias muestran valores disímiles y muestran su preocupación por sus acciones en el mercado, muy poco inusual en países en vías de desarrollado. No obstante, otro grupo familiar también puede adquirir bienes ecológicos sin reflexionar que su acto de adquisición pueda tener un influjo sobre la disminución de los restos de comida en su hogar. En síntesis, se debe realizar campañas de concientización sobre el ahorro de energía en el consumo energético tanto del gas doméstico y electricidad los fines derivarían en un estilo de vida más sostenible, por lo que se recomienda pasar los combustibles fósiles a fuentes de energía renovable, reciclar los residuos domésticos y compostear la materia orgánica. Por ende, procedemos a realizar un estudio acerca de los residuos orgánicos y cuán factible es que puedan ser aprovechados energéticamente, lo cual se explicará en el capítulo que prosigue a este.

CAPÍTULO 5

APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LOS RESTOS DE COMIDA DE FAMILIAS URBANA MARGINALES DE GUAYAQUIL PARA PRODUCCIÓN DE BIOGAS

A. Introducción

La valoración energética de los residuos orgánicos urbanos intradomiciliarios y su tratamiento tiene como objetivo reducir los impactos climáticos y ambientales negativos que puedan afectar al medio ambiente y a la localidad (Carhuanco y León, 2015; Coello, Rodríguez, González e Hidalgo, 2021). La intención es recobrar y restituir estos ROU como materia prima en las cadenas de valor. La basura orgánica que se genera en los hogares es una fuente de producción de diferentes gases que se manifiestan en los vertederos, tales gases (Monóxido carbono, Dióxido de azufre, Óxido de nitrógeno, clorofluorocarbonos), son nocivos para el medio ambiente y contribuyen al efecto invernadero, así como a otros efectos nocivos sobre el medio ambiente. Como se explicó en el capítulo 2 sobre los métodos de aprovechamiento para residuos orgánicos usados por GADM (ver figura 2), la ciudad de Guayaquil carece de un tratamiento de valoración correcta para los RSU. Desde el año 2015 hasta el 2018, se observó un aumento en las metodologías aplicadas para el aprovechamiento de RSU, con la colaboración de 221 cantones, utilizando las técnicas de compostaje, lombricultura y Bokashi (abono orgánico sólido que se usa para eliminar ciertos patógenos a través de la fermentación que acelera la degradación de la materia orgánica por elevación de la temperatura) (Ramos, Terry, Soto y Cabrera, 2014) En otras palabras, la técnica en fermentación metánica no parece muy viable (Gould et al., 2020). Entonces, ¿Cuál es el motivo de su desinterés por este tipo de tratamiento? Al parecer, el problema son los recursos y el desinterés de las autoridades por realizar estudios con este tipo de tecnología para implementar plantas de generación de biogás a partir de biorresiduos orgánicos (BSU).

Por otro lado, son varios los puntos negativos discutidos en capítulos anteriores. Para evocar tenemos: la generación de los RSU en las urbes metropolitanas, uso desmedido del consumo energético hídrico y fósil, incremento poblacional. Cabe destacar, que Ecuador se caracteriza por su riqueza en biomasa. Lamentablemente, no se está considerando la biomasa generada por la actividad cotidiana de las familias ecuatorianas, que son los ROU. Consideramos, que estos aspectos negativos pueden convertirse en una oportunidad desde el punto de vista de la valoración energética y del aprovechamiento de los RSU para producir energía limpia, que reemplace paulatinamente a los combustibles fósiles. De esta manera, estaríamos disminuyendo los impactos ambientales negativos y el consumo energético del gas GLP y de electricidad (Agencia de Regulación y Control Hidrocarburíferas, 2016; INEC, 2019)

No obstante, los GADM con mayores recursos económicos pueden optar por la tecnología basada en la fermentación metánica o anaeróbica a través del diseño de biodigestores artesanales de pequeña escala (BAPE) o, a su vez, en una “planta de biomasa residual” a gran escala. También se debe considerar la materia orgánica que se usará para la elaboración del biogás (ver tabla 18). Tales sustratos podrían catalogarse según su función, apariencia física, nivel de dilución, grado de concentración y características cuantitativas (porcentaje de sólidos totales (%ST), sólidos volátiles (SV) y demanda química de oxígeno (DQO) (Coello et al., 2021b).

Tabla 18. Clasificación del sustrato para tratamiento con tecnología anaeróbica

Características	Clase	Tipo de sustrato	Características cuantitativas	Tipo de Biodigestor
Sólido	1	Basura doméstica Estiércol sólido Restos de cosecha	>20% ST 40-60% Fracción orgánica	Puede degradarse eficientemente en digestores tipo «por lotes»
Lodo altamente contaminado, alta viscosidad	2	Heces de animales	100-150 g/l DQO 5%-10% ST 4%-8% SV	Son degradados de manera eficiente en digestores mezcla completa de operación continua. Por presentar una dilución mayor y en consecuencia una DQO menor
Fluidos con alto contenido de sólidos suspendidos (SS)	3	Heces de animales de cría y levante diluido con agua de lavado. Aguas residuales de matadero	3-17 g/l DQO 1-2 g/l SS	Deben tratarse con digestores de alta eficiencia, como los de filtro anaerobio
Fluidos muy contaminados, Sólidos en suspensión	4	Aguas residuales de agroindustrias	5-18 g/l DQO	Debido a su alta DQO deben ser degradados en digestores aerobios intensivos para mayor eficiencia.

Fuente: RedBioLAC (2015). Adaptado por la autora

A partir, de la información obtenida de las 596 familias entrevistadas y de la poca cultura del reciclaje de estos desechos orgánicos; consideramos que, si se utilizarán estos restos orgánicos para generar energía como sustituta de la fósil (al menos de forma parcial), estaríamos probablemente, proporcionando una respuesta a las dificultades que afectan a la economía del país (incremento de consumo energético fósil e hídrica) y del medio ambiente (contaminación ambiental en los vertederos).

De esta manera, a través de la producción de biogás utilizando como materia prima los restos de comida, cáscaras de vegetales y frutas se estaría generando una forma de

disgregar el monopolio del gas doméstico (GLP) y del coste energético en el sector eléctrico, es decir diversificación energética con miras a mejorar la eficiencia energética.

Nuestra propuesta, se enmarca en la posibilidad de valorizar estos desechos orgánicos domésticos urbanos (Caracterización físico-química), si cumplen con las peculiaridades para alimentar un digestor basado en la fermentación metánica (digestión anaerobia). De igual manera, para demostrar esta alternativa energética es necesario manejar conocimientos relacionados con la obtención de gas metano (CH_4) a partir de diferentes residuos orgánicos, entre otras sustancias (Arroyo y Reina, 2016; Rivard et al., 2020).

Con este estudio, se pretende investigar si ciertamente se produce biogás con más del 45% de CH_4 a partir de los restos de comida (RC) que se identifiquen de los hogares colaboradores (Teniza et al., 2015; Obileke, 2021). También, es necesario obtener una información exhaustiva de los principales residuos comunes en los hogares ecuatorianos; especialmente de la ciudad de Guayaquil, basándonos en los últimos datos estadísticos de fuentes oficiales como el INEC (2021) los cuáles serán nuestros valores de referencia.

De modo similar, se recolectará información de las viviendas voluntarias acerca de las características de sustrato orgánico de uso más frecuentes. Al mismo tiempo, debemos valorar energéticamente estos restos de comida (RC), y conseguir una cuantía que esté intrínsecamente en las categorías típicas establecidas por otras exploraciones en el análisis de RC, incluso cuando la dieta varía entre países. Como también, obtener los parámetros que inciden en el tratamiento de la fermentación metánica (Niban et al. 2021; Tchobanoglous et al., 2002; Coello et al., 2021b; Bond y Templeton, 2011; De Oliveira et al., 2021).

El supuesto del estudio consiste en examinar si el nivel de obtención de biogás queda explicitado por la valoración energética de los RC mezclada, a través de la caracterización físicoquímica de sus elementos, y comprobar si existen diferencias significativas de los RC de los hogares para producir biogás como sustituto del gas doméstico (GLP).

El presente capítulo se cimienta en aprovechar estos sustratos orgánicos que se producen en los domicilios de las familias urbanas marginales, mediante el análisis elemental y caracterización físicoquímica de los RC.

A.1 Área de estudio y localización geográfica

El estudio se centró en la zona urbana marginal de la ciudad de Guayaquil y contempló ocho parroquias urbanas y cuya ubicación es norte, sur, sureste y noroeste de la urbe metropolitana (figura 25).

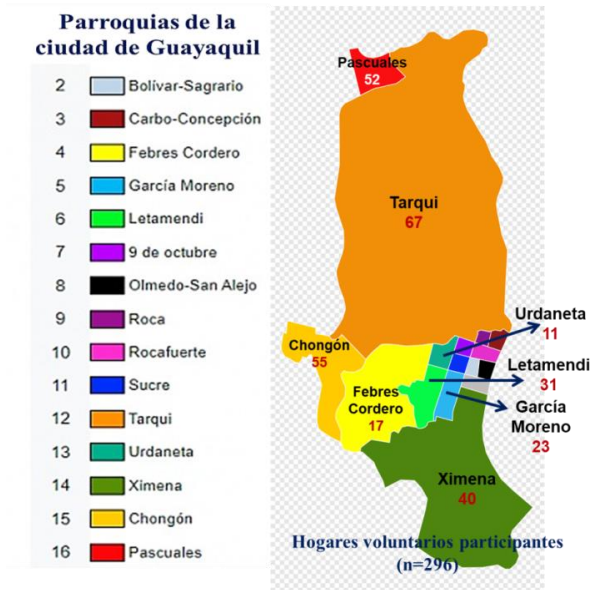


Figura 25. Mapa del Cantón Guayaquil y detalle ampliado de las parroquias urbanas de los sectores marginales (Hogares voluntarios participantes). Adaptado por la autora.

Entre diciembre y enero del 2019 - 2020 se realiza una clasificación domiciliaria urbana sociodemográfica de los restos de comida, cáscara de vegetales y frutas de uso más frecuente en el hogar de 296 familias voluntarias (Imagen 2). Las familias participaron en la recolección de sus desechos orgánicos por un tiempo de 28 días.



Imagen 2. Familias voluntarias confirmando su participación en la clasificación de los desechos orgánico en su lugar de residencia. (Tomado del cuaderno de campo)

El propósito fue realizar una caracterización más fidedigna de los restos de comida que se producen en estos hogares participantes para comprobar su aprovechamiento energético. Se inició la selección y capacitación de campo de los estudiantes colaboradores de la carrera de la Facultad de Ingeniería Industrial. Este programa de capacitación se llevó a cabo en las aulas de la Facultad de Ingeniería Industrial en noviembre del 2019, en donde se explicó a los estudiantes investigadores de cómo llenar el instrumento de recolección de datos a través de un cuaderno de campo (anexo 24), cómo caracterizar los restos de comida orgánica, tasación y abordar a las familias voluntarias en el sector de estudio. Todos los cuadernos de campo fueron recolectados por el grupo de investigación de la Mg. Coello Pisco Silvia Tecnol., perteneciente a la Cátedra de Electrotecnia, Física Aplicada y Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Industrial de la UG, para su respectivo análisis estadístico. Asimismo, las verificaciones y análisis se realizaron en el laboratorio de Física Aplicada de la Facultad de Ingeniería Industrial de la UG.

Para alcanzar los objetivos específicos se estudió principalmente los restos de comida, cascaras de vegetales y de frutas que se generan en el día, en cada hogar de manera independiente y se analizaron en conjunto cinco muestras de los restos de comida para determinar sus propiedades fisicoquímicas, contenido energético y comprobar la viabilidad de producir biogás con tal sustrato.

A continuación, explicamos los objetivos a perseguir en este capítulo como el proceso de análisis y resultados obtenidos.

B. Objetivos del capítulo

B1. Objetivo general

Caracterizar la relación C/N de los sustratos orgánicos para evaluar las condiciones físicas químicas y biológicas de los restos de comida de los hogares guayaquileños para producción de biogás de las familias participantes.

B2. Objetivos específicos

1. Identificar los restos orgánicos de uso frecuente de los hogares urbanos participantes y su factibilidad de ser usados como recurso energético.
2. Clasificar los restos de comida urbana para su respectiva caracterización fisicoquímica como sustrato que alimente un dispositivo anaerobio.

3. Analizar los restos de comida orgánica urbana para producción de biogás.
4. Evaluar las condiciones físicas, químicas y biológicas del sustrato orgánico a través del análisis elemental de los restos de comida para comprobar su aprovechamiento energético.

C. Metodología

El actual trabajo fue llevado a cabo en ocho parroquias urbanas marginales de la ciudad de Guayaquil, Ecuador, siendo los sectores de mayor consumo energético de gas doméstico de la urbe metropolitana; donde se generan también problemas con la acumulación de basura orgánica. La muestra fue por conveniencia, de las 596 familias encuestadas se obtuvo respuesta de colaboración de 296 hogares para clasificar y caracterizar los RC. En este proceso, se busca triangular los datos aportados por los domicilios colaboradores a partir de técnicas cualitativas y cuantitativas (Hernández *et al.*, 2014).

Consideramos, que al utilizar múltiples técnicas lograremos mejores deducciones en el estudio y debido al análisis de muestras específicas tomadas de los diferentes domicilios, deducir si los RC pueden ser considerados como un recurso energético alternativo (Fryn, 2019).

En cuanto, al tratamiento de la información para cada parámetro fisicoquímico se aplicará la prueba Q de Dixon, asegurando así la alta precisión de los resultados (Zhichao *et al.*, 2001), las suposiciones se probarán con valores de puntaje z de dos colas ($p > 0,05$) y el estadígrafo t para muestra única. Los análisis se realizarán con el software SPSS. El estudio se realizó utilizando varias mezclas de RA el desarrollo experimental se realizó de la siguiente manera:

C.1. Diseño experimental del estudio

C1.1. Primera etapa. Cuaderno de campo: Para realizar la respectiva caracterización de los desechos orgánicos se utilizó un cuaderno de campo (Anexo 22) para que los estudiantes recolecten la información necesaria para identificar los principales restos de comida, cascaras de vegetales y frutas que se produzcan en los hogares partícipes, como también el cálculo de las densidades y composición física de los residuos orgánicos, densidad y descomposición de los desechos (imagen 3).



Imagen 3. Estudiantes y miembros del hogar participando en la clasificación de los restos de comida en las viviendas (Fuente: Tomado del cuaderno de campo)

La clasificación, tasación de los desechos fue diaria por un tiempo de 28 días, se facilitó a las familias las fundas respectivas en donde se solicitaba desechar por separados los desechos orgánicos (restos de comida cáscaras de vegetales, frutas) (imagen 4).



Imagen 4. Clasificación de restos de comida mezclada de un hogar (Fuente: Tomado del cuaderno de campo)

C1.2. Segunda etapa. Caracterización del resto de comida (RC): Se trabajó con 148 alumnos que vivían en las zonas de las familias que aceptaron que se clasifique sus RC. Esta decisión se tomó para facilidad y protección de los estudiantes investigadores de campo debido a que ciertos sectores son considerados como zonas rojas (alta peligrosidad).

Cada estudiante clasificó y tasó a dos viviendas participantes y recolectó el último día 400 gramos de cada hogar. A continuación, debían reunirse con el líder de cada grupo

para entregar las muestras y llevarlas a los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad de Guayaquil (UG). Después se tomaron de los 400 g, muestras independientes de entre 90 a 100 g para realizar el análisis de: materia seca (105°C), humedad (%H), sólidos totales (ST) a 105°C, sólidos volátiles totales (SVT) a 500°C, peso (W) a 550°C, y porcentaje de cenizas (%), respectivo de cada hogar.

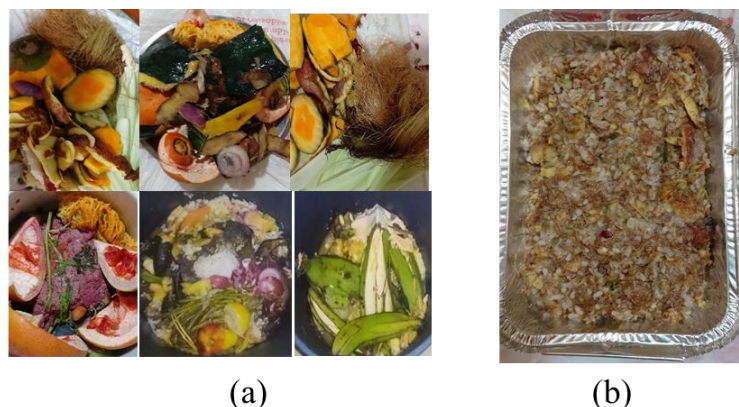


Imagen 5. (a) Diferentes tipos de residuos orgánicos para ser triturados de un grupo de familias (b) muestra triturada para su respectivo análisis elemental y de contenido energético (400g y 100 g) en los laboratorios AGRORUM y UG.

Finalmente, se tomaron 400 g de residuos de comida triturada de cada grupo según la cantidad de hogares para determinar la relación carbono nitrógeno C/N, sólidos volátiles, materia seca, conductividad eléctrica, etc., en los laboratorios AGRORUM (tabla 19)

Tabla 19. Formación de grupos de hogares participantes para analizar las muestras de cada hogar de manera independiente y sector parroquial al que pertenecen

Parroquia	Grupo	Cantidad de hogares	Análisis fisicoquímico	
			Cantidad de sustrato [g] (UG)	Cantidad de sustrato [g] AGRORUM
Tarqui	1	67	94,63	400
Ximena – García Moreno	2	63	95,23	
Pascuales	3	52	92,37	
Chongón	4	55	93,45	
Urdaneta – Febres Cordero - Letamendi	5	59	98,17	

Los supuestos en cuestión para las cuantificaciones son las siguientes (Tchobanoglous, et al., 2002):

Ho: $\mu < 70$ Ha: $\mu \geq 70$ → para la humedad

Ho: $\mu < 21$ Ha: $\mu \geq 21$ → para la materia seca

Ho: $\mu < 16$ Ha: $\mu \geq 16$ → para los sólidos volátiles % SVT.

Ho: $\mu < 1,111$ Ha: $\mu \geq 1,111$ → para poder calórico inferior PCI.

C.1.3 Tercera etapa. Determinación de la humedad relativa y sólidos totales de los RC: Un parámetro importante en la alimentación de un dispositivo anaerobio es comprobar el valor de porcentaje de humedad (%H) del sustrato orgánico puesto que la mayoría de los restos de comida, cáscaras de vegetales y frutas conservan cierto contenido de agua (ecuación 5). Algunos investigadores como Tchobanoglous, (2002) y Herrera J., Roja J., y Anchía D., (2016), indican que los RC producidos en el domicilio obtienen un contenido de humedad medio que fluctúa entre (70 – 80) % y otros entre (58,7 – 67) % “atribuible a residuos orgánicos biodegradables”.

La fórmula aplicada será:

$$\%humedad = \left| \frac{m_{hum} - m_{sec}}{M_T} * 100\% \right| \quad \text{Ecuación (5)}$$

$$\% ST = 100 - \% humedad \quad \text{Ecuación (6)}$$

En donde, m_{hum} es la masa húmeda, m_{sec} la masa seca y M_T la masa total, %ST porcentaje de sólidos totales a 105°C. Otro parámetro imprescindible a conocer es la cantidad de sólidos totales (%ST), sólidos volátiles (%SV) que se destruyen en el proceso de fermentación metánica y con el potencial de hidrogeno (pH) serán las principales cuantificaciones que permitan valorar la posibilidad de aprovechar un régimen de calor para el control de la temperatura de fermentación en el dispositivo piloto experimental (Obando, 2007; Gould, C. et al., 2020).

En síntesis, si queremos tener una buena producción de biogás en el dispositivo piloto experimental se debe verificar que se cumplan las condiciones o características de estas variables de control en el proceso de fermentación metánica. El contenido de ST, SVT, materia seca y orgánica se determinó por métodos gravimétricos (5, 15, 25 y 30 g de muestra a 105°C durante 125 minutos, lectura en un balance de humedad) (Venturin y Francisquetti, 2017). La relación carbono-nitrógeno (C/N) se obtuvo por cálculo y por técnicas espectrométricas para fósforo, potasio (Rojo et al., 2019). El pH por el procedimiento de potenciometría con electrodo de vidrio (15 g de muestra en 25 ml de agua destilada), su conductividad eléctrica por análisis de la prueba de Conductimetría a 25°C (15 g de muestra en 25 ml de agua destilada) (García et al., 2016; Sakurai, 2000).

C.1.4 Cuarta etapa. Análisis elemental de los RC: La estructura de los RC es un elemento esencial para la elección del mejor proceso para la transformación de los RC. Existen disímiles criterios a nivel internacional para efectuar un correcto estudio del

sustrato orgánico a tratar. Las propiedades físicas primordiales de los RC son: el peso específico, y el contenido de humedad. El análisis elemental de la materia orgánica regularmente comprende el cálculo del porcentaje de carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), azufre (S) y cenizas (Tchobanoglous G., Hillary T., y Vigil S., 2002). En la tabla 18 se presenta algunas de estas pautas para muestras de RSU. (Coello et al., 2021b; Moratorio D., Rocco I., y Castelli M., 2012)

Tabla 20. Normativa internacional para análisis de sustrato orgánico (RSU)

Normativa	Descripción
ASTMD 5331-9 2(2003)	Método de medida para composición de RSU a través de clasificación manual del sustrato orgánico
ASTM E790/830/897	Cálculo porcentual del contenido de humedad, cenizas, sólidos volátiles y carbono fijo del sustrato
ASTM E777/778	Determinación porcentual del contenido de carbono (C), hidrógeno (H) y nitrógeno (N)
ASTM E955	Cálculo del poder calorífico superior (PCS) de una muestra del sustrato orgánico

Adaptado por Silvia Coello. Fuente: Moratorio D., Rocco I., y Castelli M. (2012)

Para explicar si la valoración energética de los RC es idónea para producir biogás con un 45% CH₄, se selecciona el método basado en la fermentación metánica (digestión anaerobia). Por ello, es trascendente considerar ciertas variables o cuantificaciones que afecten en su operación y optimización de producción de biogás. Es decir, tener el control en tiempo real de las cuantificaciones físicas y químicas del modelo experimental (biodigestor), tomando como referencia teórica los valores adquiridos de otros estudios (Tchobanoglous et al., 2002; Moratorio D., Rocco I., y Castelli M., 2012).

C.1.5 Quinta etapa: Caracterización y contenido energético de los RC, PCI y PCS:

La caracterización energética se halla en función del poder calorífico presente en la materia orgánica, la muestra seca se procesa en una bomba calorimétrica adiabática. El cálculo del PCS y del PSI se obtuvo de una muestra homogenizada. Para calcular el PCS se aplicó la siguiente ecuación:

$$PCS = \frac{8056(\%C) + 33889\left(\%H - \frac{\%O}{8}\right) + 2200\%S + 556\%N}{100} \quad \text{Ecuación (7)}$$

Dónde:

PCS: poder calorífico superior

PCI: poder calorífico inferior

%H: hidrógeno

%C: carbono

%S: azufre

%N: nitrógeno

Para hallar el PCI se usa la siguiente ecuación 10 en donde “ $W=\%h$ ” es el porcentaje de humedad, esta fórmula fue propuesta por Sakurai (2020):

$$PCI = PCS - \frac{W}{100} \cdot 600 \quad \text{Ecuación (8)}$$

D. Resultados y discusión de la caracterización orgánica de los RC

Durante los 28 días de tasación y clasificación de los desechos orgánicos de los 296 hogares participantes se obtuvo un total de 21.657,27 kg de desechos orgánicos. Se aplicó la prueba de normalidad Z_c atípica (alejada del valor de la media de producción per cápita (PPC)). La PPC media fue de 0,510 kg/hab/día de los 296 domicilios con una desviación típica de 0,493 kg/hab/día. Eliminando los datos atípicos la muestra se reduce a 281 domicilios y la media es de 0,421 kg/hab/día, siendo la desviación de 0,289 kg/hab/día.

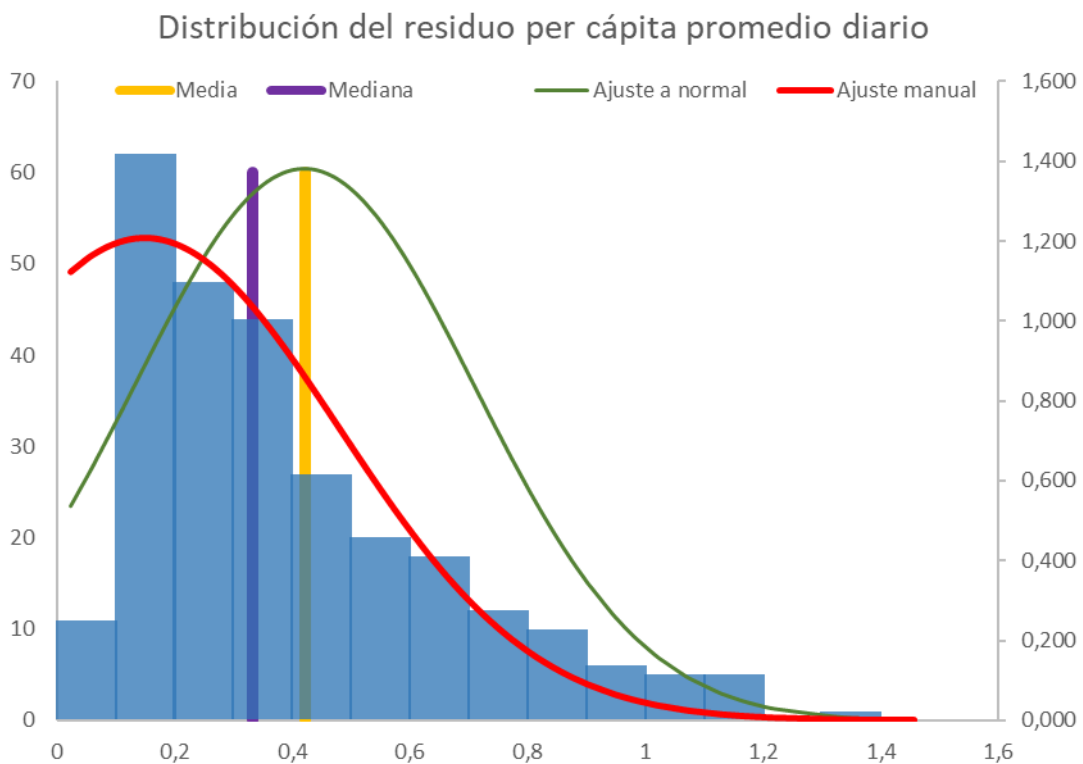


Figura 26. Distribución de los valores diarios de los desechos generados per cápita en los 28 días.

La figura 26 muestra el histograma de la distribución experimental de resultados de los datos PPC, junto con la media y la mediana de dicha distribución, indicando que hay una mayor concentración de valores a la izquierda de la media que a su derecha. Las unidades del eje de abscisas están expresadas en kilogramos. Se trata de una distribución

asimétrica positiva con valor de coeficiente de asimetría de 1,158, y un exceso de curtosis de 0,888.

Por tanto, tenemos una distribución experimental asimétrica positiva y leptocúrtica, que nos indica que la mayor parte de los valores se agrupan con una cierta intensidad por debajo del valor de la media.

En la misma figura 26 se muestran dos aproximaciones por distribución normal, una de ellas (llamada ajuste normal en la gráfica) toma como media y desviación los valores de la distribución experimental, pero al diferenciarse esta última en simetría y curtosis de la propia distribución normal no se consigue un buen ajuste, por lo que se realiza un segundo ajuste manual en base a las barras del histograma, desplazando la media de la curva al valor 0,15 kg/hab/día y ampliando el valor de la desviación a 0,33 kg/hab/día. Este ajuste experimental puede servir como modelo de distribución teórica para los valores a la derecha del valor medio de esta distribución (no así para la parte izquierda). Los valores a la derecha de esta media suponen un 86% de los valores obtenidos en la muestra tras desechar los datos atípicos.

La variación de generación de residuos orgánicos se mueve entre 0,024 y 1,458 kg/día-habitante (desechando datos atípicos). En cuanto, a los estratos socioeconómicos el nivel medio tiene una producción promedio mayor de 0,460 kg/hab/día, el nivel bajo genera 0,413 kg/hab/día y el nivel medio bajo 0,324 kg/hab/día, siendo el que menos residuos per cápita genera.

Basado en los datos del Instituto de Censo y Estadística (INEC) en el año 2020 se tiene que sólo un habitante de los sectores urbanos produce un promedio de 0,83 kg de RSU/día a nivel Nacional. Se tiene que la ciudad de Guayaquil produce 1,04 kg/hab/día el 56% de estos RSU son orgánicos, es decir 0,465 kg/hab/día. Por ende, nuestros resultados muestran que estamos muy próximos al promedio de generación a nivel urbano con un promedio de 0,421 kg/hab/día que representa el 50,72% del valor de RSU determinado por el INEC. Cabe mencionar, que nuestros datos se determinaron de los 296 hogares voluntarios, lo cual representa restos orgánicos intradomiciliarios, en otras palabras, generados dentro de cada vivienda urbana del sector marginal. Por lo tanto, no es directamente comparable con las cifras de producción per cápita promedio publicadas de investigaciones del INEC, dado que estas constituyen los RSU determinados en los vertederos o lugar de disposición final.

La producción de gas en un biodigestor depende de la cantidad de residuos orgánicos generados en el hogar, el cual puede estimarse a partir de la gráfica anterior, y el número de habitantes por vivienda recogidos en la encuesta realizada. Alternativamente se puede obtener de manera directa la distribución del residuo diario por hogar con los datos recabados. La figura 27 muestra el histograma de la distribución experimental una vez eliminados los valores atípicos, que tiene un valor medio de 2,081 kg por hogar y día, con una desviación típica de 1,598 kg por hogar y día, presentando un coeficiente de asimetría de 1,279 y un exceso de curtosis de 1,031. Por tanto, la distribución es asimétrica positiva y leptocúrtica con valores ligeramente mayores para ambos parámetros para la distribución por hogar frente a la distribución per cápita. En este tipo de distribución la mediana antecede a la media tal como se aprecia en la figura 27, siendo el valor 1,579 el que divide el 50% inferior del 50% superior.

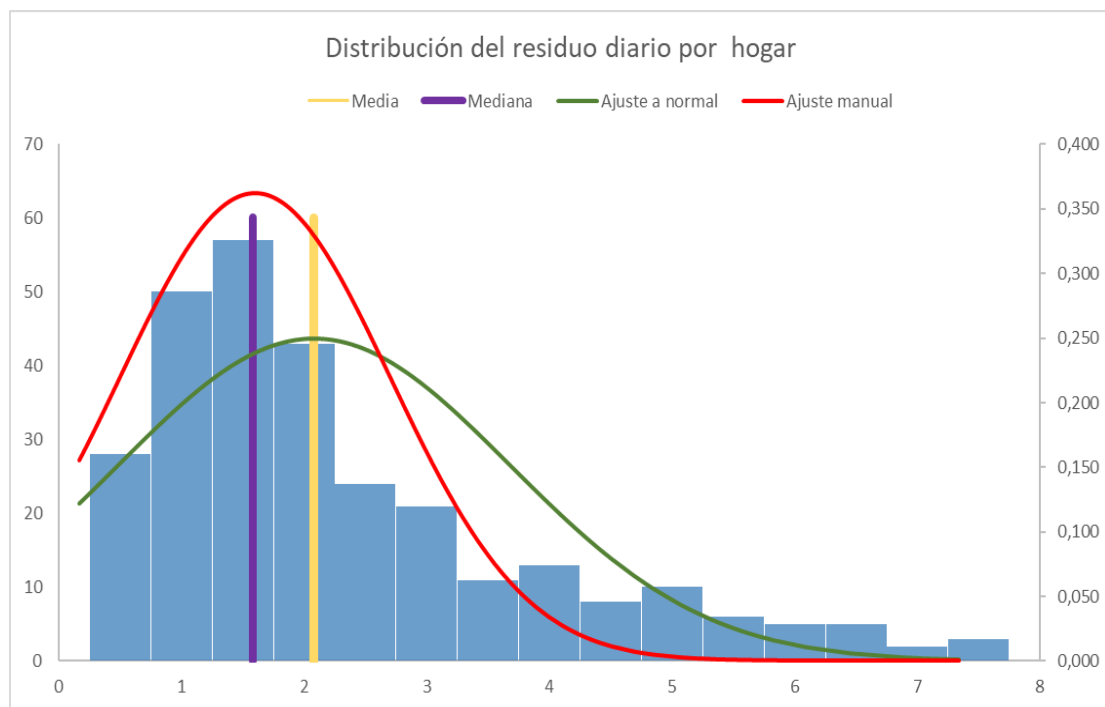


Figura 27. Distribución de los residuos diarios generados en los 28 días por hogar.

Se realiza un ajuste a una normal con los parámetros de media y desviación iguales a los de la distribución experimental, y a continuación se mejora mediante un ajuste manual que toma como moda un valor próximo a la mediana, y una desviación (1,1) inferior a la experimental. A la vista de la gráfica este ajuste manual puede tomarse como modelo para aproximar la probabilidad de la generación diaria de residuos en el hogar para valores inferiores a 4 kg, lo que supone un 86% de los casos de la muestra sin atípicos.

Para considerar que un hogar es candidato a sustituir el suministro de gas comercial por el uso de un biodigestor, no es suficiente con que la cantidad de residuos que produce sea elevada, sino que esos residuos han de generar la cantidad necesaria de metano para sustituir el poder calorífico proporcionado por el dispositivo comercial. La figura 28 presenta la distribución de la relación entre la masa de residuo producida y la capacidad (expresada en kg) de gas diaria consumida por el hogar, esta relación es adimensional. Para el cálculo se ha tenido en cuenta la generación diaria de residuo por hogar, durante los 28 días de recogida, y el gasto de unidades de almacenamiento de gas declarado en la encuesta, así como la capacidad del almacenamiento de cada unidad. Se debe precisar que cuando un hogar declara que usa un determinado número de unidades al mes, ese valor no es exacto, sino que está indicando que, de forma general, un número inferior de unidades no es suficiente, y tampoco necesita un número mayor, lo cual no implica que las unidades declaradas se consuman de forma completa en el transcurso del mes.

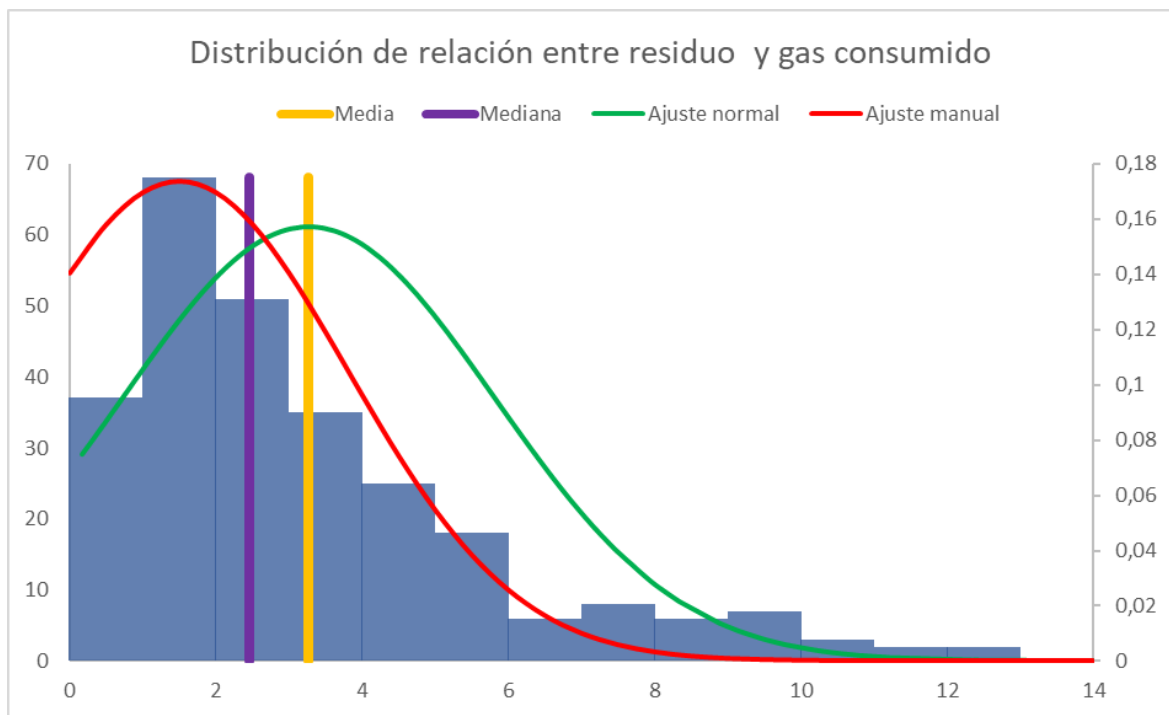


Figura 28. Distribución de la relación entre la cantidad de residuos generados por hogar y el gas consumido en el mismo.

El histograma corresponde a la distribución experimental, tras haber sido eliminados los datos atípicos, presenta una media de 3,269, una desviación típica de 2,541, el coeficiente de asimetría es de 1,428 y el exceso de curtosis 1,730; por su parte la mediana se sitúa en un valor de 2,466.

Por tanto, se trata también en este caso de una distribución asimétrica positiva y leptocúrtica. Se realiza una aproximación a la normal (gráfica verde) usando los parámetros de media y desviación de la distribución experimental, y se corrige de forma manual (gráfica roja) tomando como media el valor 1,5 y desviación 2,3.

Tal como muestra la figura este ajuste manual, puede tomarse como una aproximación teórica para el intervalo de 1,5 a 7; este intervalo representa el 62% de los datos de la distribución experimental. Este modelo puede usarse para la determinación del porcentaje de hogares que son candidatos a cubrir sus necesidades con un biodigestor, complementando la información del modelo con la relación entre los poderes caloríficos de la fuente comercial y la fuente alternativa.

D.1. Análisis de resultados de la composición física de los residuos orgánicos generados en los domicilios participantes.

La producción de cáscaras de frutas desechadas en los hogares de mayor frecuencia son la chirimoya (10,23%), los cítricos (9,5%), tomate de árbol (7,02 %), guineo (8,77%), verde (8,19%), aguacates (6,58%), entre otras frutas, estas componen el 41.92% de desechos generados en los hogares (anexo 25).

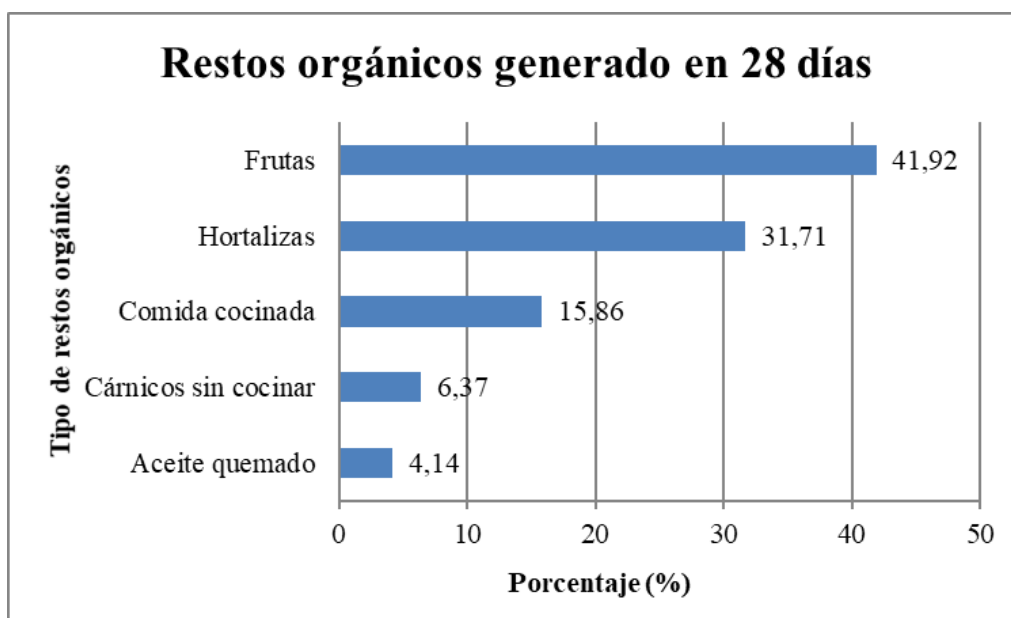


Figura 29. Generación de residuos orgánicos en los hogares de estudio.

El 58,08% restante, son cáscaras de vegetales en un 31,71%, restos de comida cocinada 15,86%, desechos cárnicos sin preparación en un 6,37% y aceite quemado en un 4,14% en el anexo 26 se detalla la variedad de hortalizas que consumen las familias.

En cuanto, a los restos de comida los desechos más comunes y tasados es el arroz cocinado y resto de comida mezclado ambos en un 27,04%, el aceite quemado en un 26,08 % y cáscaras de huevo con 9,66%, otros desechos en menor porcentaje se detallan en el anexo 27. Diferentes desechos orgánicos de uso frecuente, son las cáscaras de camarón (34,2%), piel de gallina (13,68%), huesos de pollo (16,08), resto de carne roja (12,31%) entre otros despojos (anexo 28). Entre los restos orgánicos predominantes de consumo fueron las cáscaras de frutas, hortalizas y resto de comida varia que se encuentra en la dieta diaria de las familias urbanas marginales (figura 29).

D.2. Análisis de resultados de la caracterización fisicoquímico de los restos de comida de los hogares participantes.

La información sobre la composición química de los componentes de los RC nos permitirá evaluar las opciones de procesamiento y recuperación idónea para estos restos orgánicos (Imagen 6 y 7).

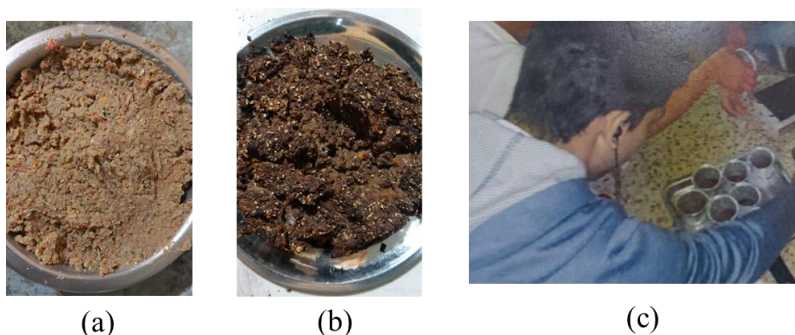


Imagen 6. (a) Materia orgánica triturada de un grupo de familias para su respectivo análisis %humedad y contenido energético (100g) (b) Muestra seca a 105°C (c) Estudiante colaborando en el análisis de secado de materia orgánica en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Industrial.



Imagen 7. (a) Materia orgánica triturada y pesada 100 g (b) muestra de un grupo de 10 familias identificada según el líder de cada zona y la materia orgánica seca a 105°C.

El valor correspondiente de todos los análisis de los 296 hogares se puede consultar en los anexos 29 al 33. Cómo se desea demostrar si estos desechos son ideales para producción de energía, se presentan a continuación las cuatro propiedades fundamentales

que determinan su valoración energética, el análisis físico, punto de fusión de las cenizas, análisis elemental y contenido energético. Los resultados fisicoquímicos de los RC de las viviendas en donde se recolecto los residuos orgánicos figuran en la tabla 21.

Tabla 21. Características de los restos orgánicos intradomiciliarios utilizados en este estudio (valores medio de los cinco grupos)

	Materia seca (105°C) %(s.m.s)	Humedad (%)	%ST (105°C)	%SVT (500°C)	W (500°C)	Cenizas (%)
Grupo 1	19,404	75,226	24,774	13,789	6,948	11,113
Grupo 2	21,799	73,431	26,569	13,460	10,956	13,857
Grupo 3	24,982	67,388	32,612	12,352	13,806	20,260
Grupo 4	24,650	68,800	31,200	12,611	13,115	18,588
Grupo 5	15,698	82,472	17,528	15,117	8,454	8,369
Tchobanoglous (2002)	21,4	70 - 80		16		5

Cabe recordar, que el día 28 se tomaron 400 g de cada hogar de manera independiente, es decir de un único día. Los valores mostrados son las medias del total de cada grupo formado (imagen 6), tal como se indica en la tabla 19.

Con base en el análisis de los restos de comida, se encontró que la materia seca (105°C) oscila entre 15,69 y 24,92%; para humedad (%) entre 67,4 y 82,4%; materia orgánica 92,37 a 98,17%; fosforo (P) entre 0,19 y 0,3%. La relación carbono nitrógeno C/N 19,15 y 30,62 mientras que el %SVT contiene entre 12,35 y 15,17. Los valores de cada grupo pueden compararse en la tabla 21 con los resultados arrojados por el estudio de Tchobanoglous (2002). En el anexo 34, se puede consultar los datos de manera independiente, que genera cada hogar por cada día de desechos recolectados y caracterizados. La diferencia entre los datos obtenidos con los de Tchobanoglous, consiste en que la materia orgánica analizada no estaba mezclada con otros desechos obtenidos de un vertedero. Los análisis dados por Tchobanoglous (2002) corresponden a una dieta diferente detectada hace dos décadas en USA, estos RC intradomiciliarios fueron analizados en los laboratorios de la UG (Coello, et al., 2021b).

Otros estudios, muestran un valor de 8% para las cenizas y la humedad en 68% (Enciclopedia Ambiental Ambientum, 2022), en el estudio de Hernández, Benítez y Bermúdez (2018) determinaron un 32,3 de %ST y 99,1 de %SV mientras que el

porcentaje de humedad en 67,7%, estos residuos fueron tomados de los vertederos en Cuba.

Los resultados de humedad obtenido por Zhang et al. (2013) de los restos de cocina es de 74,28% mientras que Zou et al. (2016) tiene un porcentaje de humedad de 75,25%, y de 59.3% en los estudios de valoración de residuos orgánicos sólidos por Ballardo Vanessa (2016).

La obtención de biogás tiene un límite que depende intrínsecamente de la naturaleza de la materia orgánica disponible en el sistema prototipo experimental. Es significativo, indicar que algunos componentes fundamentales que rigen el proceso de biotécnica anaerobia, requieren un monitoreo minucioso de las condiciones ambientales. Entre ellas tenemos el material con que se alimenta al biodigestor que se puede utilizar en la fermentación metánica. La humedad es una variable determinante de la biomasa, representa la cantidad de agua presente en la muestra en concordancia con su peso e incidencia con el poder calorífico del sustrato (Safoora et al., 2019; Pezo, 2019; Coello et al., 2021b).

En otras palabras, el tipo de sustrato orgánico que se use como fuente de energía, su valor calorífico estará relacionado directamente con la cantidad de humedad presente en él (Arroyo y Vinuesa, 2016; Venturin y Francisquetti, 2017).

Tabla 22. Deducciones de la prueba “T” única para la hipótesis reclamada Ho

Grupo	Muestra (n)	Materia seca	Humedad	%SVT	Cenizas
1	67	-2,7131	8,9118	-20,5656	9,2302
2	62	0,57974	2,4895	-10,0552	5,7944
3	52	2,83797	-1,8615	-15,6091	9,1908
4	55	3,46285	-1,8615	-17,5391	10,8942
5	59	-4,12075	9,6943	-3,7451	3,0509
	296	0,23612	6,2251	-22,728	-3,0162

Para que el rendimiento en el prototipo de biodigestor anaerobio experimental sea óptimo y eficaz, el nivel de obtención de biogás debe estar definido por la recuperación energética de la sustancia orgánica. Para ello se realiza el análisis de contraste de las hipótesis propuestas.

A la luz de los resultados obtenidos en las tablas 22 y 23 mediante el contraste de hipótesis realizado, existe evidencia suficiente para poder aceptar la hipótesis alternativa ($p > 0,05$).

Tabla 23. Prueba T de hipótesis estadística de dos colas

Variable	Decisión estadística (n=296)	Interpretación
Materia seca Ho: $\mu < 21$ Ha: $\mu \geq 21$	Rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alternativa. La puntuación z de 2,05 se encuentra dentro del área de rechazo	Los 2 puntos de corte son 1,96 y -1,96. Como el 2,05 está fuera de este intervalo, rechazamos la hipótesis nula, porque la puntuación z está fuera de su rango. Aceptamos la hipótesis alternativa
Humedad (%) Ho: $\mu < 70$ Ha: $\mu \geq 70$	Rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alternativa. La puntuación z de 6,22 se encuentra dentro del área de rechazo	Los 2 puntos de corte son 1,96 y -1,96. Como el 6,22 está fuera de este intervalo, rechazamos la hipótesis nula, porque la puntuación z está fuera de su rango. Aceptamos la hipótesis alternativa
%SVT Ho: $\mu < 16$ Ha: $\mu \geq 16$	Rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alternativa. La puntuación z de -22,72 se encuentra dentro del área de rechazo	Los 2 puntos de corte son 1,96 y -1,96. Como el -22,72 está fuera de este intervalo, rechazamos la hipótesis nula, porque la puntuación z está fuera de su rango. Aceptamos la hipótesis alternativa
Cenizas Ho: $\mu < 5$ Ha: $\mu \geq 5$	Rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alternativa. La puntuación z de 14,96 se encuentra dentro del área de rechazo	Los 2 puntos de corte son 1,96 y -1,96. Como el 14,96 está fuera de este intervalo, rechazamos la hipótesis nula, porque la puntuación z está fuera de su rango. Aceptamos la hipótesis alternativa

Como se demostró en la prueba de hipótesis las muestras obtenidas de los hogares cumplen con los parámetros para ser usados como alimento del prototipo de biodigestor experimental piloto que se construya.

D.3. Análisis de resultados elemental de los componentes de los RC

El análisis elemental de un sustrato orgánico implica el cálculo de los porcentajes de carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), azufre (S) y ceniza. Con los resultados que se obtenga de los análisis del laboratorio se procede a caracterizar la composición química del sustrato orgánico y a partir de esta información obtener el contenido energético de las muestras domiciliarias.

Tabla 24. Análisis fisicoquímico de las muestras independiente de cada grupo de hogares colaboradores (400 g) en AGRORUM

Grupo	Cantidad de muestras	Materia orgánica [g]	Materia seca [g]	% Humedad	%ST (105°C)	%STV (505°C)
1	67	94.63	18.508	76.122	23.878	15.651
2	63	95.23	16.513	78.717	21.283	16.184
3	52	92.37	23.636	68.734	31.266	13.314
4	55	93.45	24.650	68.800	31.200	14.145
5	59	98,17	15.698	82.472	17.528	16.956

Otras variables de interés para el dispositivo es la relación carbono – nitrógeno (C/N), y los contenidos energéticos o poder calorífico superior (PCS) e inferior (PCI). Por ende, se tomaron 400 g de cada grupo con el fin de obtener información con métodos y técnicas

más avanzadas utilizadas en la determinación de los parámetros fisicoquímicos en los laboratorios AGRORUM (tabla 24).

Se procede a calcular los contenidos energéticos con las ecuaciones descritas en la etapa quinta C.1.5 (tabla 25).

Tabla 25. Análisis elemental de los hogares con muestra de 400 g en AGRORUM

Grupo	C (%)	H (%)	S (%)	O (%)	N (%)	Ecuación estequiometria	PCS [kcal/kg]	PCI [kcal/kg]
1	47.15	6.40	0.38	44.53	1.54	C ₃₅₇ H ₅₅₉ O ₂₅₃ N ₁₀ S	4097.96	3641.23
2	46.78	6.04	0.32	44.97	1.89	C ₃₅₄ H ₅₂₈ O ₂₅₆ N ₁₂ S	3928.13	3455.83
3	47.45	6.23	0.36	44.10	1.86	C ₃₅₉ H ₅₄₅ O ₂₅₁ N ₁₂ S	4084.07	3671.67
4	46.75	6.04	0.33	45.30	1.55	C ₃₅₄ H ₅₂₈ O ₂₅₇ N ₁₀ S	3910.06	3497.26
5	47.31	6.38	0.37	44.47	2.47	C ₃₅₈ H ₅₅₈ O ₂₅₃ N ₁₆ S	4111.56	3616.73

Por otro lado, Tchobanoglous (2002) indica en su estudio de caracterización y análisis elemental de los RSU que no todo el sustrato orgánico se convierte en CO₂ y CH₄, con una cierta fracción no biodegradable, es decir, dependerá del contenido de lignina.

A pesar de las limitaciones, es posible, a través de las ecuaciones esteoquimétricas, obtener una estimación de la cantidad máxima de gas que se puede esperar de la fracción fácilmente degradable (tabla 25).

De acuerdo, con los resultados obtenidos el contenido energético supera el rango típico propuesto por los estudios de Tchobanoglous (2002), por ende, los restos de comida que se generan en los hogares urbanos marginales son idóneos para ser aprovechados y valorados para producción de energía (tabla 26 y 27).

Tabla 26. Prueba T de hipótesis estadística de dos colas

Variable	Decisión estadística (n=296)	Interpretación
PCI (kcal/kg)	Rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alternativa.	Los 2 puntos de corte son 1,96 y -1,96. Como el 9.059,96 está fuera de este intervalo,
Ho: $\mu < 1,111$	La puntuación z de 9.059,96 se encuentra dentro del área de rechazo.	rechazamos la hipótesis nula, porque la puntuación z está fuera de su rango. Aceptamos la hipótesis alternativa.
Ha: $\mu \geq 1,111$		

Tabla 27. Contenido energético kcal/kg-día

Resultados (n=296)	PCS	PCI
Tchobanoglous	2018,82	1386,02
Experimental UG	4026,36	3576,54
Experimental AGRORUM	4021,73	3566,45

En síntesis, el nivel de producción de biogás está explicitado por la valoración energética de los restos de comida mezclada y acorde con los resultados se puede utilizar tales sustratos orgánicos para producir biogás como sustituto del gas doméstico (GLP).

Con estos resultados, se demuestra que los desechos alimentarios generados en los hogares de Guayaquil pueden ser utilizados y aprovechados para producción de biogás (Coello et al., 2021; De Oliveira, 2021; Obileke, 2021).

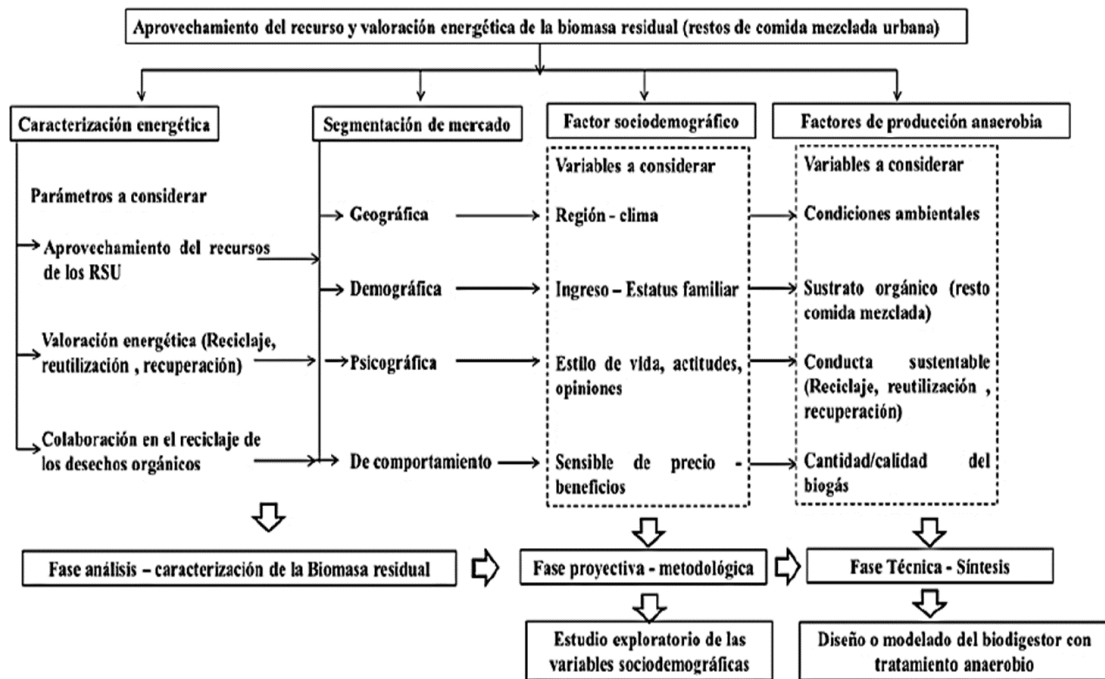


Figura 30. Relación de los factores sociodemográficos con la producción de biogás y diseño conceptual de un prototipo de digestor anaerobio

A continuación, proponemos la metodología de diseño conceptual en ingeniería que planteamos para el esquema de un prototipo experimental (figura 30); a partir, de los datos obtenidos por las familias participantes según sus factores sociodemográficos y segmentación de mercado. Cabe recordar, que la estructura del cuestionario guardaba relación con el factor de producción conceptual del biodigestor anaerobio (Coello et al., 2019a; Coello et al, 2022c).

E. Conclusiones

El patrocinio de una nueva tecnología basada en energía limpia cada vez muestra más efectos satisfactorios en ambientes urbanos a nivel mundial. La producción mundial de biogás está teniendo una aceptación positiva. En Ecuador, la aplicación de una técnica de tratamiento eficaz para aprovechar los residuos sólidos es casi inexistente, donde se

explicó en capítulos anteriores que solo la ciudad de Quito aprovecha los RSU. En este estudio, se demostró que los restos de comida que se generan en los hogares participantes basado en el análisis elemental y caracterización fisicoquímica del sustrato pueden ser aprovechados para producción de biogás. Los contenidos energéticos de los sustratos están entre los valores 4021,73 kcal/kg para PCS y 3566,45 PCI kcal/kg, como también los parámetros de %humedad, %SV, %ST del sustrato están en los rangos típicos según otros estudios sobre valoración orgánica de ciertos desechos obtenidos de los vertederos. A continuación, explicaremos en el capítulo siguiente si los biodigestores domésticos artesanales a pequeña escala de tipo experimental (BAPE), pueden producir biogás mayor al 45% CH₄ necesario según el sustrato que se genera en cada hogar. También, se expondrá a partir del diseño en ingeniería el modelo ideal para estos sustratos y los beneficios socioeconómicos importantes que pueden obtenerse al construir un biodigestor domestico para el sector urbano.

CAPÍTULO 6

INGENIERÍA DE DISEÑO CONCEPTUAL Y EXPERIMENTAL DE UN BIODIGESTOR ARTESANAL A PEQUEÑA ESCALA PARA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

A. Introducción

En este capítulo se explicará el proceso seguido para el diseño de un modelo propio de producción de biogás para uso doméstico urbano. Para ello es necesario evaluar las variables primordiales de las que depende la producción de biogás. De modo resumido, para cumplir esto se constituyen las bases de partida para el diseño conceptual del modelo matemático, utilizando los resultados del análisis físicoquímico y contenido energético de los restos de comida intradomiciliarios, cuyos análisis se hicieron en los respectivos laboratorios de la Universidad de Guayaquil y AGRORUM S.A. Una vez determinadas las variables principales de las que depende la producción de biogás, para generar el modelo matemático se establece en primer lugar el volumen teórico de biogás (Bt o PBM), el porcentaje de metano y la rápida biodegradabilidad a partir de una determinada composición de restos de comida mezclada conocida. En base a la relación estequiométrica se estima la cantidad de biogás que podría generar cada hogar, y el porcentaje de hogares que serían candidatos a poder sustituir el uso del gas comercial para cocinar por un sistema basado en biodigestor. Posteriormente, se aplica el modelo o diseño de reactor a modo experimental para evaluar las condiciones ambientales y de control que puedan afectar a la producción de biogás por medio de la técnica anaerobia.

A.1 Diseño de biodigestores basado en la fermentación metánica

Son varios los modelos de biodigestores basado en la tecnología metánica, todos ellos dependiendo de ciertas características como: el tipo de sustrato, contenido de materia seca de la mezcla, grado de mezclado y etapas del proceso. No existe una tecnología de degradación mejor que otra, sus construcciones van desde modelado doméstico hasta plantas de metanización con tecnología automatizada y relacionada con la industria 4.0. La elección del diseño de biodigestor dependerá del objetivo que se persiga, recursos de que se disponga, financiamiento, entre otros aspectos significativos para la ejecución y puesta en marcha del proyecto. Por otro lado, no existe una clasificación estándar de los tipos de biodigestores, pero se puede bosquejar una clasificación según su diseño, características, nivel tecnológico. Para ejemplificar, tenemos:

- a) Carga: puede realizarse de forma discontinua, semicontinua o continua.
- b) Contenido de materia seca de la mezcla: húmedos, semihúmedos o secos.
- c) Grado de mezclado: completa, mezcla parcial o nula
- d) Manejo del sustrato: hay digestores que lo hacen y otros que no

- e) Etapas del manejo: una o dos etapas.
- f) Respecto del nivel de tecnología: bajo, medio o alto. En esta parte evaluamos el control del mezclado, la temperatura durante el proceso, automatización y sistemas de medida de la operación (FAO, 2019).

A continuación, detallamos los diferentes modelos existentes de sistemas de biodigestión utilizando la fermentación metánica como tecnología limpia, sobre todo de los reactores. (tabla 28).

Tabla 28. Diseños de biodigestores comunes

Sistema de carga/Diseño	Característica
Discontinuo/Batch	Cargan de desechos orgánicos una única vez en cada proceso de producción, luego se extrae el fertilizante para iniciar otro ciclo
Biodigestores semicontínuo o continuos húmedos sin manejo del sustrato:	Biodigestores rurales de baja tecnología: a) Taiwanés, tubulares o flexibles: Son tipo continuo, es decir, que se cargan y descargan una vez al día, todos los días. Su construcción es tipo vertical y por lo general son enterrados, dando apariencia de una ciénaga. Por efecto de la gravedad se cargan solamente una vez al día. b) Chino: biodigestor que trabaja de manera discontinua: Se carga una o dos veces al año (y se vacía) dando un excelente biabono, ya que el tiempo de retención es muy largo
	Biodigestores de laguna cubierta media-baja tecnología: biodigestores construidos a partir de lagunas de tratamiento de efluentes, que en muchos casos se cubrieron con membranas para captar el biogás y así aprovechar la biodigestión anaeróbica
	Biodigestores de mezcla completa de media-alta tecnología: modelo de biodigestores que buscaba mantener altas eficiencias de producción de biogás, reduciendo al mínimo los costos de inversión.
	Biodigestores de mezcla completa de alta tecnología: Trabajan a diferentes temperatura (psicofílica, mesofílicas, termofílico), bajo cualquier condición climática, con altas cargas tanto de sólidos como orgánicas para maximizar la eficiencia del proceso.
Biodigestores para efluentes líquidos con altas cargas orgánicas	En este tipo de técnica la reducción de la DQO es considerable (efluentes orgánicos muy diluidos), % materia seca es inferior a 1% en la mezcla. Su T_{RH} , también es muy reducido (días a horas). El resultado es un volumen reducido significativo.
Biodigestores semicontínuo o continuos semihúmedos sin manejo del sustrato	Son reactores, que pueden ser de flujo vertical y horizontal. funciona con mezclas de alimentación que contienen entre 25 y 35% de materia seca. Son idóneos para trabajar con FORSU, con sustratos con bajo contenido de humedad o en zonas en las que no se cuenta con recursos hídricos para diluir las mezclas
Biodigestores semicontínuo o continuos secos sin manejo del sustrato	Estos sistemas tienen una menor eficiencia de producción de biogás comparados con los reactores húmedos o semihúmedos, presentan ciertas ventajas que los vuelven apropiados para el tratamiento de FORSU en centros urbanos.
Biodigestores semicontínuo o continuos húmedos en dos etapas	Este tipo de plantas de biogás se denomina “de dos etapas” o “de hidrólisis secuencial”, se mejora la digestión de carbohidratos como los mencionados, y la producción de biogás puede aumentar significativamente para un mismo sustrato, sobre todo aquellos ricos en fibras

Fuente: FAO, 2019. Adaptado por Silvia Coello.

A.2 Ingeniería del diseño

Para modelar un biodigestor experimental, nos fundamentamos en estudios de ingeniería del diseño y construcción de biodigestores artesanales para el área urbana, cuyas investigaciones permitieron tener una representación más elaborada sobre el producto (prototipo experimental), final a ser desarrollado. La función de la ingeniería del diseño tiene como esencia primordial dar respuesta a las dificultades que plantean las demandas de los diferentes consumidores. Para innovar o diseñar un producto, se necesita realizar una búsqueda directa de los consumidores y no solo eso, también las solicitudes y condiciones que imponen otros dependientes de la industria, mercado, normativas y leyes ambientales, etc. En otras palabras, el producto debe ser producible para satisfacer la demanda que cubra la necesidad de alguna situación problemática (Chaur Bernal, s.f; García et al., 2017).

No obstante, no se debe confundir ambos términos “demanda” y “necesidad” esto se debe a que puede existir necesidades que no se concretan y no llegan a ser demandas; como también darse una demanda artificial que carece de una necesidad real o inexistente (García et al., 2017)

El diseño conceptual en ingeniería es la fase previa al esbozo elemental del prototipo de biodigestor a una escala mayor y por medio del cual se confirma la posibilidad económica y técnica de un proyecto de ingeniería (ONUAA, 2019; Ramírez, 2017; Baca 2016). El investigador Douglas James (1988), menciona que el diseño conceptual consiste en la capacidad inventiva de crear ideas para producir nuevos equipos e inclusive procesos y cuyo propósito es dar valor agregado al producto o material existente o que se obtiene a partir de éstos. Los fines son dar solución a una situación problemática que se plantea inicialmente los cuales, a través del análisis, síntesis, evaluación técnica y económica se buscan vías para dar una respuesta particular y específica al problema central planteado (Coello et al., 2021b).

Por otro lado, ciertos diseños conceptuales van precedido por una exploración de mercado (estudio de percepción de los consumidores de gas GLP), que evidencia la decisión de iniciar el impulso del nuevo producto o prototipo. La conceptualización del prototipo se cimienta en la derivación de una enunciación del producto, regida por la descripción y ciertos requisitos. El propósito radica en crear y experimentar una serie de

soluciones alternativas con objeto de identificar la más conveniente (Guevara, J., Cavanzo, G., Quijano, A., 2019; Hsu, W., Woon y I.M.Y., 1998).

Por tales razones, para dar respuesta a nuestra situación problemática del consumo del gas doméstico (energía fósil), nos apoyamos en una metodología del diseño en ingeniería, conceptualizamos que el modelo de biodigestor idóneo para el tipo sustrato orgánico es el “Batch” de los biodigestores funcionales y existentes. Este tipo de reactor (Batch), normalmente se usa en investigaciones experimentales en laboratorios o de manera artesanal, para conocer si un sustrato orgánico es idóneo para producir biogás o no, cuánto produce y en qué tiempo, con lo que permiten comprobar potenciales de obtención de biogás de diferentes sustratos (imagen 8).



Imagen 8. Biodigestor discontinuo tipo Batch experimental y artesanal.

Fuente: RedBioLAC (2015)

Los modelos Batch son construidos de diferentes materiales y dimensiones grandes o pequeñas. Por lo general, se diseñan de tamaño pequeño por su facilidad al ser operados y manejar diferentes variables (agitación y la temperatura), sin grandes costos, lo que permite simular distintos escenarios. Los Batch se diseñan según la operación con sustrato o sin él, entre ellos pueden ser de mezcla completa o parcial, húmedos, semihúmedos o secos (ONUAA, 2019 pág. 14).

Existen, varios estudios realizados con diferentes sustratos orgánicos para generar biogás; los criterios, métodos y técnicas varían en cada estudio, algunos investigadores pueden dar los valores de biogás en unidades de kilogramos de sólidos volátiles o totales en $[\frac{l}{kgSV}]$ o $\frac{l}{kgST}$, % de humedad o materia seca, obteniendo diferentes resultados con respecto al valor de metano o producción de biogás. Por ejemplo, los investigadores argentinos Huerga, Butti, Llorente y Mato (2020), evaluaron la producción de biogás de

unos biodigestores de pequeña (reactor experimental batch) y mediana escala de una zona rural en la Provincia de Santa Fe. Para la fase experimental del Batch, se tomó alimentación y digerido diariamente para realizar los análisis físicoquímicos respectivos y determinar su producción de biogás por el método de desplazamiento teniendo los reactores a baño María a una temperatura de 35 °C. Por otro lado, el biodigestor de escala mediana se alimentó diariamente con 19 kg de excreta porcina como inóculo. Los resultados de producción de biogás del biodigestor fueron de $225,8 \frac{l}{kgST}$ biogás y $354,2 \frac{l}{kgSV}$ o a su vez $36,2 \frac{l}{kg}$ biogás. Mientras que en el reactor batch se obtuvieron entre $309 \frac{l}{kgST}$ y $469,6 [\frac{l}{kgSV}]$, es decir, $50,8 \frac{l}{kg}$ biogás. Esta variación en la producción de biogás se debe al efecto de la temperatura ya que el reactor batch mantuvo una temperatura constante durante el tiempo de experimentación.

Continuando con la idea de la dieta y el tipo de inóculo que se utilice en el reactor experimental, los investigadores coreanos Zhang et al. 2011, usaron desechos de alimentos y aguas residuales de cerdos, para identificar los factores clave que rigen el desempeño de la codigestión. Los resultados de la codigestión de los residuos de alimentos y de las aguas residuales de la porcicultura apuntaron que los oligoelementos podrían ser la razón para mejorar el rendimiento de la codigestión. Al complementar los oligoelementos, una digestión anaeróbica a largo plazo de los desechos de alimentos solo resultó en un alto rendimiento de metano de $0,396 \frac{m^3}{kgSV}$ (agregado), es decir, $396 [\frac{l}{kgSV}]$. Estas deducciones indicaron que los restos típicos de comida coreana era deficiente con algunos oligoelementos necesarios para la digestión anaeróbica. En otras palabras, la optimización del proceso en la DA dependerá del sustrato y sus inóculos.

Hegde y Trabold (2019), en sus resultados sobre “la estabilidad de la DA con restos alimenticios mixtos de una cafetería, mezclados en una condición semicontinua con suero ácido, restos de pan y bebidas energéticas y servilletas de papel sucias como cosustratos”; obtuvieron $455,45 [l/kgSV]$ de producción de biogás. Tales investigadores, describen que el aprovechar estos desechos permiten un mayor desvío de restos de comida intradomiciliaria de los vertederos en regiones densamente pobladas.

Por tales razones, se debe identificar el contenido de sólidos volátiles de la materia orgánica que se usará como sustrato o alimentación del dispositivo. En el capítulo 5, en

la tabla 18 se explica que según el sustrato y el tipo de reactor a trabajar con tecnología basada en DA. Se debe considerar, las características cuantitativas de la materia orgánica en función de: aspecto físico, nivel de dilución, valor de concentración y características cuantitativas, %ST, %SV y DQO. Para ilustrar, los resultados de los investigadores argentinos Sogari y Busso (2011), trabajaron con restos de comida proveniente de un comedor universitario. Los reactores experimentales batch contenían mezcla de reacción entre 12 %SV, 8%SV y 5%SV, la característica de los sustratos es que eran ricos en carbohidratos, aceites y grasas. No obstante, el batch de 8%SV tenía alto contenido de celulosa y lignina, debido a que su sustrato era la yerba mate, tal contenido fue causante de que la degradación del sustrato no fuese sencilla. Los autores, indican que en el día 25 experimentaron un descenso en la producción de biogás. Lo cual significa, que se debe revisar fugas en el reactor, nivel de pH, temperatura entre otros factores que perjudican la producción del biogás, en este estudio el factor fue el nivel de pH. La producción de biogás inicial para el reactor de 12 %SV fue de $24 \left[\frac{l}{kgSV} \right]$ en el día 50, ya que volvió a un nuevo proceso de arranque para los cuatros batch de este estudio.

Finalmente, los autores Bernal y Suarez (2018) en su estudio con residuos de comida hicieron una mezcla de gallinaza (30%) y estiércol vacuno (70%), como inóculos para optimizar el proceso de codigestión anaerobia, trabajaron una relación 1:3 (40 kg de sustrato y 120 kg estiércol-agua). Los investigadores colombianos, indican que este aporte de macronutrientes es equilibrado obteniendo un valor de $144,5 \left[\frac{l}{kgSV} \right]$ como producción de biogás. Por ende, es importante analizar las propiedades fisicoquímicas para determinar la producción teórica de la cantidad de metano (Bt), que se puede generar a partir de la información del análisis elemental y de las ecuaciones estequiométricas. En otras palabras, en la construcción de un modelo o prototipo de biodigestor anaerobio lo primordial es estimar la cantidad de biogás que se puede producir según el sustrato seleccionado. Cabe mencionar que, la medida de la composición del biogás varía en función del estudio y la eficiencia de trabajo del reactor en la DA dependerá de los factores que incidan en el proceso (temperatura, tipo de sustrato, velocidad de degradación, nivel de pH, relación C/N, etc.). Es decir, tomaremos estos resultados como valores estimativos, teniendo siempre en cuenta que los sustratos trabajados son diferentes en cada experimento, entre otras cosas debido a la diferencia de dietas que existen en las distintas regiones.

Otras preguntas, frecuentes que pueden cuestionar un proyecto de biodigestión son: ¿Cuánto biogás se puede producir? ¿Qué volumen de biodigestor se necesita para tratar determinada cantidad de desecho orgánico? y ¿Cuánta energía o gas se podrá generar para cocción de un día? No obstante, es viable escalar proyectos sobre producción de biogás apoyados en cálculos teóricos con aproximaciones bastantes cercanas a la realidad (Baute, 2018). En este capítulo, se estimará la producción de metano (Bt), a partir de los términos de sólidos volátiles (SV), basándonos en la composición química elemental del sustrato apoyado de las ecuaciones estequiométricas de la materia orgánica (modelado matemático). Seguidamente, se idealizará el prototipo experimental inicial, a partir de los cálculos teóricos y experimentales de producción según la cantidad de desecho que se genere en el hogar de cada familia participante. Con esta información, se procede a realizar un análisis de la factibilidad de diseñar un modelo para producción de biogás doméstico. A continuación, expresamos los objetivos de este capítulo.

B. Objetivos del estudio

B.1. Objetivo general

Estimar los parámetros de producción de un biodigestor artesanal y de su régimen de alimentación a pequeña escala a través de la ingeniería de diseño conceptual y experimental.

B.2. Objetivos específicos

- i.** Modelar un método basado en la ingeniería del diseño identificando los principales parámetros que inciden en el bosquejo de un biodigestor experimental artesanal a escala pequeña (BAPE) según los datos de fuentes primarias y secundarias.
- ii.** Analizar la demanda de energía y uso de gas doméstico de las viviendas participantes según sus hábitos de cocción, tiempo de uso para la preparación de los alimentos y plasmar en un bosquejo metodológico a seguir.
- iii.** Determinar la biodegradabilidad anaerobia y la máxima producción de CH₄ de residuos orgánicos a través de los resultados del análisis del contenido energético y ecuaciones estequiométricas de la materia orgánica generado en los hogares de acuerdo el modelo matemático propuesto por Buswell.
- iv.** Proponer un diseño experimental de modelo Batch para el análisis de los sustratos orgánicos que produzca biogás.

C. Material y Métodos

El diseño del estudio tiene un enfoque cualitativo – cuantitativo basado en una investigación bibliográfica que justifica la metodología de ingeniería basada en diseño (Bernal, 2018, Ingeniería del diseño, s.f.). Los modelos matemáticos se toman de varios estudios en los cuáles se ha trabajado con biodigestores tipo Batch experimental – artesanal (Gómez, 2020; Bres, Beily y Crespo, 2022; Huerga et al., 2020; Nielfa et al., 2015). Para cumplir con los objetivos de este capítulo, se trabajó con los análisis de resultados de la fuente secundaria (encuestas), donde se obtuvo información acerca del tipo de consumo energético, tiempo de cocción de los alimentos, frecuencia de compra del cilindro gas, tenencia de un patio de las viviendas partícipes. Con los resultados del análisis elemental de los restos de comida mezclada y las ecuaciones estequiométricas se procede a calcular el volumen de biogás (vol/CH₄) y su producción (Bt) de CH₄, %CH₄ y la factibilidad de modelar un prototipo de biodigestor doméstico. A continuación, explicaremos el proceso a seguir para dar cumplimiento con los objetivos propuesto del estudio (figura 31).

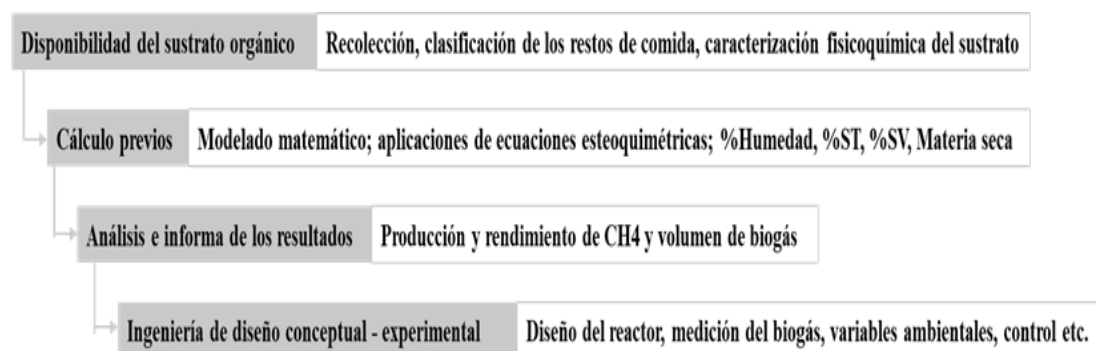


Figura 31. Pasos a seguir para modelar el prototipo de digestor anaerobio.

C.1 Metodología basada en la ingeniería del diseño

Para modelar un prototipo de digestor anaerobio experimental, nos cimentamos en un estudio bibliográfico para el cálculo y diseño preliminar del mismo a partir de modelados matemáticos y métodos de diseño en ingeniería (Gómez, 2020; Gaspar, Espinosa y Domínguez, 2012). Según Gaspar et al., (2012), entre las técnicas y método del diseño optamos por un modelado basado desde la perspectiva del diseñador, consumidor y de la colectividad (figura 32). Entre las técnicas, está el diseño robusto en donde se considera el tipo de producto que deseamos esbozar según los intereses del consumidor de gas doméstico. En esta misma fase, se da el diseño del proceso en donde basado en las tendencias y percepciones del consumidor nos dan una visión de cómo crear el biodigestor

experimental según la etapa anterior (diseño de procesos) y tener un equipo o prototipo de calidad.

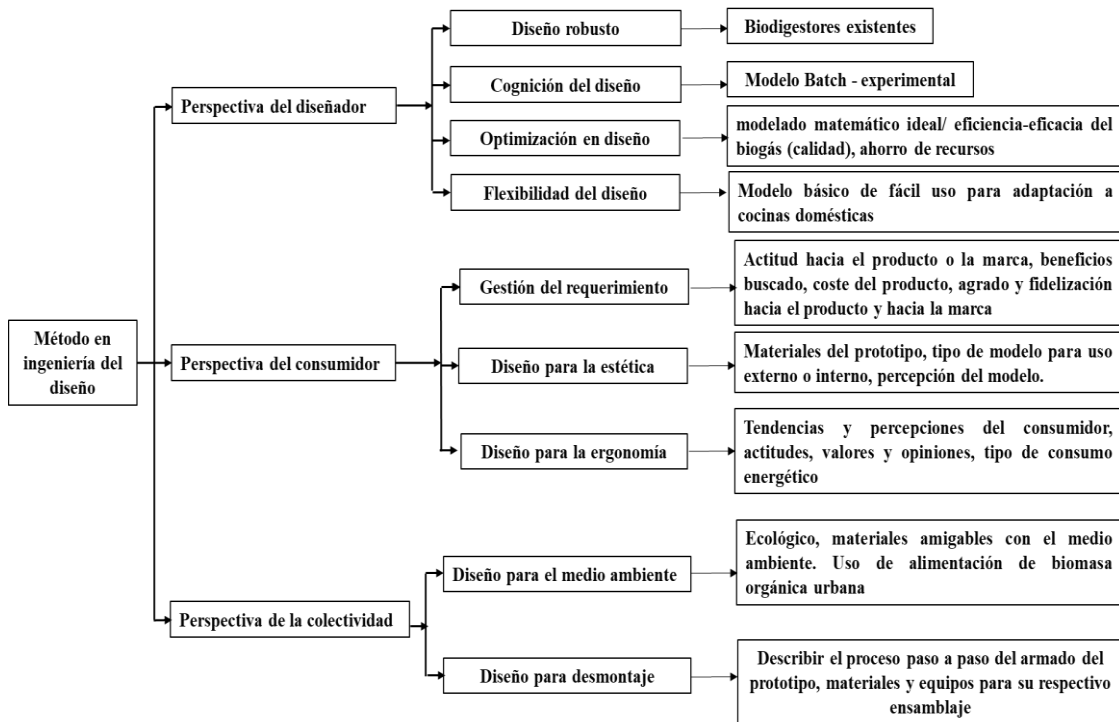


Figura 32. Metodología del estudio conceptual de la ingeniería del diseño

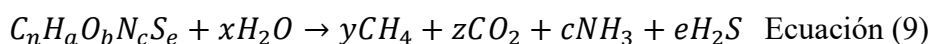
La cognición del diseño permite entender y tener un conocimiento formal y técnico del funcionamiento del prototipo, su factibilidad de ser construido, eficiencia y eficacia del modelo. Ahora, no sólo es suficiente en el diseño que el ingeniero o inventor de su punto de vista, también se debe analizar la óptica del consumidor de gas doméstico, cuáles serían sus apreciaciones con respecto al modelo, forma, costos, beneficios que pueda adquirir al tener este tipo de biodigestor anaerobio en su hogar. La colectividad, también es una técnica importante porque en esta fase se indaga sobre si el prototipo, es amigable con el ecosistema y cuáles son los beneficios ambientales que puede aportar su elaboración y bajo qué normativas ambientales debe regirse su construcción.

C.2. Modelación cuantitativa del proceso para el cálculo del rendimiento y estimación de biogás de los restos orgánicos domésticos

Se examinaron estudios relacionados en producción de biogás con reactores tipo Batch experimentales para el área urbana cuyas investigaciones permiten obtener una representación y modelado matemático más elaborado sobre el producto (prototipo experimental) final a ser bosquejado. Posteriormente, se procedió a calcular los valores

de la producción teórica – experimental de CH₄ (Bt), su porcentaje %CH₄, demanda química de oxígeno en función de los sólidos totales [$\frac{DQO}{SV}$], y materia rápidamente biodegradable (MOBR).

Para el cálculo de la producción teórica del metano Bt según la demanda química de oxígeno (DQO/SV) y producción porcentual de metano (%CH₄); se estima a partir de la estequiometría, de la cantidad máxima de gas (ecuación 9), en función de la composición química del residuo.

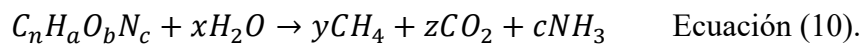


Por otro lado, esta fórmula desarrollada por Burwel y Hatfield en 1936 fue modificada en 1952 (Gómez, 2020 pág.18). Según, Tchobanoglous et al. (2002), el volumen de gases producidos durante la descomposición anaerobia se puede estimar mediante la ecuación de Müller y Buswell modificada, incluyendo el nitrógeno (N) y azufre (S) para obtener la proporción de amoníaco (NH₃) y sulfuro de hidrogeno (H₂S) producido por el reactor; basada en el conocimiento de la composición química de los residuos y suponiendo la conversión completa de residuos orgánicos biodegradables a CO₂ y CH₄. No obstante, no todo el sustrato orgánico se convierte en CO₂ y CH₄, con una cierta porción no biodegradable, dependiendo del contenido de lignina. A pesar de las limitaciones, es posible, a través de la fórmula empírica obtenida en la tabla 24, obtener una estimación de la cantidad máxima de gas que se puede esperar de la fracción fácilmente degradable. La cantidad de biogás, el rendimiento de CH₄ y consumo de H₂O se estiman teóricamente en este apartado a partir de la composición elemental (CHONS) de la biomasa urbana intradomiciliaria utilizando la fórmula de Boyle cuyas ecuaciones estequiométricas calculadas se leen en la tabla 25.

Continuando con la idea, de las ecuaciones de Buswell y Müller (1952) así como Boyle (1976), estas fórmulas asumen una conversión completa de biomasa. Cabe indicar, que las ecuaciones propuestas tanto por Buswell, Müller y Boyle según los autores Achinas, Spyridon y Euverink (2016), “suponen que los sustratos orgánicos se fermentan individualmente y no forman parte de mezclas complejas de materias primas como suele suceder habitualmente” (Vivek Narisetty et al., 2022).

Por ende, en nuestros resultados la composición elemental del sustrato orgánico intradomiciliario está limitado a solo C, H, O, N, S (tabla 25) y salida en forma de CH₄,

CO₂, NH₃ (ecuación 10) para el cálculo del potencial bioquímico teórico de metano (Bt) del sustrato orgánico se calcula a partir de la ecuación 16. En cuanto, al H₂S su masa nos permite determinar el material absorbente para el filtro en el caso de que se desee elaborar un filtro de gases para limpiar al biogás los cuáles se usan otro tipo de formulaciones (Esteban, 2022; Rajak A. K et al., 2022) que no consideremos en este estudio y basado en el estado del arte el contenido de H₂S presente en el biogás esta regularmente entre 3000 ppm y 5000 ppm, es decir, entre 3% a 5% (Torres et al., 2020, Induchoodan, Haq y Kalamdhad, 2022). En síntesis, en nuestro estudio aplicaremos la estequiometría, de la cantidad máxima de gas la ecuación 10 para determinar el Bt según DQO/SV y producción porcentual de metano (%CH₄). Por lo tanto, se debe efectuar el cálculo de los parámetros “x”, “y”, “z”; y de sus coeficientes “n”, “a”, “b” y “c” que se toman de los datos de las ecuaciones estequiométricas calculadas en la tabla 25 del apartado D.3. En función de la composición química del residuo, se aplica las siguientes fórmulas:



$$x = n - \frac{a}{4} + \frac{b}{2} + 3\frac{c}{4} \quad \text{Ecuación (11).}$$

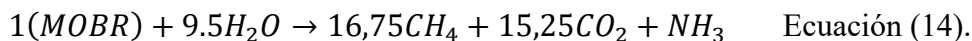
$$y = \frac{n}{2} + \frac{a}{8} + \frac{b}{4} - 3\frac{c}{8} \quad \text{Ecuación (12).}$$

$$z = \frac{n}{2} - \frac{a}{8} - \frac{b}{4} + 3\frac{c}{8} \quad \text{Ecuación (13).}$$

Donde C_nH_aO_bN_c está dado por la biomasa que junto H₂O produce CH₄.

Por otro lado, la DQO, se relaciona con la producción de biogás e intrínsecamente relacionada con el grado de biodegradabilidad de un sustrato. Es importante, indicar que no toda materia orgánica se puede degradar químicamente (Tchobanoglous et al., 2002), pero sí biológicamente, ya que una DQO mal calculada puede producir un error por exceso (ecuación 15). A continuación, el siguiente paso es determinar la posibilidad de aprovechar un sustrato en concreto en el proceso de fermentación metánica. Es decir, mediante la identificación de su biodegradabilidad, para lo cual se realizan pruebas a escala de laboratorio, como el ensayo de Potencial Bioquímico de Metano (PBM) o también conocido como Bt, el cual se caracteriza por su sencillez, relativa rapidez y bajo costo.

Donde MOBR, significa “materia orgánica de rápida biodegradabilidad” (ecuación 21).



$$\frac{DQO}{SV} = \frac{n + \frac{a}{4} - b/2}{12n + a + 16b} \cdot 32 \left[\frac{mgO_2}{l} \right] \quad \text{Ecuación (15).}$$

La producción teórica de CH₄ (Bt) se calcula con la ecuación 16 de Buswell, en términos de sólidos volátiles (SV) basada en la composición química elemental del sustrato (De Souza et al., 2020). El método de la composición elemental es relativamente rápido para determinar todos los compuestos. Sin embargo, es necesario acotar que esta ecuación no diferencia entre componente biodegradable y no biodegradable, y parte del sustrato orgánico biodegradable que manejan las bacterias para desarrollarse no favorece al valor teórico de las Bt (Nielfa et al. 2015)

$$B_t = \frac{22,4 \left(\frac{n}{2} + \frac{a}{8} - \frac{b}{4} - \frac{3c}{8} \right) \cdot 1000}{12n + a + 16b + 14c} \left[\frac{mlCH_4}{gSV} \right] \quad \text{Ecuación (16).}$$

Dónde:

- n: número de moles de carbono
- a: número de moles de hidrógeno
- b: número de moles de oxígeno
- c: número de moles de nitrógeno

El valor de 22,4: volumen (L) ocupado por un gas ideal a condiciones estándar de temperatura (273K) y presión (1atm). El valor de 1000: Factor de conversión del volumen de litros (L) a mililitros (mL). Los valores de 12, 1, 16, 14: peso molecular del carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, respectivamente. De la ecuación estequiométrica, se calcula el %CH₄ en volumen que tendría el biogás producido por el sustrato utilizado para alimentar el prototipo experimental (ecuación 16). Las ecuaciones 16 y 17 da el valor teórico del metano en condiciones de laboratorio.

$$\%CH_4 = \frac{\frac{n}{2} + \frac{a}{8} - \frac{b}{4} - \frac{3c}{8}}{n + c} \left[\frac{\%CH_4}{vol} \right] \quad \text{Ecuación (17).}$$

Cabe indicar, que los datos obtenidos de los restos de comida como: %Humedad, %SV, % ST, % cenizas, materia seca, son experimentales que se analizaron en los

laboratorios de la Facultad de Ingeniería Industrial y de AGRORUM y así obtener los valores antes descritos en el capítulo 6 y 7.

D. Resultados y discusión del método basado en ingeniería del diseño conceptual y experimental

El resultado bibliográfico de esta etapa es una exploración sobre cómo modelar un dispositivo en su primera fase teórica - experimental para producción de biogás. Por ende, es necesario conocer sobre métodos y técnicas que nos ayuden a comprender cuan rentable puede ser construir un biodigestor artesanal de uso urbano. Otro dato, a conocerse es si las viviendas están aptas para ubicar un biodigestor, es decir, que cuente con el espacio para ubicación del dispositivo y suministro de agua regular. Es necesario, describir los pro y contras de ubicar el equipo dentro o fuera de la vivienda (manejo de residuos del biodigestor y transformación de energía). El estudio sobre la ingeniería de diseño propone algunas técnicas y metodologías que se pueden aplicar para la elaboración de un producto.

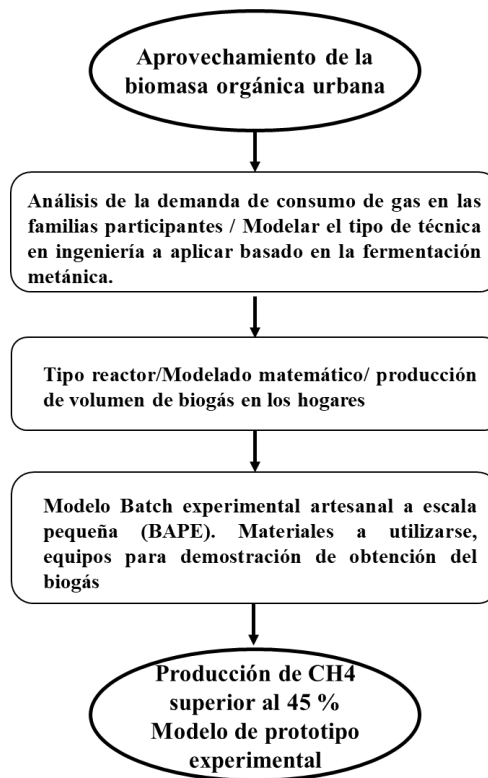


Figura 33. Modelo descriptivo lineal de diseño conceptual – experimental del biodigestor artesanal a pequeña escala (BAPE). Adaptado por la autora. (Ingeniería del diseño, s.f.)

Nuestro estudio, opta por un modelado descriptivo lineal que explica el proceso para verificar los objetivos planteados mediante un modelado matemático (Ingeniería del

diseño, s.f. pág. 22; García et al., 2017). En la primera fase “diseño conceptual”, se manifiestan los intereses del modelo y las tareas a abordarse para su debido proceso. En la segunda fase preliminar, muestra los procesos o modelados matemáticos que se utilizaría para comprobar la producción de biogás del sustrato orgánico urbano y la fase del detallado que es la última es donde surgen las debidas soluciones de inventivas para el problema dado (figura 33).

A continuación, explicamos los resultados siguiendo el modelo lineal descriptivo del diseño para la demanda de consumo de gas en los hogares y la modelación cuantitativa de procesos usando como herramienta los modelos matemáticos o ecuaciones estequiométricas para el sustrato orgánico.

D.1. Resultados y discusión del método basado en ingeniería del modelado: descriptivo lineal (demanda de consumo del gas) y cuantitativo del proceso (modelado matemático)

A partir del escrutinio obtenido de los 296 hogares participantes se tiene que el cilindro de demanda más frecuente es el de 15 kilos, el consumo de un cilindro está representado por el 55,44%, dos cilindros 26,81% y más de tres con un 2,98%. Para consumo de cocción de alimentos algunos solo usan un cilindro al mes (3,83%), dos cilindros con 9,36% y más de tres 1,58% (figura 34).

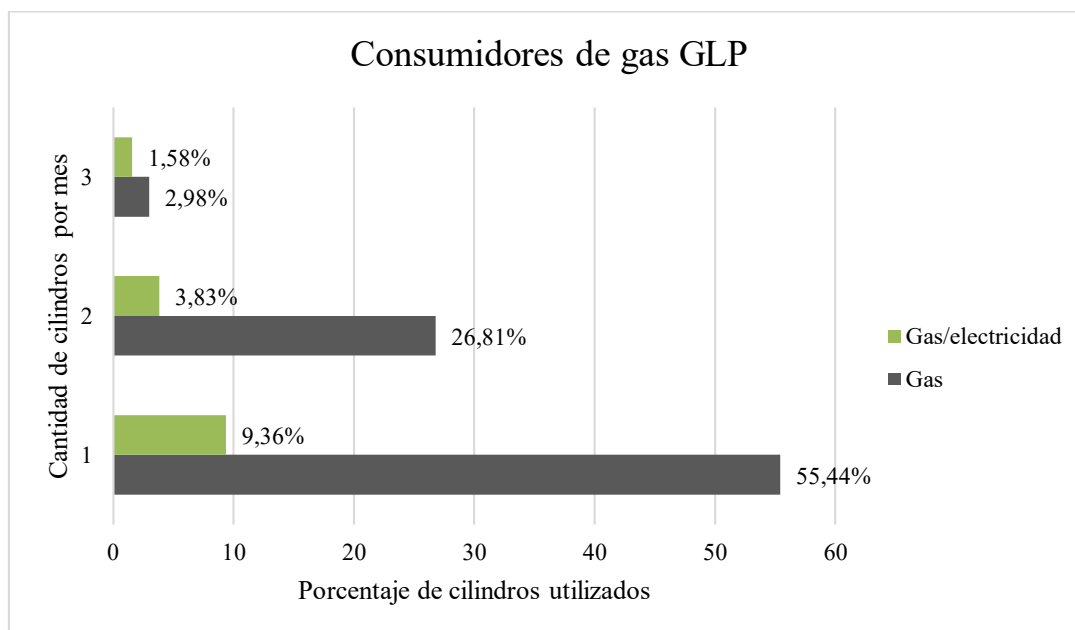


Figura 34. Cantidad de consumo de cilindros por mes de gas GLP

El tiempo de uso para la cocción y preparación de un sólo alimento para ambos consumidores es: 132 horas por cocción para una hora de preparación, 224 horas para dos horas de cocción y 117 horas de uso para más de dos horas (figura 35).

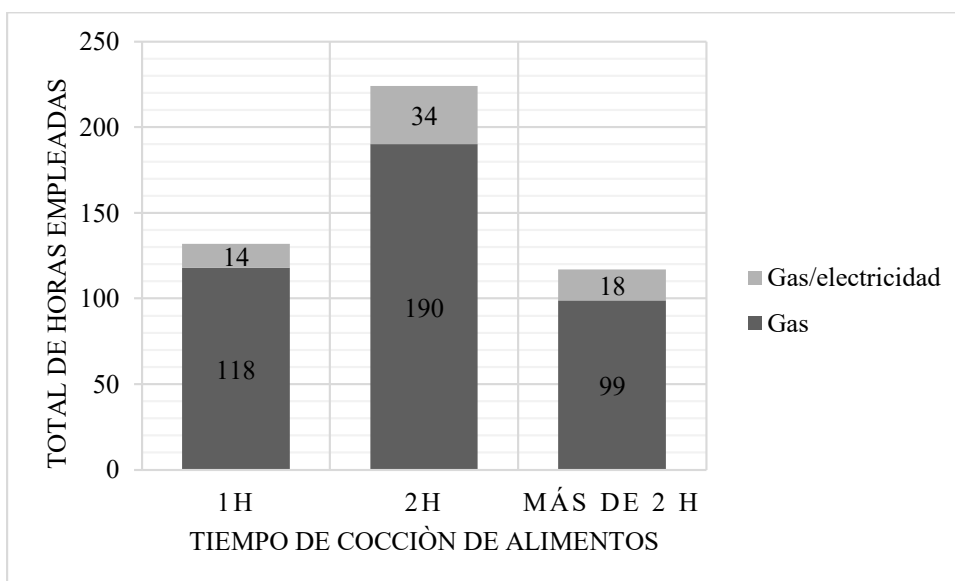


Figura 35. Tiempo empleado en la preparación de los alimentos en los hogares

El conocimiento del tiempo empleado para la cocción de alimentos por las familias es un dato importante para la producción de biogás. Se tiene que con un metro cúbico de biogás se pueden cocinar 3 comidas (desayuno, almuerzo y merienda) para una familia de cuatro personas (Hilbert, s.f., p.38); lo cual significa, que para preparar 90 comidas (1 mes) se necesitaría $30 \frac{m^3}{mes}$. Tilley (2018), menciona que se necesita entre 150 a 300 litros de biogás por comida y persona, es decir, entre 0,15 a 0,30 m^3 . Para ejemplificar, solamente para hervir 1 litro de agua se requiere de 30 a 40 litros/biogás (0,035 m^3). En otras palabras, para que las familias puedan cocinar 0,5 kg de arroz demandaría unos 120 a 140 litros/biogás (0,13 m^3), si son vegetales por 0,5 kg de ellos se necesita de 160 a 190 litros/biogás (0,18 m^3) (Tilley et al., 2018; Manual de uso del biodigestor; s.f.; Tapia, 2016).

El resultado del cálculo de la producción de volumen de gas en metros cúbicos de metano por kilogramo de desecho realizado de cada hogar de manera independiente nos da un promedio entre 0,21 a 0,48 m^3 CH₄, dependiendo del número de personas (anexo 29 - 33). A nivel grupal se tiene un valor promedio entre 0,25 a 0,38 m^3 , pero sólo de la muestra por un día de recolección de desechos (tabla 29).

Tabla 29. Producción promedio de volumen de gas que se genera por un día en $\frac{m^3 CH_4}{kg}$

Grupos	Materia seca (105°C)	Humedad (%)	%ST (105°C)	W (500°C)	Cenizas (%)	Volumen gas $[\frac{m^3 CH_4}{kg}]$ desecho
1	19,404	75,226	24,774	13,789	6,948	0,34
2	21,799	75,226	26,569	13,460	10,956	0,34
3	24,982	73,431	32,612	12,352	13,805	0,38
4	24,650	67,388	31,200	12,611	13,115	0,38
5	15,698	82,472	17,528	15,117	8,454	0,25

Basado en los datos experimentales y teóricos, con los 0,34 o 0,38 m³ CH₄ se puede preparar, un arroz, calentar agua y vegetales; es decir, solamente del sustrato sin haberse añadido otras materias orgánicas que contribuyan en el incremento del biogás. Lo cual es considerado positivo, ya que se puede elevar la producción de CH₄ agregando otros sustratos. Por ejemplo, el estiércol de vaca o de ciertas bacterias que contribuyan al aumento del biogás. También se debe considerar el modelo de biodigestor que se usará para mejorar la producción y calidad del biogás como producto final.

En cuanto a la producción teórica de metano, los datos obtenidos de la dieta del estudio Tchobanoglous et al. (2002) realizado en Estados Unidos tiene un alto volumen de biogás. Cabe recordar, que estos datos son de residuos de comida mezclado FORSU; los cálculos basado en el sustrato orgánico de los hogares no se han mezclado con otros componentes y mantienen un valor muy cercano de producción de biogás (tabla 30).

Tabla 30. Relación entre el volumen teórico y experimentales obtenidos de los sustratos orgánicos de las viviendas participantes.

	Volumen teórico – experimental del biogás (m ³ /kg)	Rápidamente biodegradable (m ³ N)	
		CH ₄	CO ₂
Tchobanoglous (FORSU-mezclado) - Teórico	1,328	142,34	129,18
Hogares UG (Experimental)	0,964	103,21	93,77
AGRORUM (Experimental)	0,949	101,71	92,31

La rápida biodegradabilidad de los residuos de comida mezclada, es una medida de la fracción del sustrato orgánico que consigue transformarse en biogás en un proceso de fermentación metánica (anexo 35). Se puede estimar como la fracción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) de la muestra que es metanizada. La biodegradabilidad puede estar expresada en términos de DQO o como la fracción de los sólidos volátiles (SV) de la muestra que es gasificada (Bres, Beily y Crespo, 2022). Cada término de

biodegradabilidad tiene un beneficio distinto en el esquema y operación de los dispositivos anaerobios.

A partir, de las ecuaciones estequiométricas (16 – 23), obtenemos el valor de producción de metano y demanda química de oxígeno con relación a los sólidos volátiles (DQO/SV) que producen estos restos de comida mezclada (anexo 34). Los porcentajes de CH₄ obtenidos de las muestras orgánicas de cada grupo es superior al 45% (tabla 31). Ambas expresiones adquieren valores distintos, por lo que es imprescindible clarificar en cada caso si la biodegradabilidad está expresada en términos de DQO o en términos de SV.

Tabla 31. Valores obtenidos de la producción de metano y porcentaje.

Grupo	Estimación de la cantidad máxima de gas	Bt [$\frac{\text{mlCH}_4}{\text{gSV}}$]	%CH ₄ ^{Teórico} [$\frac{\text{CH}_4}{\text{vol}}$]	DQO/SV
1	$\text{C}_{357}\text{H}_{559}\text{O}_{253}\text{N}_{10}\text{S}+98\text{H}_2\text{O}\rightarrow 173\text{CO}_2+181\text{CH}_4+10\text{NH}_3$	448.94	49.32	1.332
2	$\text{C}_{354}\text{H}_{528}\text{O}_{256}\text{N}_{12}\text{S}+103\text{H}_2\text{O}\rightarrow 177\text{CO}_2+175\text{CH}_4+12\text{NH}_3$	432.19	46.17	1.319
3	$\text{C}_{359}\text{H}_{545}\text{O}_{251}\text{N}_{12}\text{S}+106\text{H}_2\text{O}\rightarrow 180\text{CO}_2+180\text{CH}_4+12\text{NH}_3$	446.17	48.52	1.335
4	$\text{C}_{354}\text{H}_{528}\text{O}_{257}\text{N}_{10}\text{S}+101\text{H}_2\text{O}\rightarrow 177\text{CO}_2+175\text{CH}_4+10\text{NH}_3$	434.20	47.55	1.289
5	$\text{C}_{358}\text{H}_{558}\text{O}_{253}\text{N}_{16}\text{S}+104\text{H}_2\text{O}\rightarrow 175\text{CO}_2+180\text{CH}_4+16\text{NH}_3$	441.81	48.13	1.334
PROM	$\text{C}_{356}\text{H}_{544}\text{O}_{254}\text{N}_{12}\text{S}+102\text{H}_2\text{O}\rightarrow 175\text{CO}_2+178\text{CH}_4+12\text{NH}_3$	440.7	48.37	1.315

Los sustratos analizados de cada grupo presentan diferencias significativas en su composición fisicoquímica, particularmente en los porcentajes de humedad (%), ceniza, sólidos volátiles y totales. Tales valores, varían según la dieta de cada hogar y pueden incidir de manera positiva en el proceso anaerobio y en su rendimiento de producción de biogás. Dichos parámetros o variables hallados experimentalmente en el capítulo 5 nos permitieron modelar las ecuaciones y cálculo de la estimación de producción de Biogas que se puede generar en cada hogar (anexo 29 – 33).

Examinado la tabla 31, los restos de comida mezclada supera el 45% de CH₄ fluctuando sus valores entre 46,17 % a 49,32% de producción de CH₄/Vol., con una producción teórica basado en los datos experimentales y analizados en los laboratorios UG, con un Bt_{prom} de $440,7 \frac{\text{mlCH}_4}{\text{gSV}}$, de los 296 hogares partícipes. Zhang et al., 2011 y Vogt et al., 2002 en sus estudio determinaron para los restos de comida y restos FORSU $360 \frac{\text{mlCH}_4}{\text{kgSV}}$, evidentemente nuestros análisis cumple con los requisitos necesarios para producción de biogás a más del 45% CH₄.

D.2.1. Estimación de la potencialidad de los hogares para la adopción de tecnología de biodigestor para la cocción de alimentos

Tal como se comentó en el apartado *Resultados y discusión de la caracterización orgánica de los RC* del capítulo 5, la producción de residuos en 28 días por hogar sigue la distribución de la figura 27, y la relación entre residuo generado y gas comercial consumido se acomoda a la figura 28. Ambas figuras, muestran distribuciones experimentales asimétricas positivas implicando, por una parte, que el número de hogares que producen una gran cantidad de residuo son un número reducido, y por otro lado que los hogares cuya relación entre desechos generados y gas comercial consumido correspondiente a casos más favorables también es un número pequeño.

A la hora de proceder al diseño del biodigestor, conviene preguntarse previamente por la cantidad de potenciales usuarios del mismo, esto implica que no es suficiente con que manifiesten su interés en realizar este tipo de cambio, sino que se debe tener en cuenta, si un hogar produce suficiente residuo como para que mediante el proceso de DA en el biodigestor se obtenga la cantidad suficiente de biogás capaz de suministrar tanta o mayor cantidad de energía como la que usa en la actualidad procedente del gas comercial.

Por esta razón, procedemos a la estimación del porcentaje de hogares que no serían candidatos a adoptar la tecnología debido a que su consumo energético actual es superior al valor teórico alcanzable mediante la combustión del biogás. El resto de hogares podrían ser o no, candidatos en función de otro tipo de limitaciones.

Para realizar esta estimación se asumirán las siguientes hipótesis, las cuales, si no son completamente veraces, si tienen un grado de aproximación admisible con la realidad:

1. La cantidad de CH_4 , potencialmente generable por un hogar al mes, puede estimarse a partir de la cantidad de residuo recogido en esta investigación durante 28 días, y las relaciones establecidas en la tabla 31. Consideramos, que la masa de residuo actúa como reactivo limitante, y todo él es transformado. La energía generada para cocción por esa cantidad de CH_4 , se obtendrá a partir del PCI del mismo.
2. La cantidad de energía consumida por hogar al mes, se obtiene de la cantidad de bombonas de gas comercial usado mensualmente, según la declaración realizada en la encuesta a los hogares. Debe tenerse en cuenta que, se declaran unidades enteras, pero el consumo mensual puede ser de tipo fraccionario. La energía consumida en el hogar

para cocinar durante el mes es estimada como el producto de la cantidad de gas butano utilizado por el PCI del mismo.

3. Tal como se alegó en el apartado *Representatividad de la muestra*, no podemos garantizar que los resultados obtenidos sobre la muestra sean directamente generalizables sobre la población, ya que no se cumplen los criterios de un muestreo aleatorio. Sin embargo, también se ha razonado la consideración de que la muestra tomada no debería de diferir demasiado de una de carácter totalmente aleatorio. Por tanto, el resultado obtenido puede tomarse como un indicador, pero sin garantía plena de su representatividad.

Tomando como muestra la producción de 296 hogares, se ha obtenido la relación entre las energías proporcionadas por el gas comercial, y la que corresponde al CH₄ procedente del residuo domiciliario. Se considera, que un hogar no puede realizar el cambio a la tecnología de biodigestor si la relación entre energía del butano y energía del metano es mayor que la unidad. También se considera (en este estudio) que los hogares que utilizan la energía eléctrica para cocinar no son candidatos a realizar este tipo de sustitución.

Los resultados obtenidos son que 174 (59%) hogares no serían candidatos a realizar la sustitución, mientras que 122 (41%) podrían serlo (anexo 36). El total de hogares en la población marginal de Guayaquil es de 575.331, el 41% supone un total de 235.886, por lo que la tecnología de biodigestor puede ser considerada como candidata a su desarrollo para uso comercial.

En función del número de bombonas de butano utilizadas mensualmente, es posible estimar un valor indicativo sobre la cantidad límite de sustrato por debajo de la cual no se considera adecuado el uso de un biodigestor. Para ello, se tiene en cuenta que:

1. La energía generada por metano, no debe ser menor que la generada por el butano. Esto supone que el producto de la masa de metano por su PCI, no debería ser inferior a la del butano por el suyo.
2. La cantidad de metano disponible se obtiene de la expresión promedio de la tabla 23, lo que supone que cada mol de sustrato se convierte en 178 moles de metano. Es necesario realizar las correspondientes conversiones de unidades para que masas de gases y PCI sean coherentes.

El proceso anterior nos lleva a una cantidad límite mínima de 42,75 kg/28 días de sustrato por bombona de butano utilizada mensualmente, necesarios para obtener la cantidad de metano que suministraría la misma cantidad que el gas comercial substituido, suponiendo una digestión completa del sustrato. Esto supone una producción diaria mínima de 1,527 kg de residuo por día y bombona mensual. Más allá de este valor hay que tener en cuenta el rendimiento del biodigestor. Una comprobación sobre los datos de los hogares que se han considerado que podrían substituir la única bombona de butano que usaban por el biodigestor, muestra que el valor mínimo de residuo fue de 43,75 Kg/28 días. Por otra parte, el hogar con más producción de sustrato que no se consideró substituíble, usando solo una bombona de butano al mes, producía 41,74 kg/28 días. Yendo un paso más allá, incluso parte de aquellos hogares que no alcanzan la relación conveniente para substituir el gas comercial por el biogás aportado por sus residuos, podrían adoptar medidas de tipo organizativo o técnico que les permitieran ser candidatos al uso de la misma.

Como medida de tipo organizativo, sería la recepción de residuos de otros vecinos, o bien por donación, o bien por comercialización, lo cual fomentaría una economía de tipo cooperativo en la que ambas partes pueden beneficiarse, y contribuiría a que una parte de los residuos de los hogares que no pueden adoptar un biodigestor fueran tratados localmente, evitando su traslado a vertedero.

Como medida técnica, es posible la modificación de las cocinas para operar con dos fuentes de gas diferentes, con lo que resulta factible utilizar butano para completar la energía que no es suministrada por el biogás. Para ello hay varias vías de actuación, basta tener en cuenta que, una cocina básicamente consta de una tubería de suministro de gas que se divide en tantas ramas como hornillos van a ser alimentados, en cada rama se dispone de un regulador que interrumpe o permite el paso del gas y modula su caudal, cada rama finaliza en un inyector atornillado al final de la rama, que se encuentra bajo el hornillo y fácilmente accesible levantando este último. Una estrategia posible consiste en alimentar la cocina a través de dos tuberías una de biogás y otra de butano, y dedicar parte de las ramas (hornillos) a un tipo de gas y la otra parte al otro, esto permitiría un uso simultáneo de ambos combustibles limitando el número de hornillos en que puede ser utilizado cada combustible. Otra estrategia, consiste en mantener una sola vía de suministro, con una válvula de tres vías previa que permita la conmutación entre bombona de butano y biodigestor, además en este caso es necesario un cambio de inyectores. Como

los inyectores se encuentran atornillados, este cambio resultaría demasiado incómodo para realizarlo de forma periódica cuando se necesitase cambiar de combustible; sin embargo, puesto que los inyectores sólo se diferencian en el tamaño de la perforación por la que se suministra el gas al hornillo, sería factible mantener de forma permanente el inyector del gas suministrado a menor presión, y sobreponer mediante un adaptador el del gas de mayor presión. De esta manera el uso de un combustible u otro, se podría conmutar de una forma sencilla y bastante rápida. En cualquiera de estos casos, los aspectos de seguridad deben ser estudiados. Otra estrategia posible, condicionada al espacio disponible sería la adopción de otras tecnologías auxiliares como las cocinas solares, que podrían utilizarse para realizar parte del cocinado disminuyendo la cantidad de energía necesaria procedente de la quema del biogás.

D.2.2 Resultados y discusión del modelo basado en ingeniería de diseño

Basado en los resultados teóricos y experimentales, y según el tipo de sustrato a trabajar se opta por un diseño de reactor tipo Batch experimental, el cual nos permite trabajar con diferentes sustratos e inclusive sin él. Con esta información, se procede a realizar un análisis de la factibilidad de diseñar un modelo para producción de biogás doméstico.

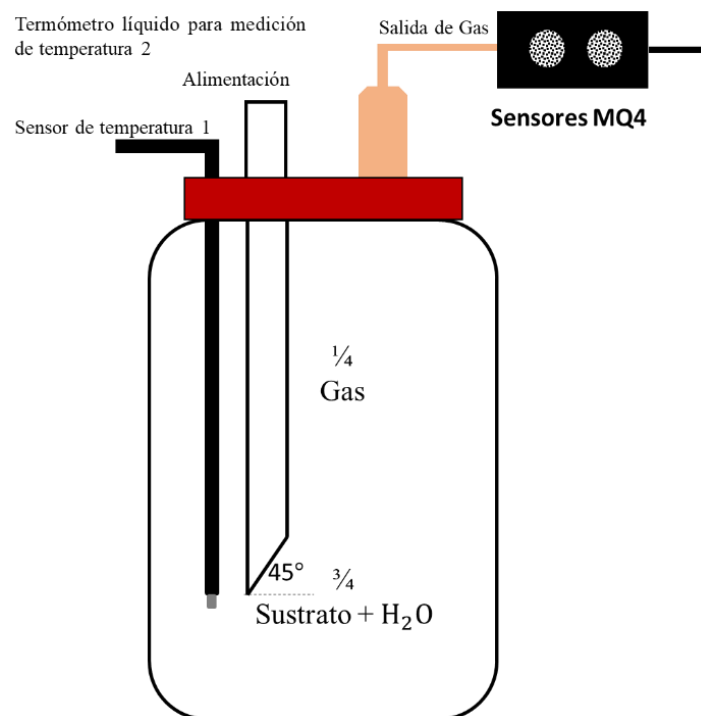


Figura 36. Modelo BAPE tipo Batch propuesto para evaluar las condiciones operacionales experimentalmente.

Recordamos, que el ensayo de producción bioquímica de metano (PBM o Bt) consiste en el uso de uno o varios sustratos al cual también se puede agregar un agente patógeno activo bajo entornos operacionales determinados; para evaluar la producción de CH_4 , entre los métodos más aplicados esta: manométrico, volumétrico o de cromatografía de gases. Apoyado en la metodología de ingeniería del diseño proponemos el modelo del reactor experimental Batch para evaluar las condiciones ambientales y operacionales a pequeña escala (figura 36). Los biodigestores anaerobios suelen poseer un suministro continuo o semicontinua, es decir, que son alimentados de forma regular o todos los días, esta acción genera una producción eficaz.

A continuación, detallamos los modelos de BAPE propuestos para obtener nuestras variables de estudio. Tenemos los BAPES B_1 y B_3 , estos dos modelos experimentales se modelan con el diseño por desplazamiento volumétrico y por jeringa para medir el volumen de biogás de manera analógica.

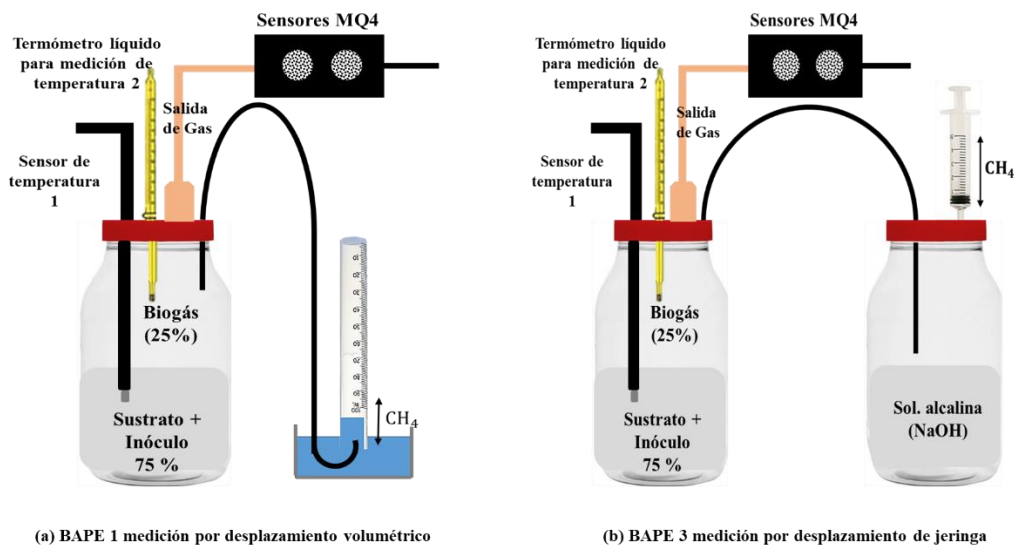


Figura 37. Modelado de medición del biogás por método de desplazamiento y jeringa para BAPE con alimentación única (B_1 , B_3)

En la primera técnica, los gases que se producen en los experimentos de laboratorio a menudo se recolectan mediante una técnica llamada desplazamiento de agua o con hidróxido de sodio para que atrape el CO_2 . La presión de vapor debida al agua en una muestra se puede corregir para obtener el valor real de la presión del gas. Debido a que el gas se recolecta sobre el agua, no es puro, sino que se mezcla con el vapor de la evaporación del agua. Se llena una botella con agua y se coloca boca abajo en un

recipiente con agua. El matraz de reacción está equipado con un tubo de goma que luego se alimenta debajo de la botella de agua. A medida que se produce el gas en el matraz de reacción, sale por el tubo de goma y desplaza el agua de la botella. Cuando la botella está llena de gas, se puede sellar con una tapa (figura 37).

En cuanto a la temperatura interna en los BAPE, son medidos con el sensor MQ4 y la termocupla DS18B20, el primero para toma de datos digital y el segundo como registro de datos analógico. La temperatura del ambiente se registra tres veces al día (temperatura baja, media y alta). Estos prototipos B₁ y B₃ son alimentados y sellados, no tendrán alimentación continua. Los BAPE B₂ y B₄ son diseñados para ser alimentados diariamente, según se vaya generando el biogás (figura 38).

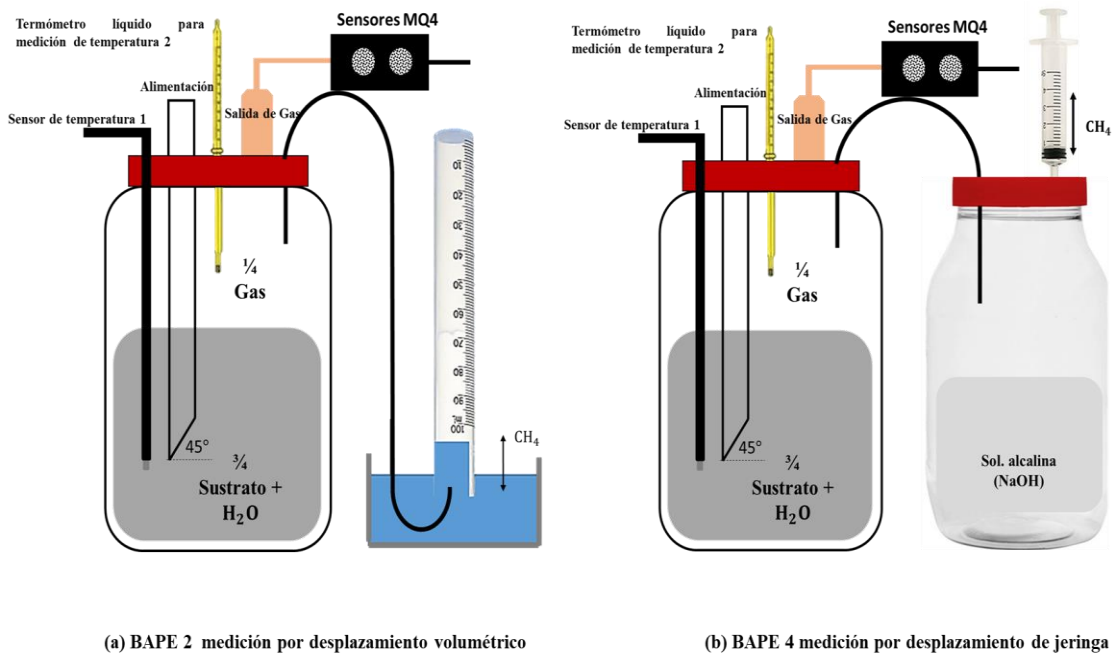


Figura 38. Modelado de medición del biogás por método de desplazamiento y jeringa para BAPE con régimen de alimentación diaria (B₂, B₄).

Entre estos parámetros a tener en cuenta tenemos los ambientales que dependerá de las características del sustrato orgánico y del proceso in-situ de las reacciones químicas (lo que no podemos controlar). Los parámetros operacionales son aquellos que podemos controlar desde el punto de vista técnico y que podemos incidir en el proceso de producción del biogás a partir de ciertos efectos o parámetros que nos dan información de lo que ocurre durante el proceso. Tales parámetros o variables se explicarán en el capítulo 7 más detalladamente.

E. Conclusiones

En este capítulo 6, se hizo el análisis preliminar de la factibilidad de usar restos urbanos de comida mezclada para producción de biogás. Como segundo punto, se trabajó con una metodología basado en ingeniería para modelar un tipo de reactor ideal para el sustrato orgánico que es el tipo Batch. La DQO/SV, la composición elemental y orgánica podrían ser rentables para predecir los potenciales de CH₄. A partir de la modelación matemática del sustrato obtuvimos los valores de estimación teórica – experimental de los restos de comida orgánica demostrando que se puede usar los restos de comida para generar CH₄. La rapidez metabólica implicada en el proceso metanogénico se ve afectada por numerosos elementos. Debido a que cada conjunto de microorganismos intervinientes en las diferentes fases del proceso manifiesta en forma diferencial a esos cambios, no es posible, dar valores específicos sobre el grado que afecta cada uno de ellos a la producción de biogás en forma precisa. Ambos, modelos conceptual y experimental permiten la puesta en marcha de un dispositivo artesanal a pequeña escala, al que llamaremos BAPE para evaluar otras variables que intervienen en el proceso de fermentación metánica. Entre estas variables a analizarse son: tipo de sustrato (nutrientes disponibles), temperatura del sustrato; la carga volumétrica, tiempo de retención hidráulico, nivel de acidez (pH), relación Carbono/Nitrógeno, concentración del sustrato; el agregado de inoculantes, grado de mezclado, presencia de compuestos inhibidores del proceso. Para sintetizar, las metodologías basadas en la ingeniería de diseño y la modelación matemática de la composición elemental del sustrato para la determinación de la producción teórica de CH₄, se ajustan mejor a los resultados y comportamientos experimentales.

CAPÍTULO 7

EVALUACIÓN DE LAS

CONDICIONES AMBIENTALES Y DE CONTROL DE UN PROTOTIPO DE BIODIGESTOR ARTESANAL A PEQUEÑA ESCALA EXPERIMENTAL (BAPE) PARA COMPROBAR LA PRODUCCIÓN DE METANO A MÁS DEL 45%.

A. Introducción

En este capítulo se explica el proceso para evaluar las condiciones ambientales y de control en un prototipo experimental de un reactor tipo Batch. Existen ciertos parámetros que se deben considerar al realizar el estudio de biodegradación del sustrato orgánico; en primer lugar, la ubicación del dispositivo es importante, ya que de ello dependerá el éxito o fracaso de la operación del prototipo experimental. En segundo lugar, tenemos las condiciones ambientales, entre ellas: la alcalinidad del sustrato (potencial de hidrogeno, (pH), contenido de sólidos totales (ST), la relación carbono nitrógeno (C/N); factores que pueden afectar de manera positiva a la producción de biogás. Tales variables de control, permiten comprender ágilmente el funcionamiento del sistema y la eficiencia que se puede tener del reactor anaerobio. Estos parámetros contribuyen, a prevenir errores en el equipo o problemas en cuanto a cambios en la alimentación. En tercer lugar, los parámetros basados en el control operacional: la temperatura, el tiempo de retención hidráulico (T_{RH}) y la velocidad de carga orgánica (V_{CO}), son cuantificaciones de diseño que dependerá de la tecnología que se usará como del sustrato con que se alimente al dispositivo. También, se debe trabajar en el prototipo las condiciones experimentales, es decir, el método que se empleará para medir el biogás (manométrico, volumétrico por desplazamiento, por jeringa o caudalímetro). El mantenimiento y control diario de los BAPE está relacionado con el tipo de equipamiento, calidad de los materiales empleados en la construcción y del tipo de sustrato orgánico utilizado periódicamente. Como precaución, se debe revisar diariamente que no existan roturas o fugas en el BAPE que produzca pérdidas de los fluidos en el reactor anaerobio.

Al respecto, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, ONUAA (2019) en sus estudios indica: si los materiales utilizados en la construcción son los ideales para el manejo del sustrato que se decida usar y del gas que se genere, su vida útil estaría en un alcance de vida de 20 años aproximadamente e incluso más, si se realizan los mantenimientos adecuados al reactor anaerobio. La elección de materiales inapropiados para la construcción de un modelo a escala mayor ocasionaría interrupciones en la producción del biogás. Tal problema, se puede presentar en el vaciado del reactor a fin de darle el respectivo mantenimiento y reparación (mensual o anualmente). Tal situación, presentaría problemas de tipo económico y técnico en los proyectos de mediana o mayor escala, siendo esto poco viable.

De igual manera, se debe evitar la sobrepresión al hacer revisiones periódicas en los sistemas de seguridad del reactor y venteo (Souza y Schaeffer, 2013; Zhao, N., Ma, W., y Bechta, S., 2023). Esto se debe, a que se trabaja con válvulas de seguridad con agua; lo cual implica que se debe revisar que se disponga de agua suficiente para que el biogás no escape por ellas. Para ejemplificar, en las plantas de biogás industriales se colocan sensores reguladores en las entradas de agua en caso de evaporación o pérdida (ONUAA, 2019; Instituto Multidisciplinario de Energía, 2013). En los reactores experimentales, se presentan pérdidas de biogás por la evaporación del agua principalmente en las válvulas de seguridad. Otro problema, que se puede generar es encontrar agua condensada en las tuberías de conducción del biogás debido a los materiales con que se construye; principalmente si son de bajo costo debido a la poca estabilidad y dureza de los materiales empleados en la construcción. La cantidad de agua condensada en la cañería presentaría un impedimento físico para el flujo del biogás, lo que incrementaría la presión en el sistema. Si los Batch, se construyen con sistemas que tengan membrana, es necesario inspeccionar que no existan objetos o cuerpos contundentes que pongan en peligro al dispositivo (Castillo e Izaba, 2021). Otro aspecto a evaluar, es el sulfuro de hidrogeno, es necesario tener sensores que lo midan con la finalidad de hacer un seguimiento de los filtros y cuando es necesario se realizará el cambio. Existen, modelos experimentales de Batch a escala mediana en donde se utilizan otros equipos específicos, por ejemplo, electrobombas, calentadores, chillers, etc., a estos dispositivos se aplican mantenimientos propios así que se deben revisar también de manera periódica para que no ocasionen problemas al funcionamiento de la vida útil del biodigestor.

A.1. Evaluación de los parámetros del BAPE

Para verificar la producción de biogás experimentalmente a partir de los restos de comida, se procede a construir cuatro modelos de BAPE. Según, los datos tabulados en la caracterización del sustrato orgánico realizado en los 28 días de valoración de cada hogar participante. En cuanto, al desarrollo experimental de nuestra investigación, se crean las mezclas adecuadas para cada uno de los BAPE a estudiar según la dieta habitual del hogar. Basado en el análisis fisicoquímico previamente realizado, y luego de optar por la mejor mezcla se planea un alcance del proceso efectuando una exploración de las variables críticas de operación de cada régimen con el propósito de identificar las circunstancias en las cuales se lleva a cabo, si son beneficiosas o no, y proponer la mejor

solución de un prototipo o modelo anaerobio para el aprovechamiento energético de los restos de comida (tabla 32).

Tabla 32. Cuantificaciones a evaluarse en el BAPE con resto de comida urbana

Parámetros	Variable	Característica
Ambientales (Factores químicos)	Alcalinidad (pH)	Un pH entre 6,5 – 7,5 es operable en el reactor experimental Batch. Lo óptimo es 7 (Tabatabaei & Ghanavati, 2018).
	Relación C/N	Rango óptimo entre 20 y 30 (Tabatabaei & Ghanavati, 2018).
	%ST	El porcentaje de sólidos totales debe ser mayor al 20% ST con una fracción orgánica de 40-60% (Guerra, 1989)
Control (Factores Físicos)	Temperatura (T)	Mesofílica: 25°C – 45°C (FAO, 2019)
	Tiempo retención T_{RH}	Periodo en que el sustrato está dentro del Batch, es la tasa entre volumen total del digestor y el caudal de tratamiento (Ali et al., 2022).
	Velocidad carga orgánica (V_{CO})	Cantidad de sustrato orgánico dentro del Batch por unidad de volumen del digestor y tiempo (Ali et al., 2022)
Condiciones experimentales	Medición del volumen de biogás en los BAPE	Desplazamiento por jeringa: “La presión generada en la headspace desplazará el émbolo de la jeringa, equilibrando la presión interna del reactor hasta alcanzar la presión atmosférica” (Zaman, 2010; Himanshu et al., 2017; Yilmaz, 2015).
		Desplazamiento por volumen: el biogás pasa a través de la solución y el volumen desplazado es igual al volumen de biogás generado (Strömberg et al., 2014; Zaman, 2010)

Fuente: Ensayo de potencial bioquímico metanogénico. (Bres, Beily y Crespo, 2022). Adaptado por Silvia Coello

B. Objetivos del capítulo

B1. Objetivo general

Evaluar las condiciones ambientales y de control de un dispositivo de biodigestor artesanal a pequeña escala (BAPE) experimental para comprobar la producción de metano a más del 45%.

B2. Objetivos específicos

1. Establecer un régimen de alimentación del biodigestor anaerobio con una mezcla de residuos en cantidades adecuadas, consiguiendo una estabilización del proceso y una producción de biogás constante y significativa.
2. Determinar las variables ambientales que afectan en el proceso de biodegradación del sustrato orgánico en el BAPE.

3. Comprobar las variables operacionales que afecten durante el proceso de producción de biogás a partir de ciertas señales que informan sobre el desarrollo del mismo y que pueden ser controladas en el reactor.
4. Determinar la producción de CH₄ a partir de las variables de ambientales, de control y experimental del sustrato en el prototipo experimental.

C. Materiales y métodos

El diseño de este proceso es de tipo experimental, la muestra son restos orgánicos facilitados por dos domicilios donde se obtuvieron materia prima de dos días consecutivos para su respectiva alimentación en el BAPE. En la vivienda uno, se recolectaron: 770,5 g y 524 g de desechos; el hogar dos contribuyo con 506,5 g y 1161 g de restos orgánicos (tabla 33), todos los BAPE se le agregará como inóculo estiércol de vaca.

Tabla 33. Tasación y descripción del sustrato orgánico recolectado en las dos viviendas

Hogar	Día	Descripción del tipo de sustrato
	1	Apio (20g), arroz cocinado(340g), cáscaras de papas (62,5g), alfalfa (60g), cilantro (12g), cáscaras de zanahoria (50g), cáscaras de maduro picado (112 g), cáscara de sandía picada (114g)
1	2	Tomate (35,5g), lechuga (30,5g), cáscara de papa (16,5g), arroz cocinado (256g), cáscaras de zanahoria (14,5g), ajo en pepa picado (4g), manzanilla seca (14g), cilantro (10g), alfalfa (18g), cáscara de verde (125g)
	1	Tomate (18g), lechuga (5,5g), cáscara de papa (6g), arroz cocinado (360g), cáscaras de zanahoria (85g), cebolla blanca picada (28,5g), tallo de alfalfa (10g), Fertilizante LAVIN (40g), resto de pimiento (5g), cáscaras de huevo (36,5g)
2	2	Hoja de hierbaluisa (12,5g), hojas secas de romero (53g), cebolla blanca (44 g), albahaca seca (22g), tomate (106g), pimiento (102,5g), cáscara de guineo (173,5g), cáscaras de huevo (26,5g), cáscaras de maduro picada (62,5g), hojas secas de guayusa (190,5g), arroz cocinado (163g), papas hervidas (25g), cilantro picado de tallos (28g), ajo picado (23g), resto de tallo de brócoli picado (57g), resto de comida de perro (72g)

Los dos hogares colaboradores para esta fase de estudio experimental, presentan ciertas características que se pueden leer en la tabla 35. Para determinar si existe o no CH₄, estas muestras de resto de comida mezclada se colocarán dentro de los reactores BAPE, durante cierto tiempo de retención hidráulico (T_{RH}), cuyo proceso debe ser inspeccionado, teniendo en cuenta el control de la temperatura dentro del reactor y de su entorno.

Tabla 34. Características de dos hogares colaboradores.

Hogar	Personas	Patio	Desechos orgánicos prom/día	Agua	Mascotas	Tipo Mascota		Desecho de mascotas	Baños
						Gato	Perro		
1	4	No	Si	Si	3	2	1	Si	1
2	9	Si	No		6	4	2		2

Para determinar experimentalmente los restos de comida mezclados según los parámetros ambientales y de control de las cinco muestras descritas en la tabla 21 se aplicará las siguientes técnicas de análisis (tabla 34)

Tabla 35. Técnicas de análisis para las muestras orgánicas de los hogares.

Parámetros a evaluar	Unidad	Técnica de análisis
Materia orgánica	% s.m.s	Gravimetría/C5110015
Materia seca 105 °C	% s.m.f	
Sólidos totales volátiles %ST	% s.m.s	
Conductividad eléctrica a 25 ° C	dS/m	Conductimetría/C75110229
pH (ext. 1:5 H ₂ O)	UpH	Potenciometría/C5110114
Relación C/N		Cálculo
N orgánico		Cálculo
N amoniacal		Titulación volumétrica/
Nitrógeno (N)	% s.m.s	C5110230
Potasio (K)		Espectrometría ICP-OES/C5110115
Fosforo (P)		
Temperatura (T)	° C	Sensor DS18B20 Termómetro de vidrio líquido $\pm 0,5$ ° C
Tiempo retención T _{RH}	día	Cálculo
Velocidad carga orgánica (V _{CO})	kg/día	
Volumen de headspace	mL	
Medición de volumen de Metano y Biogás	PPM	Método desplazamiento volumétrico (basados en el protocolo VDI 4630) Desplazamiento por jeringa (basados en el protocolo VDI 4630) Sensores MQ4 con Arduino MEGA

Los instrumentos electrónicos para medir la temperatura son: termocupla DS18B20 programada con Arduino MEGA UNO (anexo 35) y termómetros de mercurio de laboratorio con un rango de -10°C a 110°C con un margen de error de $\pm 0,5$ °C. La lectura de datos de la temperatura interna del BAPE y del entorno se efectúa tres veces al día con niveles de alta, media y baja. De esta manera, se hace el seguimiento para evaluar las perturbaciones en el sistema debido a las condiciones ambientales. Los sensores MQ4 se usan para medición de los diferentes gases dentro del reactor, los sensores se calibran con respecto a su resistencia de sensibilidad Ro/Rs para tomar lectura en el monitor serie del Arduino, la unidad de medida es parte por millón (ppm), (anexo 37). También, se medirá el volumen del biogás por dos métodos desplazamiento (volumétrico y de jeringa). Ambos procesos, analógico y digital son los métodos aplicados para demostrar la producción de CH₄ en los prototipos experimentales.

C.1. Dimensionamiento del BAPE

Para dimensionar los BAPE, se considera los siguientes aspectos: la carga diaria de alimentación que tendrá el dispositivo, la temperatura y tiempo de retención hidráulica. Otras cuestiones, a considerar son: la tecnología con que se decida trabajar, ubicación del dispositivo, temperatura de ingreso de la carga, materiales del prototipo entre otros factores que puedan incidir en el dispositivo experimental. Con todo lo antedicho, se puede estimar la temperatura de trabajo y desarrollo del BAPE en el proceso de biodigestión. Si deseamos diseñar o modelar un prototipo experimental artesanal a pequeña escala, se necesita conocer el tiempo de retención hidráulica (T_{RH}), volumen de carga diaria (V_{cd}) y de alimentación para aproximarnos a un dimensionamiento real para un proyecto. Para determinar el volumen de trabajo y de carga diaria en el BAPE, se opera a partir de las ecuaciones 18 y 19:

$$V_T = 0.75V_{BAPE} \quad \text{Ecuación (18)}$$

$$V_{cd} = \frac{V_T[m^3]}{T_{RH}} \left[\frac{m^3}{\text{día}} \right] \quad \text{Ecuación (19)}$$

Por otro lado, la variable temperatura define y dimensiona al BAPE, por su efecto en él, es decir, puede involucrar grandes variaciones en el volumen del dispositivo anaerobio (FAO, 2019). Para tener una idea más amplia de lo antedicho, se expone una tabla de dimensionamiento según la etapa de temperatura versus tiempo de retención hidráulica (T vs T_{RH}).

Dado el tiempo en días, y según la etapa de trabajo deseada, se obtiene un posible cálculo de producción de biogás y dimensionamiento del reactor para escalas mayores. Para determinar la temperatura (T) y el tiempo de retención hidráulico (T_{RH}), se utiliza los valores indicados en los diferentes estudios o manuales sobre diseño de biodigestores (tabla 36).

Tabla 36. Cálculo del dimensionamiento del biodigestor según $T[^\circ\text{C}]$ vs T_{RH} [días]

Etapa	Rango de Temperatura	T_{RH} [días]	Cálculo	$V_{TB}[m^3]$
Psicrofílicos	(10 – 25) °C	50 – 120	$(30 \frac{m^3}{\text{día}} * 60 \text{ días})$	1800
Mesofílica	(25 – 40) °C	25 – 50	$(30 \frac{m^3}{\text{día}} * 35 \text{ días})$	1050
Termofílico	(40 – 55) °C	15 - 25	$(30 \frac{m^3}{\text{día}} * 20 \text{ días})$	600

Fuente: (FAO, 2019). Adaptado por Silvia Coello

Continuando con la idea de la temperatura, al no tenerse un control de esta variable, sí se desea modelar un biodigestor, deberá calcularse en función de la peor condición térmica del año. Uno de los fallos en el momento de dimensionar al no considerar el control de la temperatura, es ubicar como dato la temperatura media anual cayendo así en un error para el dimensionamiento y tamaño del biodigestor. Los descensos de temperatura del entorno afectan de manera significativa a la producción de bacterias mesofílicas. Se debe considerar también las temporadas frías como el invierno, de no considerar estos cambios térmicos del medio ambiente no se cumpliría con el T_{RH} y por ende la producción de biogás decaería. Por ejemplo, el programa de colaboración patrocinado por la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU (AgSTAR), y el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), menciona en “la guía de operador de dispositivos anaerobios caseros”, que los biodigestores no deben recibir luz solar directamente, por motivo del cambio que podría darse con respecto a la temperatura interna del reactor (EPA, 2020).

No obstante, decidimos en este estudio exponerlo a la radiación solar y realizar un análisis del comportamiento de la temperatura interna en los BAPE. El fin de ejecutar esta acción, es comprobar los cambios de temperatura que puede tener internamente y como se puede aprovechar este tipo de exposición de alguna manera positiva, ya que no se estará trabajando en un laboratorio físico, nuestro laboratorio será una vivienda en particular.

C.2. Ubicación de los biodigestores artesanales

Los modelos de BAPE, se deben ubicar en lugares estratégicos para comprobar la incidencia de la temperatura en lugares internos y externos. Padilla y Rivero (2016) mencionan, que los puntos críticos que se debe analizar para ubicar un biodigestor son: la facilidad de la carga, la cercanía al lugar en donde se usará el biogás, mientras que otros autores, indican que también se debe analizar el estudio del suelo o “napa freática” (Aponte, 2021). Por lo general, los modelos tipo Batch son construidos para estar en laboratorios experimentales con las debidas normas de seguridad; por lo que, no implica un riesgo su manipulación (Delgado, 2021; Arévalo, 2021).

Para nuestro estudio, la ubicación de los BAPE, debe estar en habitaciones con ventilación, y se debe realizar revisión periódica de que no existen fugas. Lo cual, dependerá del material utilizado para su construcción y así evitar exposiciones a gases

tóxicos o ciertos patógenos que se puedan generar. En nuestro caso, se desea conocer el efecto de ubicar un BAPE en el interior del domicilio (cuarto de cocina) con temperatura del entorno; y la segunda situación, es ubicar el prototipo experimental expuesto a la luz solar, lluvia, frío, ambos sin control de temperatura constante (35 °C), típica aplicada en los laboratorios experimentales. El objetivo es comprobar si al diseñar un modelo a escala mayor no se necesita ningún dispositivo adicional para mantener la temperatura constante; sino solo la del ambiente o a su vez de un invernadero para mantener su temperatura constante, en el rango de la etapa mesofílica (tabla 36).

C.3. Diseño y características de los reactores BAPE experimentales

Los reactores BAPE seleccionados, están hechos de material plástico de polipropileno (PP), entre sus ventajas tenemos la baja absorción de la humedad, por lo que no se daña con el agua, es adecuado para trabajar con alta temperatura (estabilidad térmica) de 100°C en el aire y tiene una gran resistencia mecánica, tanto al impacto como a la fatiga. Bres, Beily y Crespo (2022), menciona que se debe dar un 20 – 60 % al volumen del headspace o cámara de gas. Los BAPE de este estudio, están distribuidos en su interior con un 25% de espacio para el gas (headspace) y 75% para la carga. La distribución para el sustrato e inóculo más agua es: sustrato (25%), inóculo + H₂O (75%). En la tabla 37, detallamos los valores de capacidad, espaciado de la cámara del gas y carga según la materia orgánica descrita en la tabla 33.

Tabla 37. Característica y distribución del sustrato en el BAPE

BAPE	Capacidad [l]	Gas (25%) [mm ³]	Carga (75 %)	
			Sustrato (25%) [g]	Inóculo + H ₂ O (75 %) [l]
B1	4,5	1,13	844	2,53
B2	3,5	0,88	656	1,97
B3	3,5	0,88	656	1,97
B4	74	18,50	1388	41,63

Cabe indicar, que la temperatura de la ciudad de Guayaquil fluctúa entre 21°C (baja) a 32 °C (alta). Tales dispositivos BAPE, serán ubicados en dos escenarios distintos. Primero, B₂ y B₄ serán situados en el cuarto interior de la cocina del hogar, la característica del domicilio es de dos plantas, el cuarto de cocina mantiene un ambiente fresco. B₁ y B₃, se colocan en un domicilio de una sola planta, donde la temperatura del hogar es variante según el clima. Los BAPE estarán por un periodo de 40 días en cada lugar para verificar su comportamiento de temperatura, pH, y producción de CH₄. El

segundo escenario, es disponer los BAPE al exterior (exposición a la luz solar, lluvia, cambio de temperatura de la localidad) y analizar la incidencia del medio ambiente sobre los BAPE. Se monitoreará su temperatura ambiente del entorno y dentro del reactor, medición del pH antes de ser depositado en el reactor, su medición de volumen biogás por medio de desplazamiento (volumétrico y de inyección) con una solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 10%, su propósito es absorber la humedad y dióxido de carbono del aire dentro del reactor, durante 46 días más de exposición solar.

C.4 Calibración de los sensores MQ4

Los sensores de gas MQ4 fueron calibrados con el propósito de obtener información en los BAPE del gas CH₄. La calibración es un proceso para obtener datos con mayor exactitud. El valor de la resistencia en el sensor varía para cada tipo de gas y su concentración. Las recomendaciones del fabricante es calibrar el MQ4 para 5000 ppm de concentración de CH₄ en el aire, con una resistencia de carga (R_L) sobre 20 kΩ o que esté en un intervalo de 10 kΩ a 47 kΩ.

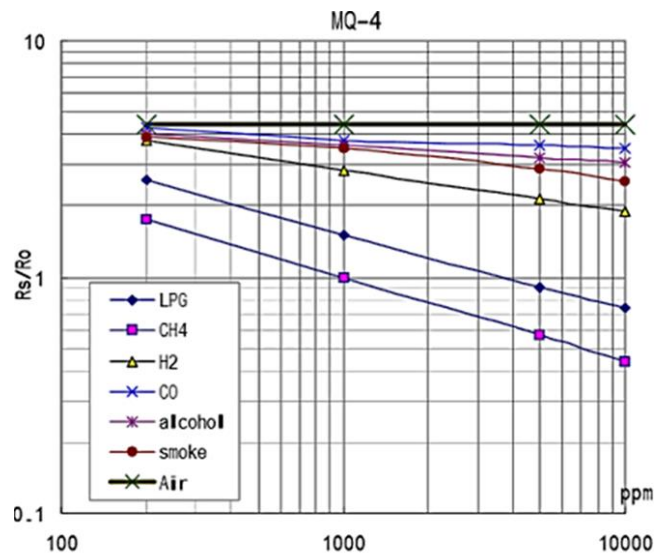


Figura 39. Curvas características de sensibilidad de cada gas del MQ4

Por otro lado, la resistencia de salida R_s varía entre 10 kΩ a 60 kΩ, lo cual significa que si R_s es de 10 KΩ no poseemos CH₄ (aire limpio) y, por ende, si su valor es de 60 KΩ significaría que tenemos 10,000 ppm de CH₄ (figura 39) (Dorcea, Hnatiuc, y Lazar, 2018). Se usa la hoja de datos del fabricante (datasheet), y de las gráficas dadas del MQ4 se extrae los puntos de la curva de cada gas con la herramienta WebPlotDigitizer (Costin

y Rotariu, 2009) y así obtener un modelo matemático que coincida con los datos del sensor MQ4 ya que no existe ninguna fórmula para su trazado.

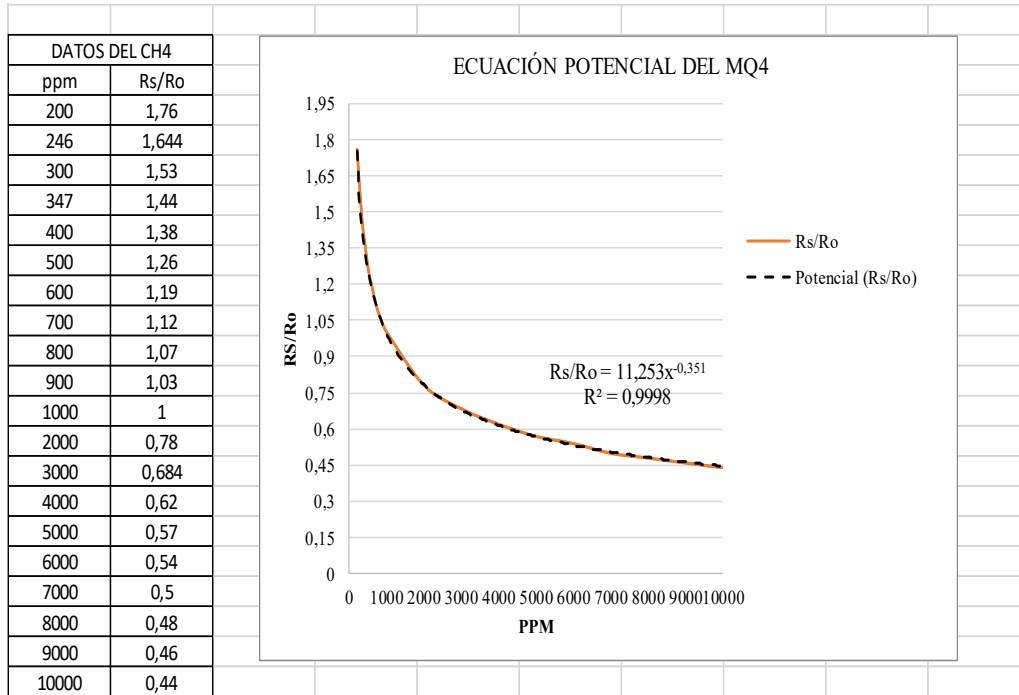


Figura 40. Curva de sensibilidad del metano del sensor MQ4

De esta manera, se tiene una lectura de la salida analógica del sensor a ppm (anexos 37 – 38). Una vez obtenida las ecuaciones de cada curva se programa al sensor con el interfaz Arduino para que se proceda con la lectura en los BAPE (anexo 39 - 41). Los resultados de la calibración del sensor MQ4 con la herramienta WebPlotDigitizer, nos permitió determinar una ecuación potencial para el interfaz con la placa de Arduino MEGA (figura 40 y 41).

CURVA AIRE MQ4				
	ppm	Rs/Ro	X	Y
Pmin	200	4,45	2,30	0,65
Pmax	10000	4,45	4,00	0,65
		X1	Y1	m
	CURVA AIRE	2,3	0,65	0
CURVA CH4 - MQ4				
	ppm	Rs/Ro	X	Y
Pmin	200	1,76	2,30	0,25
Pmax	10000	0,44	4,00	-0,36
		X1	Y1	m
	CURVA CH4	2,3	0,25	-0,35

COM3

Iniciando ...

Calibrando...

Calibracion finalizada

Ro=28.22kohm

CH4: 0ppm

CH4: 0ppm

CH4: 0ppm

CH4: 0ppm

CH4: 0ppm

CH4: 0ppm

CH4: 0ppm

CH4: 0ppm

Figura 41. Calibración del Sensor MQ4 en el aire y cálculo del Ro

Una vez obtenida los valores de las ecuaciones de cada sensor se desarrolla el programa y se corre el *sketch* para comprobar si no hay errores en la ecuación obtenida en aire limpio (anexo 39 - 43). De esta manera, ya tenemos calibrados los sensores para comprobar existencia de gas CH₄.

D. Análisis y discusión de los BAPE

D.1 Análisis y discusión de las condiciones ambientales de los restos de comida (factores químicos)

Los resultados obtenidos relacionados con los parámetros ambientales como es la relación carbono – nitrógeno (C/N) de los domicilios participantes por cada grupo fueron de 19,15 a 30,62 un rango aceptable, según otros estudios realizados con restos de comida orgánica, pero de tipo FORSU (Bernal y Suárez, 2018; Hegde y Trabold, 2019; Huegra et al., 2020; Sogari y Busso, 2011; Zhang et al., 2011). La conductividad eléctrica (CE) tiene valores entre 1.23 y 4.16, tanto la conductividad como el pH guardan cierta

La primera, afecta la capacidad física de absorción de agua y nutrientes en el sustrato orgánico, por lo que, una elevada CE indica una concentración alta de sales en el sustrato; los valores de CE deben ser menores a 1dS/m. Mientras que el segundo, es un factor químico; el pH puede incidir o no en las reacciones. Tales reacciones, son necesarias para que ciertos alimentos y sustancias sean factibles y absorbidas durante la degradación (Huegra et al., 2020).

Tabla 38. Caracterización de los restos de comida para el ensayo con el BAPE

Parámetros a evaluar	A1	A2	A3	A4	A5
Materia orgánica [%s.m.s]	94,5	94,6	93,4	85,2	93,5
Materia seca 105 °C [%s.m.f]	14,02	17,9	19,2	16,5	17,6
Sólidos totales volátiles %ST	13	18	17,1	15,8	15
Conductividad eléctrica a 25 ° C [dS/m]	1,23	2,66	2,64	4,16	2,76
pH (ext. 1:5 H ₂ O) [UpH]	3,57	4,08	4,05	4,53	4,13
Relación C/N	30,62	19,15	24,75	22,87	30,16
N orgánico [%s.m.s]	1,54	2,47	1,89	1,86	1,55
N amoniacal [%s.m.s]	0,24	0,35	0,25	0,32	0,3
Nitrógeno (N) [%s.m.s]	1,78	2,82	2,14	2,18	1,85
Potasio (K) [%s.m.s]	1,62	0,33319	1,03	1,45	2,58
Fosforo (P) [%s.m.s]	0,191	0,33	0,21	0,29	0,3

En cuanto, a la alcalinidad el análisis nos muestra un nivel de acidez (3,57 a 4,53) que deben ser corregido agregando otros sustratos para mejorar el pH de la materia orgánica cuando se alimente los BAPE (tabla 38). Este valor de acidez del sustrato orgánico, es común en los domicilios debido al proceso previo de fermentación que sucede durante la

etapa de acopio en el hogar (Marmolejo, 2011; FAO, 2019). Los sólidos volátiles totales están en armonía según los requerimientos para el sustrato orgánico (Tabatabaei y Ghanavati, 2018; Huegra et al., 2020; Zeng, J., Zeng, H., y Wang, Z., 2022)

D.2. Análisis y discusión de los factores físicos o variables de control de los BAPE

La ciudad de Guayaquil tiene una temperatura cálida debido a su ubicación geográfica en la zona ecuatorial, el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), posee registros históricos de la estación de Dirección Aviación Civil (DAC), cuyos datos se toman como referencia para determinar las temperaturas que se han presentado en la ciudad metropolitana. En los últimos 39 años las temperaturas anuales han variado (figura 42), siendo la más baja en agosto del año 1999 con 16,5 °C y en 1989 en el mes de julio con temperaturas bajas de 21°C y como más alta registrada 34,5°C para este año 2022 (Weather Spark, 2022; EC INAHMI, s.f).

Basado en los datos históricos meteorológicos de Guayaquil para el año 2022 y desde la fuente obtenida del Aeropuerto Internacional “José Joaquín de Olmedo” a través de la página web “Weather Spark” (2022) con dirección de la estación DAC.

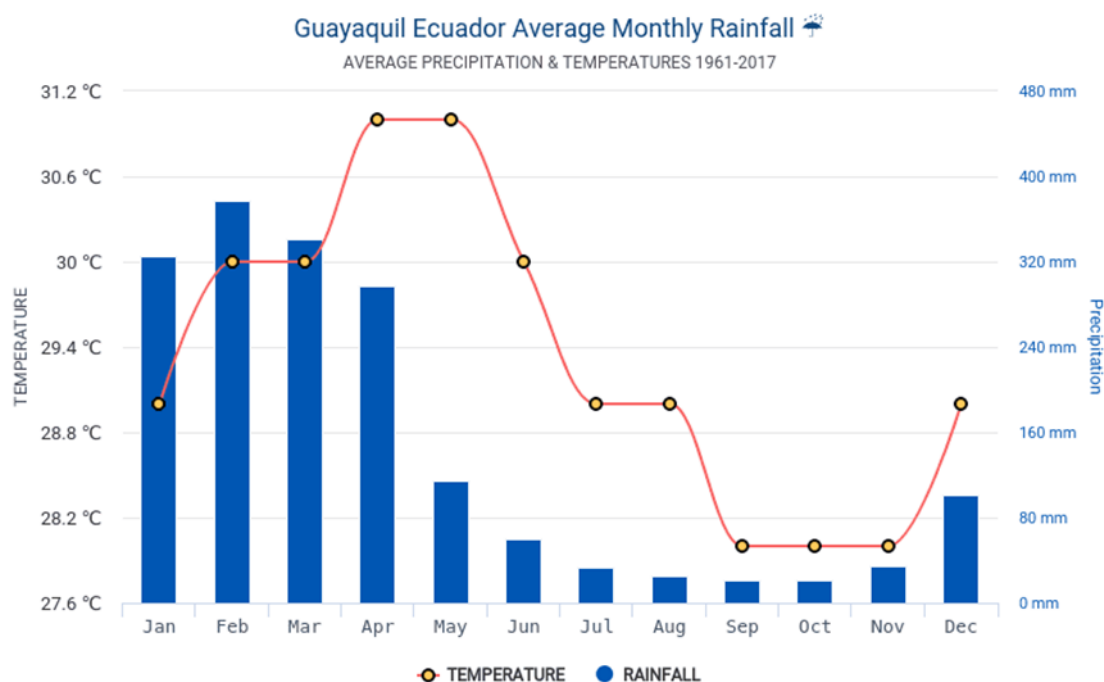


Figura 42. Temperatura promedio en Guayaquil desde 1961 hasta 2017

Nota: Promedio mensual de las temperaturas (día y noche) en Guayaquil, Ecuador. Modelo climático de la temperatura fue creado sobre la base de datos de años 1961-2017 por Hikersbay según los datos de DAC.

En la figura 43, visualizamos con barras grises las temperaturas registradas diariamente, las marcas de color rosa palo son las temperaturas máximas y las de tono azul las mínimas, durante 24 horas.

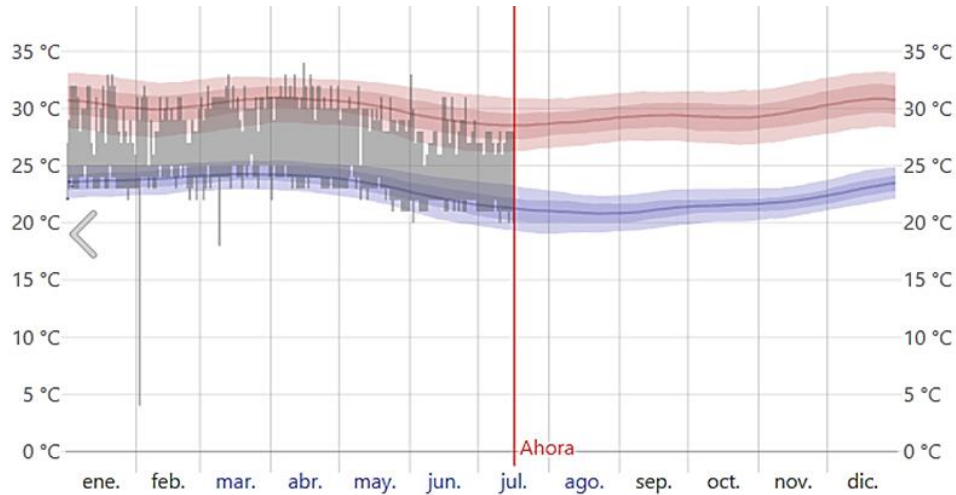


Figura 43. Temperatura promedio en Guayaquil desde enero hasta julio de 2022
Fuente: Weather Spark” (2022).

Las líneas de rojo claro, ubicadas por encima del promedio diario de la máxima y la mínima son de color azul claro, con las franjas de los percentiles 25 a 75 y 10 a 90. Las temperaturas promedio en temporadas cálidas ha fluctuado entre 22°C a 31°C, mientras que en la temporada fresca se obtuvo promedio de 21°C a 29°C (figura 41). El estudio en primera fase, se trabajó con la peor época del año en la ciudad de Guayaquil que son los meses de enero a marzo, que es la temporada de lluvias.

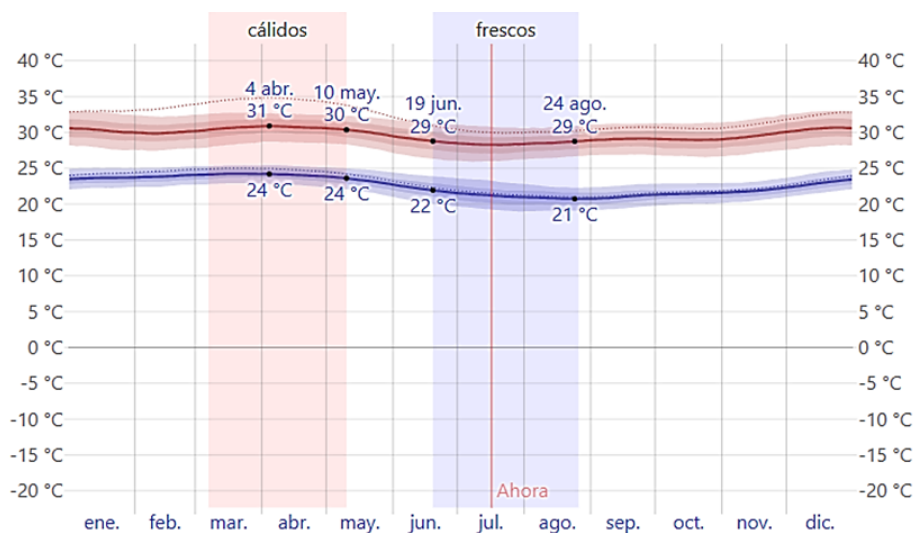


Figura 44. Temperatura máxima y mínima promedio en Guayaquil (1 marzo – 17 julio)

No obstante, se indica que hubo instantes en que la temperatura fueron superiores a 31°C con más días soleados que lluviosos o fríos. Actualmente, la temporada de mayo a diciembre que se caracteriza por ser temporadas cálidas y frescas en las noches se está experimentado lo contrario con respecto al clima en la ciudad de Guayaquil (figura 44). Así, que se estudiará con los BAPES también en esta temporada.

A continuación, se mostrarán los resultados obtenidos durante la puesta en marcha y operación de los BAPES durante 86 días dentro y fuera de una vivienda. Iniciando con las explicaciones de régimen de alimentación, la temperatura, pH y producción de CH₄ en los reactores experimentales. Continuando con la idea del clima, para temperaturas cálidas se establece la carga diaria de la mezcla mediante el producto del volumen del reactor experimental por el 75% de su capacidad (0,75).

A continuación, se muestran los resultados obtenidos durante la puesta en marcha y operación de los BAPES durante 86 días dentro y fuera de una vivienda. Iniciando con las explicaciones de régimen de alimentación, la temperatura, pH y producción de CH₄ en los reactores experimentales. Continuando con la idea del clima, para temperaturas cálidas se establece la carga diaria de la mezcla mediante el producto del volumen del reactor experimental por el 75% de su capacidad (0,75).

Tabla 39. Régimen de alimentación de los BAPE

BAPE	Capacidad [litros]	Carga (75 %) T _{RH} :86 días			Régimen de alimentación
		V _T [m ³]	V _{CD} [$\frac{m^3}{día}$]	V _{CD} [$\frac{kg}{día}$]	
B ₁	4,5	3,375	0,0843	84,3	fija
B ₂	3	2,25	0,0563	56,3	diaria
B ₃	3	2,25	0,0563	56,3	fija
B ₄	74	55,5	1,388	1388	diaria

Basándonos en las ecuaciones 18 y 19, y en la tabla 36 de temperatura, y acorde con el clima de Guayaquil la etapa ideal para trabajar los BAPE es la Mesofílica (anexo 44 – 45). Entonces, aplicando estos criterios tenemos el siguiente régimen de alimentación para los cuatro prototipos BAPE, para un tiempo de retención hidráulico total de 86 días (tabla 39). Una vez cargado cada BAPE con la composición de resto de comida, vegetales triturados, iniciamos el proceso de puesta en marcha de los reactores. Tales reactores, son sellados herméticamente por un tiempo fijo para estabilizar la carga orgánica y dar paso al medio anaeróbico que se requiera para el debido crecimiento bacteriano que consumen el oxígeno y se genere el biogás debido al contacto de los nutrientes de la biomasa con

los microorganismos. Al no estar en un baño térmico y aprovechando el clima de la región Costa de Ecuador, tenemos que los datos obtenidos del clima de la ciudad de Guayaquil oscilan entre 20 °C a 32 °C se encuentra en un rango mesofílico.

Los resultados obtenidos de la temperatura de los BAPE oscilan entre 20°C a 50 °C aproximadamente, tanto en el interior del cuarto de cocina y en el exterior (patio de la vivienda). Estos datos son promediados para lograr un registro por día, excepto las primeras tres temperaturas de cada sistema, las cuales son anotadas mediante las termocuplas DS18B20.

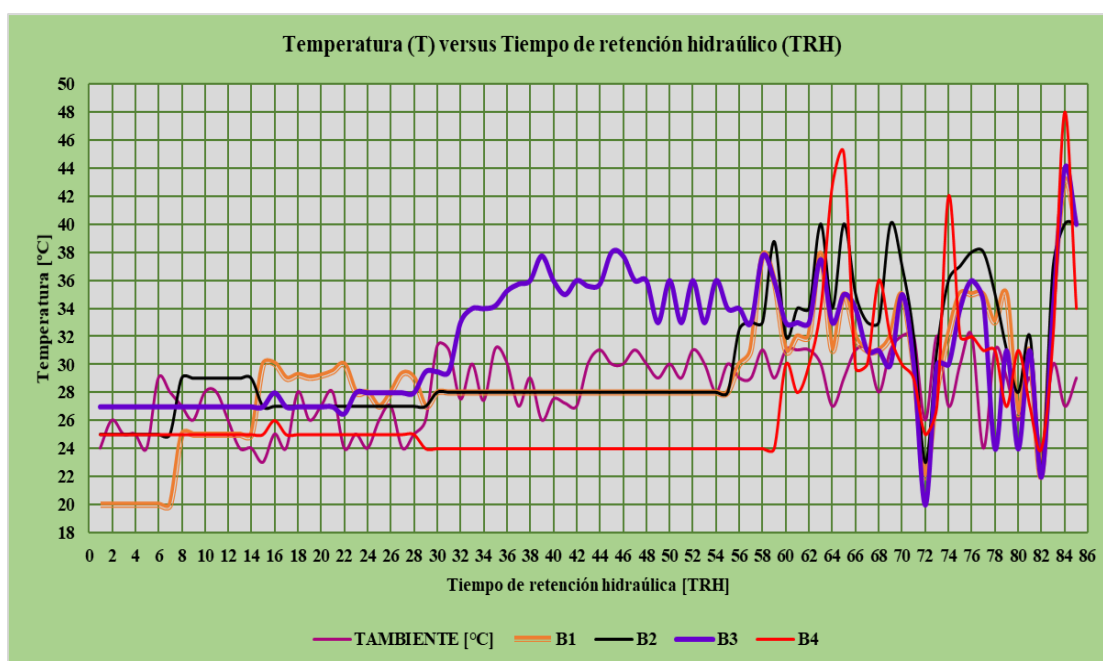


Figura 45. Comportamiento de la temperatura en el interior de cada biodigestor BAPE según el tiempo de retención hidráulico (T_{RH})

En la figura 45, podemos observar el comportamiento de la temperatura interna de los BAPE, en el interior del domicilio. Donde, la máxima temperatura interna fue 38 °C y la mínima 20 °C para los BAPE, durante los primeros 55 días de prueba. A partir del día 56, fueron ubicados en los exteriores con temperatura de 23 °C como mínima y 32 °C como máxima entre el mes de febrero y marzo que es considerada la etapa de invierno en Ecuador (Temperatura ambiente); los BAPE tuvieron temperaturas entre 24°C y aproximadamente 50 °C internamente. El reactor B₁, tuvo tres variaciones de temperaturas altas, en los días 16 al 22 con temperaturas entre 29,05 a 30,05 °C, pero después del día 23 hasta el día 53 experimentó una temperatura constante de 28 °C; con un pH de 5,5. En el día 63 tiene un desplazamiento volumétrico de 0,43 mm³.

El BAPE B₄, ubicado en el cuarto de cocina se mantuvo con una temperatura constante entre 24 °C y 25 °C, su pH se mantenía en un valor de 5,5 durante 55 días que lo ubica en el límite inferior de la etapa Mesofílica sin generación de biogás. Esto significa, que el reactor debe incrementar su temperatura. Para ello se procede a exponer el reactor a la luz solar, ya que se desea saber si la exposición del entorno puede afectar su temperatura interna. Ambos BAPE B₁ y B₄, no produjeron CH₄, en el caso del B₁ se revisó posibles fugas y medición de pH. Se agregó sustrato para nivelar el pH a 6 de este reactor. En el caso del B₄, se encontró una fuga pequeña, se agregó sustrato y se elevó su pH de 6 a 6,5, se expuso al exterior experimentando grandes picos de variación donde la máxima temperatura alcanzada fue 50 °C, al recibir la luz del sol; este reactor no produjo CH₄ durante los 86 días, ya que entró a un nuevo proceso de arranque. El reactor B₂, tuvo una temperatura de 27 °C constante por 31 días, experimentó una variación de temperatura constante de 28 °C durante 24 días y su pH estuvo en 6, este prototipo no experimentó producción de biogás durante los primeros 55 días (figura 46).

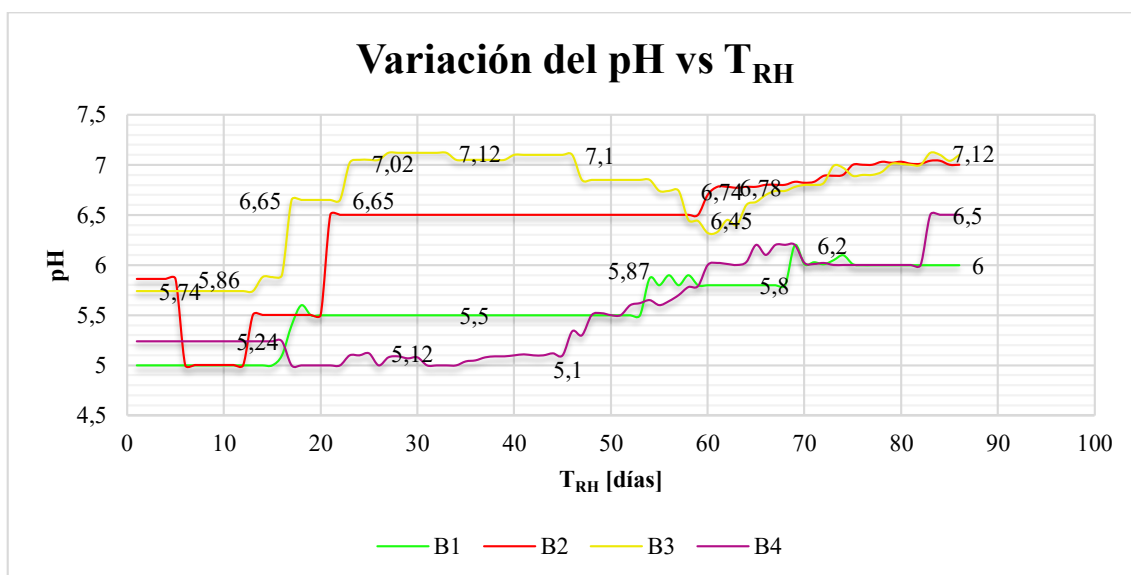


Figura 46. Comportamiento del pH en el interior de cada biodigestor BAPE según el tiempo de retención hidráulico (T_{RH})

En cuanto a los resultados del BAPE B₃, presenta grandes picos de variación de temperatura en los días 39, 45 y 58 fueron de 38°C. En el día 84, su temperatura máxima fue de 44 °C. El reactor se diseñó con desplazamiento volumétrico el cuál en el día 17 el sensor MQ4 detectó 50 ppm-CH₄.

En el día 22, experimenta un desplazamiento 0,028 ml/cc, es decir aproximadamente 27 ppm-CH₄, durante 18 días la lectura del sensor era 338 ppm-CH₄. En el día 39 se

expone a la luz solar al reactor su temperatura interna fue de 37,75 °C experimenta un desplazamiento de 0,41 ml/cc de CH₄, es decir 405 ppm, podríamos decir que el reactor se encuentra en una fase de estabilización. Los días 48 y 59 experimenta el mismo desplazamiento, pero esta vez el sensor MQ4 detecta 9980 ppm-CH₄; en los días 67 y 68 se mantiene su producción de CH₄ constante de 10000 ppm-CH₄ por 26 días; es decir, en una fase de operación.

Por otro lado, el reactor B₁ permaneció sin producción de CH₄, por un período de 71 días, en el día 72 fue expuesto a la luz solar, cuando la temperatura del entorno estaba a 32°C, el B₁ experimenta un desplazamiento volumétrico de 0,24 ml/cc de CH₄, es decir, 220 ppm iniciando su fase de estabilización hasta el día 79 (figura 47).

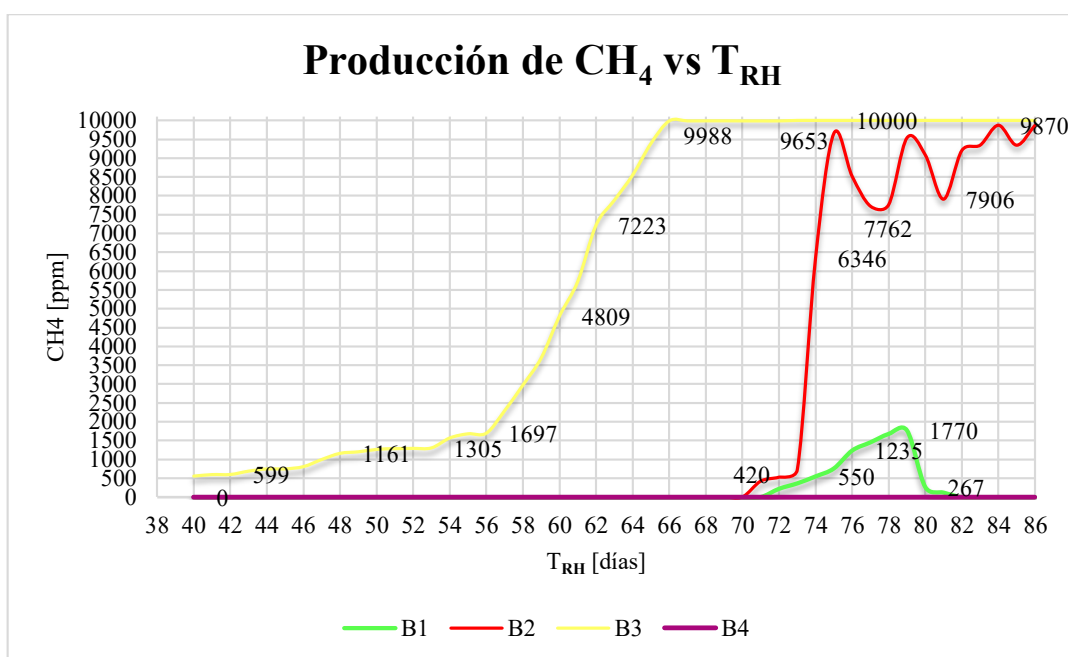


Figura 47. Variación de producción de CH₄ de cada reactor BAPE con respecto al tiempo de operación (CH₄ vs T_{RH})

Los resultados del reactor B₂, inicia con producción de CH₄ desde el día 70 con 420 ppm-CH₄, hasta el día 75 donde su pico máximo es de 9653 ppm-CH₄ elevándose su producción de 9870 ppm-CH₄ a 10000 ppm-CH₄ entrando así a una fase de operación. En cuanto al reactor B₁, experimenta a partir del día 71 producción de biogás su pico máximo es el día 79 con 1770 ppm-CH₄, experimenta una disminución de producción de CH₄, debido a que se encontró fugas por un accidente con mascotas que manipularon el reactor en el exterior. Tal reactor se ajusta y se procede a evaluar su producción a partir del día 86 entrando a una nueva etapa de arranque. Como apreciamos en los resultados

los BAPE B₁, B₂ y B₃ llegan a una etapa de estabilización en donde la producción del CH₄ es constante y de alto rendimiento. Se puede indicar que a partir de esta fase de operación es posible incrementar la alimentación del reactor para producir biogás hasta que se pueda llegar a la carga permitida por el diseño experimental propuesto en donde se puede generar biol con un valor nutricional óptimo.

D.3. Análisis y discusión del dimensionamiento del Sistema de Biodigestión para hogares familiares

Para dar respuesta a nuestra suposición acerca de que: “si se puede o no sustituir el uso del cilindro de gas doméstico por el biogás”; si deseamos diseñar un dispositivo basado en la tecnología D/A para hogares familiares, se debe considerar lo siguiente:

- Primero, la cantidad de biogás que se pueda producir (demanda y energía del hogar)
- Segunda opción, la cantidad de desechos orgánicos que se genera en la vivienda, que puedan ser tratados por el biodigestor.

Cabe recalcar, que para consumo de energía eléctrica podría complicarse un dimensionamiento ideal para una familia ya que la cantidad de residuos deben ser elevados. Pero, tampoco esto es un impedimento, con buenas ideas y capacitación se puede dar viabilidad de diseño para un hogar urbano.

En el capítulo 5 y 6, se describe las características de los desechos intradomiciliarios, composición física y química (tabla 22, 31), la cantidad de restos de comida y cascaras de frutas y vegetales que se genera (figura 29), y se obtiene el porcentaje de hogares candidatos a utilizar el biodigestor en función de la relación entre la energía consumida habitualmente en el proceso de cocinado, y la que podría llegar a generar el biogás producido en base a la cantidad de residuos del hogar. Como se explicó en la fase experimental del apartado A.1 y C.1 del capítulo 7 sobre el dimensionamiento del BAPE, se puede dar dimensión al modelo del biodigestor a partir del tiempo de retención hidráulica (T_{RH}) o a su vez de la velocidad de carga (V_c).

Como el desarrollo y diseño del biodigestor urbano es para la región Costa, el T_{RH} ideal es de 30 a 35 días según la etapa mesofílica y la velocidad de carga dependerá del modelo de biodigestor que se desee construir (tabla 38). Con este pensamiento, para

proponer un diseño complementario de reactor anaerobio para el hogar urbano, se debe realizar ciertos estudios que se consideraran a continuación.

En primera instancia, un factor importante a considerar es la distribución de consumo de esta energía fósil en el domicilio, en otras palabras, su consumo diario, mensual y anual. Para ejemplificar, si durante el año es parejo el consumo, se puede aprovechar la temperatura para suplir el consumo de gas doméstico.

Con la información del consumo de gas de la vivienda, se puede diseñar el gasómetro (Huerga, 2016, Sawyer et al., 2020), este será de menores dimensiones si el consumo es homogéneo. Caso contrario, se deberá diseñar uno con mayores espacios.

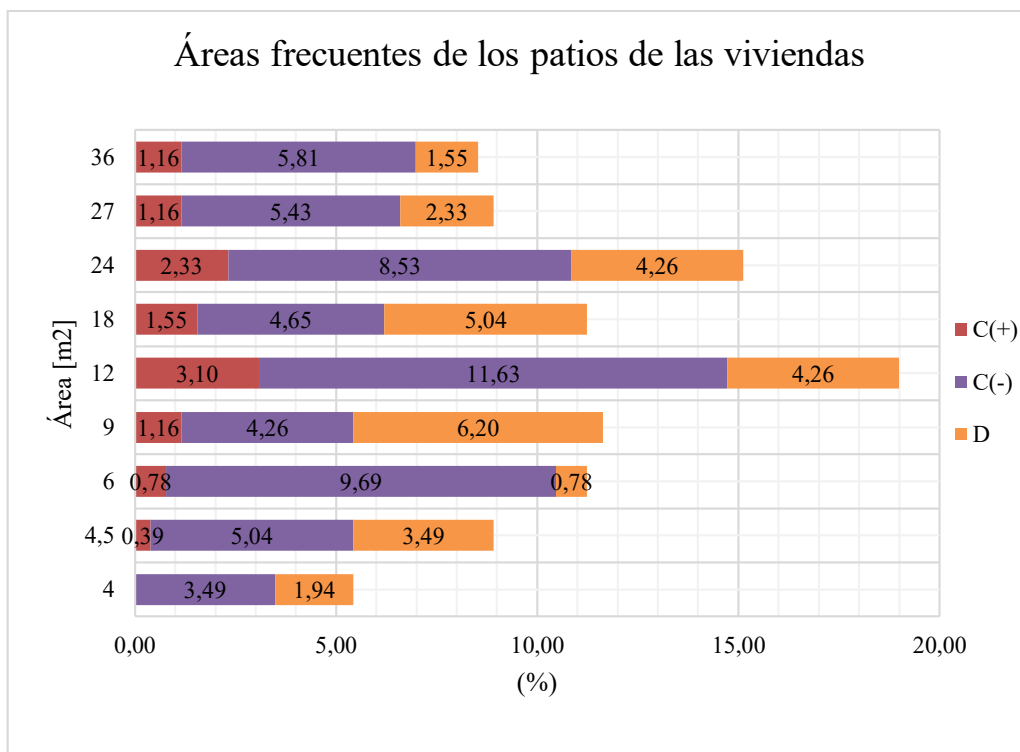


Figura 48. Dimensionamiento frecuente de los patios participantes

Como segunda instancia, se debe analizar la viabilidad de que todas las familias de los sectores urbanos marginales, o sólo una parte pueda utilizar un biodigestor a pequeña escala. Para modelar un biodigestor para familias urbanas debemos tener en cuenta como primer punto, si hay espacio físico en la vivienda; un segundo punto, es la cantidad de desecho que genere por día. Así, se tendrá una idea de que materiales del biodigestor son ideales para su construcción y que contribuyan con el dimensionamiento correcto para su respectiva ubicación en el hogar si la hubiere. Basado en las encuestas de los hogares que

participaron en la recolección de sus desechos orgánicos, se tiene que las disposiciones de espacio físico en los patios de las familias están entre 4 a 36 m² (figura 48).

El tamaño más frecuente de dimensionamiento es de 12 m² y 24 m² en el sector urbano marginal (figura 49). Para ubicar un biodigestor en los patios se necesita un espacio de 1,2 m², 3,4 m² o de (2 x 3,3) m² según los diseñadores de miniplantas de biogás siempre que se trabaje con bolsas de polietileno (Homebiogás, 2021).

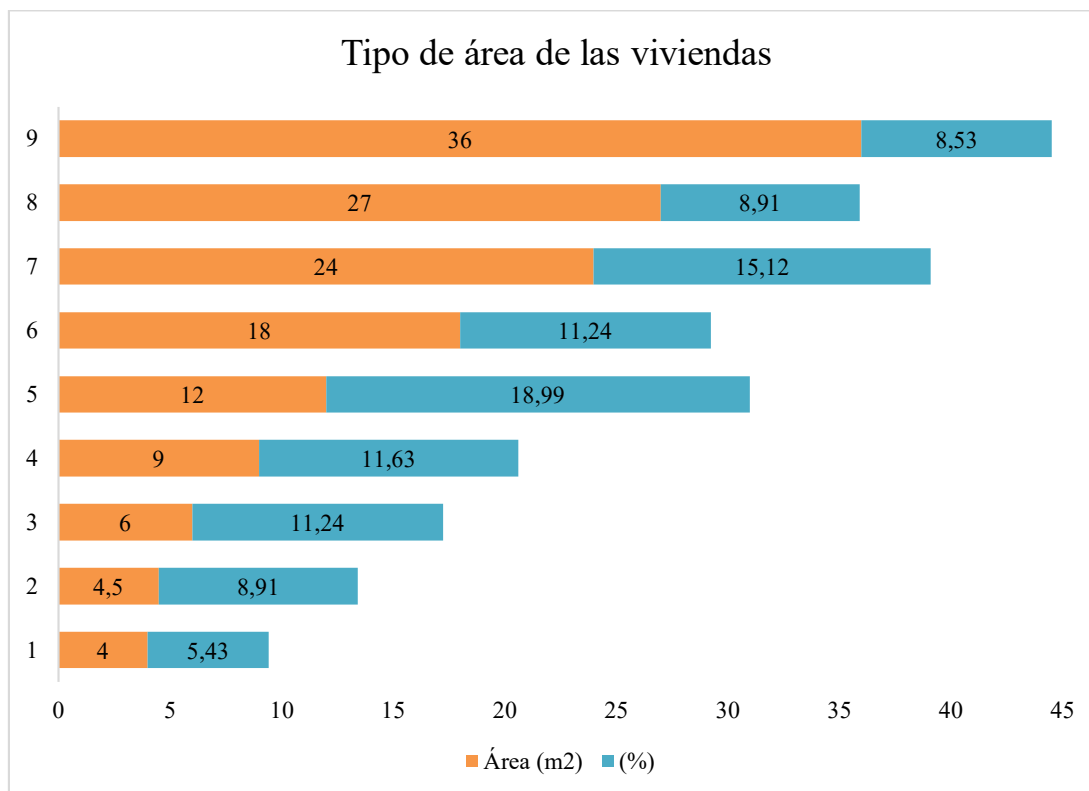


Figura 49. Tipos de dimensionamiento de las viviendas participantes

En la mayoría de los patios de las áreas urbanas marginales, se destina para el tendido de la ropa, ubicación de las casas de las mascotas (perros, aves de corral), lavadoras ecológicas (si las tuvieran), lavadero de ropa, jardinería. Pocas familias tienen como suelo del patio, cemento. Otros patios solo tienen tierra, esta información del tipo del suelo del patio es importante ya que se debe analizar la nivelación del mismo, para un biodigestor que no será enterrado. A continuación, presentamos la distribución de una casa del sector urbano de la parroquia Ximena donde los terrenos son de (9 x 21) m² para su respectiva construcción. La distribución de la planta baja de una casa de dos pisos (figura 50).

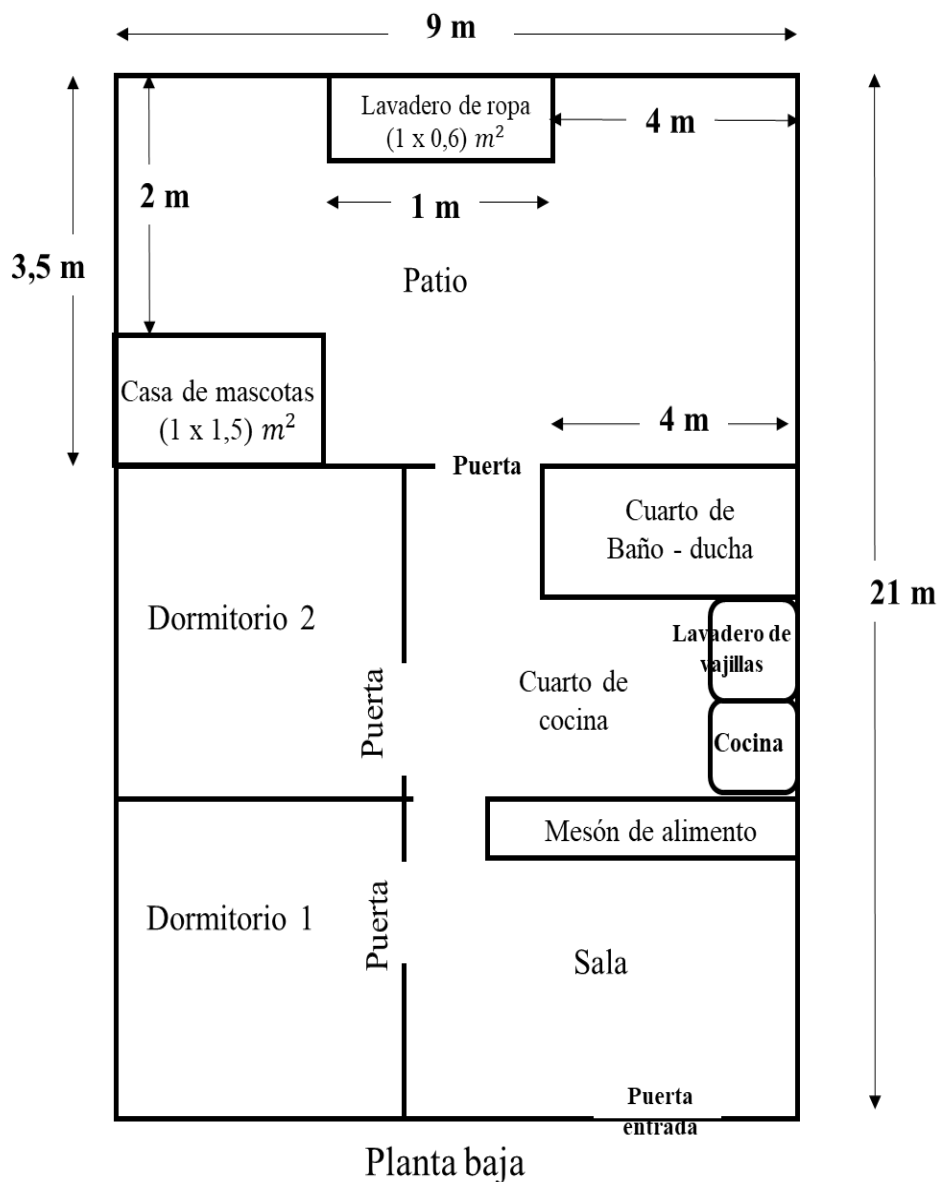


Figura 50. Distribución de un domicilio de la parroquia Ximena

Para tener una idea del diseño del digestor tenemos que partir de la demanda promedio de desechos orgánicos intrafamiliares que se genera según el número de habitantes en el hogar. Detallamos a continuación, el cálculo para el biodigestor que se diseñará, según los datos obtenidos de la caracterización del sustrato (tabla 42), análisis elemental, entre otros datos explicados en apartados anteriores, en este estudio. Según, se describe en el manual de diseño de biodigestores (s.f) que: “un biodigestor de 2750 litros puede producir 1030,36 l/día de biogás. Es decir 1,03 m³/día si se alimenta con 10,30 kg/día de restos de comida”.

Basado en los resultados de la caracterización de las viviendas tenemos, familias de 9 personas por hogar que genera aproximadamente un promedio de 4,3 kg/día que sería un

41,64% de lo que indica el manual de diseño. Para familias entre 6 y 7 miembros una producción del 27,47%, es decir 0,283 m³/día, de 4 a 5 personas un 22,38% con producción de 0,231 m³/día, 3 personas 12,16% con 0,125 m³/día.

Tabla 40. Características físicas de los restos de comida generados en los hogares

Promedio de miembros del hogar	Prom/día	Semana				Mes	Solidos totales		Volumen gas
	kg/día	S1	S2	S3	S4	28 días/kg	%ST (105°C)	%SVT (500°C)	$\frac{m^3}{kg} CH_4$ desecho
2,85	1,252	7,647	10,156	10,325	6,929	35,056	27,606	13,270	0,3663
4,53	2,305	10,397	14,042	17,463	22,631	64,534	27,445	13,299	0,3650
6,33	2,829	12,356	18,402	23,052	25,389	79,200	25,509	13,654	0,3483
9,17	4,289	20,319	27,872	32,976	38,925	120,092	23,172	14,083	0,3263
5,720	2,669	12,680	17,618	20,954	23,469	74,720	25,933	13,576	0,3510

Según mostramos en la tabla 40, en la primera semana se tendrían desechos para alimentar a un biodigestor de 2750 litros, es decir de una capacidad de 2,75 m³, se debe recordar que las dietas y generación de desechos varía por hogar y esto en un promedio con las familias que generan casi la misma cantidad de desecho. En la tabla 41 se procede a determinar la capacidad del reactor según el promedio que genera el hogar.

Tabla 41. Cálculo del tamaño del reactor con una relación 1:1 de proporción de H₂O

Números de miembros de familia	Números de miembros de familia	Materia seca promedio	Proporción de H2O	Carga diaria (Cd) litro mezcla/día	Volumen requerido Teo (35 °C)	Volumen requerido GYE (28 °C)	Volumen del gas	Volumen del gas	Volumen digestor	Volumen digestor
		kg/día	Relación 1:1		VrTeo(m3/día)	VrG(m3/día)	VgTeo (m3)	VgG (m3)	VD Teo(m3)	VD G(m3)
(2 - 3)	2,85	1,252	1,252	2,504	0,066	0,102	0,0219	0,0341	0,0878	0,1364
(4 - 5)	4,53	2,305	2,305	4,610	0,121	0,188	0,0404	0,0628	0,1616	0,2511
(6 - 7)	6,33	2,829	2,829	5,657	0,149	0,231	0,0496	0,0771	0,1983	0,3082
(8 - 11)	9,17	4,289	4,289	8,578	0,226	0,351	0,0752	0,1168	0,3007	0,4673
PROMEDIO	5,720	2,669	2,669	5,337	0,140	0,218	0,047	0,073	0,187	0,291
				Volumen (Litros)	140,33	218,08	46,78	72,69	187	291
TRH GYE(días)	33								Volumen digestor	
TRH Teo (días)	21				Velocidad de degradación %SV VdG		66,67			
1 m3 biomasa	800	kg biomasa			Velocidad de degradación %SV VdTeo		60,63			
Temperatura indicada (C)	35									
Temp. Prom GYE (C)	28		Max:32 Min: 24							

En la tabla 41 y 42 mostramos los diferentes métodos de determinar la capacidad del reactor, se trabajó con una relación 1:1 y 1:5 para la proporción de agua (H₂O). En ambos cálculos (tabla 41, 42) se trabaja con la indicación de ciertos estudios con respecto a la para temperaturas ideal que es 35°C con la finalidad de mantener constante la temperatura en el reactor con algún calentador o invernadero. También, se calculó la dimensión del biodigestor con la temperatura promedio de 28°C, en la ciudad de Guayaquil, ya que muchos estudios consideran trabajar con la peor temperatura promedio de la región.

Tabla 42. Cálculo del tamaño del reactor con una relación 1:5 de proporción de H₂O

Números de miembros de familia	Números de miembros de familia	Materia promedio	Proporción de H ₂ O	Carga diaria (Cd) litro mezcla/día	Volumen digestor	Volumen digestor
		kg/día o l/día	Relación 1:5		VD Teo(m3)	VD G (m3)
(2 - 3)	2,85	1,252	6,260	7,512	0,16	0,25
(4 - 5)	4,53	2,305	11,524	13,829	0,29	0,45
(6 - 7)	6,33	2,829	14,143	16,971	0,36	0,55
(8 - 11)	9,17	4,289	21,445	25,734	0,54	0,84
PROMEDIO	5,720	2,669	13,343	16,011	0,337	0,523
				VD (Litros)	337	523
TRH GYE(días)	33			Temperatura	35 °C	28 °C
TRH Teo (días)	21					

Se puede observar que los dimensionamientos para el tanque del reactor está entre 187 y 291 litros para una relación de 1:1 de agregado de agua según los manuales de biodigestores, y entre 337 a 523 litros de otros estudios con una relación 1:5 o de 1:3. Como se desea trabajar con patios cuyas dimensiones es variada en cada vivienda (figura 51) optamos por elegir el dimensionamiento entre 187 a 291 litros de los cálculos obtenidos en armonía con los manuales de diseño y construcción de los biodigestores. (Manual de diseño biodigestores, s.f).

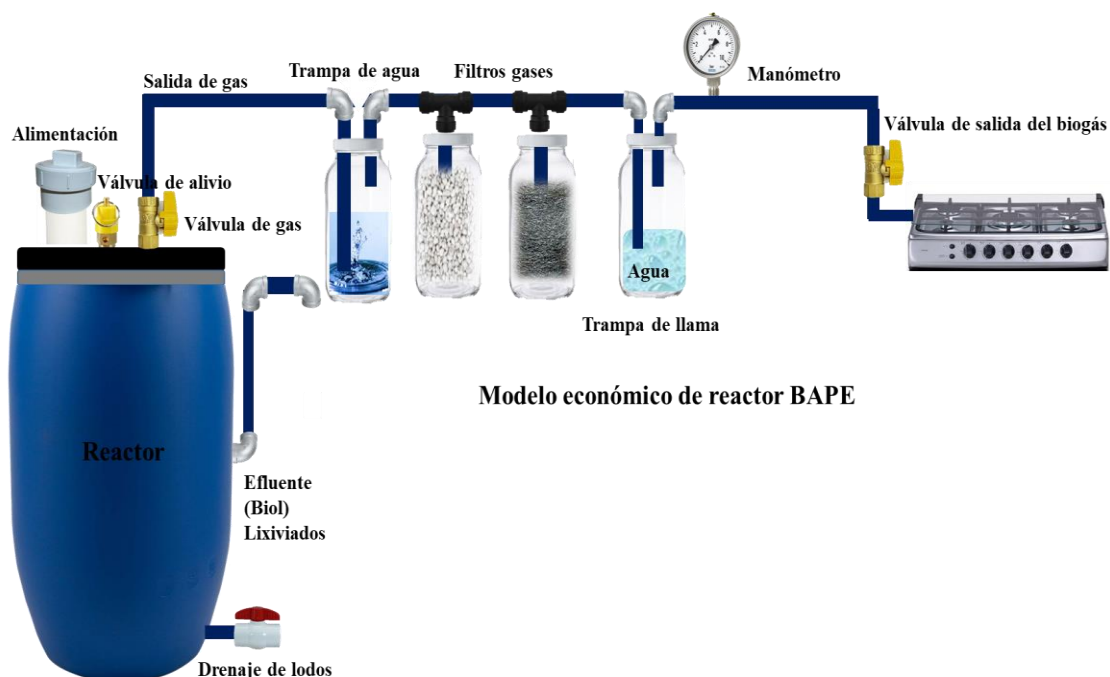


Figura 51. Modelo de miniplanta de biogás con un único tanque de almacenamiento

En nuestro caso, para evitar problemas con un mal manejo de las bolsas de polietileno y presencia de mascotas que puedan dañarlas, los materiales a usar son bidones de

polietileno de 60 – 200 litros que debido a su tamaño nos permite trabajar con un área más pequeña para la miniplanta de biogás a modelar. Podemos decir, que la tecnología en biomasa basada en la D/A es apropiada. Muchos modelos de BAPE a nivel doméstico solo usan un bidón como reactor y aplican una trampa de agua y un filtro elaborado con lanilla de hierro en su interior para purificación del biogás (figura 51). Finalmente, la conexión es directa al hornillo de la cocina. Estos modelos son ideales ya que se construyen con materiales locales, se caracteriza por tener una inversión económica de baja costo e incluso su mantenimiento e instalación son sencillos. Un modelo económico es el que presentamos a continuación (figura 52).

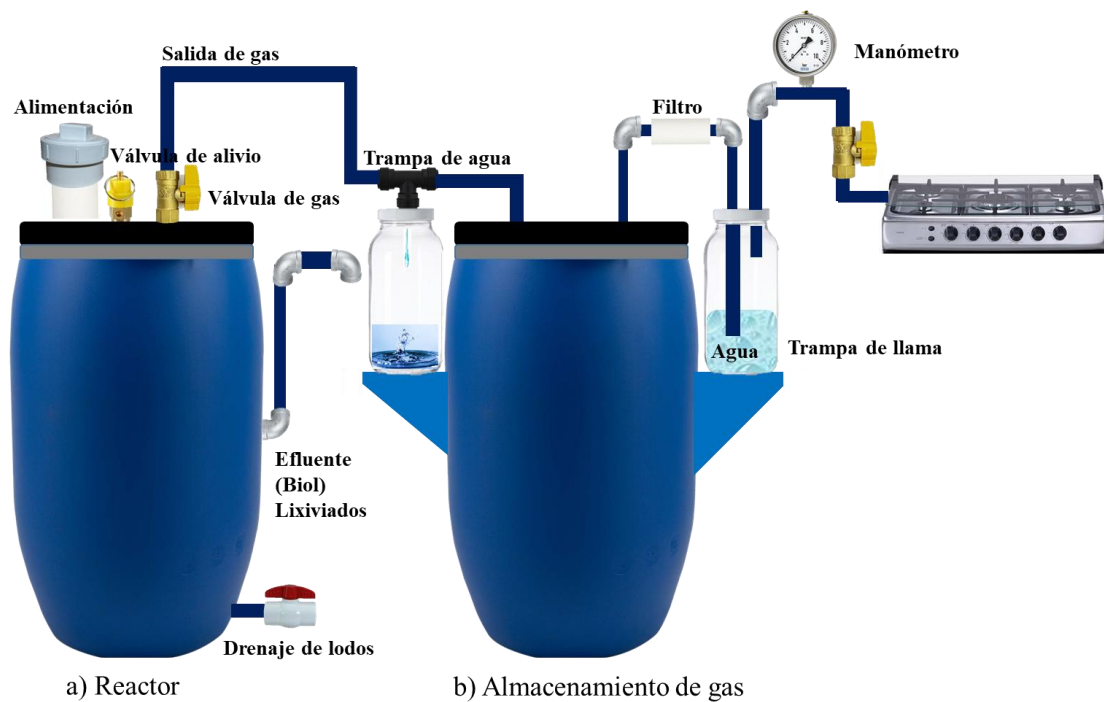


Figura 52. Modelo de miniplanta de biogás con tanque colector de almacenamiento.

Nuestra propuesta de BAPE, para producción de biogás tiene una capacidad de: 60 litros y un tamaño de: (40 x 40 x 62) [cm] y para los de 200 litros con un tamaño de: (48 x 48 x 95) [cm]. La construcción es sencilla, se puede trabajar con un único bidón u operar con dos bidones, los cuales el primero es el reactor donde se descomponen los desechos orgánicos y el segundo bidón es donde se almacena el gas o a su vez puede ser el colector de gas (figura 51, 52 y 53). Ambos modelos, tienen una válvula de alivio de aproximadamente 3 bar (liberación de exceso de presión) configurada para abrirse como protección del reactor si es sometido a una presión que pueda exceder el límite del diseño.

Esto debe actuar cuando no se usa el biogás en el día, el cual se acumula en el reactor y el tanque de almacenamiento se llena por completo.

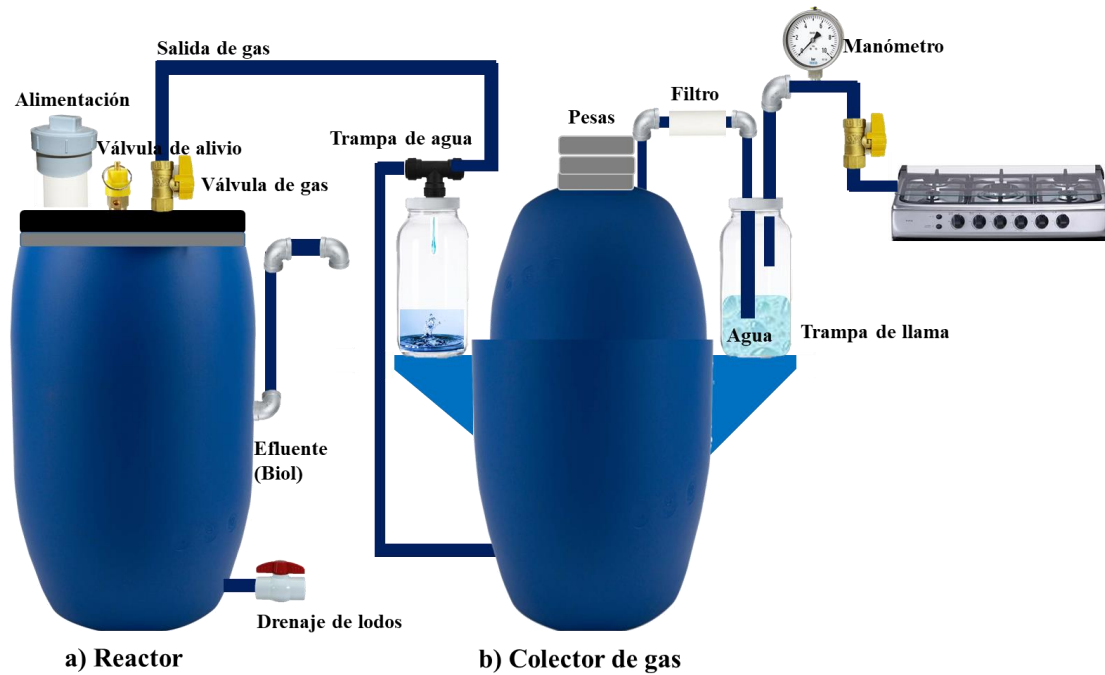


Figura 53. Modelo de miniplanta de biogás con tanque invertido como colector de gas.

Otra seguridad adicional, es conectar en el reactor una válvula para salida del gas en el que está conectado a un recipiente donde se depositará el agua condensada (elemento del biogás) de la tubería, el cual se recolectará en este recipiente (trampa de agua), y de esta manera se evitará posibles roturas en el reactor D/A (figura 53).



Figura 54. Filtros de seguridad y manómetro para el BAPE

Los filtros de H₂S pueden ser contruidos con tuberías de PVC, botellas de agua según la opción del diseñador (figura 54). El filtro de gases se diseña en su interior con lanilla de hierro o carbón activado, pero este tiene un precio elevado en el mercado, siendo de mayor uso las lanillas de hierro, las cuales deben oxidarse previamente ya que el ácido sulfhídrico reacciona con el óxido ferroso (Tapia, 2016; Tabatabaei y Ghanavati, 2018). Finalmente, tenemos la trampa de llama que evita que la llama retroceda hacia el gasómetro o colector de gas, por ello se coloca un manómetro para ir verificando la compresión del biogás en la salida hacia el hornillo de la cocina. Para ambos modelados, el sistema se debe llenar a un 75 % de su capacidad (45 litros), el 25 % es para acumulación del gas. Los 45 litros deben contener un 25% residuos y el 75% agua más inóculo. A continuación, se explica los tipos de residuos con que se puede alimentar al BAPE.

D.3.1.1. Residuos de alimentación para el BAPE

La alimentación diaria con que se carga al BAPE es importante, no todos los residuos que se generan en el hogar deben ser echados en el reactor. En la tabla 43, indicamos algunos desechos orgánicos que pueden alimentar al BAPE y degradarse correctamente ayudando al proceso de biodegradación y cuáles no deben ser introducidos en el reactor. A continuación, se detallan los residuos que pueden utilizarse:

Tabla 43. Tipos de desechos orgánicos para alimentar el BAPE

	Residuos que se pueden utilizar	Residuos que no deben usarse
Cocina	Residuos de café, yerbas, lácteos, restos de carnes, restos de comidas, alimentos en mal estado, té (contenido del saquito), residuos de pan, pastas, harinas, granos, cascaras de frutas y verduras	<ul style="list-style-type: none"> • Insecticidas, • Líquidos de limpieza, • Aguas de lavado (detergente) • Trozos de metales; • Piedras;
Cultivo	Hojas, malezas, semillas, residuos de poda, rastrojos de cultivos, frutas y verduras de descartes, cortes de pasto y remanentes de jardín	<ul style="list-style-type: none"> • Huesos; • Cartón; • Plásticos; • Materiales de construcción o cerámicas, • Chatarra;
Granja	Aserrín, cama de corral de ganado, de pollos, etc., estiércol y orina de animales, residuos de alimentos de animales	<ul style="list-style-type: none"> • Tierra; • Papel; • Vidrio
Industria	Orujos, escobajos, lias, borras, descartes de frutas y verduras.	

Una de las recomendaciones al introducir los residuos orgánicos al BAPE es que deben ser triturados, esto ayudará a que se biodegrade rápidamente, esto es importante, ya que desechos de gran tamaño pueden obstruir alguna parte del proceso y su desintegración sería más lenta. Se recomienda que la dimensión de los desechos triturados sea aproximadamente de 2 cm o menos. La cantidad de residuos para este modelo proyectado para recibir un máximo de 11,2 kg de residuos orgánicos por día. No obstante, para no sobrecargar el sistema y que los desechos se degraden en el tiempo adecuado, es mejor alimentar el BAPE hasta 10 kg/día de desecho orgánico. Cabe recordar, que la temperatura es un factor incidente en la producción del biogás, es importante que durante época de lluvia se debe tener precaución de reducir la alimentación en el BAPE, ya que las bacterias pueden verse afectadas por el descenso de las temperaturas y afectar el rendimiento del reactor, para ello es necesario observar en el tanque colector o de almacenamiento del gas su producción (Xiaofei Zhao, 2019; Tabatabaei y Ghanavati, 2018).

D.3.1.2. Operación del BAPE

Para un buen uso del BAPE es importante aplicar los siguientes procesos, una buena dilución, agitación y aclimatación. La primera, consiste en preparar correctamente la alimentación, por ejemplo, si se agregan 8 kg de desecho orgánico, se agregan 8 litros de agua, es decir, una relación 1:1. Se agrega los residuos de comida primero al reactor y luego el agua que arrastrará los desechos a la cámara de digestión en el BAPE. A la par, se produce la descarga del biol el cual debe ser recolectado en un recipiente para su uso como abono o fertilizante. La agitación se puede hacer con una varilla por la tubería de alimentación lentamente, esto se debe realizar cada vez que se alimente al BAPE. De esta manera, el desecho hará contacto con las bacterias para ayudar al proceso de biodegradación, es imprescindible, agitar el BAPE 4 o 6 veces durante el día. Algunos estudios recomiendan que la alimentación sea gradual en los diferentes tipos de biodigestores. A este proceso, se lo conoce como aclimatación ya que los microorganismos deben adaptarse al nuevo sustrato que ingresa a la cámara de biodegradación en el BAPE (tabla 44), este cambio de sustrato orgánico no debe ser repentino, ya que puede incidir en la producción de CH₄ por causa de la acidificación del medio y de ciertos sustratos como los vegetales, cascaras de frutas, etc. por su nivel alto de acidez (Niban, 2021; Xiaofei Zhao, 2019). Si deseamos un buen arranque en el BAPE, se puede alimentar con semillas de sorgo o en forma de harina, ambas sustancias ideales para producir gas. Se

recomienda una alimentación con 200 g de harina de sorgo o semilla e ir agregando de manera paulatina hasta un tope de aproximadamente medio kg/m³ /día, si la producción es estable se puede alimentar al BAPE con otros desechos orgánicos descritos en la tabla 44. Por otro lado, si se va a alimentar al BAPE solo con los desechos que genere el hogar debe aplicarse la relación 1:1, por 10 kg de residuos, 10 litros de agua.

Tabla 44. Tiempos de adaptación del sustrato en el BAPE doméstico por día.

Tiempo [día]	Sustrato [Litro]	H2O [kg]	Tiempo [día]	Sustrato [kg]	H2O [Litro]
1	0,5	0,5	31	6,25	6,25
2	0,75	0,75	32	6,50	6,50
3	1,00	1,00	33	6,75	6,75
4	1,25	1,25	34	7,00	7,00
5	1,50	1,50	35	7,25	7,25
6	1,75	1,75	36	7,50	7,50
7	2,00	2,00	37	7,75	7,75
8	2,25	2,25	38	8,00	8,00
9	2,50	2,50	39	8,00	8,00
19	2,75	2,75	40	8,00	8,00
11	3,00	3,00	41	8,00	8,00
12	3,25	3,25	42	8,00	8,00
13	3,50	3,50	43	8,00	8,00
14	3,75	3,75	44	8,00	8,00
15	4,00	4,00	45	8,00	8,00
16	4,25	4,25	46	8,25	8,25
17	4,50	4,50	47	8,50	8,50
18	4,75	4,75	48	8,75	8,75
19	5,00	5,00	49	9,00	9,00
20	5,00	5,00	50	9,25	9,25
21	5,00	5,00	51	9,50	9,50
22	5,00	5,00	52	9,75	9,75
23	5,00	5,00	53	10	10
24	5,00	5,00	54	10	10
25	5,00	5,00	55	10	10
26	5,00	5,00	56	10	10
27	5,25	5,25	57	10	10
28	5,50	5,50	58	10	10
29	5,75	5,75	59	10	10
30	6,00	6,00	60	10	10

La alimentación se hace gradualmente para ir aclimatando los microorganismos de la cámara de biodegradación. Es decir, se agrega un 10% de la composición H₂O + sustrato, de 10 kg se dispondrá de 500 g de residuo + 500 litros H₂O, e ir incrementando la mezcla luego a un 5% por ocho días. A los diecinueve días se debe tener una proporción del 50% de sustrato orgánico final manteniendo este porcentaje por una semana. De esta manera, estaríamos adaptando los microorganismos, a continuación, se agrega una proporción del 5% mezcla/día hasta conseguir 8 kg conservando este suministro durante siete días

(Indiveri et al, s.f). Finalmente, se agrega 5% mezcla/día hasta obtener el 100 % de la composición de suministro orgánico, es decir, 10 kg de restos de comida y agua en una relación 1:1 (tabla 44).

D.3.1.3. Recomendaciones para el colector de gas

Cuando se tenga la primera producción de biogás se recomienda expulsarlo ya que puede tener grandes cantidades de oxígeno gaseoso (O_2), el cual debe ser ventilado a la atmósfera. La razón es que al tener gran cantidad de oxígeno gaseoso al estar mezclado con CH_4 puede ser inflamable y explosivo al ser quemado (Indiveri et al, s.f, Xiaofei Zhao, 2019). El colector del biogás tiene un sello de agua que tiene dos funciones, primero, impide el escape del gas y a su vez funciona como válvula de seguridad si se presenta altas presiones.

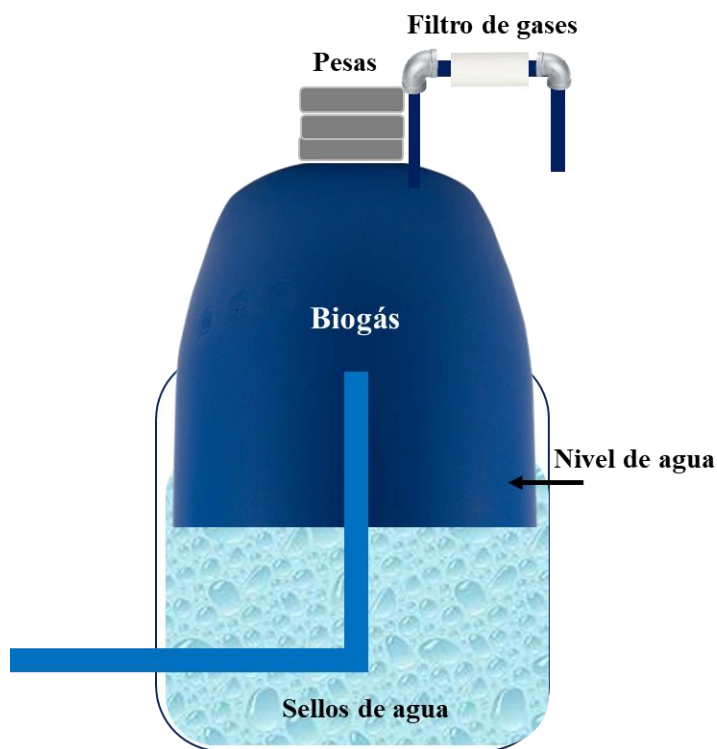


Figura 55. Modelo de colector de biogás con tanque invertido.

El nivel del agua debe tener siempre la misma altura, se debe verificar constantemente si su nivel es bajo debe agregarse agua a la altura indicada (figura 55). Para el correcto funcionamiento del colector, las válvulas de paso entre el reactor y el colector de biogás deben estar abiertas, así el gas que sale de la cámara de digestión no presente sobrepresión y pérdidas en el sistema. El contrapeso tiene como fin ejercer presión en el gas del

colector, aprovechándose el biogás de manera continua. Las medidas de seguridad del BAPE son las mismas con respecto al gas de red o cilindros, canecas o bombonas como se denomina en diferentes regiones o países.

D.3.1.4. Mantenimiento

Todo equipo para que mantenga su ciclo de vida debe aplicarse el mantenimiento y revisión periódica para su correcto funcionamiento. En el caso de los biodigestores su alimentación debe ser de manera periódica para que se dé correctamente la producción de biogás, las instrucciones para el BAPE doméstico lo exponemos en la tabla siguiente:

Tabla 45. Especificaciones de mantenimiento del BAPE

Válvulas de seguridad	Debe tener siempre una correcta ubicación, las válvulas que sale de la cámara de digestión deben dar paso de gas al colector o tanque de almacenamiento. Verificar que no existan fugas siempre que observe que no se acumula el gas. Usar detergente y esponja para comprobar existencia de fugas.
Colector de biogás	El nivel de agua debe estar siempre a la misma altura, debe alcanzar el borde del depósito inferior. Si el colector está lleno de biogás se debe dar presión con un contrapeso.
Alimentación del reactor	Controlar que se produzca una descarga aproximadamente del mismo volumen cargado en el reactor.
Filtro de gases	Comprobar y cambiar las lanas de hierro o virulana si están oxidadas
Conexiones de tuberías	Verificar que estén libres de obturaciones (entradas y salidas)

Otro asunto a considerar, es que el colector en donde se almacena el biogás sale a baja presión, por tal razón, se debe presionar para que salga el gas hacia los hornillos si no hay suficiente biogás almacenado. Por ende, los hornillos deben tener sus inyectores con agujeros de mayor dimensionamiento del gas doméstico GLP. A continuación, exponemos las conclusiones finales de este estudio sobre valorización energética de los desechos de orgánicos urbanos.

E. Conclusiones

En este estudio se logró, evaluar las condiciones ambientales y de control de un dispositivo de biodigestor artesanal a pequeña escala experimental. Se comprobó la producción de metano con diferentes sustratos sin pretratamiento. Algunos estudios indican que los reactores no deben recibir la exposición de la luz solar para que no afecte a la actividad metabólica. Sin embargo, en esta evaluación de la temperatura del medio ambiente sobre los reactores BAPE no afectaron su fase de operación y más bien obtuvimos por parte de la exposición a la luz solar un aumento de temperatura y

producción de CH₄ de manera significativa. Por lo tanto, el análisis de este parámetro de control es primordial para la producción de biogás debido a su influencia en las actividades metabólicas involucradas en la DA. No obstante, se debe considerar la necesidad de aislamiento, así como de calefacción externa para conservar la estabilidad de la temperatura y evitar variaciones en este parámetro de control.

Los BAPE de laboratorio justifican el empleo de la tecnología energética basada en la fermentación metánica como de su alto impacto a favor del medio ambiente. Los resultados experimentales indican que las mezclas de los B₂ y B₃ aumentaron la productividad de los sustratos únicos, ofreciendo la oportunidad de codigestión de estas dos mezclas de comida orgánica en diferentes circunstancias. Sin embargo, la codigestión B₃ obtuvo el mayor incremento, para sustrato único en el día 66 con 10000 ppm-CH₄ a diferencia del B₁. En síntesis, la digestión anaerobia de los restos de comida de los barrios urbanos marginales produce biogás de calidad aceptable. Para aumentar la producción de CH₄ en el biogás, los restos de comida urbana deben ser pretratado o codigerido. La aplicación de los modelos empíricos arroja un valor de producción de CH₄ de los restos orgánicos cercano a la prueba teórica - experimental. La digestión anaeróbica puede ser una solución potencial para gestionar los restos de comida que se generan en los domicilios de las familias en Guayaquil (Ecuador). Por ende, el proceso de fermentación metánica del sustrato orgánico urbano obtenido directamente de los hogares, aun sin ser optimizado o extrapolado con las cantidades que se generan en las diferentes viviendas a nivel nacional, ofrecen una respuesta al problema sobre el consumo energético del gas de uso doméstico considerados y analizados en esta tesis doctoral; con grandes beneficios en la calidad de vida de las familias ecuatorianas, ecosistemas como de la sustitución paulatina del uso de combustibles fósiles. De esta manera, expresamos en esta exploración una alta posibilidad de contribuir de manera positiva en la económica del país, de los hogares y a su vez de disminuir la presión en los vertederos o lagunas de oxidación al aire libre que producen repartición que afectan negativamente al hábitat y a la calidad de vida de las familias ecuatorianas.

CAPÍTULO 8

CONCLUSIONES SOBRE EL ESTUDIO DE LA VALORACIÓN ENERGÉTICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS URBANOS DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL PARA LA GENERACIÓN DE BIOGÁS A TRAVÉS DE UN BIODIGESTOR

A. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO

Las secciones anteriores han contribuido a la comprensión de cómo aprovechar y valorar la biomasa urbana y diseminación de biogás en Guayaquil, desde la óptica de la tecnología basada en DA. En esta indagación, se han comprobado los beneficios de la tecnología del biogás y el impacto positivo en indicadores básicos de subsistencia, así como el desarrollo económico del país y de los hogares ecuatorianos. La tecnología de la biomasa es una atractiva elección para producción de energía de tipo térmico, sustituyendo a los combustibles fósiles, y mediante su uso en turbinas de gas o generadores para obtener electricidad.

El biogás que se genera a través de la técnica de fermentación metánica puede ser utilizado para cocción de alimentos. En Ecuador la biomasa en la actualidad es usada a nivel agrícola y en las zonas rurales de preferencia. Pero existe otro tipo de biomasa que se genera a pequeña escala y la cual no es aprovechada del todo, que es la biomasa urbana doméstica.

En este estudio, se analizó cuan factible es usar estos sustratos orgánicos generados en los hogares de una muestra de la población de la ciudad de Guayaquil, para producción de biogás como sustituto del combustible fósil de mayor consumo que es el gas doméstico. Se estableció que una mayoría de hogares no producen suficiente residuo para poder sustituir plenamente el uso del gas comercial por un sistema basado en biodigestor; sin embargo, el porcentaje de candidatos supone un elevado número de hogares que abren la puerta a una posible comercialización de la tecnología, si esta se desarrolla.

Se logró efectuar un estudio de tendencias y percepciones de los consumidores potenciales de gas doméstico, en donde la decisión de compra de parte del consumidor tiende a sopesar en su economía, y en muchas ocasiones recae en un comportamiento autodestructivo para la economía del país, en donde los fallos de mercado y las malas decisiones afectan a ambas partes.

Sin embargo, en este análisis de hábito de consumo energético de las familias guayaquileñas también surge la preocupación ambiental. Las familias son conscientes de que estos productos o servicios energéticos procedentes de recursos no renovables y su afectación en el ecosistema del país, se vuelve relevante, lo cual no es muy

notorio en países en vías de desarrollo. Por lo cual, consideramos oportuno ofrecer a la ciudadanía ecuatoriana nuevos productos que sean amigables con el medio ambiente.

Entre las necesidades que presentan las familias ecuatorianas es que la política energética del país siga manteniendo el subsidio en el sector energético (eléctrico y de gas doméstico) y mejora del tratamiento y recolección de los desechos urbanos. Consideramos que estos residuos son potencialmente aprovechables para la fermentación metánica y pueden ser una alternativa que dé solución a la creciente demanda de consumo de gas doméstico para ser usados como fuente de energía.

En definitiva, este trabajo establece una base teórica de posibles soluciones a la economía del país y de la mejora del medio ambiente a partir de valorizar el sustrato orgánico que se genera en los hogares ecuatorianos. En otras palabras, para un sector de la población, es posible utilizar los restos de comida urbana como una materia prima que alimente a un reactor anaerobio como un sistema complementario al uso del gas doméstico GLP.

B. Barreras económicas financieras y técnicas

Falta de interés por parte de los ministerios y municipios en este tipo de estudio basado en tecnología de biomasa para producción de energía.

Altos costos de inversión requeridos para la instalación de una planta de biomasa a gran escala, porque sería probablemente la mayor inversión hecha por un municipio. La reducción de costos sin comprometer la confiabilidad es un aspecto importante.

Desconocimiento de la tecnología basado en DA/biogás para su respectivo aprovechamiento de los desechos orgánicos en los vertederos

Falta de investigación y desarrollo para mejorar e innovar continuamente la tecnología para mejorar la eficiencia y usos finales adicionales para actividades generadoras de ingresos

Alfabetización: Los estudios muestran que el 100% de los consumidores de gas doméstico poseen al menos el nivel de educación primaria. Sin embargo, es muy difícil convencer a los consumidores de gas doméstico sobre la importancia de reciclar los desechos que generan en su hogar.

Es necesario tener en cuenta este indicador en actividades relacionadas con la promoción y la transferencia de información basado en una cultura de reciclaje, promocionando la tecnología del biogás a través de los diferentes medios de comunicación, redes sociales, capacitaciones y educación ambiental sostenible en los establecimientos educativos en todos los niveles.

El éxito de implementar la tecnología del biogás como sistema complementario al uso de gas doméstico gira en torno a tres importantes aspectos de sostenibilidad: institucional (optimizar las capacidades y fortalecimiento de un programa de calidad en gestión en todos los sectores, que garantice su responsabilidad ante las familias ecuatorianas), técnica (contar con recursos y materiales idóneos para la tecnología) y financiera (apoyo e interés por parte de las autoridades gubernamentales).

Por lo tanto, esta tesis recomienda proseguir con el estudio del uso de la fermentación metánica y la tecnología del biogás como un recurso energético basado en energía limpia para uso de cocción de alimentos, y sistema complementario parcial del gas de uso doméstico para mejorar la economía de las familias y del país de manera progresiva.

No todas las familias serán idóneas para el acceso a un reactor doméstico ya que este dependerá también de otro factor, como lo es, tener un espacio físico para ser ubicado en el domicilio, además de generar la suficiente cantidad de residuo que permita la producción necesaria de biogás para cubrir la necesidad energética del cocinado diario sin tener que recurrir a otras fuentes. Aun así, se han sugerido que parte de estas familias podrían adoptar medidas organizativas o técnicas para poder participar también de la economía del biogás, si bien estas posibilidades están todavía sin explorar.

CAPÍTULO 9

BIBLIOGRAFÍA

- Agencia de Regulación y Control Hidrocarburíferas. (1 abril 2017). Reporte del sector petrolero IV trimestre octubre – diciembre del 2016. Ministerio de Hidrocarburos. Recuperado de: <https://n9.cl/ehjjz>
- Águeda E., Madariaga J., Narros M., Olarte C., Reinares E., y Saco M. (2008). *Principio de Marketing*. 3^{ra} ed. Editorial ESIC. Madrid, España. Recuperado de: <https://n9.cl/s3bus>.
- Agudo G.J (2021). *Evolución de la segmentación por variables psicográfica*. [Tesis de maestría]. Universidad Pontificia Comillas. Facultad de Ciencias económicas y empresariales. Madrid, España. Recuperado de: <https://n9.cl/iqw0d>
- Ali, A., Mahar, R. B., Panhwar, S., Keerio, H. A., Khokhar, N. H., Suja, F., y Rundong, L. (2022). Generation of Green Renewable Energy Through Anaerobic Digestion Technology (ADT): Technical Insights Review [Generación de energía renovable verde a través de la tecnología de digestión anaeróbica (ADT): revisión de conocimientos técnicos]. *Waste and Biomass Valorization*, 1-24. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12649-022-02001-7>
- AM Buswell y HF Müller (1952). Mechanism of Methane Fermentation. [Mecanismo de fermentación de metano]. *Industrial & Engineering Chemistry*. 44 (3), 550-552 DOI: 10.1021/ie50507a033 o <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ie50507a033>
- Aponte Díaz, B. G. (2021). *Análisis comparativo entre el método de tanque séptico y el método de baños ecológicos con biodigestores para el mejoramiento del sistema de alcantarillado en el caserío de santa Apolonia, distrito de Julcán, provincia de Julcán, la Libertad*. (Trabajo de grado, Facultad de Ingeniería. Universidad Privada Antenor Orrego). Recuperado de: <http://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/7652>
- Arévalo, J. A. O., Guerrero, A. F. G., Díaz, D. A. S., Padilla, B. H. M., y Rodríguez, R. B. (2021). Diseño de prototipo para la medición de potencial energético de los RSO de la plaza de mercado de FUSAGASUGÁ mediante digestión anaerobia. *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería*. EIEI ACOFI, sep. 2021. Recuperado de: <https://acofipapers.org/index.php/eiei/article/view/1774>
- Arguedas, K. C., Arroyo, A. R., Arroyo, J. A. R., Méndez, L. G., y Calderón, Ó. A. (2022). Guía sobre Eficiencia Energética. *Revista Académica Arjé*, 5(2), 1-30. Recuperado de: <https://revistas.utn.ac.cr/index.php/arje/article/view/546>

- Arquer, M. (1994) NTP 401: Fiabilidad humana: métodos de cuantificación, juicio de expertos [Documento en línea]. Recuperado de: <https://n9.cl/c6qsz>
- Arreaga D., (2020). Estudio de prefactibilidad para la implementación de un prototipo de digester biológico basado en los criterios de segmentación de mercado con tecnología anaeróbica. (Tesis grado, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Industrial. Guayaquil-Ecuador). Recuperado de: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/53914>
- Arrocha J. A. (2019). Un estudio de revisión teórica sobre el consumo responsable. Recuperado de: <http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/16244>
- Arroyo, J., Reina, W. (2016). Aprovechamiento del recurso biomasa a partir de los desechos de madera para una caldera de vapor. *Ingenius: Revista de Ciencia y Tecnología*, (16), 20-29. DOI: <https://doi.org/10.17163/ingsn16.2016.03>.
- Arsova, M., & Temjanovski, R. (2019). Strategy for market segmentation and differentiation: contemporary marketing practice. [Estrategia para la segmentación y diferenciación del mercado: práctica de marketing contemporánea]. *Journal of Economics*, 4(1), 27-35. Recuperado de: <https://js.ugd.edu.mk/index.php/JE/article/view/2733/2506>
- Atkinson, R.; Flint, J. (2001). Accessing hidden and hard-to-reach populations: Snowball research strategies [Acceso a poblaciones ocultas y difíciles de alcanzar: estrategias de investigación de bola de nieve]. *Social Research Update*, 33: 1-5. Recuperado de: <https://sru.soc.surrey.ac.uk/SRU33.PDF>
- Axonar Consulting Group, Martí J. Andrade E., Hidalgo E. y Parra G. (2015). *Introducción de Biodigestores en Sistemas Agropecuarios en el Ecuador. Un aporte a la mitigación y adaptación al cambio climático. Quito-Ecuador*. Recuperado de: <https://n9.cl/unvkl>
- Baca (2016). Evaluación de proyectos (7ma ed.). México: Mc Graw Hill. Recuperado de: <https://n9.cl/cl3v3>
- Baldini, M., Trivella, A., y Wentz, J. (2018). El impacto de los factores socioeconómicos y de comportamiento para la compra de energía electrodomésticos eficientes: un estudio de caso para Dinamarca. *Energy Policy*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.05.048>
- Ballardo C. (2016). *Valorización de residuos sólidos orgánicos como sustrato para el crecimiento de Bacillus Thuringiensis mediante fermentación en estado sólido:*

- aplicación a la fracción orgánica de residuos municipales para la producción de compost con efecto biopesticida*. [Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona] TDX. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10803/399721>
- Baute E. (2018). *Manual constructivo para Biodigestor experimental*. (Tesis de grado, Universidade Federal da Integracao Latino - americana). Recuperado de: <https://n9.cl/wdaae>
- Bautista S. C. (2021). *Hábitos sostenibles*. Universidad del Rosario. Recuperado de: <https://repository.urosario.edu.co/handle/10336/32965>
- Beltrán, J., y Velasteguí, S. (enero - junio de 2021). Impacto económico, político y social en el subsidio del combustible y GLP en el Ecuador. *Sathiri: Sembrador* (16)1, 120-130. DOI: <https://doi.org/10.32645/13906925.1044>
- Bernal L. E., y Suárez L. S. (2018). Diseño conceptual de un biodigestor a partir de estiércol vacuno y avícola, producido en la finca El Guarumal, para la obtención de biogás (Tesis de grado, Fundación Universidad de América). Recuperado de: <https://hdl.handle.net/20.500.11839/6844>
- Bian, Y., Song, K., & Bai, J. (2019). Market segmentation, resource misallocation and environmental pollution [Segmentación del mercado, mala asignación de recursos y contaminación ambiental]. *Journal of Cleaner Production*, 228, 376-387. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.286>
- Biodigestores Ecuador. “Biodigestores Ecuador - Generalidades”, 2020. Recuperado de: <https://biodigestoresecuador.com/>.
- Boluarte A., y Tamari, K. (2017). “Validez de contenido y confiabilidad interobservadores de Escala Integral Calidad de Vida”. *Revista de Psicología*, 35(2), 617–642. DOI: <https://doi.org/10.18800/psico.201702.009>.
- Bond, T., & Templeton, M. R. (2011). History and future of domestic biogas plants in the developing world. *Energy for Sustainable development*, 15(4), 347-354. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2011.09.003>
- Bravo L., Urgilés J. (2020). “Estudio general de Vigilancia Tecnológica: Waste- Recuperado de: <https://n9.cl/5fueg9>
- Bres, P. A., Beily, M. E., & Crespo, D. E. (2022). *Ensayo potencial bioquímico metanogénico: una metodología clave para estimar la energía de las biomásas*.

- Ediciones INTA. Recuperado de:
<https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/11309>
- Cabero, J., Barroso, J. “La Utilización del Juicio de Experto para la Evaluación de Tic: El Coeficiente de Competencia Experta”. *Bordón* 65 (2), 2538, ISSN: 0210-5934. 2013. Recuperado de:
<https://recyt.fecyt.es/index.php/BORDON/article/view/brp.2013.65202>
- Calderón J. S. (2021). Análisis multivariado para determinar el precio base en contratación estatal de una entidad del orden nacional en Colombia, periodo 2017-2020. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11371/3576>
- Camarda, M. F. (2021). El Dilema de la Dualidad Energética: un análisis de funciones energéticas homotéticas a través del enfoque de Teoría de Juegos. *Revista de la Escuela de Perfeccionamiento en Investigación Operativa*, 29(49). Recuperado de:
<https://revistas.unc.edu.ar/index.php/epio/article/view/33198>
- Caraballo M., García J. (2017). Energías renovables y desarrollo económico. Un análisis para España y las grandes economías europeas. *Revista El Trimestre Económico*, 84(3), 571-609. Recuperado de: <https://n9.cl/hdto6>
- Cardozo J. (2019): “Propuesta de biodigestor anaerobio de flujo continuo para el tratamiento de estiércol bovino y aguas residuales”, *Revista Caribeña de Ciencias Sociales* (12). Recuperado de: <https://n9.cl/7iiy4>
- Carhuanco F. (2015). *Valorización energética de la biomasa residual agrícola de banano y mango en la región de Piura-Perú*. (tesis de maestría, Universidad Politécnica de Madrid). Recuperado de: <http://oa.upm.es/51182/>
- Castillo M. T., Izaba C. J. (2021). Adaptación de una cocina industrial de gas licuado de petróleo a biogás. *Revista Ciencia Y Tecnología El Higo*, 11(1), 15–25. DOI:
<https://doi.org/10.5377/elhigo.v11i1.11713>
- CCA (2017), Caracterización y gestión de la pérdida y el desperdicio de alimentos en América del Norte, informe sintético, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, 52 pp. Recuperado de: <https://n9.cl/6s3g4>
- Centre for Sustainable Development (CfDS) (2004). “Every little bit helps...” Overcoming the challenges to researching, promoting and implementing sustainable

lifestyles, [Versión electrónica de CfSD, University of Westminster]. Recuperado de: <https://cutt.ly/rHkzANI>

Chaur Bernal J. (s.f). Capítulo 2 Ingeniería del diseño. Recuperado en: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6837/05Jcb05de16.pdf>

Coello S., González Y., Hidalgo J. (2019a). Factores sociodemográficos asociados al consumo doméstico de gas. Caso: Factibilidad de diseño de un dispositivo de gas en zona urbana. 17th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: “Industry, Innovation, and Infrastructure for Sustainable Cities and Communities”, 24-26 July 2019, Jamaica-Montego. Recuperado de: <https://n9.cl/2i25k>

Coello S., Rodríguez B., González Y., Hidalgo J. (2021b). Aprovechamiento energético de la biomasa residual: caso de estudio de los restos de comida de familias de estudiantes de la Universidad de Guayaquil, para producción de biogás. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 12(2), 15–25. DOI: <https://doi.org/10.29166/revfig.v12i2.3251>

Coello S., Rodríguez B., González Y., Banguera L., e Hidalgo J. (2022c). Validación de un instrumento para determinar las características técnicas de un biodigestor urbano mediante la técnica de segmentación de mercado. 20th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: “Education, Research and Leadership in Post Pandemic Engineering: Resilient, Inclusive and Sustainable Actions”, Hybrid Event, Boca Raton, Florida- USA, July 18 - 22, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.3>

Coello S., Rodríguez B., González Y., Banguera L., e Hidalgo J. (2022d). Perceptions of domestic gas consumption: effects on the economy, urbanization process and environmental proposal. ICEER2022 - 9th International Conference on Energy and Environment Research: “Greening Energy to Shape a Sustainable Future”.

Costin, H., & Rotariu, C. (2009). TELEMÓN–Complex System for Real Time Medical Telemonitoring of Vital Signs. *Advancements of Medical Bioengineering and Informatics*, 17-23. Recuperado de: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-03904-1_25

- Coviello J., Gómez C., Rodríguez R. (2008). CEPAL – Colección Documentos de proyectos Biocombustibles líquidos para transporte en América Latina y el Caribe. (CEPAL). Recuperado de: <https://n9.cl/1sl8u>
- Dammenrt A., García R. (2018). Economía de la energía. 1ra. Ed. Editorial Pontificia Universidad Católica del Perú, Fondo Editorial, Lima, Perú. Recuperado de: <https://n9.cl/fa2gp>
- Dávila M., Garrido S., Martínez A., (2019). “Validación de un instrumento para medir los valores, creencias, intenciones y conducta ambiental de estudiantes universitarios”. *Revista Innovación Educativa como factor de cambio*. Recuperado de: <https://n9.cl/a2yai>
- De Oliveira, L. R. G., dos Santos Filho, D. A., Fraga, T. J. M., Jucá, J. F. T., & da Motta Sobrinho, M. A. (2021). Kinetics assessment and modeling of biogas production by anaerobic digestion of food wastes and acclimated sewage sludge [Evaluación cinética y modelado de la producción de biogás por digestión anaeróbica de desechos de alimentos y lodos de depuradora aclimatados]. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 23(4), 1646-1656. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10163-021-01248-x>
- De Souza, LFC, Dos Santos, RG, Guerra, ED, Gonçalves, EAP, & Santos, SM III-037- Avaliação do potencial bioquímico de metano a partir da caracterização de resíduos sólidos orgânicos [Evaluación del potencial bioquímico del metano a partir de la caracterización de residuos sólidos orgánicos]. Recuperado de: <https://n9.cl/0bd0y>
- Delgado, O. A. (2021). *Estudio técnico piloto de un dispositivo biológico basado en la tecnología anaerobia para producción de biogás* (Tesis de grado, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Industrial. Carrera de Ingeniería Industrial.). Recuperado de: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/56516>
- Dirección de planificación urbana, proyectos y ordenamiento territorial (2020). Plan de uso y Gestión del suelo del Cantón Guayaquil 2020 – 2032 (Memoria técnica). Departamento de ordenamiento territorial. Recuperado de: <https://n9.cl/obt5da>
- Dorcea, D., Hnatiuc, M., & Lazar, I. (2018, October). Acquisition and calibration interface for gas sensors. In 2018 IEEE 24th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging(SIITME) (pp. 120-123). IEEE. Recuperado de: <https://ieeexplore.ieee.org/iel7/8580230/8599195/08599253.pdf>

- Douglas, J.M. (1988). *Conceptual Design of Chemical Processes*. [Diseño Conceptual de Procesos Químicos]. McGraw-Hill International Editions. Recuperado de: <https://n9.cl/ua319>
- Dueñas S., Perdomo J., y Villa L. (2014). El concepto de consumo socialmente responsable y su medición. Una revisión de la literatura. *Estudios Gerenciales*, 30(132), 287-300. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.estger.2014.01.022>
- EC INAMHI (s.f). Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). Recuperado de: <http://186.42.174.236/InamhiEmas/>
- EC INEC Instituto Nacional de Estadística y Censos INEC. (2018). Según la última estadística de información ambiental: Cada ecuatoriano produce 0,58 kilogramos de residuos sólidos al día. Recuperado de: <http://bit.ly/2dUuKxm>
- EC INEC Instituto Nacional de Estadística y Censos INEC. (2019a). Información ambiental en hogares ESPND 2020. Recuperado de: <https://n9.cl/1gt9a>
- EC INEC Instituto Nacional de Estadística y Censos INEC. (2019b). Proyecciones poblacionales cantonales. Recuperado de: <https://n9.cl/vtn5q>
- EC INEC Instituto Nacional de Estadística y Censos INEC. (2019c). Información ambiental en hogares ESPND 2020. Recuperado de: <https://n9.cl/1gt9a>
- EC INEC Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). (2019d). Gobiernos autónomos descentralizados (GAD) y Asociación de Municipios Ecuatorianos. Estadísticas de información económica ambiental en los gobiernos municipales autónomos descentralizados. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Recuperado de: <https://n9.cl/9sacf>.
- EC INEC Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). (diciembre 2021). Boletín Técnico No 04-2020-GAD Municipales. Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales (GADM). Gestión de residuos sólidos. Diciembre 2021. Recuperado de: <https://n9.cl/hh8zi>
- EC MAAE Ministerio del Ambiente de Ecuador (MAE). (2018). Reporte: Historial de aprovechamiento y reciclaje de los GAD's a nivel nacional (2015-2016-2018). Quito, Pichincha, Ecuador. Recuperado de: <https://n9.cl/y4tp5>
- EC MAAE Ministerio del Ambiente y Agua del Ecuador (MAAE). (2020). Manual de aprovechamiento de residuos orgánicos municipales. Financiado por la Unión Europea. Recuperado de: <https://n9.cl/9r82>

- EC MAE. Ministerio del Ambiente Ecuador (2015). Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos – PNGIDS ECUADOR. Recuperado de: <https://n9.cl/2w6ii>
- EC MERNNR Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables MERNNR. (2019a). “Balance Energético Nacional 2019”, MERNNR, 2020, páginas 24, 54, 99. Recuperado de: <https://n9.cl/djs29>
- EC MERNNR Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables MERNNR. (2020). “Balance Energético Nacional 2020”, MERNNR, 2021, Capítulo 1 páginas 28, 29. Recuperado de: <https://n9.cl/ul96q>
- EC MERNNR. (2019b). Ministerio de Energía y Recursos Naturales no renovables. Balance de energético Nacional. Plan Estratégico 2019 – 2021. Recuperado de: <https://n9.cl/jnv36>
- Enciclopedia Ambiental Ambientum. (2022). Características físicas de los residuos sólidos urbanos. Recuperado de: <https://n9.cl/nust5>
- ENERDATA (2021). Consumo de petróleo. Energía y clima mundial. Anuario estadístico 202. Recuperado de: <https://acortar.link/SDq4ad>
- Energía Estratégica. (2019). Ecuador tendrá el primer central de biogás plug and play de Biogastiger en Latinoamérica. Recuperado de: <https://n9.cl/o37tf>
- ENT/MAE/URC/GEF, (2012). Ecuador: Evaluación de Necesidades Tecnológicas para el Cambio Climático. Sector Energía. Quito, Ecuador. Recuperado de: <https://n9.cl/l06ag>
- Environmental Protection Agency EPA. (2020). Anaerobic Digester/Biogas System Operator Guidebook. [Guía del operador del sistema de biogás/digestor anaeróbico]. EPA 430-B-20-003. Recuperado de: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-11/documents/agstar-operator-guidebook.pdf>
- EP Petroecuador 2021. Informe estadístico Enero – diciembre 2021. Recuperado de: <https://n9.cl/vugzr>
- EP Petroecuador. 2010. Informe de Gestión 2010 - 2011. Recuperado de: <https://acortar.link/3g1Jok>
- EP Petroecuador. 2016. Informe Estadístico 2016. Recuperado de: <https://n9.cl/7lbg0>
- EPA United States Environmental Protection Agency (2020). Project Development Handbook. A Handbook for Developing Anaerobic Digestion/Biogas Systems on

- Farms in the United States. (3rd Edition). [Manual de desarrollo de proyectos. Manual para el desarrollo de sistemas de biogás/digestión anaeróbica en granjas de los Estados Unidos]. Estados Unidos, EPA 430-B-20-001. Recuperado de: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-12/documents/agstar-handbook.pdf>
- ESIN CONSULTORA S.A. (2014). Atlas energético de la República de Ecuador. Primera Edición. ESIN Consultora S.A. Recuperado de: <https://acortar.link/rpV5dg>
- Esteban R., Torres M. D., Piñeiro B., Enjamio C., & Domínguez H. (2022). Intensification and biorefinery approaches for the valorization of kitchen wastes–A review. [Enfoques de intensificación y biorrefinerías para la valorización de desechos de cocina: una revisión]. *Bioresource Technology*, 127652. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127652>
- FAO. 2019. Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores. Colección Documentos Técnicos N° 12. Buenos Aires. 104 pp. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. Recuperado de: http://www.probiomasa.gob.ar/_pdf/GuiadeBiogasyBiodigestores-19-08-29.pdf
- Fernández-Durán, J. J., & Gregorio-Domínguez, M. M. (2021). Consumer segmentation based on use patterns [Segmentación de consumidores basada en patrones de uso]. *Journal of Classification*, 38(1), 72-88. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00357-019-09360-2>
- Fryn, F. (2019). Qualitative vs Quantitative Research – What is what? [Investigación cualitativa vs cuantitativa: ¿qué es qué?]. *Imotion*. Recuperado de: <https://n9.cl/252h0>
- Funk, A., Sütterlin, B., & Siegrist, M. (2020). Market segmentation in consumers based on declared ecological behaviors in the food field. [Segmentación de mercado en consumidores basada en comportamientos ecológicos declarados en el ámbito alimentario]. *Journal Sustainable Production and Consumption* DOI: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.08.010>
- Galicia L., Balderrama J., & Edel R. (2017). Validez de contenido por juicio de expertos: propuesta de una herramienta virtual. *Apertura (Guadalajara, Jal.)*, 9(2), 42-53. DOI: <https://doi.org/10.32870/ap.v9n2.993>.
- Gallego L., Portillo E., Benito E., González R. (2022). Estimation of methane production through the anaerobic digestion of greenhouse horticultural waste: A real case study for the Almeria region. [Estimación de la producción de metano a través de la digestión anaeróbica de residuos hortícolas de invernadero: Un caso de estudio real para la

- región de Almería]. *Science of The Total Environment*. Volume 807, Part 3, 2022, 151012, ISSN 0048-9697, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151012>.
- García M., Alcaide J., Gómez T., Collado D., Peris J., Monterde R., Ferrer P., Gómez-Senent E. (2017). Fundamento del diseño en Ingeniería. Editorial Universidad Politécnica de Valencia España. Recuperado de: <https://n9.cl/jcv9m>
- García V., Prieto Ruiz A., Corral J. y Hernández J. (2016). Química de la biomasa vegetal y su efecto en el rendimiento durante la torrefacción: revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(38), 18-25. Recuperado de: <https://n9.cl/j9xjp>
- Gaspar E., Espinosa M. y Domínguez M. (2012). Métodos y metodología en el ámbito del diseño industrial. *Técnica Industrial*. Vol (300), pág. 38 – 44. Recuperado de: https://www2.uned.es/egi/publicaciones/articulos/Metodos_y_metodologias_en_el_ambito_del_diseno_industrial.pdf
- Gómez E. (2020). *Comparación del desempeño de estimadores de estado para la predicción de variables en un biodigestor*. [Tesis de maestría en Ciencias de Automatización y control, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo-México. Recuperado de: <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/handle/231104/2646>
- Gould, C., Schlesinger, S., Molina, E., Bejarano L., Valarezo M., A., Darbi J. (2020). Long-standing lpg subsidies, cooking fuel stacking, and personal exposure to air pollution in rural and peri-urban Ecuador. *Journal of exposure science & environmental epidemiology*, 30(4), 707-720. Recuperado de: <https://n9.cl/hbsgj4>
- Grand, M. C., Rasteletti, A., Muñoz, J. D. (2022). Impuestos a los combustibles en la teoría y en la práctica. DOI: <http://dx.doi.org/10.18235/0003994>
- Granzotto F., Aita C., Silveira D., Mayer D., Pujol S., Piñas J., Hoffman R. (2021). Use of anaerobic biodigestor in the treatment of organic waste from a university restaurant [Uso de biodigestor anaeróbico en el tratamiento de residuos orgánicos de un restaurante universitario]. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Volume 9, Issue 5, 2021, 105795, ISSN 2213-3437, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105795>.

- Guevara, J., Cavanzo, G., Quijano, A. (2019). Modelo conceptual. Proyecto ACACIA. 30 de junio de 2019. Recuperado de:
https://acacia.red/wpcontent/uploads/2019/08/Modelo_Conceptual.pdf
- Gupta, A., Ratnakar, K., Rao, D. G., & Kumar, S. A. (2021, April). Feasibility Study on Solid Waste to Useful Energy [Estudio de Factibilidad de Residuos Sólidos a Energía Útil]. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1116, No. 1, p. 012059). IOP Publishing. Recuperado de:
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1116/1/012059/pdf>
- Gustavsson, J., C. Cederberg, U. Sonesson y A. Emanuelsson (2013), The methodology of the FAO study: “Global food losses and food waste—Extent, causes and prevention” [La metodología del estudio de la FAO: “Pérdidas y desperdicio de alimentos a nivel mundial: alcance, causas y prevención”] FAO, 2011, Swedish Institute for Food and Biotechnology (SIK) [Instituto de Alimentos y Biotecnología de Suecia]. Recuperado de: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:944159/FULLTEXT01.pdf>
- Guzmán N. P. (2021). *Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión sostenible del agua en América Latina y el Caribe* (tesis de maestría, Universidad Politécnica de Catalunya). Recuperado de:<https://n9.cl/1xjh9>
- Hegde, Swati & Trabold, Thomas. (2019). Anaerobic Digestion of Food Waste with Unconventional Co-Substrates for Stable Biogas Production at High Organic Loading Rates [Digestión anaeróbica de residuos de alimentos con cosustratos no convencionales para la producción estable de biogás a altas tasas de carga orgánica]. Sustainability. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/su11143875>
- Heinrichs, A. (2011). Sustaining Earth's Energy Resources. [Mantenimiento de los recursos energéticos de la Tierra]. Marshall Cavendish, New York, USA. Recuperado de: <https://n9.cl/nink7>
- Hernández L., Benítez M., & Bermúdez J. (2018). Caracterización físico-química de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos del vertedero controlado en el Centro Urbano Abel Santamaría de Santiago de Cuba. *Tecnología Química*, 38(2), 369-379. Recuperado de: <https://n9.cl/fx43u>

- Hernández R., Fernández C. y Baptista P. (2014). Metodología de la Investigación. 6ª ed., pp.170-191. McGraw-Hill. México. Recuperado de: <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Herrera J., Roja J., y Anchía D. (2016). Tasas de generación y caracterización de residuos sólidos ordinarios en cuatro municipios del área metropolitana costa rica. *Revista Geográfica de América Central*, vol. 2, núm. 57, pp. 235-260. DOI: Recuperado de: <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15359/rgac.57-2.9>
- Hidalgo D. (2020). Producción de biometano para combustible de transporte a partir de residuos de biomasa “Potencial del biometano en el sector transporte en la Región Iberoamericana: estudio de prospectiva”. *Biometrans. CYTED*. Recuperado de: <https://n9.cl/xc0t6>
- Hilbert J. (s.f). Manual para la producción de biogás. Instituto de Ingeniería Rural. INTA-Castelar. Recuperado de: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-manual_para_la_produccion_de_biogs_del_iir.pdf
- Himanshu, H., Voelklein, M. A., Murphy, J. D., Grant, J., & O’Kiely, P. (2017). Factors controlling headspace pressure in a manual manometric BMP method can be used to produce a methane output comparable to AMPTS. *Bioresource Technology*, 238, 633–642. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.04.08>
- Homebiogás (2021). HBG 2.0 Household biogas system owner’s manual. Recuperado de: https://www.homebiogas.com/wp-content/uploads/2021/03/HB2GF_0321_print_v2.pdf
- Hsu, W., Woon, I.M.Y., (1998). Current research in the conceptual design of mechanical products [Investigación actual en el diseño conceptual de productos mecánicos]. *Comput. -Aided Des.* 30, 377–389. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0010-4485\(97\)00101-2](https://doi.org/10.1016/S0010-4485(97)00101-2)
- Huerga I. (2016). Generación de Biogás: experiencia del tambo La Natividad, Coronel Dorrego, Buenos Aires / Ignacio Huerga ... [et al.]. - 1a ed. – Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Ediciones INTA, 2016. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/contenido_biogas-inta_ipaf_pampeana.pdf

- Huerga, I.R., Butti, M., Llorente, R., Mato, A. (2020). Experiencia práctica para evaluar el rendimiento en la producción de biogás en biodigestores de pequeña y mediana escala. *RedBioLAC*, 4, 56-59. Recuperado de: <https://n9.cl/s4dsw>
- Hurtado, J. (2012). Metodología de la investigación: guía para una comprensión holística de la ciencia. (4a. Ed.). Bogotá-Caracas: Ciea-Sypal y Quirón. Recuperado de: <https://n9.cl/59s1z>
- Indiveri E., (s.f). Biodigestor: Manual de uso. Instituto de Energía UNCUIYO - Programa de Biogás. Recuperado de: <https://imd.uncuyo.edu.ar/upload/manual-uso-biodigestor.pdf>
- Ingeniería del diseño (s.f). Capítulo dos, pág. 22. Recuperado de: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6837/05Jcb05de16.pdf?sequence=5del>
- Induchoodan, T. G., Haq, I., & Kalamdhad, A. S. (2022). Factors affecting anaerobic digestion for biogas production: a review [Factores que afectan la digestión anaeróbica para la producción de biogás: una revisión]. *Advanced Organic Waste Management*, 223-233. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85792-5.00020-4>
- INP. Ecuador. Instituto Nacional de Preinversión. (2021). Atlas bioenergético del Ecuador. Primera Edición – 2014. Edición ESIN Consultora S.A. Recuperado de: <https://n9.cl/wfmug> o <https://www.inamhi.gob.ec/>
- Instituto Multidisciplinario de Energía. (2013). Biodigestor: Manual para la construcción. Programa de Combustible. Recuperado de: <https://n9.cl/2pr1t>
- Jiménez R., Yépez A. (2020) ¿Cómo consumen energía los hogares?: evidencia de América Latina y el Caribe. Grupo del Banco Interamericano de Desarrollo. Recuperado de: <https://n9.cl/pnv4b>
- Lentini, E. (2022). Hacia una agenda de seguridad hídrica para América Latina y el Caribe 2030. Caracas: CAF. Recuperado de: <http://cafsciotea.azurewebsites.net/handle/123456789/1881>
- López A., Suárez J. (2018). Experiencia de suministro de biogás en una comunidad rural, en Cuba. *Pastos y Forrajes*, 41(1), 73-79. Recuperado de: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942018000100010

- López P., Fachelli, S. (2020). Fundamentos metodológicos. Metodología de la investigación social cuantitativa. Recuperado de: https://ddd.uab.cat/pub/caplli/2020/232105/metinvsocua_cap1-1a2020.pdf
- López, A. (2008). La modelación de la habilidad Diagnóstico Patológico desde el Enfoque Histórico Cultural para la asignatura Patología Veterinaria. *Revista Pedagogía Universitaria*, Vol. XIII (5), 51-71. Recuperado de: <https://n9.cl/ydvik>
- MAGAP. (2016). La política agropecuaria ecuatoriana: Hacia el desarrollo territorial rural sostenible 2015-2025. Quito: MAGAP. Recuperado de: <https://n9.cl/wfazd>
- Malkoc, S., Mescherina, K., & Korotayev, A. (2020). Evolution of the stability of the functioning of the socioeconomic system: some approaches for modeling (with an application to the case of Egypt, 2011-2013) [Evolución de la estabilidad del funcionamiento del sistema socioeconómico: algunos enfoques para la modelización (con una aplicación al caso de Egipto, 2011-2013)]. *Rev. BioSystems*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystems.2020.104231>
- Manual de uso del biodigestor (s.f). Recuperado de: <https://n9.cl/5p8iq>
- Manual de uso del biodigestor. (s.f.). Recuperado de: <https://www.santafe.gob.ar/ms/academia/wp-content/uploads/sites/27/2019/09/Manual-de-uso-de-biodigestores-10001.pdf>
- Marín F., Pérez J., Senior A., y García J. (2021). Validación del diseño de una red de cooperación científico tecnológica utilizando el coeficiente K para la selección de expertos. *Información Tecnológica*. 32(2). Recuperado de: <https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v32n2/0718-0764-infotec-32-02-79.pdf>
- Marmolejo L., Torres P., Oviedo R., García M. & Díaz, L. (2011). Performance analysis of solid waste recovery facilities in Northern Valle del Cauca, Colombia. *Revista EIA*. 16. 163-174. Recuperado de: <https://n9.cl/gh6tx>
- Martí J. (2019). Experiencias Latino Americanas en la implementación de estrategias para democratizar los biodigestores entre pequeños y medianos productores agropecuarios: Aportes a Ecuador. Climate Technology Centre and Network (CTCN)-UNFCCC. Ecuador. Recuperado de: <https://n9.cl/5qv0u>
- Martí J., Piedra B., Cuji V., Rodríguez L., López D., Cipriano J. (2017). Actividad 1: Línea base y demanda potencial técnica de biodigestores en Ecuador: Análisis del contexto y tipologías de productores. Proyecto: Design and scale-up of climate

resilient waste management and energy capture technologies in small and medium livestock farms - reference number: 2015000061. Recuperado de: <https://n9.cl/te6nu>

Mina C. (2020). *Percepción social sobre el consumo de gas domiciliario en los barrios marginales de la ciudad de Guayaquil*. (Tesis grado, Universidad de Guayaquil). Recuperado de: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/52619>

Morales D. (2015). *Actitudes y conocimientos en el consumo de energía eléctrica domiciliaria: caso aplicado a una muestra del área metropolitana de Monterrey, Nuevo León*. (Tesis de doctorado, Universidad Autónoma de Nuevo León). Recuperado de: <https://cutt.ly/rG0WSaQ>

Moratorio D., Rocco, I. Castelli M. (2012). Conversión de Residuos Sólidos Urbanos en Energía. *Revista Memoria de Trabajos de Difusión Científica y Técnica*, núm. 10, pag.115-120. Recuperado de: <https://n9.cl/m5kh8>

Mosquera, J. A., & Cedeño, E. F. A. (2021). Concepciones y actitudes hacia los recursos energéticos de estudiantes de básica secundaria. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, 3304-3311. Recuperado de: <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/view/14995>

Muñoz M. B., Contreras A. M., Santos R. F., Regla E. R., Cárdenas T. M. (2020). Resultados del procedimiento de digestión anaeróbica para el tratamiento de residuos sólidos urbanos en Ecuador: Artículo de investigación. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 3(6), 33-48. DOI: <https://doi.org/10.46296/ig.v3i6.0017>

Nadelsticher Abraham (2001). La técnica del Análisis CHAID. Recuperado de: <https://cutt.ly/AGYXxeY>

Niban A., Mørck L., Wegener M., Deepak Pant (eds). (2021). Emerging technologies and biological systems for biogas upgrading, 493-506. Londres, United Kingdom: *Elsevier Science*. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-012-822808-1.00023-4>

Nielfa, A., Cano, R., & Fdz-Polanco, M. (2015). Theoretical methane production generated by the co-digestion of organic fraction municipal solid waste and biological sludge [Producción teórica de metano generada por la codigestión de fracción orgánica

- de residuos sólidos municipales y lodos biológicos]. *Biotechnology Reports*, 5, 14-21. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.btre.2014.10.005>
- Obando Díaz G. (2007). “Producción de biogás en reactores anaeróbicos bajo diferentes configuraciones de operación”. *Invest Apl Innov* 1(2), 2007. Recuperado de: <https://n9.cl/mbjj4>
- Obileke, K., Nwokolo, N., Makaka, G., Mukumba, P., & Onyeaka, H. (2021). Anaerobic digestion: Technology for biogas production as a source of renewable energy—A review. [Digestión anaeróbica: tecnología para la producción de biogás como fuente de energía renovable: una revisión]. *Energy & Environment*, 32(2), 191-225. DOI: <https://doi.org/10.1177/0958305X20923117>
- Ochoa C. (2015). Margen de error en muestras no probabilísticas. Recuperado de: <https://n9.cl/3z6hp>.
- ONUAA. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, ONUAA. (2019). Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores: Proyecto para la promoción de la energía derivada de biomasa (UTF/ARG/020/ARG) - Colección Documentos Técnicos N° 12. Editor Food & Agriculture Org., 2019. Pág. 14. Recuperado de: <https://books.google.com.ec/books?id=CV2mDwAAQBAJ>
- Oñate, n., Ramos, l. y Díaz, a. (1988): “Utilización del Método Delphi en la pronosticación: Una experiencia inicial”. *Cuba: Economía Planificada*, 3 (4), 9-48. Recuperado de: <https://n9.cl/oahgv>
- Orosco A., Varela G., Salcedo V., y Vega C. (2018). Alternativas para la reducción de los residuos urbanos y agropecuarios: potencial bioenergética en la provincia de El Oro (Ecuador) *Revista Espacio*. Vol. 39 (14), pág. 17 Recuperado de: <http://www.revistaespacios.com/a18v39n14/a18v39n14p17.pdf>
- Otzen T., y Manterola C., (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *Int. J. Morphol*, 35(1):227-232. Recuperado de: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ijmorphol/v35n1/art37.pdf>.
- Pacheco S. (2016). Construcción y evaluación de un digestor anaerobio para la producción de biogás a partir de residuos de alimentos y poda a escala banco (tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia). Recuperado de: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/56095>

- Padilla, A., Rivero, J. (2016). Producción de Biogás y compost a partir de Residuos Orgánicos recolectados del Complejo Arqueológico Huaca de la Luna. *Revista ciencia y tecnología*, 12(1), 29-43. Recuperado de: <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/PGM/article/view/1358>
- Peña, E. G. I., Del Mar M., & Domínguez, M. (2012). Métodos y metodologías en el ámbito del diseño industrial. *Técnica industrial*, 300, 38-44. Recuperado de: <https://www.tecnicaindustrial.es/wp-content/uploads/Numeros/85/1568/a1568.pdf>
- Percebois, J., & Pommeret, S. (2021). Efficiency and dependence in the European electricity transition. [Eficiencia y dependencia en la transición eléctrica europea]. *Energy Policy*, 154, 112300. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112300>
- Pezo, D. (2019). Intensificación sostenible de los sistemas ganaderos frente al cambio climático en América Latina y el Caribe: Estado del arte. Recuperado de: <https://n9.cl/l3vof>
- Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat (2009), “World population prospects: The 2008 revision and world urbanization prospects: the 2009 revision”. [“Perspectivas de la población mundial: la revisión de 2008 y perspectivas de urbanización mundial: la revisión de 2009”]. Recuperado de: <https://n9.cl/gdygf>
- Prieto, G., Delgado A., (2010). “Fiabilidad y validez. Papeles del psicólogo”. *Papeles del Psicólogos*. 31(1), 69-74. Recuperado de: <https://n9.cl/rp2sd>
- PRONACA. “Pronaca - Corresponsables.com Ecuador”, 2017. Recuperado de: <https://ecuador.corresponsables.com/organizaciones/pronaca>
- Rachanap, R; Piyanka, D & Ajeya, J. (2020). Impact of psychographic factors on energy Awareness. [Impacto de los factores psicográficos en la energía. Conciencia]. Cite as: AIP Conference Proceedings. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0024526>
- Raffino, M. (2020). Proceso Administrativo - Qué es, sus características y etapas. Recuperado de: <https://concepto.de/proceso-administrativo/>
- Rajak A. K., Kumar, A., Deshmukh, D., Singh, R., & Kumar, S. (2022). A Comprehensive Review on the Advancement of Biogas Production Using Leftover Food and Kitchen Waste. [Una revisión exhaustiva sobre el avance de la producción de biogás utilizando restos de comida y desechos de cocina]. *Planning of Hybrid Renewable Energy Systems, Electric Vehicles and Microgrid*, 89-106. Recuperado de: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-19-0979-5_5

- Ramírez F., Sepúlveda E., Rubio W. (2017). Mecanismos flexibles: desde el diseño conceptual hasta su manufactura. *Revista Politécnica*. 13. 65-78. Recuperado de: <https://revistas.elpoli.edu.co/index.php/pol/article/view/1091>
- Ramos, D., Terry A, Soto F. y Cabrera J. (2014). Bocashi: abono orgánico elaborado a partir de residuos de la producción de plátanos en Bocas del Toro, Panamá. *Revista Cultivos Tropicales*, 35(2), 90-97. Recuperado de: <https://n9.cl/gx3y9y>
- RedBioLAC (2015). Curso introductorio. Biogás y Biodigestores de pequeña y mediana escala Monitoreo y análisis instrumental / laboratorio para evaluar la digestión anaeróbica 7º Encuentro RedBioLAC Facultad de Ciencias, Universidad de Chile 9 – 13 noviembre 2015. Recuperado de: <https://n9.cl/2gutv>
- Rivard, F., Abou Harb, G., Meret, P. (eds). (2020). *Transverse information system: new solutions for is and business performance*. [Sistema de información transversal: nuevas soluciones para el rendimiento empresarial y empresarial] wiley-iste. Recuperado de: <https://n9.cl/w3pf0>
- Rojo D., Ernst C., Romero C. (2019). Manual de metodología de estimación de empleo verde en la bioenergía. Editado por Alejandra Groba. FAO, Buenos Aires. Recuperado de: <https://n9.cl/o5z4>
- Romero, R., Cabero, J., Llorente, M., Vázquez, A. (2011). “El método Delphi y la formación del profesorado en TIC”. *Depósito de Investigación Universidad de Sevilla (idUS)*. 9 (44), 81-89. Recuperado de: <https://idus.us.es/handle/11441/24653>
- Rondón E., Szantó M., Pacheco J., Contreras E., Gálvez A. (2016). Manuales de la CEPAL: “Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios”. Publicación de las Naciones Unidas, Santiago. Pág. 23-24. Recuperado de: <https://n9.cl/oeofj>
- Rotoplas. “Rotoplas Ecuador | Tanques de Agua, Biodigestores, Cisternas”, 2020. Recuperado de: <http://rotoplas.com.ec/>.
- Rueda R. (2021). *Modelado de series temporales multivariantes y fusión de datos con regresión simbólica: Aplicación a la mejora de la eficiencia energética*. (Tesis doctoral, Universidad de Granada). Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10481/65407>

- Rueda, I. C. F., Rivera, M. P. T., & Alvarado, S. L. N. (2021). Tipologías de consumidores en función de su actitud ambiental. *CIENCIA*, 28(2), 10-15. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7969769>
- Safoora M., Karimi K., Tabatabaei M., Aghbashlo M., Sahoo P.K., L.M. Das, M.K.G. Babu, S.N. Naik. (2007). Biodiesel development from high acid value polanga seed oil and performance evaluation in a CI engine. [Desarrollo de biodiesel a partir de aceite de semilla de polanga de alto índice de acidez y evaluación del desempeño en un motor C] *Journal Fuel*, 86(3), 448-454. DOI: <https://doi.org/10.1016/j>
- Sakurai K. (2010). Guía hdt 17: método sencillo del análisis de residuos sólidos. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (cepis). Recuperado de: <https://n9.cl/8j46>
- Salgado, L. (2019). Segmentación de los consumidores de alimentos orgánicos según sus actitudes, valores y creencias ambientales. *Revista Contaduría y administración*. vol.64 no.2. DOI: <https://doi.org/10.22201/fca.24488410e.2018.1491>
- Sánchez L, y Reyes O. (2016). La demanda de gasolinas, gas licuado de petróleo y electricidad en el Ecuador Elementos para una reforma fiscal ambiental. CEPAL, Disponible en: https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/40629/S1600529_es.pdf
- Sawyer Nathaniel, Trois Cristina, Tilahun S. Workneh, Oluwaseun Oyebode, Olubayo M. Babatunde (2020). Design of a household biogas digester using co-digested cassava, vegetable and fruit waste, *Energy Reports*, Volume 6, Supplement 9, 2020, Pages 1476-1482, ISSN 2352-4847, <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.10.067>
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, SENPLADES. (2021). Proyecciones y estudios demográficos: Proyecciones a nivel cantonal de edad y sexo. Recuperado de: <https://cutt.ly/JHQYuFx>
- SENAGUA, 2016. Estrategia nacional de calidad del agua (ENCA) 2016-2030. Recuperado de: <https://n9.cl/1klc>
- SENESCYT (2014). Residuos del banano: una nueva fuente de energía. Boletín de prensa N°163. Recuperado de: <https://n9.cl/nq3jn>

- Sogari, N., Busso, A. (2011). Análisis de las propiedades físico químicas del biogás obtenido de la degradación anaeróbica de residuos orgánicos. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente-AVERMA*, 17-21. Recuperado de: <https://n9.cl/2kgby>
- Solomon, M. R. (2008). "Comportamiento del consumidor". (7ª ed). Pearson. Madrid, España, Recuperado de: <https://n9.cl/p29wg>
- Soria, R., Carvajal, P. (2013). Biogás: Una Alternativa para la Expansión de Generación Eléctrica en El Ecuador. *Revista Técnica "Energía"*, 9(1), 38-45. DOI: <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v9.n1.2013.131>
- Soule, M. J. C. (2021). Aplicación de hábitos de ahorro de energía eléctrica en los hogares de los estudiantes del Colegio Calasanz Hispanocostarricense, durante el curso lectivo con modalidad bimodal 2021. *Biocenosis*, 32(2). DOI: <https://doi.org/10.22458/rb.v32i2.3905>
- Souza, J. y L. Schaeffer. 2013. "Sistema de compresión de biogás y biometano", en *Información Tecnológica*. Vol. 24 N.º 6. DOI: <https://dx.doi.org/10.4067/S071807642013000600002>
- Spyridon Achinas, Gerrit Jan Willem Euverink. Theoretical analysis of biogas potential prediction from agricultural Waste. [Análisis teórico de la predicción del potencial de biogás a partir de residuos agrícolas]. *Resource efficient Technologies*. Vol (2) 144 – 145. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.reffit.2016.08.001>
- Stančin, H., Mikulčić, H., Wang, X. y Duić, N. (2020). A review on alternative fuels in future energy system. [Una revisión sobre los combustibles alternativos en el futuro sistema energético]. *Renewable and sustainable energy reviews*, 128, 109927. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109927>
- Strömberg, S., Nistor, M., & Liu, J. (2014). Towards eliminating systematic errors caused by the experimental conditions in Biochemical Methane Potential (BMP) tests. *Waste Management*, 34, 1939–1948. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.07.018>
- Tabatabaei, M., & Ghanavati, H. (2018). Biogas. Fundamentals, process and operation. In *Biofuel and biorefinery technologies* (p. 471). Springer International Publishing AG. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-77335-3>
- Tapia, T. (2016). Instalación y uso de biogás ganadería puneña, generando energía limpia" biogás" para calefacción y cocina familiar. Recuperado de:

<https://www.produccion-animal.com.ar/Biodigestores/93-Manual-de-Biodigestores-Final.pdf>

Tapia, V. (2016): Manual de Instalación y Uso de Biogás. Ganadería Puneña, generando energía limpia “biogás” para calefacción y cocina familiar. Ganadería Puneña, generando energía limpia “biogás” para calefacción y cocina familiar. Perú: USAID y CARE. URL [Visita: 05.09.2018]. Recuperado de: <https://n9.cl/a2qxc>

Tchobanoglous G., Theisen S. (2002). Handbook of Solid Waste Management, Second. Editado por Tchobanoglous Georgem y Theisien Hillary, Samuel Vigil, 1-950. New York: McGraw Hill Handbooks. Recuperado de: <http://web.frm.utn.edu.ar/webutn/archivos/civil/Sanitaria/Capitulo4.pdf>

Tello P., Campani D., Sarafian D. (2018). Gestión integral de residuos sólidos urbanos. Presidente de la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental – aidis. Capítulo 4. Pág.54. Recuperado de: <https://n9.cl/viov>

Teniza, O., Solís, M., Pérez, M., Valencia, R., & González, J. (2015). Producción de metano utilizando residuos cunícolas. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 14(2),321-334. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62041194009>

Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, P., Schertenleib, R., y Zurbrügg, C. (2018): Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento. Dübendorf (Suiza): Instituto Federal Suizo para la Ciencia y la Tecnología Acuática (Eawag), 2da. edición revisada. URL [Visita: 01.05.2018] Recuperado de: <https://n9.cl/h8vi6> y <https://sswm.info/es/node/11695>

Torres S., Paucar Michel J., y Pampa B. (2020). Adsorción de sulfuro de hidrógeno del biogás mediante virutas de hierro pretratadas para rehúso energético. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 41(1), 18-29. Recuperado de: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382020000100018

Torres Wilmer. (1 diciembre 2020). Gobierno analiza futuro de las cocinas de inducción en 2021. *Revista Primicias*. Sección Economía. Recuperado de: <https://acortar.link/IQfnj8>

- Troche, M. B. (2018). Las Externalidades Ambientales. *Investigaciones Jurídicas, Humanas y Sociales*, 4(1). Recuperado en : <https://www.unae.edu.py/ojs/index.php/invjuridica/article/view/96>
- UNICEF Ecuador (2020). Diagnóstico de la situación de las niñas, niños y adolescentes de Ecuador frente al cambio climático. Quito, Ecuador: UNICEF Ecuador. Recuperado de: <https://acortar.link/PXQ9MW>
- Venturin P., Francisquetti R. (2017). Análise do aproveitamento energético do biogás obtido na biodigestão anaeróbia de manipueira em uma farinha de mandioca (tesis de maestría, Universidad Tecnológica Federal de Paraná). Recuperado de: <https://n9.cl/91a31>.
- Vera J., Vera Ch. J. (2018). “Resumen de principios diseños experimentales”. 1ra. Ed. Ediciones Grupo Compás. Quevedo, Ecuador. Recuperado de: <http://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/3764>
- Viscarri J., López B., Mas M. (2010). “Los pilares del marketing”. 1ra. (ed.) Ediciones UPC, Barcelona, España. Recuperado de: <https://n9.cl/jwo3h>
- Vivek Narisetty, Nidhi Adlakha, Navodit Kumar Singh, Sudipt Kumar Dalei, Ashish A Prabhu, Sanjay Nagarajan, A. Naresh Kumar, Joseph Amruthraj Nagoth, Gopalakrishnan Kumar, Vijai Singh, Vinod Kumar. (2022). Integrated biorefineries for repurposing of food wastes into value-added products. *Bioresource Technology*, 363, 127856. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127856>
- Vogt GM, Liu HW, Kennedy KJ, Vogt HS, Holbein BE. Super blue box recycling (SUBBOR) enhanced two-stage anaerobic digestion process for recycling municipal solid waste: laboratory pilot studies [Proceso mejorado de digestión anaeróbica de dos etapas para reciclar desechos sólidos municipales: estudios piloto de laboratorio]. *Bioresour Technol.* 2002 Dec;85(3):291-9. DOI: [10.1016/s0960-8524\(02\)00114-1](https://doi.org/10.1016/s0960-8524(02)00114-1)
- Voinov, A., Arodudu, O., van Duren, I., Morales, J., & Qin, L. (2015). Estimating the potential of roadside vegetation for bioenergy production. [Estimación del potencial de la vegetación al borde de la carretera para la producción de bioenergía]. *Journal of Cleaner Production*, 102, 213-225. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.034>
- Weather Spark (2022). Datos históricos meteorológicos de 2022 en Guayaquil Disponible en: <https://n9.cl/ek27f>

- Xiaofei Zhao, Lei Li, Di Wu, Taihui Xiao, Yao Ma, Xuya Peng. (2019). Modified Anaerobic Digestion Model No. 1 for modeling methane production from food waste in batch and semi-continuous anaerobic digestions. [Digestión anaeróbica modificada Modelo No. 1 para modelar la producción de metano a partir de desechos de alimentos en digestiones anaerobias por lotes y semicontinua]. *Bioresource Technology*, Volume 271, 2019, Pages 109-117, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.09.091>
- Yilmaz, V. (2015). A straightforward method: Biochemical methane potential assay. International Conference Renewable Energy Research and Applications (ICRERA 2015), 148–150. DOI: 10.1109/ICRERA.2015.7418565
- Zaman, N. Q. (2010). The Applicability of Batch Tests to Assess Biomethanation Potential of Organic Waste and Assess Scale Up to Continuous Reactor Systems [La aplicabilidad de las pruebas por lotes para evaluar el potencial de biometanización de los desechos orgánicos y evaluar la ampliación a sistemas de reactores continuos]. (Tesis doctoral, University Canterbury). DOI: <http://dx.doi.org/10.26021/2651>
- Zartha J., Montes J., Toro I., Villada H. (2014). Método Delphi - Propuesta para el cálculo del número de expertos en un estudio Delphi sobre empaques biodegradables al 2032. *Revista Espacios*. 35(13), 10. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642020000300219>
- Zeng, J., Zeng, H., & Wang, Z. (2022). Review on technology of making biofuel from food waste. *International Journal of Energy Research*.
- Zhang, L., Y.W. Lee y D. Jahng. 2011. Anaerobic co-digestion of food waste and piggery wastewater: focusing on the role of trace elements [Codigestión anaeróbica de residuos de alimentos y aguas residuales de cerdos: centrándose en el papel de los oligoelementos]. *Bioresource Technology* N.º 102. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.01.082>
- Zhang, W., Qiu, L., Gong, A., Cao, Y., & Wang, B. (2013). Solid-state Fermentation of Kitchen Waste for Production of *Bacillus thuringiensis*-based Bio-pesticide [Fermentación en estado sólido de residuos de cocina para la producción de bioplaguicidas a base de *Bacillus thuringiensis*]. *BioResources*, 8(1), 1124–1135. Recuperado de: <https://n9.cl/5x3h9>

- Zhao, N., Ma, W., & Bechta, S. (2023). A review of the assessment of severe accident management guidelines and actions through analytical simulations. [Una revisión de la evaluación de las directrices y acciones de gestión de accidentes severos a través de simulaciones analíticas]. *Annals of Nuclear Energy*, 180, 109448. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2022.109448>
- Zhichao L., K. G. W. Inn & J. J. Filliben. (2001). An alternative statistical approach to the evaluation of interlaboratory comparison data [Un enfoque estadístico alternativo para la evaluación de datos de comparación entre laboratorios]. *Journal of Radio analytical and Nuclear Chemistry*, 248(1), 163-17. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1010615200709>
- Zou, H., Ding, S., Zhang, W., Yao, J., Jiang, L., & Liang, J. (2016). Study on influence factors in bacillus thuringiensis production by semi-solid state fermentation using food waste [Estudio sobre Factores de Influencia en la Producción de Bacillus Thuringiensis por Fermentación en Estado Semisólido Utilizando Desperdicios de Alimentos]. *Procedia Environmental Sciences*, 31, 127–135. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.02.018>

ANEXOS

ANEXO 1

CONSTRUCCIÓN DEL CONSTRUCTO Y VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO SEGÚN LOS ESTADÍGRAFOS PERTINENTES

Validación	Validez	Estadígrafo	Fase del estudio
Cualitativa (Para Validación de la encuesta)	Interna	Alfa Cronbach (varianza de ítems), Juez de experto	Fase Proyectiva: Elaborar un instrumento para medir ciertas variables de segmentación de mercado para obtener la opinión y percepción de las familias guayaquileñas. Fase Técnica: Selección de los expertos Aplicación de estadígrafos para validación del instrumento Fundamentación Metodológica: Diseño exploratorio
	Externa		
	Contenido	Juez de experto	
	Criterio	Alfa Cronbach (varianza de ítems)	
	Constructo	Juez de experto Coeficiente de V. AIKEN	
	Selección expertos	Coeficiente de competencia experta "K"	
Cuantitativa (Para aplicación de la encuesta validada)	Recolección de los datos	Análisis Varianza	Fase Técnica – síntesis Factibilidad de modelar un dispositivo piloto experimental a pequeña escala cuya producción comprenda el 45% de CH ₄
	Encuesta de Segmentación de Mercado	Test de esfericidad de Barlett	
	(Comprobar hipótesis para el diseño del prototipo)	Prueba de Káiser-Meyer-Olkin	
		Método de Belson	
		Chi cuadrada	

Fuente: Resumen de diseños experimentales. (Vera Barahona & Vera Chang, 2018)

ANEXO 2

CLASIFICACION DE LAS VARIABLES DEL ESTUDIO SEGÚN LOS “CRITERIOS DE SEGMENTACIÓN A PRIORI”

DIMENSIÓN 1: INFORMACIÓN DEL HOGAR

Sección 1 y 4: Datos y característica de la vivienda y el hogar

ITEMS	Tipo variable
I Tipo de Vivienda:	Identificadora - numérico
II ¿Cuántos cuartos dispone este hogar? No considere, garaje, negocios, baños y cocina	Estadística - numérico
III El lugar de la vivienda donde se cocinan los alimentos habitualmente es:	Estadística cualitativa -categórico
IV El cuarto usado para cocinar es	
V En este hogar se cocina exclusivamente con	
VI El servicio higiénico de este hogar es	
VII ¿Cuántos cuartos higiénicos tiene este hogar?	
VIII El agua se obtiene principalmente de	Estadística - numérico
IX El abastecimiento del agua es: permanente	Estadística cualitativa -categórico
X La vivienda es	
XI ¿Tiene patio esta vivienda?	

Sección 4 Datos de servicio básicos

I Dispone de medidor eléctrico	Estadística cualitativa -categórico
II Tienen servicio telefónico convencional	
III La eliminación de la basura es	
IV La eliminación de las aguas residuales del hogar es por	

DIMENSIÓN 2: CONSUMO ENERGÉTICO

Sección 2 Datos del consumo de GLP (sólo para quienes tienen cocina a gas)

I El cilindro de gas es de	Estadística cualitativa -categórico
II El uso del cilindro de gas es para:	
III El precio de su cilindro de gas es de:	
IV ¿Cuántos cilindros de gas consume al mes?	Estadística - numérico
V Al comprar su cilindro del gas ¿ha venido defectuoso?:	Estadística cualitativa -categórico
VI ¿Cuántas hornillas tienen su cocina de gas?	Estadística - numérico
VII El horno es a	Estadística cualitativa -categórico
VIII ¿Cuántas veces realiza el mantenimiento de las hornillas, el horno de su cocina de gas?	Estadística - numérico
IX ¿Cuántas hornillas usa por lo general al cocinar?	
X El tiempo que utiliza las hornillas es de:	Estadística cualitativa -categórico
XI El cilindro de gas de uso doméstico se encuentra ubicado en	
XII Revisa periódicamente si existe fugas en su cilindro de gas	
XIII Tiene conocimiento de que: el gas es subsidiado por el Gobierno	
XIV Conoce el precio del gas sin el subsidio.	
XV ¿Conoce otro tipo de gas sustituto que se pueda conectar a su cocina de uso doméstico	
XVI Su horario para cocinar los alimentos es	

Sección 3 Datos del consumo de cocina eléctrica - inducción

I Su cocina es:	Estadística cualitativa -categórico
II El número de hornilla de su cocina eléctrica o de inducción es	Estadística cualitativa -categórico
III ¿Cuántas hornillas usa por lo general al cocinar?	Estadística - numérico
IV El tiempo que utiliza sus hornillas eléctricas o de inducción es de	Estadística cualitativa -categórico
V Tiene horno eléctrico	Estadística cualitativa -categórico
VI Su horario de cocinar los alimentos es	Estadística cualitativa -categórico
VII ¿Alguna vez cocinando se ha quedado sin energía eléctrica?	Estadística cualitativa -categórico
VIII Considera que el uso de la cocina de inducción ¿ha disminuido sus gastos mensuales de canasta básica?	Estadística cualitativa -categórico
IX El mantenimiento de su cocina eléctrica o de inducción es hecho por	Estadística cualitativa -categórico
X Su cocina de inducción tiene el subsidio promocionado por el Gobierno	Estadística cualitativa -categórico
XI Su cocina eléctrica o de inducción fue adquirida por	Estadística cualitativa -categórico

DIMENSIÓN 3: INFORMACIÓN AMBIENTAL

Sección 5: Residuos del hogar

I Clasifica los desechos en este hogar	Estadística cualitativa-categórico
II ¿De qué desechos realiza la clasificación?	
III De los orgánicos, clasifica	
IV De los inorgánicos, clasifica:	
V La clasificación de los desechos orgánicos e inorgánicos es	
VI En este hogar la cantidad de desechos de comida por día es de aproximadamente	
VII Los restos de comida más comunes desechados en este hogar en la semana es	

Sección 6: Ahorro y energía

I En su hogar el sistema de lavado de ropa es	Estadística cualitativa-categórico
II El secado de la ropa es	
III El planchado de la ropa es	
IV En su hogar utilizan focos	
V Tienen piscina casera	
VI La ambientación del hogar es	
VII Las llaves de agua de toda la casa tiene dispositivos ahorradores	
VIII El hogar utiliza qué medios para ahorrar agua	
IX Revisa las tuberías en busca de posibles fallas	
X Utiliza inodoros ahorradores	

Sección 7: Pautas del consumo responsable

I En sus compras prefiere utilizar	Estadística cualitativa -categórico
II Al momento de adquirir un equipo eléctrico o electrodoméstico. A usted le interesa	
III Si usted no clasifica los residuos, una razón sería	

Sección 8: Conciencia ambiental

I Ha escuchado en la radio o a visto programas televisivos que fomenten la protección del medio ambiente	Estadística cualitativa -categórico
II De los siguientes problemas ambientales ¿Cuáles afectan a su barrio?	
III Tiene conocimiento de las leyes que rigen en el País sobre el uso del agua:	
IV Tiene conocimiento de usos de otras energías limpias que se pueden utilizar en su hogar	
V Algún miembro de su casa ha participado en programas ambientales escolares, de la comunidad	
VI Se considera una persona que cuida del medio ambiente	
VII Estaría interesado en tener una charla sobre la utilización correcta de los desechos del hogar:	
VIII Si tuviera conocimiento de dispositivos ahorradores de energía, los usaría	

Sección 9: Hábitos

I La cantidad de alimentos que se prepara en casa es	Cualitativa-categórico
II Los alimentos que consumen la familia son:	
III Los miembros de esta familia consume alimentos chatarra	
IV Los miembros de esta familia cooperan en el reciclaje	
V La cantidad estimada de desechos por día en el hogar es aproximadamente de	
VI Los miembros de esta casa tiene conocimiento de lo que es tener una conducta sustentable:	
VII Los miembros de esta casa tiene conocimiento de lo que es tener una conducta sustentable:	
VIII Ahorran energía eléctrica en este hogar:	
IX Al descansar ¿se apagan las luces en el hogar?	
X Mantiene luces encendidas en ciertas horas de la mañana y tarde en habitaciones donde no llega la luz del día.	
XI Cree usted que el ahorrar energía en su casa está coadyuvando en la economía de su hogar y del medio ambiente	
XII Conoce que aparatos eléctricos en casa consumen más energía.	
XIII En esta familia dejan conectados ciertos equipos a la red eléctrica (no considere el refrigerador y aire acondicionado)	

DIMENSIÓN 4: GASTO ALIMENTICIOS FRECUENTES

Sección 10: Consumo gastos en alimentos y bebidas

I En este hogar la persona más informada sobre los gastos en alimento es:	Estadística cualitativa -categórico
II La entrevista en esta sección se realiza con:	
III En este hogar que persona decide sobre los gastos de alimentos	
IV La compra de los alimentos son	
V En este hogar la duración de los alimentos es	
VI De tener animales, estos se alimentan con	
VII Los alimentos de consumo más frecuentes en este hogar por día es:	

DIMENSIÓN 5: CONOCIMIENTO DE ENERGÍA

Sección 11: Conocimiento de energía limpia

I Considera usted que cocinar con una cocina de inducción o eléctrica es más costoso que una a gas.	Estadística cualitativa -categórico
II Tiene conocimiento que en el país no se genera gas de uso doméstico y que se debe comprar fuera este producto, por tal razón existe un subsidio a este servicio	
III Si el gobierno toma la decisión de quitar el subsidio al consumo de gas doméstico, este cilindro de gas de 15 kilos empleado por usted subiría aproximadamente 23 USD. ¿Seguiría comprando este producto?	
IV Si el gas de uso doméstico tuviese el costo de 23 USD o más, preferiría utilizar energía eléctrica para cocinar	
V Tiene conocimiento de que los desechos orgánicos que genera su hogar pueden ser utilizados para producir algún tipo de energía	
VI Conoce de algún dispositivo casero que genere gas y pueda sustituir al gas doméstico	
VII Si se construyera un dispositivo que produzca gas para cocinar y que se alimente con los residuos orgánicos ¿Estaría usted dispuesto a utilizar uno en su hogar?	
VIII De diseñarse y elaborar este dispositivo adaptado a la cocina de gas, su costo oscilaría entre 200 USD a 600 USD. ¿Estaría usted dispuesto a adquirir uno a este precio? Su inversión única se recuperaría con el ahorro que se genera, a partir de 6 meses si consume 3 cilindros al mes o a partir de año y medio si sólo consume un cilindro al mes.	
IX De adquirir este dispositivo generador de gas para cocina, preferiría que este ubicado en	
X Como prefiere las dimensiones de este dispositivo, en cuanto a tamaño	
XI Estaría usted dispuesto a tener un charla acerca de ¿Cómo se pueden utilizar los residuos orgánicos para generar energía limpia?	

ANEXO 3

Puntuación para la selección de la fuente de argumentación para Expertos

Código	Fuentes de Argumentación	Alto	Medio	Bajo	Competencia
A_{F1}	Análisis teóricos realizados	0,3	0,2	0,1	Alta
A_{F2}	Experiencia obtenida	0,5	0,4	0,2	$k_{comp} > 8$
A_{F3}	Trabajos de autores nacionales que conoce	0,05	0,04	0,03	Media
A_{F4}	Trabajos de autores extranjeros que conoce	0,05	0,04	0,03	$0.5 < k_{comp} \leq 0.8$
A_{F5}	Conocimientos propios sobre el (cátedra).	0,05	0,04	0,03	Baja
A_{F6}	Su intuición.	0,05	0,04	0,03	$k_{comp} \leq 0.5$

Fuente: Galicia L., Balderrama A. y Navarro R. (2017).

Adaptado por la autora

ANEXO 4

Niveles de Puntuación de confianza para el parámetro K_{comp}

Valoración sobre grado de conocimiento en el tema (K_c)										
Grado de conocimiento (Código)	J ₁	J ₂	J ₃	J ₄	J ₅	J ₆	J ₇	J ₈	J ₉	J ₁₀
A_{F1}	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3	0,2
A_{F2}	0,5	0,3	0,4	0,4	0,3	0,5	0,5	0,3	0,4	0,4
A_{F3}	0,05	0,02	0,04	0,05	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,03
A_{F4}	0,04	0,03	0,05	0,04	0,02	0,03	0,04	0,05	0,04	0,03
A_{F5}	0,04	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,02
A_{F6}	0,04	0,05	0,04	0,04	0,03	0,04	0,05	0,03	0,03	0,03
Puntuación	0,97	0,64	0,87	0,77	0,73	0,89	0,79	0,68	0,90	0,71

ANEXO 5

**FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIAL
ESTUDIO SOBRE TÉCNICAS ENERGÉTICAS Y MEDIO AMBIENTE
“PROTOTIPO DE DISPOSITIVO ANAEROBIO DOMICILIARIO PARA COCINA DE GAS”**

**ENCUESTA DOMICILIARIA PARA EL ÀREA URBANA
VALIDEZ DEL INSTRUMENTO
ENCUESTA DOMICILIARIA PARA EL ÀREA URBANA MARGINAL**

RESPONSABLE: Mg. Coello Pisco Silvia Ing.

OBJETIVO DE LA ENCUESTA:

Obtener información de los factores sociodemográficos de los hogares de la zona urbana – marginal de la ciudad de Guayaquil.

Indicación: Estimado señor especialista en el área de energía renovable solicito su colaboración para validar el instrumento a aplicarse en un proyecto de energía renovable en Ecuador, en la ciudad de Guayaquil dirigido a familias urbanas marginales. A través de su pericia solicitamos un riguroso análisis por parte de ustedes sobre las preguntas del cuestionario adjunto y también las críticas que ustedes observen en el documento adjunto.

Marque con una X en el casillero de puntaje, según sus apreciaciones.

La escala a considerarse es:

1: Insuficiente	2. Regular	3. Bueno	4. Muy bueno	5. Muy aceptable
-----------------	------------	----------	--------------	------------------

DIMENSIÓN	ITEMS	PUNTAJE					RECOMENDACIONES:
		1	2	3	4	5	
DATOS DE LA VIVIENDA Y EL HOGAR: CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						
	7						
	8						
	9						
	10						
	11						
	12						
	13						

DIMENSIÓN	ITEMS	PUNTAJE					RECOMENDACIONES:
		1	2	3	4	5	
DATOS DEL CONSUMO DE GLP (SÓLO PARA QUIENES TIENEN COCINA A GAS)	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						
	7						
	8						
	9						
	10						
	11						
	12						
	13						
	14						
	15						
	16						
	17						
	18						
DATOS DEL CONSUMO DE COCINA ELÉCTRICA - INDUCCIÓN	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						
	7						
	8						
	9						
GASTOS EN ALIMENTOS Y BEBIDAS	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						
	7						
CONOCIMIENTO DE ENERGÍA LIMPIA	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						
	7						
	8						
	9						
	10						
	11						

DIMENSIÓN		ITEMS	PUNTAJE					RECOMENDACIONES:
			1	2	3	4	5	
DATOS DE INFORMACIÓN AMBIENTAL	RESIDUOS DEL HOGAR	1						
		2						
		3						
		4						
		5						
		6						
		7						
	AHORRO Y ENERGÍA	1						
		2						
		3						
		4						
		5						
		6						
		7						
		8						
9								
10								
PAUTAS DEL CONSUMO RESPONSABLE	1							
	2							
	3							
CONCIENCIA AMBIENTAL	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
	6							
	7							
	8							
HÁBITOS	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
	6							
	7							
	8							
	9							
	10							
	11							
	12							
	13							
	14							
	15							

Evaluador	
Grado académico	
Institución o empresa a la que pertenece	
Firma	
Fecha	

Elaborado por: Mg. Coello Pisco Silvia Tecnol. Lcda.

ANEXO 6

**FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIAL
ESTUDIO SOBRE TÉCNICAS ENERGÉTICAS Y MEDIO AMBIENTE
“PROTOTIPO DE DISPOSITIVO ANAEROBIO DOMICILIARIO PARA COCINA DE GAS”
VALIDEZ DEL INSTRUMENTO “JUICIO EXPERTO”
ENCUESTA DOMICILIARIA PARA EL ÀREA URBANA MARGINAL**

RESPONSABLE: Mg. Coello Pisco Silvia Technol. Lcda.

OBJETIVO DE LA ENCUESTA:

Obtener información de los factores sociodemográficos de los hogares de la zona urbana – marginal de la ciudad de Guayas.

Indicación: Estimado señor especialista en el área de energía renovable solicito su colaboración para validar el instrumento a aplicarse en un proyecto de energía renovable en Ecuador, en la ciudad de Guayaquil dirigido a familias urbanas marginales. A través de su pericia solicitamos un riguroso análisis por parte de ustedes sobre las preguntas del cuestionario adjunto y también las críticas que ustedes observen en el documento adjunto.

Marque con una X en el casillero de puntaje, según sus apreciaciones.

La escala a considerarse es:

1: Insuficiente	2. Regular	3. Bueno	4. Muy bueno	5. Muy aceptable
-----------------	------------	----------	--------------	------------------

CRITERIO DE VALIDEZ	PUNTUACIÓN					ARGUMENTO	OBSERVACIÓN Y SUGERENCIAS
	1	2	3	4	5		
Validez de contenido							
Validez de intención y objetividad							
Validez de medición y observación							
Presentación y formalidad del instrumento							
Total, Parcial							
Total							

Puntuación:

De 4 a 11: No valida, reformular

De 12 a 14: No válida, modificar

De 15 a 17: Válido, mejorar

De 18 a 20: Válido, aplicar

Evaluador	
Grado académico	
Institución o empresa a la que pertenece	
Firma	
Fecha	

Elaborado por: Mg. Coello Pisco Silvia Technol. Lcda.

ANEXO 7

**FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIAL
ESTUDIO SOBRE TÉCNICAS ENERGÉTICAS Y MEDIO AMBIENTE
“PROTOTIPO DE DISPOSITIVO ANAEROBIO DOMICILIARIO PARA COCINA DE GAS”
ENCUESTA DOMICILIARIA PARA EL ÀREA URBANA**

OBJETIVO DE LA ENCUESTA:

Obtener información de los factores sociodemográficos de los hogares de la zona urbana – marginal de la ciudad de Guayaquil

Nota: La encuesta es de carácter informativa, no se procederá a dar nombres de información de las familias con respecto a sus opiniones, recursos etc. Por lo que agradeceríamos su opinión sincera y veraz al dar respuesta a las preguntas solicitadas.

DIMENSIÓN 1: DATOS INFORMATIVOS

Región: Costa	Provincia: Guayas
Área: Urbana () rural: ()	Cantón:
Dirección domiciliaria:	Parroquia:
Entrevistador:	Número de miembros de esta familia:
Fecha:	

1. DATOS DE LA VIVIENDA Y EL HOGAR: CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA

Ítem	Pregunta	Opciones
1	Tipo de Vivienda:	Casa o villa Departamento Cuarto de inquilinato
2	¿Cuántos cuartos dispone este hogar? No considere, garaje, negocios, baños y cocina	1 () 2 () 3 () Más de 4 ()
3	El lugar de la vivienda donde se cocinan los alimentos habitualmente es:	Cuarto exclusivo sólo para cocinar () Se utiliza también para dormir () Esta unificado con la sala () Es el patio comedor u otro sitio () No cocinan () PASE A LA PREGUNTA 4
4	El cuarto usado para cocinar es:	Exclusivo de esta familia () Es compartido con otra familia ()
5	En este hogar se cocina exclusivamente con:	Gas () Electricidad () Leña/carbón () Gas/electricidad ()
6	El servicio higiénico de este hogar es:	Inodoro conectado a la red pública de alcantarillado () Inodoro conectado a pozo séptico () Inodoro conectado a pozo ciego () Letrina () No tiene () PASE A LA PREGUNTA VIII
7	¿Cuántos cuartos higiénicos tiene este hogar?	1 () 2 () 3 () Más de 4 () Son compartidos con otro hogar ()
8	El agua se obtiene principalmente de:	Red pública () Otra fuente por tubería () Carro repartidor () Agua al granel ()
9	El abastecimiento del agua es:	Permanente () irregular ()

10	El suministro de agua está ubicado:	Por tubería dentro de la vivienda () Por tubería fuera de la vivienda () Por tubería fuera de la vivienda por lote o terreno () Por tubería fuera del edificio () No recibes agua por estos medios ()
11	La vivienda es:	Propia () Propia, la está pagando () Cedida () Arriendo () ¿Cuánto pagó el mes pasado?: (80 -100) \$ () (100 - 180) \$ () más de 200\$ ()
12	¿Cuántos metros cuadrados tiene esta vivienda?	_____ m ²
13	¿Tiene patio esta vivienda?	SI () La dimensión es: _____ m ² NO ()

DIMENSIÓN 2 CONSUMO ENERGÉTICO DE USO FRECUENTE EN EL HOGAR.

A) DATOS DEL CONSUMO DE GLP (SÓLO PARA QUIENES TIENEN COCINA A GAS)

Ítem	Pregunta	Opciones
1	El cilindro de gas es de:	15 Kilos () 20 kilos () otro ()
2	El uso del cilindro de gas es:	Cocinar alimentos y hervir agua () Calentar agua () Negocio ()
3	Conoce el precio del gas de 15 kilos:	SI () NO ()
4	El precio de su cilindro es:	1.60 USD () 1.70 USD () 1.80 USD () 2.50 USD () Más de 2.50 USD ()
5	El tiempo de consumo de su cilindro de gas es de:	2 semanas o menos () De 2 a 3 semanas () De 3 semanas a 1 mes () Más de 1 mes ()
6	Cada qué tiempo compra un cilindro de gas:	2 semanas o menos () De 2 a 3 semanas () De 3 semanas a 1 mes () Más de 1 mes ()
7	¿Cuántos cilindros de gas consume al mes?	1 () 2 () 3 o más ()
8	Al comprar su cilindro del gas ha venido defectuoso:	SI () Posible falla: Boquilla () Caucho del interior () Otro especifique: _____ NO ()
9	¿Cuántas hornillas tienen su cocina de gas?	1 () 2 () 3 o más ()
10	El horno es a:	Gas () eléctrico () NO TIENE ()
11	¿Cuántas veces realiza el mantenimiento de las hornillas, el horno de su cocina de gas?	1 vez () 2 veces () Más de 3 () No lo hace ()

12	¿Cuántas hornillas usa por lo general al cocinar?	1 () 2 () más de 3 ()
13	. El cilindro de gas de uso doméstico se encuentra ubicado en:	Sala () Comedor () Patio () Cuarto de cocina ()
14	Revisa periódicamente si existen fugas en su cilindro de gas.	SI () NO () A VECES ()
15	Tiene conocimiento de que: el gas es subsidiado por el Gobierno.	SI () NO ()
16	Conoce el precio del gas sin el subsidio	
17	Conoce de otra forma de gas sustituto que se pueda conectar a su cocina de uso doméstico	
18	Su horario para cocinar los alimentos es:	Desayuno: 6 am – 9 am () 9 am – 10 am () Almuerzo: 11 am – 13 pm () 13 pm – 14 pm () Merienda: 17 pm – 19 pm () 19 pm – 21 pm ()

B) DATOS DEL CONSUMO DE COCINA ELÉCTRICA (SOLO PARA QUIÉNES TIENEN COCINA ELÉCTRICA O DE INDUCCIÓN)

Ítem	Pregunta	Opciones
1	Su cocina es:	Eléctrica () Inducción ()
2	El número de hornilla es:	Eléctrica: 1 () 2 () más de 3 () Inducción: 1 () 2 () más de 3 ()
3	Tiene horno eléctrico:	Sí () No ()
4	Su horario de cocinar los alimentos es:	Desayuno: 6 am – 9 am () 9 am – 10 am () Almuerzo: 11 am – 13 pm () 13 pm – 14 pm () Merienda: 17 pm – 19pm () 19 pm – 21 pm ()
5	Alguna vez cocinando se ha quedado sin energía eléctrica.	Sí () No () Por cuánto tiempo: _____ Horas, minutos

Ítem	Pregunta	Sí	No
6	Considera que el uso de la cocina de inducción ha disminuido sus gastos mensuales de canasta básica.		
8	Su cocina de gas tiene el subsidio promocionado por el Gobierno.		

Ítem	Pregunta	Opciones
7	El mantenimiento de su cocina eléctrica o de inducción es hecho por:	Técnico especializado () Usted personalmente lo hace ()
9	Su cocina eléctrica o de inducción fue adquirida por:	Compra en un almacén de ventas de electrodomésticos () Subsidiada por el Gobierno con el 80 % () *Cedido por algún amigo o familiar ()

DIMENSIÓN 3. INFORMACIÓN AMBIENTAL

a) RESIDUOS DEL HOGAR:

Ítem	Pregunta	Sí	No	Lo vende	
1	Clasifica los desechos en este hogar:				
2	¿De qué desechos realiza la clasificación?:	Orgánico			
		Inorgánico			
3	De los orgánicos, clasifica:	Restos de comidas:			
		Excrementos de animales			
		Papel de cocina, servilletas, pañuelos utilizados			
		Hojas, plantas secas, césped, maleza			
		Aceite quemado comestible			
		Bolsas (en particular aquellas que pueden utilizarse para abono, llamadas 'compostables')			
4	De los inorgánicos, clasifica	Papel			
		Pilas y baterías			
		Envases de vidrio			
		Plástico en general			
		Ropa de fibras sintéticas			
		Chatarra			
5	La clasificación de los desechos orgánicos e inorgánicos es:	Opciones			
		En una funda todos los residuos () En fundas separadas cada residuo orgánico e inorgánico () Recipientes o fundas identificadas cada residuo ()			

b) PAUTAS DE CONSUMO RESPONSABLE

Ítem	Pregunta	Opciones
1	En sus compras prefiere utilizar:	Bolsa de tela o material reutilizable () Bolsa plástica desechable () Bolsa biodegradable ()
2	Al momento de adquirir un equipo eléctrico o electrodoméstico. A usted le interesa:	El precio () La marca () Producto locales () La etiqueta ecológica ()
3	Si usted no clasifica los residuos, una razón sería:	No hay contenedores específicos para cada tipo de residuos () No hay centros de acopios cercanos a su localidad () No sabe cómo clasificar los residuos orgánicos e inorgánicos () No conoce los beneficios para usted y su comunidad el reciclar () No confía en el sistema de recolección () Los chamberos dañan las fundas y desordena todo () No está interesado en reciclar ()

c) CONCIENCIA AMBIENTAL

Ítem	Pregunta	Opciones
2	De los siguientes problemas ambientales ¿Cuáles afectan a su barrio?:	Agua contaminada () Ruido excesivo () Acumulación de basura () Contaminación del aire (smog) () Contaminación visual, publicidad, carteles, cables, antenas, postes

Ítem	Pregunta	Sí	No
1	Ha escuchado en la radio o a visto programas televisivos que fomenten la protección del medio ambiente:		
3	Tiene conocimiento de las leyes que rigen en el País sobre el uso del agua:		
4	Tiene conocimiento de usos de otras energías limpias que se pueden utilizar en su hogar:		
5	Algún miembro de su casa ha participado en programas ambientales escolares, de la comunidad:		
6	Se considera una persona que cuida del medio ambiente:		
7	Estaría interesado en tener una charla sobre la utilización correcta de los desechos del hogar:		
8	Si tuviera conocimiento de dispositivos ahorradores de energía, los usaría		

d) HÁBITOS

Ítem	Pregunta	Opciones
1	La cantidad de alimentos que se prepara en casa es:	Toda () La mayoría () La mitad () Una tercera parte ()
2	Los alimentos que consumen la familia son:	Muchos alimentos frescos () Alimentos frescos y enlatados y preparados () Muchos alimentos enlatados y precocinados () Sólo Verduras y frutas frescas ()
3	Los miembros de esta familia consume alimentos chatarra:	Siempre () A veces ()
4	Los miembros de esta familia cooperan en el reciclaje:	Nunca () No sabe ()
5	La cantidad de desechos del hogar se recolectan:	2 vez a la semana () 3 veces a la semana () Todos los días ()
6	Los miembros de esta casa tiene conocimiento de lo que es tener una conducta sustentable	Siempre () A veces () Nunca () No sabe ()
7	Considera que los miembros de la casa hacen buen uso de la energía	
8	Ahorran energía en este hogar	
9	Al descansar se apagan las luces en el hogar	
10	Mantiene luces encendidas en ciertas horas de la mañana y tarde en habitaciones donde no llega la luz del día	
11	Cree usted que el ahorrar energía en su casa está coadyuvando en la economía de su hogar y del medio ambiente	

12	Conoce que aparatos eléctricos en casa consumen más energía	
13	En esta familia dejan conectados ciertos equipos a la red eléctrica (no considere el refrigerador y aire acondicionado)	
14	En esta familia son conscientes del ahorro de energía	

DIMENSIÓN 5 GASTOS EN ALIMENTOS Y BEBIDAS

Ítem	Pregunta	Opciones
1	En este hogar la persona más informada sobre los gastos en alimento es:	Mamá () Papá ()
2	La entrevista en esta sección se realiza con:	Empleada doméstica ()
3	En este hogar que persona decide sobre los gastos de alimentos	Otro miembro del hogar ()
4	La compra de los alimentos son:	Diario () Semanal () Quincenal () Mensual () Quincenal y mensual ()
5	En este hogar la duración de los alimentos es:	Diario () Semanal () Quincenal () Mensual ()
6	De tener animales, estos se alimentan con:	Residuos de la comida () Comida especial para los animales () Mezcla de resto de comida con alimento exclusivo de animales () No tiene animales, desecha las sobras a la basura ()

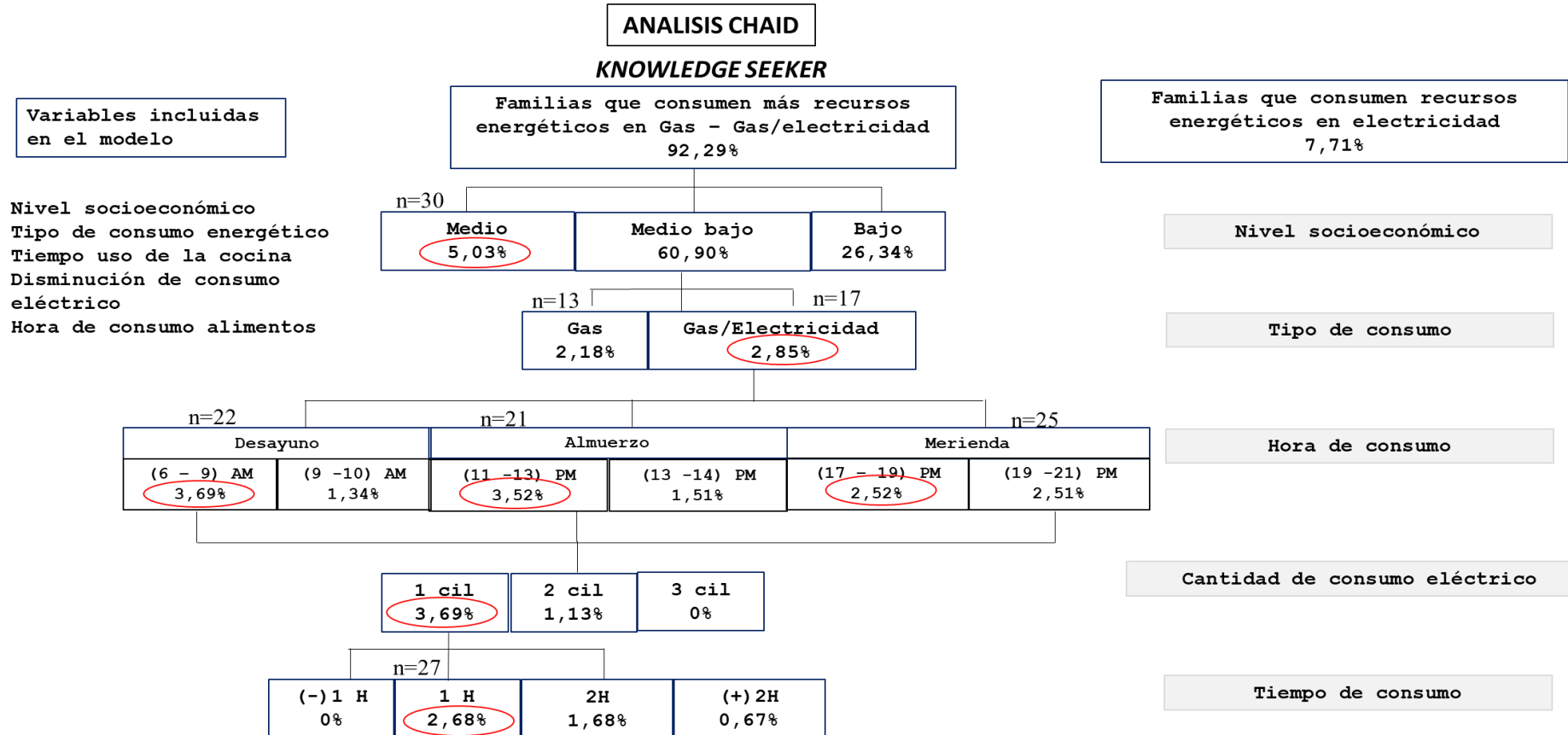
DIMENSIÓN 6 CONOCIMIENTOS DE ENERGIA LIMPIA

Ítem	Pregunta	Sí	No
1	Considera usted que cocinar con una cocina de inducción o eléctrica es más costoso que una a gas.		
2	Tiene conocimiento que en el país no se genera gas de uso doméstico y que se debe comprar fuera este producto, por tal razón existe un subsidio a este servicio		
3	Si el gobierno toma la decisión de quitar el subsidio al consumo de gas doméstico, este cilindro de gas de 15 kilos empleado por usted subiría aproximadamente 23 USD. ¿Seguiría comprando este producto?		
4	Si el gas de uso doméstico tuviese el costo de 23 USD o más, preferiría utilizar energía eléctrica para cocinar		
5	Tiene conocimiento de que los desechos orgánicos que genera su hogar pueden ser utilizados para producir algún tipo de energía		
6	Conoce de algún dispositivo casero que genere gas y pueda sustituir al gas doméstico		
7	Si se construyera un dispositivo que produzca gas para cocinar y que se alimente con los residuos orgánicos ¿Estaría usted dispuesto a utilizar uno en su hogar?		
8	De diseñarse y elaborar este dispositivo adaptado a la cocina de gas, su costo oscilaría entre 200 USD a 600 USD. ¿Estaría usted dispuesto a adquirir uno a este precio? Su inversión única se recuperaría con el ahorro que se genera, a partir de 6 meses si consume 3 cilindros al mes o a partir de año y medio si sólo consume un cilindro al mes. PASE A LA 9		

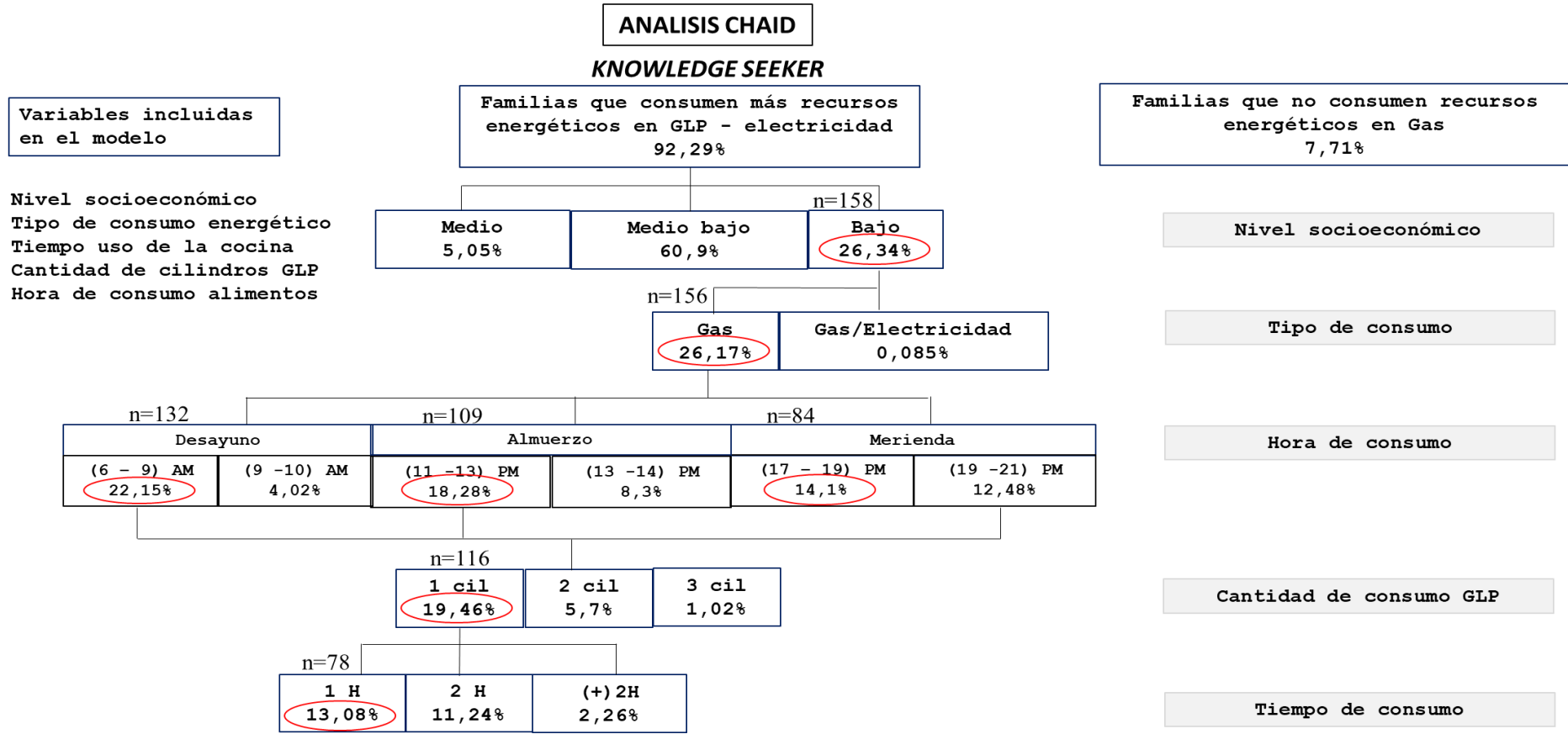
Ítem	Pregunta	Opciones
9	De adquirir este dispositivo generador de gas para cocina, preferiría que este ubicado en	En el cuarto de cocina () En el patio ()
10	Como prefiere las dimensiones de este dispositivo, en cuanto a tamaño	Pequeño () Mediano () Grande () Del tamaño del cilindro de gas de 15 kilos ()

Ítem	Pregunta	Sí	No
11	Estaría usted dispuesto a tener una charla acerca de ¿Cómo se pueden utilizar los residuos orgánicos para generar energía limpia?		

ANEXO 8



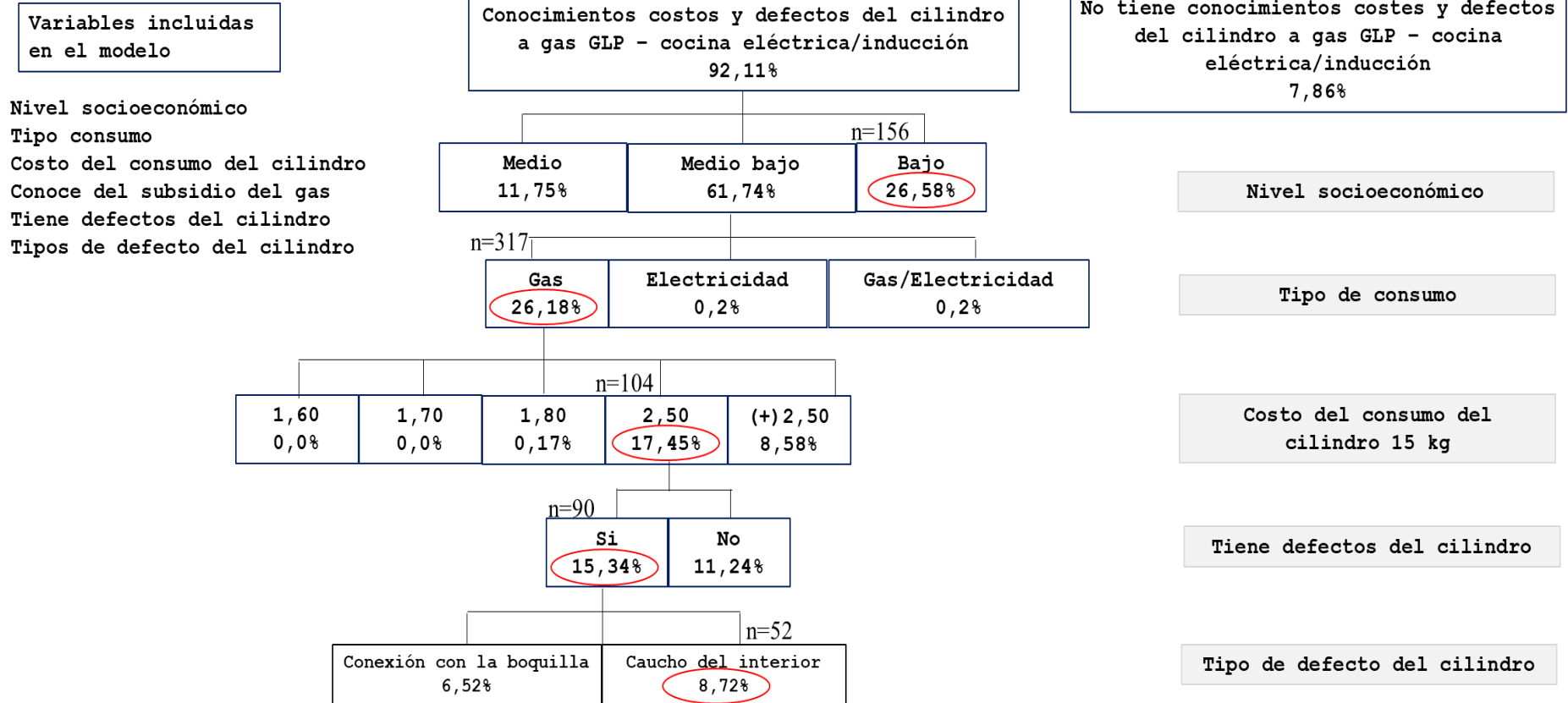
ANEXO 9



ANEXO 10

ANALISIS CHAID

KNOWLEDGE SEEKER



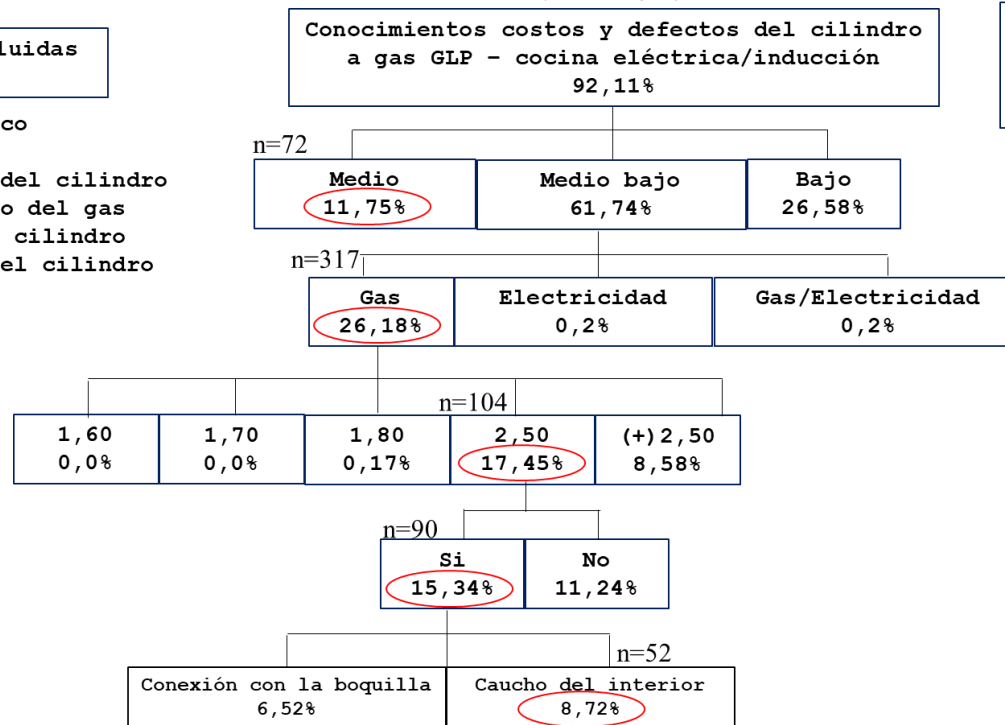
ANEXO 11

ANALISIS CHAID

KNOWLEDGE SEEKER

VARIABLES INCLUIDAS EN EL MODELO

Nivel socioeconómico
 Tipo consumo
 Costo del consumo del cilindro
 Conoce del subsidio del gas
 Tiene defectos del cilindro
 Tipos de defecto del cilindro



No tiene conocimientos costos y defectos del cilindro a gas GLP - cocina eléctrica/inducción
7,86%

Nivel socioeconómico

Tipo de consumo

Costo del consumo del cilindro 15 kg

Tiene defectos del cilindro

Tipo de defecto del cilindro

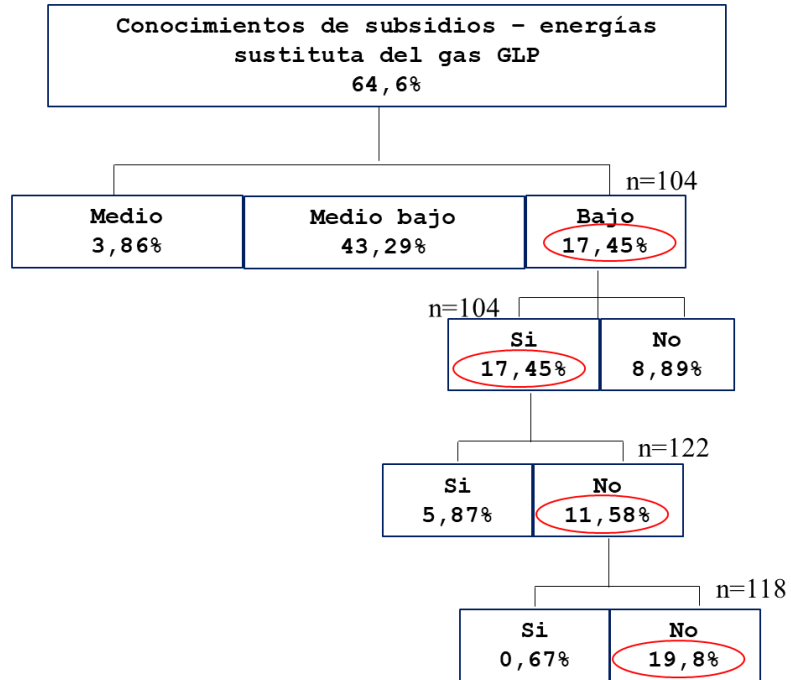
ANEXO 12

ANALISIS CHAID

KNOWLEDGE SEEKER

VARIABLES INCLUIDAS EN EL MODELO

Nivel socioeconómico
 Conoce del subsidio
 Valor del subsidio
 Sustituto del gas GLP



No tiene conocimientos del subsidio - energías sustituta del gas GLP
35,4%

Nivel socioeconómico

Conoce del subsidio

Valor del gas sin subsidio

Conoce sustitutos del gas

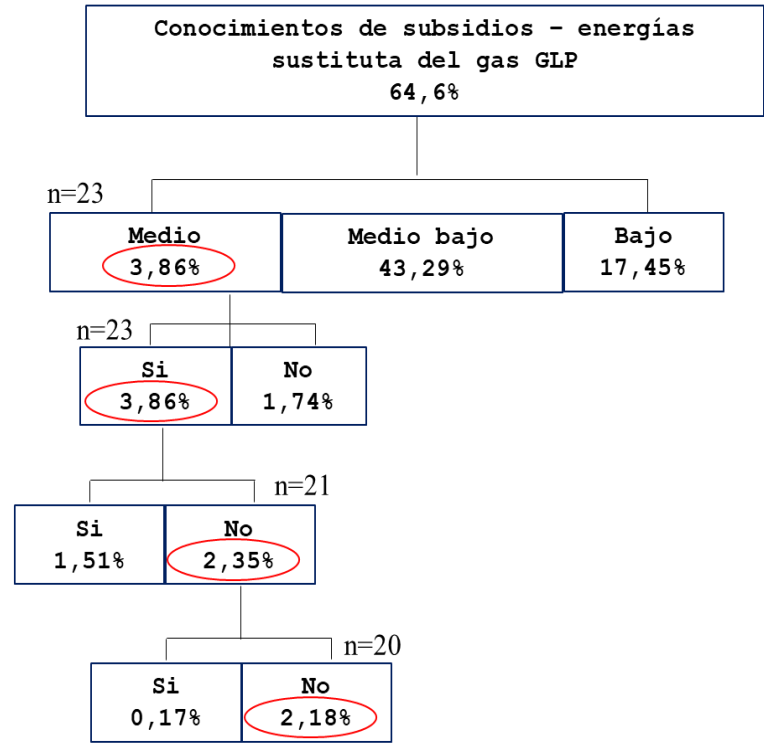
ANEXO 13

ANALISIS CHAID

KNOWLEDGE SEEKER

VARIABLES INCLUIDAS EN EL MODELO

Nivel socioeconómico
 Conoce del subsidio
 Valor del subsidio
 Sustituto del gas GLP



No tiene conocimientos del subsidio - energías sustituta del gas GLP
35,4%

- Nivel socioeconómico
- Conoce del subsidio
- Valor del gas sin subsidio
- Conoce sustitutos del gas

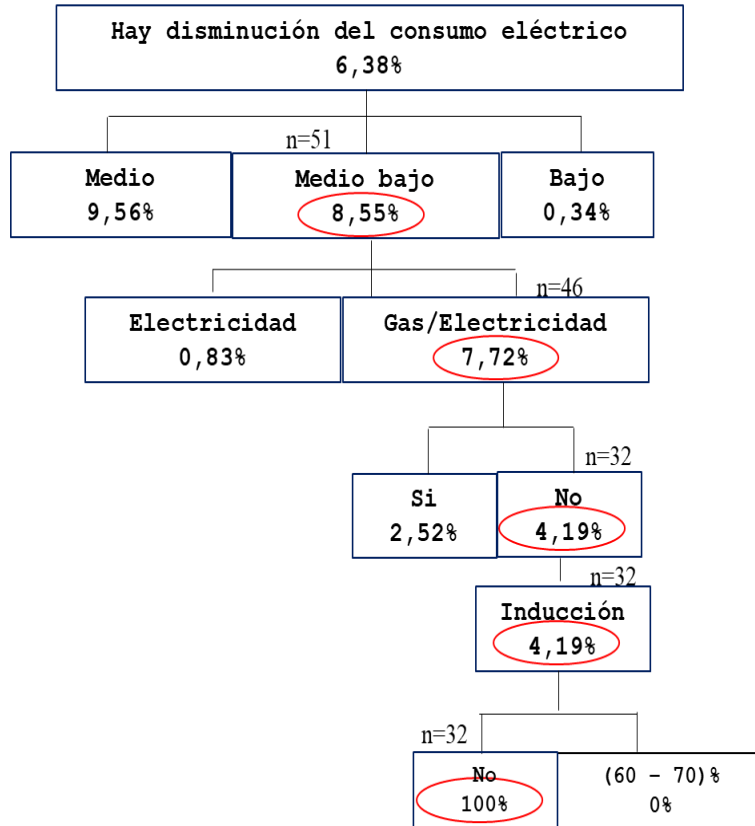
ANEXO 14

ANALISIS CHAID

KNOWLEDGE SEEKER

VARIABLES INCLUIDAS EN EL MODELO

Nivel socioeconómico
 Tipo de consumo energético
 Disminución del costo eléctrico
 Tipo de cocina
 Electrodoméstico subsidiado



No hay disminución del consumo eléctrico
12,08%

Nivel socioeconómico

Tipo de consumo

Disminución costo de consumo

Tipo de cocina

Porcentaje de subsidio

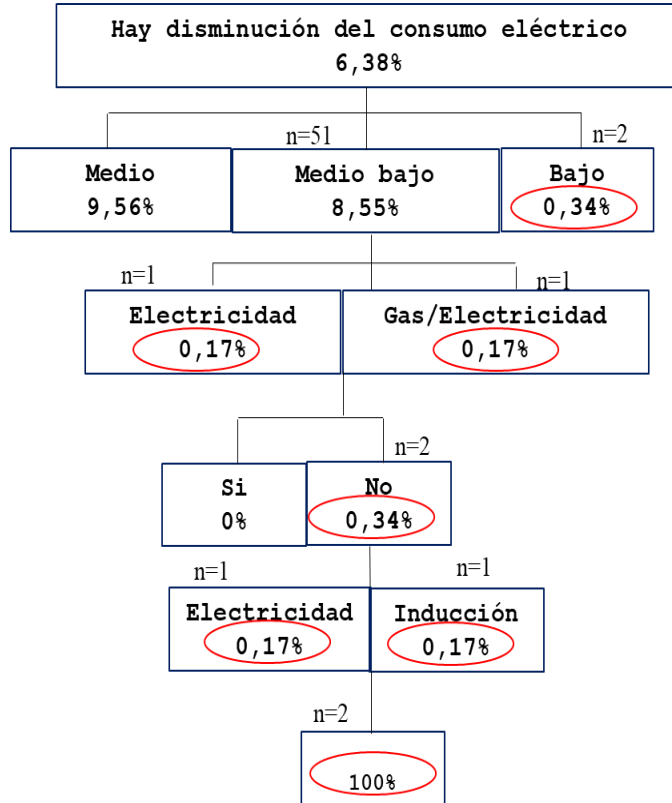
ANEXO 15

ANALISIS CHAID

KNOWLEDGE SEEKER

Variables incluidas en el modelo

Nivel socioeconómico
 Tipo de consumo energético
 Disminución del costo eléctrico
 Tipo de cocina
 Electrodoméstico subsidiado



No hay disminución del consumo eléctrico
12,08%

Nivel socioeconómico

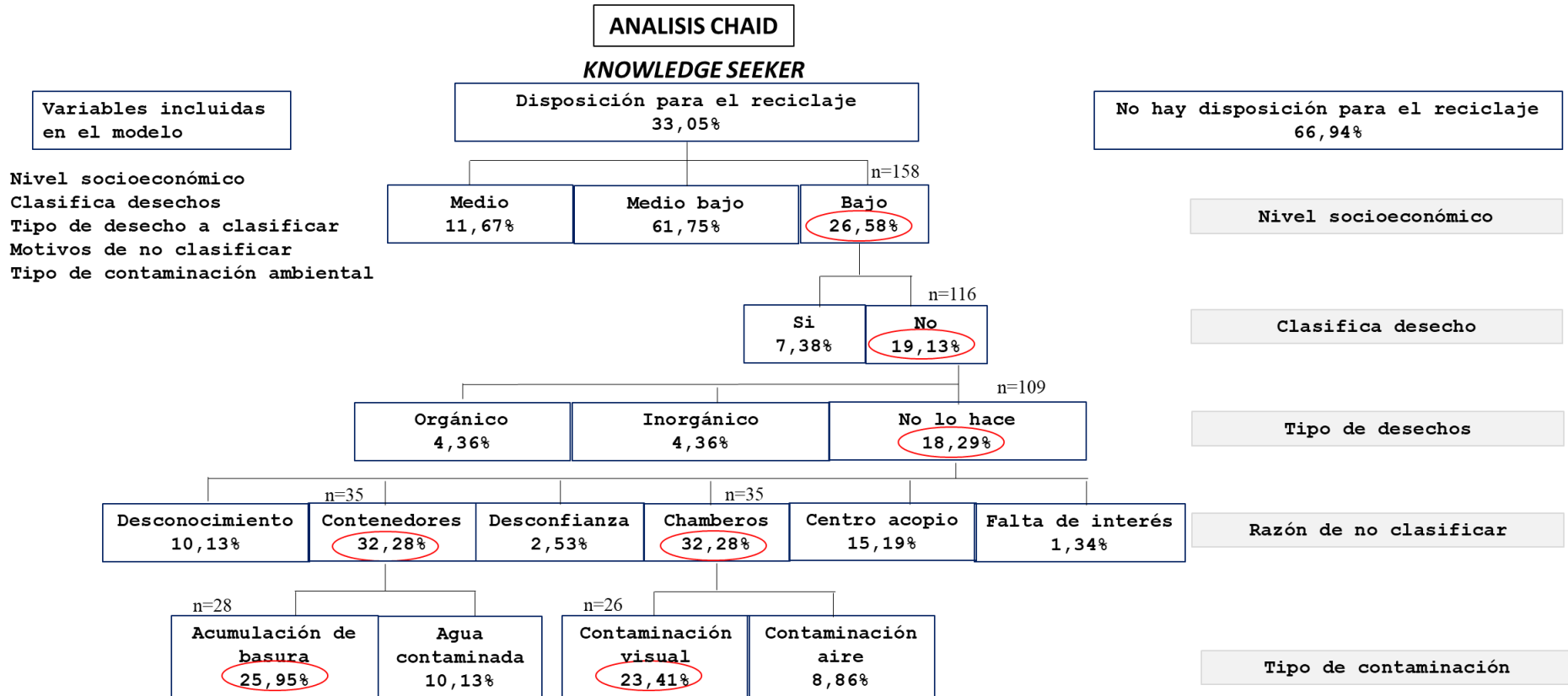
Tipo de consumo

Disminución costo de consumo

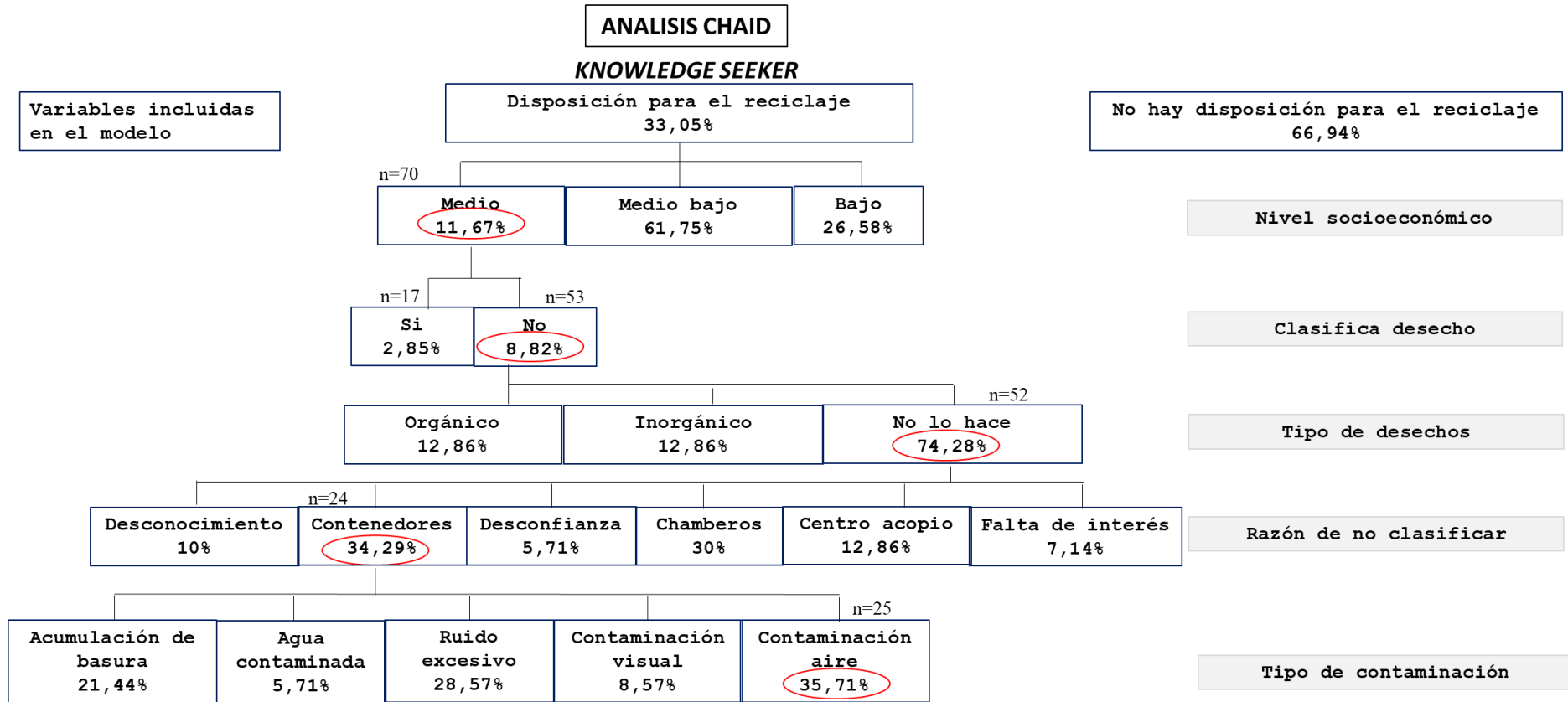
Tipo de cocina

Porcentaje de subsidio

ANEXO 16



ANEXO 17



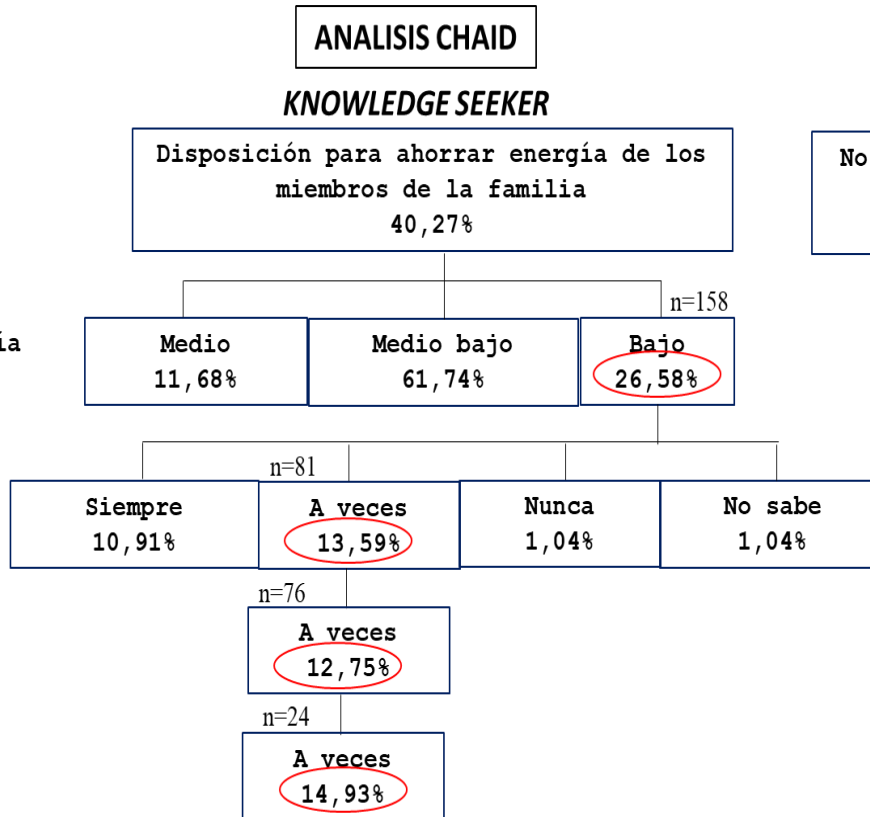
ANEXO 18

ANALISIS CHAID

KNOWLEDGE SEEKER

VARIABLES INCLUIDAS EN EL MODELO

- Nivel socioeconómico
- Uso correcto de la energía eléctrica
- Ahorro de energía eléctrica
- Beneficios de ahorrar energía



No hay disposición para ahorrar energía de los miembros de la familia
59,73%

- Nivel socioeconómico
- Buen uso de la energía eléctrica
- Ahorran de la energía eléctrica
- Beneficios de ahorrar

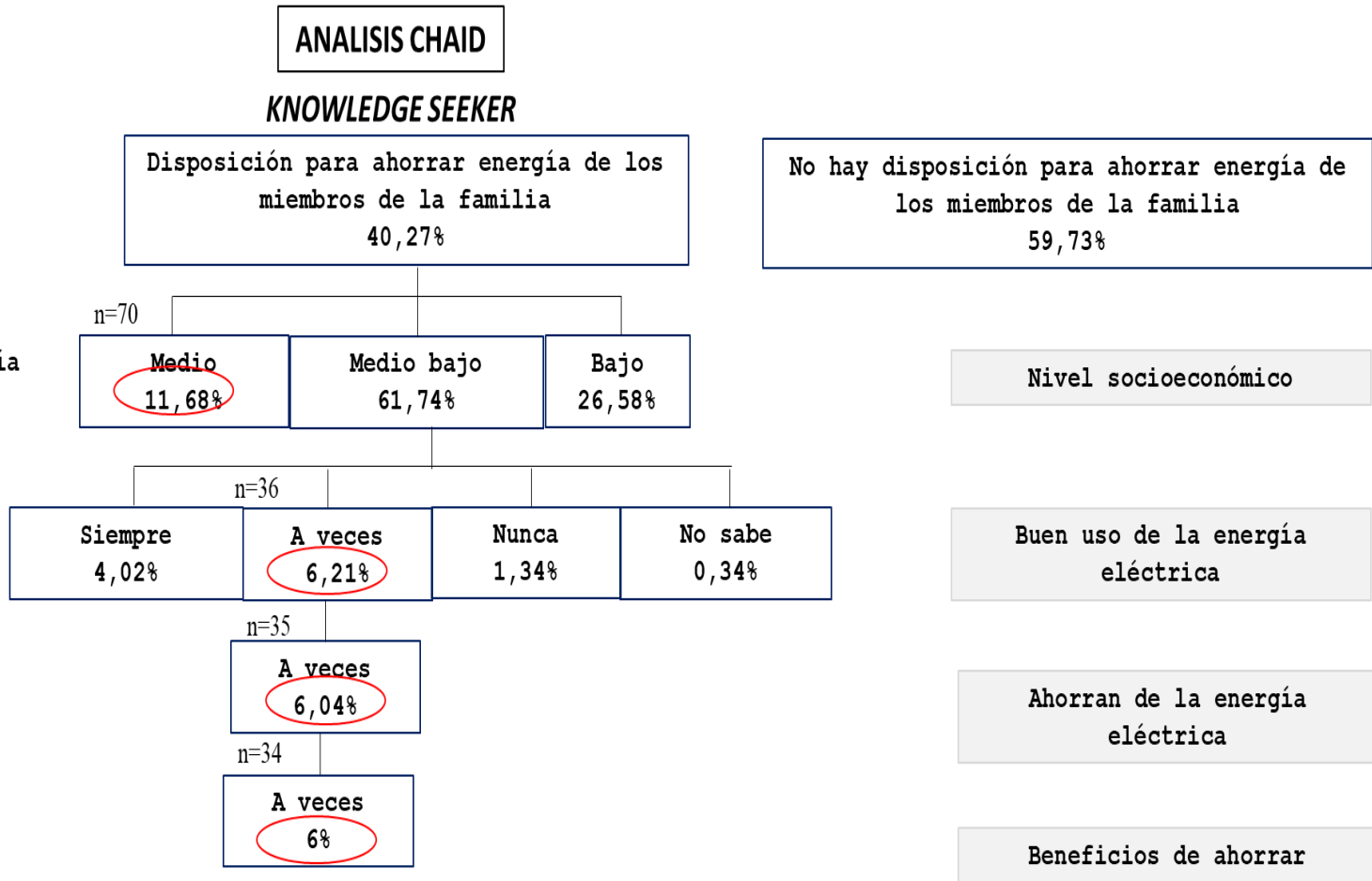
ANEXO 19

ANALISIS CHAID

KNOWLEDGE SEEKER

VARIABLES INCLUIDAS EN EL MODELO

Nivel socioeconómico
 Uso correcto de la energía eléctrica
 Ahorro de energía eléctrica
 Beneficios de ahorrar energía

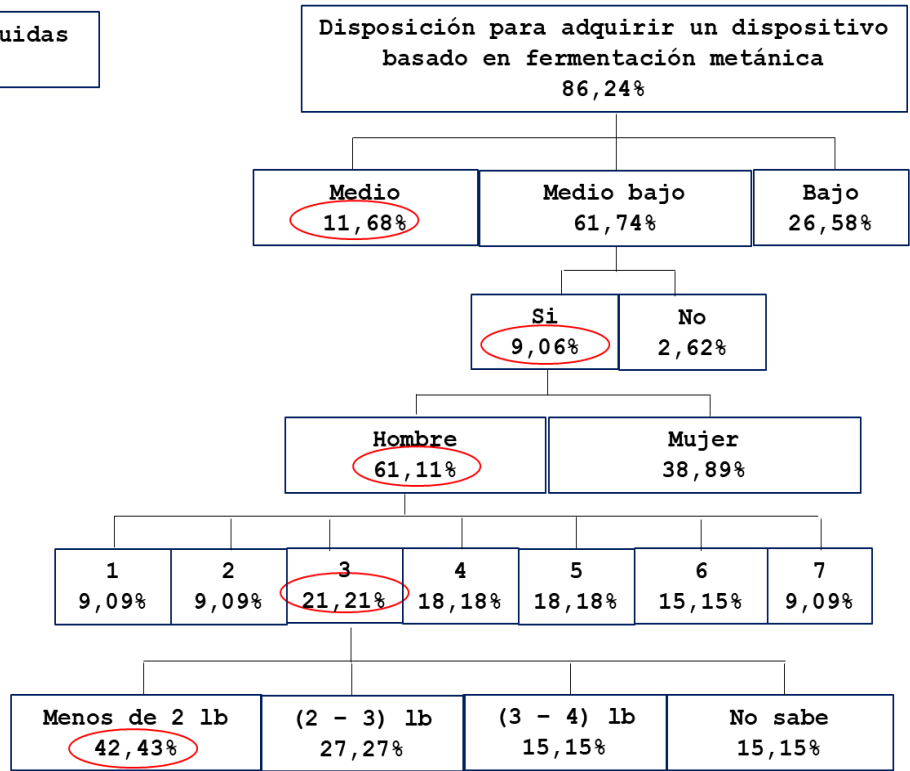


ANEXO 20

ANALISIS CHAID

KNOWLEDGE SEEKER

Variables incluidas en el modelo



No hay disposición para adquirir un dispositivo basado en fermentación metánica
13,76%

Nivel socioeconómico

Interés por la compra

Sexo

Número de miembros del hogar

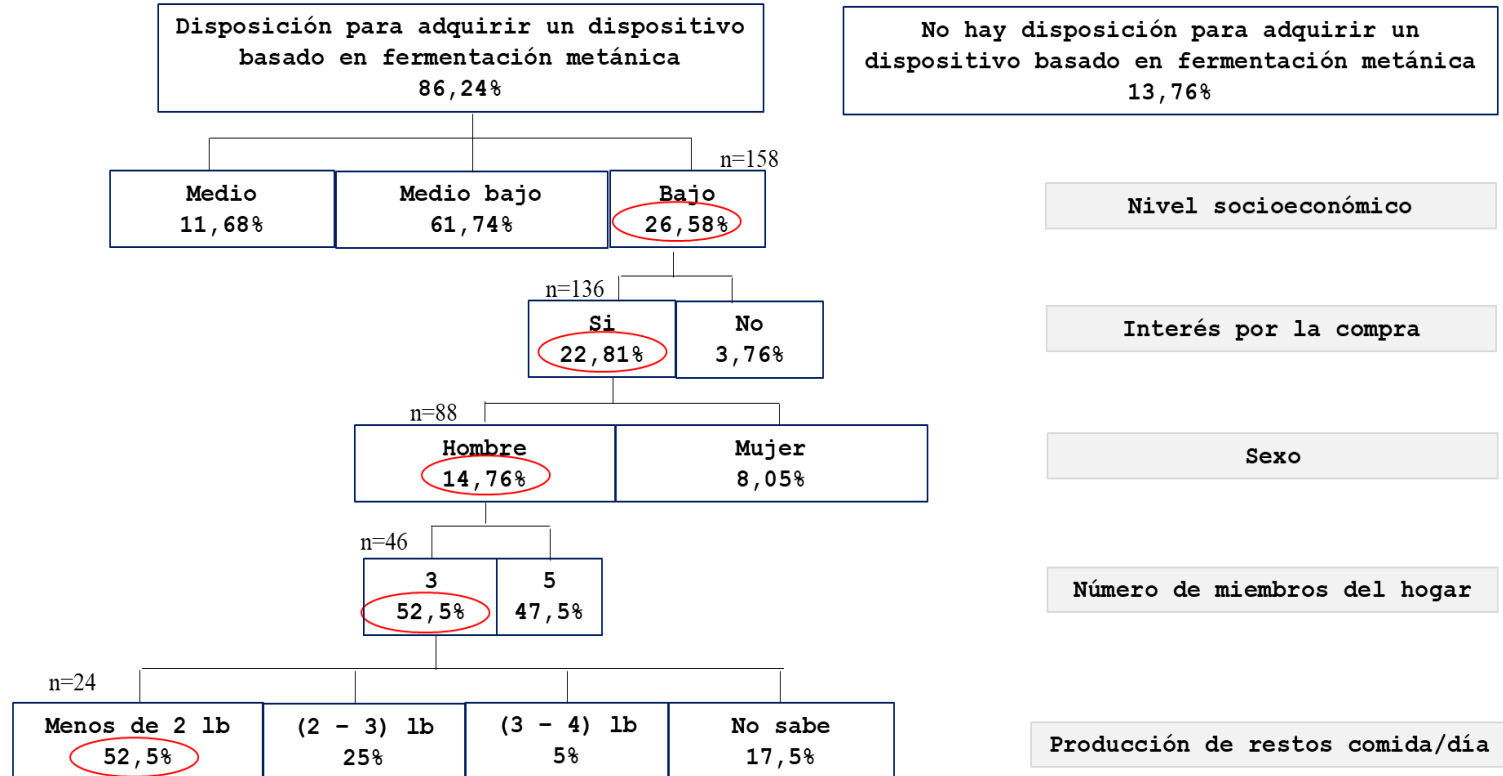
Producción de restos comida/día

ANEXO 21

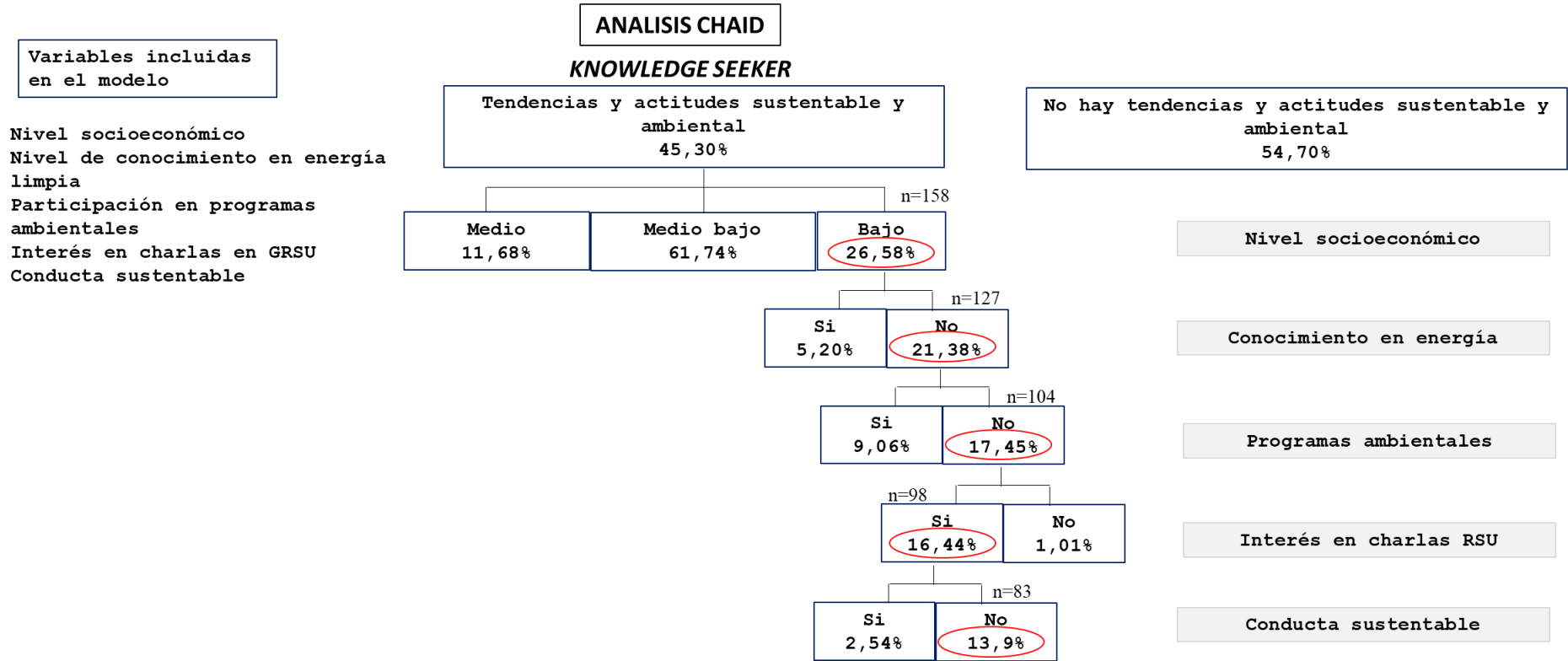
ANALISIS CHAID

KNOWLEDGE SEEKER

VARIABLES INCLUIDAS EN EL MODELO



ANEXO 22



ANEXO 23

ANALISIS CHAID

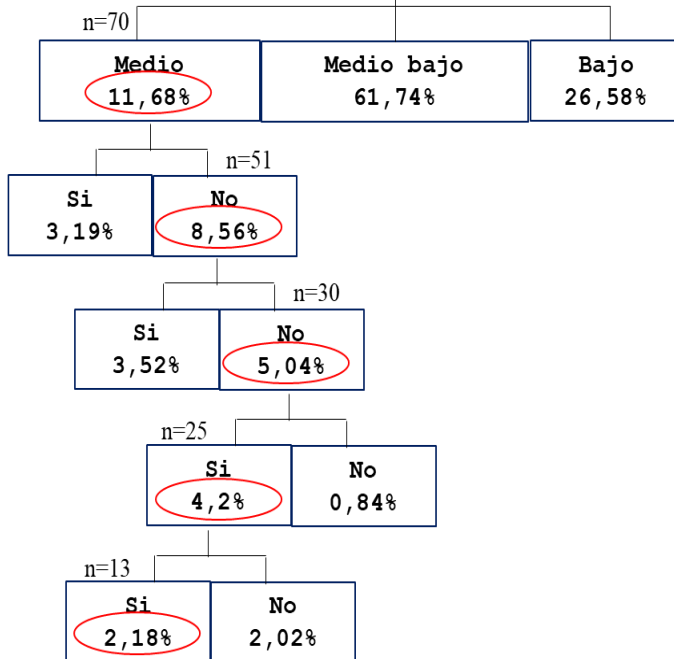
KNOWLEDGE SEEKER

Tendencias y actitudes sustentable y ambiental
45,30%

No hay tendencias y actitudes sustentable y ambiental
54,70%

Variables incluidas en el modelo

Nivel socioeconómico
 Nivel de conocimiento en energía limpia
 Participación en programas ambientales
 Interés en charlas en GRSU
 Conducta sustentable



- Nivel socioeconómico
- Conocimiento en energía
- Programas ambientales
- Interés en charlas RSU
- Conducta sustentable

ANEXO 24

1. CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS:

OBJETIVO: Clasificar los residuos orgánicos para obtener datos cuantitativos del peso de cada desecho por día.

Miembros del hogar: _____

Código: O: orgánico; Plas: plástico; V: vidrio; CPT: cartón, tela, papel, tetra pack, etc.

Semana del ____ al ____ del 20 ____.

LUNES				MARTES				MIÉRCOLES				JUEVES				VIERNES				SABADO				DOMINGO			
O	PLAS	V	C-P-T	O	PLAS	V	C-P-T	O	PLAS	V	C-P-T	O	PLAS	V	C-P-T	O	PLAS	V	C-P-T	O	PLAS	V	C-P-T	O	PLAS	V	C-P-T

Total promedio de "O": _____ kg Total promedio de "Plas": _____ kg Total promedio de "V": _____ kg Total promedio de "CPT": _____ kg

ENLISTE LOS RESIDUOS GENERADOS POR DÍA.

LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
<u>ORGÁNICO:</u>	<u>ORGÁNICO:</u>	<u>ORGÁNICO:</u>	<u>ORGÁNICO:</u>	<u>ORGÁNICO:</u>	<u>ORGÁNICO:</u>	<u>ORGÁNICO:</u>
<u>INORGÁNICO:</u>	<u>INORGÁNICO</u>	<u>INORGÁNICO:</u>	<u>INORGÁNICO</u>	<u>INORGÁNICO</u>	<u>INORGÁNICO</u>	<u>INORGÁNICO</u>
<u>DESECHOS PELIGROSOS:</u>	<u>DESECHOS PELIGROSOS:</u>	<u>DESECHOS PELIGROSOS:</u>	<u>DESECHOS PELIGROSOS:</u>	<u>DESECHOS PELIGROSOS:</u>	<u>DESECHOS PELIGROSOS:</u>	<u>DESECHOS PELIGROSOS</u>

2. CÁLCULO DE LAS DENSIDADES Y COMPOSICIÓN FÍSICA DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS:

OBJETIVO: Determinar la densidad y composición física de los residuos orgánicos para obtener datos cuantitativos del desecho por cada día.

Código: O: orgánico; Plas: plástico; V: vidrio; CPT: cartón, tela, papel, tetra pack, etc.

Semana del ____ al ____ del 20 ____.

1. Calcule el área del volumen del recipiente si este es cilíndrico ($V = \pi R^2 h$); si es cono truncado ($V = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h (R^2 + r^2 + R \cdot r)$).

*Mida la altura del cilindro: _____ cm; diámetro: _____ cm Volumen: _____ cm^3

2. Calcule la densidad de cada desecho.

*Procedimiento: Primero mida cada desecho orgánico y anote su masa según lo que indique la balanza. Luego coloque la funda de manera independiente y tome

como dato la altura de cada desecho. Con esta altura determine el nuevo volumen del desecho y halle la densidad. $\rho = \frac{m}{V} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$

DENSIDAD DE MANERA INDEPENDIENTE DE CADA RESIDUO

LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
<u>Orgánico:</u> <u>Restos de comida:</u> m: [kg] V: [m ³] h: [m] $\rho = \frac{kg}{m^3}$	<u>Orgánico:</u> <u>Restos de comida:</u> m: [kg] V: [m ³] h: [m] $\rho = \frac{kg}{m^3}$	<u>Orgánico:</u> <u>Restos de comida:</u> m: [kg] V: [m ³] h: [m] $\rho = \frac{kg}{m^3}$	<u>Orgánico:</u> <u>Restos de comida:</u> m: [kg] V: [m ³] h: [m] $\rho = \frac{kg}{m^3}$	<u>Orgánico:</u> <u>Restos de comida:</u> m: [kg] V: [m ³] h: [m] $\rho = \frac{kg}{m^3}$	<u>Orgánico:</u> <u>Restos de comida:</u> m: [kg] V: [m ³] h: [m] $\rho = \frac{kg}{m^3}$	<u>Orgánico:</u> <u>Restos de comida:</u> m: [kg] V: [m ³] h: [m] $\rho = \frac{kg}{m^3}$
<u>Plásticos:</u> m: [kg] V: [m ³] h: [m] $\rho = \frac{kg}{m^3}$	<u>Plásticos:</u> m: [kg] V: [m ³] h: [m] $\rho = \frac{kg}{m^3}$	<u>Plásticos:</u> m: [kg] V: [m ³] h: [m] $\rho = \frac{kg}{m^3}$	<u>Plásticos:</u> m: [kg] V: [m ³] h: [m] $\rho = \frac{kg}{m^3}$	<u>Plásticos:</u> m: [kg] V: [m ³] h: [m] $\rho = \frac{kg}{m^3}$	<u>Plásticos:</u> m: [kg] V: [m ³] h: [m] $\rho = \frac{kg}{m^3}$	<u>Plásticos:</u> m: [kg] V: [m ³] h: [m] $\rho = \frac{kg}{m^3}$
<u>CPT:</u> m: [kg] V: [m ³] h: [m] $\rho = \frac{kg}{m^3}$	<u>CPT:</u> m: [kg] V: [m ³] h: [m] $\rho = \frac{kg}{m^3}$	<u>CPT:</u> m: [kg] V: [m ³] h: [m] $\rho = \frac{kg}{m^3}$	<u>CPT:</u> m: [kg] V: [m ³] h: [m] $\rho = \frac{kg}{m^3}$	<u>CPT:</u> m: [kg] V: [m ³] h: [m] $\rho = \frac{kg}{m^3}$	<u>CPT:</u> m: [kg] V: [m ³] h: [m] $\rho = \frac{kg}{m^3}$	<u>CPT:</u> m: [kg] V: [m ³] h: [m] $\rho = \frac{kg}{m^3}$
<u>Masa total [kg]:</u> (Sume todas las masas)	<u>Masa total [kg]:</u> (Sume todas las masas)	<u>Masa total [kg]:</u> (Sume todas las masas)	<u>Masa total [kg]:</u> (Sume todas las masas)	<u>Masa total [kg]:</u> (Sume todas las masas)	<u>Masa total [kg]:</u> (Sume todas las masas)	<u>Masa total [kg]:</u> (Sume todas las masas)

a. DETERMINE LA DENSIDAD TOTAL.

PROCEDIMIENTO:

Ubique todos los desechos dentro del recipiente y una vez lleno mida la nueva altura y calcule el volumen. Tome un peso de una funda medida

y calcule la densidad total $\rho_{Total} = \frac{W_{resto\ de\ comida}}{V}$ $V = \frac{\pi\phi^2}{4} (H_{cilindro} - h_{resto})$

LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
Datos:	Datos:	Datos:	Datos:	Datos:	Datos:	Datos:
V: [m ³]	V: [m ³]	V: [m ³]	V: [m ³]	V: [m ³]	V: [m ³]	V: [m ³]
H _c : [m]	H _c : [m]	H _c : [m]	H _c : [m]	H _c : [m]	H _c : [m]	H _c : [m]
h _r : [m]	h _r : [m]	h _r : [m]	h _r : [m]	h _r : [m]	h _r : [m]	h _r : [m]
ρ _{Total} : [$\frac{kg}{m^3}$]	ρ _{Total} : [$\frac{kg}{m^3}$]	ρ _{Total} : [$\frac{kg}{m^3}$]	ρ _{Total} : [$\frac{kg}{m^3}$]	ρ _{Total} : [$\frac{kg}{m^3}$]	ρ _{Total} : [$\frac{kg}{m^3}$]	ρ _{Total} : [$\frac{kg}{m^3}$]

ρ_{Total promedio semanal}: _____ [$\frac{kg}{m^3}$]

b. DESCOMPOSICIÓN DE LOS DESECHOS:

$$\text{Consumo} = \frac{\text{peso individual del desecho}}{\text{peso total de los desechos}} \times 100\%$$

LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
<u>Orgánico:</u> <u>Restos de comida:</u> m: [kg] V: [m ³] h: [m] $\rho = \frac{kg}{m^3}$	<u>Orgánico:</u> <u>Restos de comida:</u> m: [kg] V: [m ³] h: [m] $\rho = \frac{kg}{m^3}$	<u>Orgánico:</u> <u>Restos de comida:</u> m: [kg] V: [m ³] h: [m] $\rho = \frac{kg}{m^3}$	<u>Orgánico:</u> <u>Restos de comida:</u> m: [kg] V: [m ³] h: [m] $\rho = \frac{kg}{m^3}$	<u>Orgánico:</u> <u>Restos de comida:</u> m: [kg] V: [m ³] h: [m] $\rho = \frac{kg}{m^3}$	<u>Orgánico:</u> <u>Restos de comida:</u> m: [kg] V: [m ³] h: [m] $\rho = \frac{kg}{m^3}$	<u>Orgánico:</u> <u>Restos de comida:</u> m: [kg] V: [m ³] h: [m] $\rho = \frac{kg}{m^3}$
<u>Plásticos:</u> m: [kg] V: [m ³] h: [m] $\rho = \frac{kg}{m^3}$	<u>Plásticos:</u> m: [kg] V: [m ³] h: [m] $\rho = \frac{kg}{m^3}$	<u>Plásticos:</u> m: [kg] V: [m ³] h: [m] $\rho = \frac{kg}{m^3}$	<u>Plásticos:</u> m: [kg] V: [m ³] h: [m] $\rho = \frac{kg}{m^3}$	<u>Plásticos:</u> m: [kg] V: [m ³] h: [m] $\rho = \frac{kg}{m^3}$	<u>Plásticos:</u> m: [kg] V: [m ³] h: [m] $\rho = \frac{kg}{m^3}$	<u>Plásticos:</u> m: [kg] V: [m ³] h: [m] $\rho = \frac{kg}{m^3}$
<u>CPT:</u> m: [kg] V: [m ³] h: [m] $\rho = \frac{kg}{m^3}$	<u>CPT:</u> m: [kg] V: [m ³] h: [m] $\rho = \frac{kg}{m^3}$	<u>CPT:</u> m: [kg] V: [m ³] h: [m] $\rho = \frac{kg}{m^3}$	<u>CPT:</u> m: [kg] V: [m ³] h: [m] $\rho = \frac{kg}{m^3}$	<u>CPT:</u> m: [kg] V: [m ³] h: [m] $\rho = \frac{kg}{m^3}$	<u>CPT:</u> m: [kg] V: [m ³] h: [m] $\rho = \frac{kg}{m^3}$	<u>CPT:</u> m: [kg] V: [m ³] h: [m] $\rho = \frac{kg}{m^3}$

Promedio de la componente semanal: _____

ANEXO 25

CASCARAS DE FRUTAS		
Cáscara	Frecuencia	Porcentaje
Aguacate	3492	6,58
Chirimoya	5432	10,23
Ciruelas	272	0,51
Coco	656	1,24
Durazno	520	0,98
Frutas Varias	2716	5,12
Frutilla	534	1,01
Granadilla	388	0,73
Guanaguana	233	0,44
Guayaba	931	1,75
Guineo	4656	8,77
Kiwi	457	0,86
Limón	5044	9,50
Maduro	3880	7,31
Mamey	123	0,23
Mandarina	3725	7,02
Mango	466	0,88
Melón	2716	5,12
Naranja	388	0,73
Naranjilla	1940	3,65
Papaya	3104	5,85
Pera	212	0,40
Piña	1397	2,63
Reyna Claudia	101	0,19
Sandía	1552	2,92
Tomate de árbol	3725	7,02
Uva	87	0,16
Verde	4346	8,19
Total	53093	100

ANEXO 26

Cáscaras de vegetales		
Vegetales	Frecuencia	Porcentaje
Acelga	388	0,97
Ajo	543	1,35
Apio	23	0,06
Brócoli	854	2,13
Cebolla Blanca	776	1,93
Cebolla Colorada	5432	13,52
Choclo	2328	5,80
Col	931	2,32
Coliflor	1164	2,90
Espinaca	98	0,24
Frejoles	345	0,86
Habas	434	1,08
Hierbita	1940	4,83
Nabo	145	0,36
Papa	4656	11,59
Perejil	698	1,74
Pimiento	3104	7,73
Veteraba	776	1,93
Zanahoria	3011	7,50
Zanahoria Blanca	504	1,25
Zapallo	1552	3,86
Verduras varias	2949	7,34
Yuca	1164	2,90
Tomate	5044	12,56
Pepino	691	1,72
Lechuga	621	1,55
Total	40171	100

ANEXO 27

Restos de comida		
Biorresiduos	Frecuencia	Porcentaje (%)
Arroz	5432	27,04
Atún	194	0,97
Comida dañada	116	0,58
Resto de comida	5432	27,04
Resto de sopa/caldo	690	3,44
Flores	155	0,77
Plantas	47	0,23
Huevos	1940	9,66
Resto de Pan	109	0,54
Harina	78	0,39
Maní	19	0,09
Embutidos	117	0,58
Manzanilla	186	0,93
Aceite quemado	5238	26,08
Restos de Hierbas	124	0,62
Resto de Menestras	48	0,24
Restos de Fideos	33	0,16
Semillas varias	35	0,17
Bolsas de té	94	0,47
Total	20087	100

ANEXO 28

Restos de carnes varios		
Biorresiduos	Frecuencia	Porcentaje (%)
Grasa-Cuero Res	349	12,31
Grasa Chancho	214	7,55
Cuero Pollo	388	13,68
Pescado	123	4,34
Hueso Pescado	123	4,34
Huesos Pollo	456	16,08
Camarones	970	34,20
Otros mariscos	213	7,51
Total	2836	100

ANEXO 29

Materia orgánica	GRUPO 1							
Hogar	94,63 (g)	Materia seca (105°C)	%Humedad	%ST (105°C)	%SVT (500°C)	W(500°C)	Cenizas (%)	Volumen gas m ³ CH ₄ /kg desecho
1	19,743	74,887	25,113	13,727	6,753	11,386	0,3447208	
2	20,413	74,217	25,783	13,604	7,540	12,179	0,3507543	
3	14,333	80,297	19,703	14,718	0,405	4,985	0,2900011	
4	17,250	77,380	22,620	14,184	3,828	8,436	0,3208365	
5	16,784	77,846	22,154	14,269	3,281	7,885	0,3161192	
6	23,340	71,290	28,710	13,067	10,974	15,643	0,3751667	
7	18,250	76,380	23,620	14,000	5,001	9,620	0,3306907	
8	14,939	79,691	20,309	14,607	1,116	5,701	0,2966573	
9	16,500	78,130	21,870	14,321	2,948	7,549	0,3132053	
10	18,265	76,365	23,635	13,998	5,019	9,637	0,3308342	
11	22,769	71,861	28,139	13,172	10,305	14,967	0,3706538	
12	22,769	71,861	28,139	13,172	10,305	14,967	0,3706538	
13	15,559	79,071	20,929	14,494	1,843	6,435	0,3033378	
14	11,378	83,252	16,748	15,260	3,063	1,488	0,2555733	
15	17,778	76,852	23,148	14,087	4,447	9,061	0,3260830	
16	16,640	77,990	22,010	14,296	3,112	7,714	0,3146454	
17	25,333	69,297	30,703	12,702	13,313	18,001	0,3899962	
18	16,333	78,297	21,703	14,352	2,752	7,352	0,3114814	
19	20,551	74,079	25,921	13,579	7,702	12,342	0,3519740	
20	10,083	84,547	15,453	15,497	4,582	0,044	0,2394865	
21	22,278	72,352	27,648	13,262	9,728	14,386	0,3666693	
22	25,333	69,297	30,703	12,702	13,313	18,001	0,3899962	
23	29,527	65,103	34,897	11,933	18,234	22,963	0,4164373	
24	26,778	67,852	32,148	12,437	15,008	19,710	0,3998320	
25	23,944	70,686	29,314	12,957	11,684	16,358	0,3798174	
26	18,000	76,630	23,370	14,046	4,708	9,324	0,3282615	
27	16,349	78,281	21,719	14,349	2,771	7,370	0,3116451	
28	11,038	83,592	16,408	15,322	3,462	1,085	0,2514074	
29	14,724	79,906	20,094	14,647	0,864	5,447	0,2943110	
30	24,389	70,241	29,759	12,875	12,205	16,884	0,3831515	
31	19,717	74,913	25,087	13,732	6,722	11,355	0,3444804	
32	6,525	88,105	11,895	16,150	8,757	4,255	0,1921000	
33	18,056	76,574	23,426	14,036	4,773	9,389	0,3288033	
34	19,333	75,297	24,703	13,802	6,273	10,901	0,3409524	
35	17,667	76,963	23,037	14,107	4,317	8,929	0,3249870	
36	19,994	74,636	25,364	13,681	7,048	11,683	0,3469983	
37	26,072	68,558	31,442	12,567	14,180	18,875	0,3951208	
38	27,188	67,443	32,558	12,362	15,489	20,195	0,4024827	
39	18,833	75,797	24,203	13,894	5,686	10,310	0,3362697	
40	18,298	76,332	23,668	13,992	5,058	9,677	0,3311589	
41	19,417	75,213	24,787	13,787	6,370	11,000	0,3417240	
42	15,988	78,643	21,358	14,415	2,346	6,942	0,3078720	
43	17,917	76,713	23,287	14,062	4,610	9,225	0,3274467	
44	17,917	76,713	23,287	14,062	4,610	9,225	0,3274467	
45	15,708	78,922	21,078	14,466	2,019	6,612	0,3049264	
46	19,306	75,324	24,676	13,807	6,241	10,869	0,3407011	
47	19,667	74,963	25,037	13,741	6,664	11,296	0,3440233	
48	16,292	78,338	21,662	14,359	2,703	7,302	0,3110489	
49	17,042	77,588	22,412	14,222	3,583	8,190	0,3187374	
50	21,616	73,014	26,986	13,383	8,951	13,602	0,3611648	
51	27,500	67,130	32,870	12,305	15,856	20,565	0,4044630	
52	25,769	68,861	31,139	12,622	13,824	18,516	0,3930416	
53	26,583	68,047	31,953	12,473	14,780	19,480	0,3985525	
54	14,375	80,255	19,745	14,711	0,454	5,034	0,2904636	
55	34,125	60,505	39,495	11,091	23,630	28,404	0,4380219	
56	15,417	79,213	20,787	14,520	1,677	6,267	0,3018183	
57	19,042	75,588	24,412	13,855	5,930	10,556	0,3382320	
58	20,958	73,672	26,328	13,504	8,179	12,824	0,3555382	
59	16,771	77,859	22,141	14,272	3,266	7,869	0,3159848	
60	24,772	69,858	30,142	12,805	12,655	17,337	0,3859681	
61	23,208	71,422	28,578	13,092	10,820	15,487	0,3741359	
62	17,042	77,588	22,412	14,222	3,583	8,190	0,3187374	
63	19,892	74,738	25,262	13,700	6,928	11,562	0,3460731	
64	22,000	72,630	27,370	13,313	9,402	14,057	0,3643790	
65	15,158	79,473	20,528	14,567	1,372	5,960	0,2990304	
66	15,917	78,713	21,287	14,428	2,263	6,859	0,3071273	
67	17,613	77,018	22,983	14,117	4,253	8,865	0,3244510	
PROM	19,404	75,226	24,774	13,789	6,948	11,113	0,3374457	
DESV	4,800	4,800	4,800	0,880	4,870	5,421	0,043	
VAR	23,040	23,040	23,040	0,774	23,718	29,382	0,002	

ANEXO 30

Materia orgánica	95,23(g)	GRUPO 2					
Hogar	Materia seca (105°C)	%Humedad	%ST (105°C)	%SVT (500°C)	W(550°C)	Cenizas (%)	Volumen gas m ³ CH ₄ /kg desecho
1	14,125	81,105	18,895	14,867	0,032	4,028	0,280903396
2	17,250	77,980	22,020	14,294	3,638	7,726	0,314748023
3	39,208	56,022	43,978	10,269	29,429	33,710	0,451603456
4	20,875	74,355	25,645	13,629	7,896	12,016	0,349522668
5	53,250	41,980	58,020	7,695	45,922	50,325	0,446460071
6	28,804	66,426	33,574	12,176	17,209	21,398	0,408794193
7	31,567	63,663	36,337	11,669	20,454	24,668	0,424032419
8	24,638	70,592	29,408	12,939	12,316	16,469	0,380526422
9	25,375	69,855	30,145	12,804	13,181	17,341	0,385989286
10	26,667	68,563	31,437	12,568	14,698	18,869	0,395085307
11	19,979	75,251	24,749	13,793	6,844	10,956	0,34137708
12	9,975	85,255	14,745	15,627	4,907	0,882	0,230423676
13	18,742	76,488	23,512	14,020	5,390	9,491	0,329640891
14	23,333	71,897	28,103	13,179	10,783	14,925	0,370364247
15	24,207	71,023	28,977	13,018	11,810	15,959	0,377238899
16	27,188	68,043	31,958	12,472	15,310	19,485	0,39858002
17	28,833	66,397	33,603	12,171	17,243	21,433	0,408969671
18	18,298	76,932	23,068	14,102	4,870	8,967	0,325301055
19	49,417	45,813	54,187	8,398	41,420	45,789	0,455037085
20	15,988	79,243	20,758	14,525	2,155	6,232	0,301505806
21	17,917	77,313	22,687	14,172	4,421	8,515	0,321504868
22	37,917	57,313	42,687	10,506	27,912	32,181	0,448446228
23	15,708	79,522	20,478	14,576	1,827	5,902	0,29849877
24	9,306	85,924	14,076	15,750	5,692	1,674	0,221698451
25	9,667	85,563	14,437	15,684	5,269	1,247	0,226421201
26	36,292	58,938	41,062	10,803	26,004	30,258	0,443605466
27	17,042	78,188	21,812	14,332	3,393	7,480	0,3126303094
28	41,616	53,614	46,386	9,827	32,257	36,558	0,455855699
29	27,500	67,730	32,270	12,415	15,677	19,855	0,400629113
30	25,769	69,461	30,539	12,732	13,644	17,807	0,388826912
31	26,583	68,647	31,353	12,583	14,601	18,770	0,394516924
32	14,375	80,855	19,145	14,821	0,261	4,324	0,283742713
33	14,125	81,105	18,895	14,867	0,032	4,028	0,280903396
34	5,417	89,813	10,187	16,463	10,261	6,276	0,167700893
35	19,042	76,188	23,812	13,965	5,742	9,846	0,33253758
36	20,958	74,272	25,728	13,614	7,994	12,114	0,35026544
37	6,771	88,459	11,541	16,215	8,670	4,674	0,187129595
38	24,772	70,458	29,542	12,915	12,473	16,627	0,381534119
39	23,208	72,022	27,978	13,202	10,636	14,777	0,369357968
40	57,042	38,188	61,812	7,000	50,376	54,812	0,432676814
41	19,892	75,338	24,662	13,810	6,741	10,852	0,340565693
42	12,000	83,230	16,770	15,256	2,528	1,514	0,255844109
43	15,158	80,073	19,928	14,677	1,180	5,250	0,292481682
44	15,917	79,313	20,687	14,538	2,072	6,149	0,300745532
45	17,613	77,618	22,383	14,227	4,064	8,155	0,318442268
46	44,125	51,105	48,895	9,368	35,204	39,527	0,458026186
47	7,250	87,980	12,020	16,127	8,107	4,107	0,193843343
48	19,208	76,022	23,978	13,935	5,938	10,044	0,334132596
49	20,875	74,355	25,645	13,629	7,896	12,016	0,349522668
50	23,250	71,980	28,020	13,194	10,685	14,826	0,369694031
51	8,804	86,426	13,574	15,842	6,282	2,268	0,215039983
52	11,567	83,663	16,337	15,335	3,037	1,002	0,250535914
53	14,638	80,592	19,408	14,772	0,570	4,636	0,286706735
54	15,375	79,855	20,145	14,637	1,436	5,508	0,294870856
55	16,667	78,563	21,437	14,401	2,953	7,036	0,308702127
56	19,979	75,251	24,749	13,793	6,844	10,956	0,34137708
57	8,675	86,555	13,445	15,866	6,434	2,421	0,213312071
58	18,742	76,488	23,512	14,020	5,390	9,491	0,329640891
59	13,333	81,897	18,103	15,012	0,962	3,092	0,271761067
60	24,207	71,023	28,977	13,018	11,810	15,959	0,377238899
61	23,90	71,327	28,673	13,074	11,453	15,599	0,374880264
62	17,50	77,730	22,270	14,248	3,932	8,022	0,317300933
63	15,92	79,310	20,690	14,538	2,076	6,152	0,300781351
PROMEDIO	21,799	73,431	26,569	13,460	10,956	13,857	0,3360
DESV	10,939	10,939	10,939	2,005	11,183	12,127	0,073116
VAR	119,657	119,657	119,657	4,020	125,064	147,060	0,0053460

ANEXO 31

Materia orgánica	GRUPO 3							
Hogar	92,37 (g)	Materia seca (105°C)	%Humedad	%ST (105°C)	%SVT (500°C)	W(550°C)	Cenizas (%)	Volumen gas m ³ CH ₄ /kg desecho
1	21,896	70,474	29,526	12,918	9,964	16,608	0,381412	
2	28,292	64,078	35,922	11,746	17,442	24,176	0,421920	
3	17,371	74,999	25,001	13,747	4,672	11,253	0,343695	
4	28,625	63,745	36,255	11,684	17,832	24,571	0,423620	
5	23,008	69,362	30,638	12,714	11,264	17,924	0,389536	
6	16,042	76,328	23,672	13,991	3,118	9,681	0,331190	
7	19,000	73,370	26,630	13,449	6,577	13,181	0,358139	
8	13,417	78,953	21,047	14,472	0,049	6,575	0,304590	
9	12,890	79,480	20,520	14,569	0,568	5,951	0,298945	
10	11,583	80,787	19,213	14,808	2,095	4,405	0,284515	
11	20,667	71,703	28,297	13,143	8,526	15,153	0,371909	
12	14,375	77,995	22,005	14,296	1,169	7,709	0,314594	
13	19,738	72,632	27,368	13,313	7,441	14,055	0,364365	
14	29,417	62,953	37,047	11,539	18,758	25,507	0,427494	
15	20,676	71,694	28,306	13,141	8,537	15,165	0,371986	
16	11,917	80,453	19,547	14,747	1,705	4,800	0,288257	
17	17,125	75,245	24,755	13,792	4,385	10,963	0,341431	
18	35,208	57,162	42,838	10,478	25,530	32,361	0,448849	
19	35,500	56,870	43,130	10,424	25,871	32,706	0,449599	
20	20,667	71,703	28,297	13,143	8,526	15,153	0,371909	
21	27,333	65,037	34,963	11,921	16,322	23,042	0,416806	
22	36,246	56,124	43,876	10,288	26,743	33,588	0,451375	
23	56,350	36,020	63,980	6,602	50,251	57,378	0,422426	
24	36,083	56,287	43,713	10,317	26,553	33,396	0,451006	
25	38,542	53,828	46,172	9,867	29,428	36,305	0,455564	
26	17,379	74,991	25,009	13,746	4,682	11,263	0,343771	
27	34,250	58,120	41,880	10,653	24,409	31,227	0,446164	
28	15,392	76,978	23,022	14,110	2,359	8,912	0,324843	
29	14,792	77,578	22,422	14,220	1,657	8,202	0,318839	
30	15,738	76,633	23,368	14,047	2,763	9,321	0,328237	
31	42,458	49,912	50,088	9,149	34,008	40,940	0,458249	
32	14,500	77,870	22,130	14,274	1,316	7,856	0,315874	
33	40,625	51,745	48,255	9,485	31,864	38,770	0,457692	
34	27,792	64,578	35,422	11,837	16,858	23,584	0,419294	
35	23,708	68,662	31,338	12,586	12,083	18,753	0,394414	
36	23,700	68,670	31,330	12,587	12,073	18,743	0,394357	
37	32,468	59,902	40,098	10,980	22,326	29,118	0,440277	
38	25,233	67,137	32,863	12,306	13,866	20,557	0,404422	
39	46,708	45,662	54,338	8,370	38,977	45,969	0,454800	
40	28,417	63,953	36,047	11,723	17,588	24,324	0,422562	
41	14,900	77,470	22,530	14,200	1,783	8,330	0,319932	
42	11,908	80,462	19,538	14,749	1,715	4,790	0,288164	
43	27,589	64,781	35,219	11,874	16,620	23,344	0,418202	
44	24,625	67,745	32,255	12,418	13,155	19,837	0,400532	
45	23,958	68,412	31,588	12,540	12,375	19,048	0,396110	
46	19,613	72,757	27,243	13,336	7,295	13,907	0,363325	
47	13,667	78,703	21,297	14,426	0,341	6,870	0,307233	
48	19,750	72,620	27,380	13,311	7,454	14,069	0,364462	
49	39,417	52,953	47,047	9,706	30,451	37,340	0,456651	
50	23,336	69,034	30,966	12,654	11,647	18,312	0,391841	
51	28,333	64,037	35,963	11,738	17,491	24,225	0,422135	
52	36,851	55,519	44,481	10,177	27,451	34,305	0,452667	
PROM	24,982	67,388	32,612	12,352	13,806	20,260	0,384427	
DESV	10,118	10,118	10,118	1,855	11,552	11,973	0,054563	
VAR	102,380	102,380	102,380	3,440	133,452	143,352	0,002977	

ANEXO 32

Materia orgánica	93,45 (g)	GRUPO 4					
Hogar	Materia seca (105°C)	%Humedad	%ST (105°C)	%SVT (500°C)	W(550°C)	Cenizas (%)	Volumen gas m ³ CH ₄ /kg desecho
1	19,790	73,661	26,340	13,502	7,172	12,838	0,35563513
2	21,582	71,868	28,132	13,173	9,272	14,959	0,370595994
3	37,556	55,894	44,106	10,245	27,981	33,860	0,451881338
4	28,377	65,073	34,927	11,928	17,230	22,999	0,416603254
5	25,889	67,561	32,439	12,384	14,316	20,055	0,401721632
6	27,722	65,728	34,272	12,048	16,463	22,224	0,412908363
7	22,748	70,702	29,298	12,960	10,637	16,338	0,379690918
8	15,111	78,339	21,661	14,360	1,692	7,302	0,311043122
9	35,778	57,672	42,328	10,571	25,899	31,756	0,447460413
10	27,518	65,932	34,068	12,085	16,225	21,983	0,41172516
11	34,207	59,243	40,757	10,859	24,059	29,898	0,442590141
12	24,111	69,339	30,661	12,710	12,234	17,951	0,389697152
13	24,444	69,006	30,994	12,649	12,624	18,346	0,392039998
14	19,389	74,061	25,939	13,575	6,703	12,363	0,352130835
15	18,839	74,611	25,389	13,676	6,059	11,713	0,347228958
16	15,538	77,912	22,088	14,281	2,192	7,806	0,315442409
17	14,175	79,275	20,725	14,531	0,596	6,194	0,301157203
18	24,056	69,394	30,606	12,720	12,169	17,886	0,389302718
19	18,622	74,828	25,172	13,716	5,805	11,456	0,34526048
20	16,146	77,304	22,696	14,170	2,904	8,526	0,321593859
21	24,667	68,783	31,217	12,608	12,885	18,609	0,393579265
22	20,778	72,672	27,328	13,321	8,329	14,007	0,364028363
23	22,444	71,006	28,994	13,015	10,282	15,979	0,377371924
24	22,055	71,395	28,605	13,087	9,825	15,518	0,374345154
25	15,559	77,891	22,109	14,277	2,217	7,831	0,315658349
26	11,378	82,072	17,928	15,044	2,681	2,884	0,269702591
27	27,778	65,672	34,328	12,038	16,529	22,290	0,41322812
28	36,640	56,810	43,190	10,413	26,909	32,777	0,449749261
29	25,333	68,117	31,883	12,486	13,665	19,398	0,398088445
30	30,333	63,117	36,883	11,569	19,522	25,314	0,426713795
31	30,551	62,899	37,101	11,529	19,777	25,572	0,427752301
32	10,083	83,367	16,633	15,281	4,197	1,352	0,254175796
33	22,278	71,172	28,828	13,046	10,086	15,782	0,376083393
34	25,333	68,117	31,883	12,486	13,665	19,398	0,398088445
35	29,527	63,923	36,077	11,717	18,577	24,360	0,422715607
36	26,778	66,672	33,328	12,221	15,357	21,107	0,407299383
37	23,944	69,506	30,494	12,740	12,039	17,754	0,388510454
38	38,000	55,450	44,550	10,164	28,502	34,386	0,452805532
39	16,349	77,101	22,899	14,133	3,142	8,767	0,323623816
40	31,038	62,412	37,588	11,440	20,347	26,148	0,430010204
41	14,724	78,726	21,274	14,430	1,239	6,843	0,306992772
42	34,389	59,061	40,939	10,826	24,272	30,113	0,443200385
43	30,717	62,733	37,267	11,499	19,971	25,768	0,428530145
44	46,525	46,925	53,075	8,601	38,487	44,474	0,456516784
45	18,056	75,394	24,606	13,820	5,141	10,786	0,340043898
46	19,333	74,117	25,883	13,586	6,638	12,298	0,351640225
47	37,667	55,783	44,217	10,225	28,111	33,992	0,452119175
48	29,994	63,456	36,544	11,632	19,124	24,912	0,425060432
49	14,900	78,550	21,450	14,398	1,445	7,052	0,308841712
50	31,908	61,542	38,458	11,281	21,367	27,178	0,433832594
51	17,589	75,861	24,139	13,905	4,594	10,233	0,335658181
52	24,625	68,825	31,175	12,616	12,836	18,559	0,393292031
53	33,958	59,492	40,508	10,905	23,767	29,603	0,441734776
54	23,667	69,783	30,217	12,791	11,713	17,425	0,386509995
55	15,233	78,217	21,783	14,337	1,835	7,446	0,312311592
PROM	24,650	68,800	31,200	12,611	13,115	18,588	0,38246407
DESV	7,817	7,817	7,817	1,433	8,787	9,250	0,05143554
VAR	61,109	61,109	61,109	2,053	77,219	85,564	0,00264561

ANEXO 33

Materia orgánica	98,17 (g)	GRUPO 5					
Hogar	Materia seca (105°C)	%Humedad	%ST (105°C)	%SVT (500°C)	W(550°C)	Cenizas (%)	Volumen gas m ³ CH ₄ /kg desecho
1	4,125	94,045	5,955	17,238	12,798	11,283	0,10265496
2	11,896	86,274	13,726	15,814	3,629	2,088	0,21706108
3	28,292	69,878	30,122	12,809	15,717	17,313	0,38581935
4	17,371	80,799	19,201	14,810	2,831	4,390	0,28437323
5	48,625	49,545	50,455	9,082	39,710	41,373	0,45821205
6	23,008	75,162	24,838	13,777	9,483	11,061	0,34220103
7	16,042	82,128	17,872	15,054	1,263	2,818	0,26904228
8	19,000	79,170	20,830	14,512	4,754	6,318	0,30228206
9	13,417	84,753	15,247	15,535	1,834	0,289	0,23686133
10	12,890	85,280	14,720	15,632	2,456	0,912	0,23009506
11	11,583	86,587	13,413	15,871	3,998	2,458	0,21288752
12	10,667	87,503	12,497	16,039	5,079	3,543	0,20043855
13	14,375	83,795	16,205	15,360	0,704	0,845	0,24890270
14	9,738	88,432	11,568	16,210	6,175	4,641	0,18751718
15	9,417	88,753	11,247	16,268	6,554	5,022	0,18296624
16	20,676	77,494	22,506	14,205	6,732	8,302	0,31969238
17	11,917	86,253	13,747	15,810	3,604	2,064	0,21733804
18	7,125	91,045	8,955	16,689	9,258	7,734	0,14944595
19	35,208	62,962	37,038	11,541	23,879	25,497	0,42745472
20	35,500	62,670	37,330	11,487	24,223	25,843	0,42882505
21	20,667	77,503	22,497	14,206	6,720	8,290	0,31959577
22	27,333	70,837	29,163	12,984	14,587	16,179	0,37866725
23	16,246	81,924	18,076	15,017	1,504	3,059	0,27143936
24	16,350	81,820	18,180	14,998	1,627	3,182	0,27265648
25	36,083	62,087	37,913	11,380	24,911	26,533	0,43147216
26	38,542	59,628	40,372	10,930	27,812	29,442	0,44125721
27	17,379	80,791	19,209	14,809	2,841	4,400	0,28446778
28	4,250	93,920	6,080	17,216	12,650	11,136	0,10467046
29	5,392	92,778	7,222	17,006	11,303	9,784	0,12282014
30	14,792	83,378	16,622	15,283	0,212	1,338	0,25403306
31	15,738	82,433	17,568	15,110	0,904	2,458	0,26544277
32	22,458	75,712	24,288	13,878	8,834	10,410	0,33707224
33	14,500	83,670	16,330	15,337	0,556	0,993	0,25044849
34	10,625	87,545	12,455	16,047	5,128	3,592	0,19986537
35	27,792	70,378	29,622	12,900	15,127	16,721	0,38212982
36	3,708	94,462	5,538	17,315	13,290	11,776	0,09589526
37	13,700	84,470	15,530	15,483	1,500	0,047	0,24045644
38	32,468	65,702	34,298	12,043	20,645	22,255	0,41305639
39	5,233	92,937	7,063	17,035	11,490	9,972	0,12032812
40	16,708	81,462	18,538	14,932	2,050	3,606	0,27681298
41	8,417	89,753	10,247	16,452	7,734	6,205	0,16857597
42	4,900	93,270	6,730	17,096	11,884	10,366	0,11505871
43	11,908	86,262	13,738	15,812	3,614	2,073	0,21727278
44	7,589	90,581	9,419	16,604	8,711	7,185	0,15638462
45	4,625	93,545	6,455	17,147	12,208	10,692	0,11068258
46	18,300	79,870	20,130	14,640	3,928	5,490	0,29470664
47	9,917	88,253	11,747	16,177	5,964	4,430	0,19002390
48	16,708	81,462	18,538	14,932	2,050	3,606	0,27681298
49	12,708	85,462	14,538	15,665	2,670	1,127	0,22774479
50	10,458	87,712	12,288	16,078	5,325	3,789	0,19756628
51	2,792	95,378	4,622	17,483	14,371	12,861	0,08079990
52	24,283	73,887	26,113	13,543	10,988	12,570	0,35366400
53	3,223	94,947	5,053	17,404	13,862	12,351	0,08793995
54	16,299	81,871	18,129	15,007	1,567	3,122	0,27206099
55	14,125	84,045	15,955	15,405	0,999	0,550	0,24579393
56	9,750	88,420	11,580	16,207	6,161	4,627	0,18768153
57	11,500	86,670	13,330	15,887	4,096	2,557	0,21176852
58	6,025	92,145	7,855	16,890	10,556	9,035	0,13267235
59	11,825	86,345	13,655	15,827	3,713	2,173	0,21611266
PROMEDIO	15,698	82,472	17,528	15,117	8,454	8,369	0,247626
DESV	9,883	9,883	9,883	1,811	8,022	8,482	0,09842558
VAR	97,668	97,668	97,668	3,282	64,345	71,948	0,00968760

ANEXO 34

Componente orgánico		Tchobanoglous, Theisen-Análisis Elemental % de peso en base seca													Relación molar normalizada								
Hogar	# Personas por hogar	Resto de comida				Total generado en 28 días	Peso Húmedo (kg) (70%)	Peso seco (kg)	Distribución porcentual de peso de elementos biomasa						Composición molar despreciando cenizas (Total moles biodegradable)					C	H	O	N
		7 días (S1)	14 días (S2)	21 días (S3)	28 días (S4)				%C (48)	%H (6,4)	%O (37,6)	%N (2,6)	%S (0,4)	%Cenizas (5,0)	%C (12,0)	%H (1,0)	%O (16)	%N (14,0)	%S (32,6)				
1	8	12,15	38,11	6,67	5,7	62,63	43,841	18,79	9,0187	1,2025	7,0647	0,4885	0,0752	0,9395	0,75093	1,19059	0,44154	0,03487	0,00234	22	34	13	1
2	3	4,264	11,23	3,77	9,69	28,95	20,268	8,69	4,1694	0,5559	3,2660	0,2258	0,0347	0,4343	0,34716	0,55041	0,20413	0,01612	0,00108	22	34	13	1
3	6	19,84	12,3	16	19,05	67,19	47,033	20,16	9,6754	1,2900	7,5790	0,5241	0,0806	1,0079	0,80361	1,27728	0,47369	0,03741	0,00251	22	34	13	1
4	4	2,471	4,78	3,02	3,2	13,47	9,430	4,04	1,9398	0,2586	1,5195	0,1051	0,0162	0,2021	0,16152	0,29608	0,09497	0,00750	0,00050	22	34	13	1
5	4	5,13	5,38	5,16	3,5	19,17	13,419	5,75	2,7605	0,3681	2,1624	0,1495	0,0290	0,3876	0,22985	0,36442	0,13515	0,01067	0,00072	22	34	13	1
6	5	7,3	7,5	10,5	10,5	35,80	25,060	10,74	5,1552	0,6874	4,0882	0,2792	0,0480	0,5370	0,42924	0,68055	0,25239	0,01993	0,00134	22	34	13	1
7	4	51,99	9,45	7,78	45,52	114,68	80,276	34,40	16,5139	2,2019	12,9359	0,8945	0,1376	1,7202	1,37501	2,18006	0,80849	0,06885	0,00429	22	34	13	1
8	5	24,2	24,2	27,7	23,9	100,00	70,000	30,00	14,4000	1,9200	11,2800	0,7800	0,1200	1,5000	1,19000	1,90099	0,70500	0,05567	0,00374	22	34	13	1
9	4	1,972	2,754	5,742	5,889	16,36	11,450	4,91	2,3554	0,3141	1,8451	0,1276	0,0196	0,2454	0,19612	0,31094	0,11532	0,00911	0,00061	22	34	13	1
10	6	11,55	7,47	4,75	4,94	28,71	20,097	8,61	4,1342	0,5512	3,2885	0,2239	0,0345	0,4307	0,34423	0,54577	0,20241	0,01598	0,00107	22	34	13	1
11	3	2	10,6	12,8	3,8	29,20	20,440	8,76	4,2048	0,5606	3,2938	0,2278	0,0380	0,4380	0,35011	0,55609	0,20586	0,01626	0,00109	22	34	13	1
12	3	3,25	4,36	4,79	3,27	15,67	10,969	4,70	2,2565	0,3009	1,7676	0,1222	0,0188	0,2351	0,18788	0,29789	0,11047	0,00872	0,00059	22	34	13	1
13	4	8,51	8,51	8,51	0	25,53	17,871	7,66	3,6763	0,4902	2,8798	0,1991	0,0306	0,3880	0,30610	0,48532	0,17999	0,01421	0,00096	22	34	13	1
14	6	7,42	5,8	5,04	6,3	24,56	17,192	7,37	3,5366	0,4716	2,7704	0,1916	0,0295	0,3684	0,29447	0,46688	0,17315	0,01367	0,00092	22	34	13	1
15	7	9,1	27,5	3,9	4,45	44,95	31,465	13,49	6,4728	0,8630	5,0704	0,3306	0,0539	0,6743	0,53895	0,85450	0,31690	0,02503	0,00168	22	34	13	1
16	6	26,56	24,91	26,56	45,45	123,48	86,436	37,04	17,7811	2,3708	13,9285	0,9631	0,1482	1,8522	1,48053	2,34734	0,87053	0,06875	0,00463	22	34	13	1
17	5	10,5	10	13,3	9,7	43,30	30,450	13,05	6,2640	0,8352	4,9068	0,3393	0,0522	0,6525	0,52157	0,82693	0,30668	0,02422	0,00063	22	34	13	1
18	6	51,25	42,09	47,11	40,19	140,45	98,315	42,14	20,2248	2,8966	15,8428	1,0955	0,1885	2,1068	1,68400	2,66994	0,99017	0,07819	0,00526	22	34	13	1
19	6	61,12	9,1	5,99	3,22	24,37	17,059	7,31	3,5093	0,4679	2,7489	0,1901	0,0292	0,3656	0,29220	0,46327	0,17181	0,01357	0,00091	22	34	13	1
20	4	3,25	0,71	5,31	3,61	12,88	9,016	3,86	1,8547	0,2473	1,4529	0,1005	0,0155	0,1932	0,15443	0,24485	0,09080	0,00717	0,00048	22	34	13	1
21	7	10,82	4,08	8,23	8,22	31,35	21,945	9,41	4,5144	0,6019	3,5363	0,2445	0,0376	0,4703	0,37589	0,59996	0,22102	0,01745	0,00117	22	34	13	1
22	3	2,04	17,4	1,16	1,88	22,48	15,736	6,74	3,2371	0,4316	2,5357	0,1753	0,0270	0,3972	0,28954	0,42734	0,15848	0,01252	0,00084	22	34	13	1
23	4	4,13	4,08	5,09	2,67	15,97	11,179	4,79	2,2997	0,3066	1,8014	0,1246	0,0192	0,2396	0,19148	0,30359	0,11259	0,00889	0,00060	22	34	13	1
24	4	22,4	17,4	7,17	7,12	54,09	37,863	16,23	7,7890	1,0385	6,1014	0,4219	0,0649	0,8114	0,64854	1,02825	0,38133	0,03011	0,00202	22	34	13	1
25	4	8,507	14,052	13,705	11,03	47,29	33,106	14,19	6,8103	0,9080	5,3348	0,3689	0,0568	0,7094	0,56706	0,89905	0,33342	0,02633	0,00177	22	34	13	1
26	1	1,62	1,61	1,62	1,42	6,27	4,389	1,88	0,9029	0,1204	0,7073	0,0489	0,0075	0,0941	0,07518	0,11919	0,04420	0,00349	0,00023	22	34	13	1
27	4	2,79	4,09	2,5	4,399	13,77	9,641	4,13	1,9833	0,2644	1,5536	0,1074	0,0165	0,2056	0,16514	0,26182	0,09710	0,00767	0,00052	22	34	13	1
28	5	10,76	9	10	10	39,76	27,832	11,99	5,7254	0,7634	4,4849	0,3101	0,0477	0,5964	0,47672	0,75383	0,28031	0,02214	0,00149	22	34	13	1
29	5	5,11	5,01	4,5	5,4	20,02	14,014	6,01	2,8829	0,3844	2,2583	0,1562	0,0240	0,3003	0,24004	0,38058	0,14114	0,01115	0,00075	22	34	13	1
30	6	10,6	7,395	10,95	11,8	40,75	28,522	12,22	5,8673	0,7823	4,5960	0,3178	0,0489	0,6112	0,48853	0,77456	0,28725	0,02268	0,00153	22	34	13	1
31	2	3,715	0,495	4,109	1,87	10,19	7,132	3,06	1,4672	0,1956	1,1499	0,0795	0,0122	0,1528	0,12217	0,19369	0,07193	0,00567	0,00028	22	34	13	1
32	5	20	13,1	17,2	11,2	61,50	43,050	18,45	8,8560	1,1808	6,9372	0,4797	0,0798	0,9225	0,73739	1,16911	0,43358	0,03424	0,00230	22	34	13	1
33	4	5,15	3,94	4,87	5,78	19,74	13,818	5,92	2,8426	0,3790	2,2267	0,1540	0,0237	0,2961	0,23668	0,37526	0,13917	0,01099	0,00074	22	34	13	1
34	5	17,1	17,5	12,2	9,4	56,20	39,340	16,86	8,0928	1,0790	6,3394	0,4384	0,0674	0,8430	0,67384	1,06836	0,39621	0,03129	0,00210	22	34	13	1
35	6	3,585	6,64	8,34	7,51	26,08	18,253	7,82	3,7548	0,5006	2,9413	0,2034	0,0313	0,3911	0,31264	0,49568	0,18383	0,01452	0,00086	22	34	13	1
36	5	11,5	8,7	6,55	4,8	31,55	22,085	9,47	4,5432	0,6058	3,5588	0,2461	0,0379	0,4733	0,37828	0,59976	0,22243	0,01757	0,00118	22	34	13	1
37	2	2,065	2,795	2,051	1,54	8,45	5,916	2,54	1,2169	0,1623	0,9533	0,0659	0,0101	0,1268	0,10133	0,16065	0,05958	0,00471	0,00032	22	34	13	1
38	4	1,332	1,402	2,211	1,1	6,05	4,232	1,81	0,8705	0,1161	0,6819	0,0472	0,0073	0,0907	0,07248	0,11491	0,04262	0,00337	0,00023	22	34	13	1
39	10	10	8,9	9,9	46,80	32,760	14,04	6,7392	0,8986	5,2790	0,3850	0,0562	0,7020	0,56113	0,88966	0,32994	0,02605	0,00175	0,00125	22	34	13	1
40	5	12	10,4	11,5	8,7	42,60	29,820	12,78	6,1344	0,8179	4,8053	0,3323	0,0511	0,6390	0,51077	0,80982	0,30033	0,02372	0,00159	22	34	13	1
41	5	10,761	11,684	13,697	9,859	46,00	32,201	13,80	6,6241	0,8832	5,1889	0,3588	0,0552	0,6900	0,55155	0,87447	0,32431	0,02561	0,00172	22	34	13	1
42	5	10,96	10,6	9,55	9,3	40,40	28,280	12,12	5,8176	0,7757	4,5571	0,3151	0,0485	0,6060	0,48440	0,76800	0,28482	0,02249	0,00151	22	34	13	1
43	4	0,65	9,95	6,26	6,44	23,30	16,310	6,99	3,3552	0,4474	2,6282	0,1817	0,0280	0,3495	0,27937	0,44293	0,16427	0,01297	0,00087	22	34	13	1
44	4	8,4	10,99	9,06	6,12	34,57	24,199	10,37	4,9781	0,6637	3,8995	0,2696	0,0415	0,5186	0,41449	0,65717	0,24372	0,01925	0,00129	22	34	13	1
45	3	17,25	13,1	20	14,3	64,65	45,255	19,40	9,3096	1,2413	7,2925	0,5043	0,0776	0,9698	0,77515	1,22899	0,45578	0,03999	0,00242	22	34	13	1
46	4	6,4	9,6	7,55	9,05	32,60	22,820	9,78	4,6944	0,6259	3,6773	0,2543	0,0391	0,4890	0,39087	0,61972	0,22983	0,01815	0,00122	22	34	13	1
47	5	30,65	33,06	33,15	29,35	126,21	88,347	37,86	18,1742	2,4232	14,2365	0,9844	0,1515	1,8932	1,51326	2,39924	0,88978	0,07027	0,00472	22	34	13	1
48	9	53,75	46,23	51,43	53,98	205,39	143,773	61,62	29,5762	3,9435	23,1680	1,6020	0,2465	3,0809	2,46263	3,90444	1,44800	0,11435	0,00769	22	34	13	1
49	9	6,66	7,3	6,7	6,82	27,48	19,236	8,24	3,9571	0,5276	3,0997	0,2143	0,0390	0,4122	0,32949	0,52239	0,19373	0,01530	0,00103	22	34	13	1
50	4	8,25	7,9	10,28	7,5	33,93	23,751	10,18	4,8859	0,6515	3,8273	0,2647	0,0407	0,5090	0,40682	0,64501	0,23921	0,01889	0,00127	22			

70	3	6.564	3.95	3.91	7.52	21.94	15.361	6.58	3.1599	0.4213	2.4753	0.1712	0.0263	0.3292	0.26311	0.41715	0.15471	0.01222	0.00082	22	34	13	1
71	3	4.22	3.64	3.67	3.52	15.05	10.535	4.52	2.1672	0.2890	1.6976	0.1174	0.0181	0.2258	0.18045	0.28610	0.10610	0.00838	0.00056	22	34	13	1
72	4	16.8	15.15	13.1	16.85	61.90	43.330	18.57	8.9136	1.1885	6.9823	0.4828	0.0743	0.9385	0.74218	1.17671	0.43640	0.03446	0.00232	22	34	13	1
73	8	14.4	11.22	10.5	13.5	49.62	34.734	14.89	7.1453	0.9527	5.5971	0.3870	0.0585	0.7443	0.59494	0.94327	0.34982	0.02763	0.00186	22	34	13	1
74	4	9.95	8.8	9.95	10.8	39.50	27.650	11.85	5.6880	0.7584	4.4556	0.3081	0.0474	0.5925	0.47361	0.75089	0.27848	0.02199	0.00148	22	34	13	1
75	6	7.95	10	7.1	5.82	30.87	21.609	9.26	4.4453	0.5927	3.4821	0.2408	0.0370	0.4631	0.37013	0.58684	0.21763	0.01719	0.00116	22	34	13	1
76	2	6.58	5.05	9.06	4.3	24.99	17.493	7.50	3.5986	0.4798	2.8189	0.1949	0.0300	0.3749	0.29963	0.47506	0.17618	0.01391	0.00094	22	34	13	1
77	4	1.595	10.41	13.13	12.24	37.38	26.163	11.21	5.3820	0.7176	4.2159	0.2915	0.0449	0.5606	0.44813	0.71050	0.26349	0.02081	0.00140	22	34	13	1
78	6	41.5	31.5	30.3	32	135.50	94.850	40.65	19.5120	2.6016	15.2844	1.0569	0.1626	2.0325	1.62465	2.57584	0.95528	0.07544	0.00507	22	34	13	1
79	3	4.651	3.555	3.57	1.845	13.62	9.535	4.09	1.9614	0.2615	1.5364	0.1062	0.0163	0.2043	0.16232	0.25893	0.09603	0.00758	0.00051	22	34	13	1
80	4	7.25	6.65	6.6	9.35	29.85	20.895	8.96	4.2984	0.5731	3.3671	0.2328	0.0358	0.4478	0.35790	0.56745	0.21044	0.01662	0.00112	22	34	13	1
81	3	5.462	2.513	6.153	5.2	19.33	13.530	5.80	2.7832	0.3711	2.1802	0.1508	0.0232	0.2899	0.23174	0.36742	0.13626	0.01076	0.00072	22	34	13	1
82	3	1.33	0.56	11.44	11.46	24.79	17.353	7.44	3.5698	0.4760	2.7963	0.1934	0.0297	0.3719	0.29723	0.47126	0.17477	0.01380	0.00093	22	34	13	1
83	7	0.899	3.3	0.326	0.373	4.70	3.289	1.41	0.6765	0.0902	0.5299	0.0366	0.0056	0.0705	0.05633	0.08931	0.03312	0.00262	0.00018	22	34	13	1
84	5	12.05	11.05	12	10.25	45.35	31.745	13.61	6.5304	0.8707	5.1155	0.3537	0.0544	0.6803	0.54375	0.86210	0.31972	0.02525	0.00170	22	34	13	1
85	6	6.625	5.501	4.501	4.5	21.13	14.789	6.34	3.0423	0.4056	2.3831	0.1648	0.0254	0.3169	0.25331	0.40162	0.14895	0.01176	0.00079	22	34	13	1
86	5	8.5	2.47	2.4	12.5	25.87	18.109	7.76	3.7253	0.4967	2.9181	0.2018	0.0310	0.3881	0.31018	0.49179	0.18238	0.01440	0.00097	22	34	13	1
87	4	3	3.8	2.8	13.5	23.10	16.170	6.93	3.3264	0.4435	2.6057	0.1802	0.0277	0.3465	0.27897	0.43913	0.16286	0.01286	0.00086	22	34	13	1
88	4	51.25	42.09	47.18	40.19	180.71	126.497	54.21	26.0222	3.4696	20.3841	1.4085	0.2169	2.7107	2.16671	3.43528	1.27401	0.10061	0.00676	22	34	13	1
89	5	5.501	5.251	5.251	7.75	23.75	16.627	7.13	3.4204	0.4561	2.6793	0.1853	0.0285	0.3563	0.28480	0.45154	0.16746	0.01322	0.00089	22	34	13	1
90	4	18.3	10.45	10.45	6.9	46.10	32.270	13.83	6.6384	0.8851	5.2001	0.3596	0.0553	0.6915	0.55274	0.87636	0.32501	0.02567	0.00173	22	34	13	1
91	5	7.12	6.24	6.84	6.67	26.87	18.809	8.06	3.8693	0.5159	3.0309	0.2096	0.0322	0.4031	0.32217	0.51080	0.18943	0.01496	0.00101	22	34	13	1
92	5	9.85	8.75	7.5	28.1	54.20	37.940	16.26	7.8048	1.0406	6.1138	0.4228	0.0650	0.8130	0.64986	1.03034	0.38211	0.03018	0.00203	22	34	13	1
93	3	10.8	8.9	10.1	8.9	38.70	27.090	11.61	5.5728	0.7430	4.3654	0.3019	0.0464	0.5805	0.46401	0.73568	0.27284	0.02155	0.00145	22	34	13	1
94	4	2.55	2.35	5.815	2.29	13.01	9.104	3.90	1.8727	0.2497	1.4670	0.1014	0.0156	0.1951	0.15593	0.24722	0.09169	0.00724	0.00049	22	34	13	1
95	4	4.86	4.55	5.26	6.26	20.93	14.651	6.28	3.0139	0.4019	2.3609	0.1633	0.0251	0.3140	0.25095	0.39788	0.14756	0.01165	0.00078	22	34	13	1
96	3	10.8	13.41	9.73	11.88	45.82	32.074	13.75	6.5981	0.8797	5.1885	0.3574	0.0550	0.6873	0.54938	0.87103	0.32303	0.02551	0.00172	22	34	13	1
97	4	7.83	7.34	10.45	4.25	29.87	20.909	8.96	4.3013	0.5735	3.3693	0.2330	0.0358	0.4481	0.35814	0.56783	0.21058	0.01663	0.00112	22	34	13	1
98	4	12.3	9.42	11.76	8.26	41.74	29.218	12.52	6.0106	0.8014	4.7083	0.3256	0.0501	0.6321	0.50046	0.79947	0.29427	0.02324	0.00156	22	34	13	1
99	5	30.65	32.76	33.15	29.71	126.27	88.389	37.88	18.1829	2.4244	14.2433	0.9849	0.1515	1.8941	1.51398	2.40038	0.89020	0.07030	0.00473	22	34	13	1
100	6	17.5	25.3	19.5	16.4	78.70	55.090	23.61	11.3328	1.5110	8.8774	0.6139	0.0944	1.1805	0.94361	1.49608	0.55484	0.04382	0.00295	22	34	13	1
101	1	16.41	43.4	14.5	24.4	98.71	69.097	29.61	14.2142	1.8952	11.1345	0.7699	0.1185	1.4807	1.18353	1.87647	0.69591	0.05496	0.00369	22	34	13	1
102	4	5.04	5.16	5.61	5.57	21.38	14.966	6.41	3.0787	0.4105	2.4117	0.1668	0.0257	0.3207	0.25635	0.40643	0.15073	0.01190	0.00080	22	34	13	1
103	7	8.68	9.6	33.15	12.16	63.59	44.513	19.08	9.1570	1.2209	7.1730	0.4960	0.0763	0.9539	0.76244	1.20884	0.44831	0.03540	0.00238	22	34	13	1
104	5	9.6	10.5	11.92	9.6	41.62	29.134	12.49	5.9933	0.7991	4.6947	0.3246	0.0499	0.4902	0.79119	0.29342	0.02317	0.00156	0.00122	22	34	13	1
105	10	14.15	10.8	11.2	12.45	48.60	34.020	14.58	6.9984	0.9331	5.4821	0.3791	0.0583	0.7290	0.58271	0.92388	0.34263	0.02706	0.00182	22	34	13	1
106	3	11.5	8.9	9.2	7.9	37.50	26.250	11.25	5.4000	0.7200	4.2300	0.2925	0.0450	0.5625	0.44963	0.71287	0.26438	0.02088	0.00140	22	34	13	1
107	4	6.08	37.09	43.29	39.56	126.02	88.214	37.81	18.1469	2.4196	14.2151	0.9830	0.1512	1.8903	1.51098	2.39563	0.88844	0.07016	0.00472	22	34	13	1
108	4	14.8	19.25	11.55	15.8	61.40	42.980	18.42	8.8416	1.1789	6.9259	0.4789	0.0737	0.9210	0.73619	1.16721	0.43287	0.03418	0.00230	22	34	13	1
109	5	10.7	17.16	14.7	8.6	51.16	35.812	15.25	7.3670	0.9823	5.7708	0.3990	0.0614	0.7674	0.61341	0.97255	0.36068	0.02848	0.00191	22	34	13	1
110	6	12.15	11.1	9.1	11.3	43.65	30.555	13.10	6.2856	0.8381	4.9237	0.3405	0.0524	0.6548	0.52336	0.82978	0.30773	0.02430	0.00163	22	34	13	1
111	6	38.12	18.5	17.24	16.74	70.60	49.420	21.18	10.1664	1.3555	7.9637	0.5037	0.0847	1.0590	0.84649	1.34210	0.49773	0.03931	0.00264	22	34	13	1
112	3	3.14	2.2	1.9	2.996	10.24	7.165	3.07	1.4740	0.1965	1.1546	0.0798	0.0123	0.1535	0.12273	0.19459	0.07216	0.00570	0.00038	22	34	13	1
113	3	8.15	12.76	17.33	8.15	46.39	32.473	13.92	6.8802	0.8907	5.2328	0.3618	0.0557	0.6959	0.55622	0.88187	0.32705	0.02583	0.00174	22	34	13	1
114	4	1.1	3.15	2.95	2.1	9.30	6.510	2.79	1.3392	0.1786	1.0490	0.0725	0.0112	0.1395	0.11151	0.17679	0.06557	0.00518	0.00035	22	34	13	1
115	4	11.16	7.753	7.03	12.26	38.20	26.742	11.46	5.5012	0.7335	4.3093	0.2980	0.0458	0.5730	0.45805	0.72624	0.26933	0.02127	0.00143	22	34	13	1
116	5	7.09	4.78	3.26	3.52	18.65	13.055	5.60	2.6856	0.3581	2.1037	0.1455	0.0224	0.2798	0.22361	0.35453	0.13148	0.01038	0.00070	22	34	13	1
117	6	8.16	9.06	12.37	27.29	56.88	39.816	17.06	8.1907	1.0921	6.4161	0.4437	0.0683	0.8532	0.68199	1.08128	0.40100	0.03167	0.00213	22	34	13	1
118	4	3.182	2.841	2.803	2.778	11.60	8.123	3.48	1.6710	0.2228	1.3089	0.0905	0.0139	0.1741	0.13913	0.22059	0.08181	0.00646	0.00043	22	34	13	1
119	5	7.14	5.31	2.98	2.94	18.37	12.859	5.51	2.6453	0.3527	2.0721	0.1433	0.0220	0.2756	0.22026	0.34921	0.12951	0.01023	0.00069	22	34	13	1
120	5	7.09	11.16	9.22	11.8	39.27	27.489	11.78	5.6549	0.7540	4.4297	0.3063	0.0471	0.5891	0.47085	0.74652	0.27685	0.02186	0.00147	22	34	13	1
121	3	12.7	12.25	10.95	10.11	46.01	32.207	13.80	6.6254	0.8834	5.1899	0.3589	0.0552	0.6902	0.55166								

161	6	29,81	12,51	5,78	17,47	65,57	45,899	19,67	9,4421	1,2589	7,3963	0,5114	0,0787	0,9836	0,78618	1,24648	0,46227	0,03651	0,00245	22	34	13	1
162	3	10,76	21,46	15,65	13,52	61,39	42,973	18,42	8,8402	1,1787	6,9248	0,4788	0,0737	0,9209	0,73607	1,16702	0,43280	0,03418	0,00230	22	34	13	1
163	2	2,98	5,2	3,06	4,12	15,36	10,752	4,61	2,2118	0,2949	1,7326	0,1198	0,0184	0,2304	0,18417	0,29199	0,10829	0,00855	0,00057	22	34	13	1
164	5	2,71	8,166	8,954	27,29	47,12	32,984	14,14	6,7853	0,9047	5,3151	0,3675	0,0565	0,7068	0,56497	0,89575	0,33220	0,02623	0,00176	22	34	13	1
165	5	4,17	4,65	4,567	4,154	17,54	12,279	5,26	2,5259	0,3368	1,9786	0,1368	0,0210	0,2631	0,21032	0,33345	0,12366	0,00977	0,00066	22	34	13	1
166	4	22,11	22,789	25,01	20,722	90,63	63,442	27,19	13,0509	1,7401	10,2232	0,7069	0,1088	1,3595	1,08667	1,72289	0,63895	0,05046	0,00339	22	34	13	1
167	7	13,68	15,58	13,05	10,045	52,36	36,649	15,71	7,5391	1,0052	5,9056	0,4084	0,0628	0,7853	0,62774	0,99526	0,36910	0,02915	0,00196	22	34	13	1
168	4	23,09	15,07	27,21	25,63	91,00	63,700	27,30	13,1040	1,7472	10,2648	0,7098	0,1092	1,3650	1,09109	1,72990	0,64155	0,05066	0,00341	22	34	13	1
169	4	17,65	21	20,43	25,69	84,77	59,339	25,43	12,2069	1,6276	9,5621	0,6612	0,1017	1,2716	1,01639	1,61147	0,59763	0,04720	0,00317	22	34	13	1
170	4	3,88	3,37	3,84	2,843	13,93	9,753	4,18	2,0064	0,2675	1,5716	0,1087	0,0167	0,2090	0,16706	0,26486	0,09823	0,00776	0,00052	22	34	13	1
171	5	9,22	11,5	10,19	11,47	42,38	29,666	12,71	6,1027	0,8137	4,7805	0,3306	0,0509	0,6357	0,50814	0,80564	0,29878	0,02359	0,00159	22	34	13	1
172	6	8,32	7,79	7,18	11,33	34,62	24,234	10,39	4,9853	0,6647	3,9051	0,2700	0,0415	0,5193	0,41509	0,65812	0,24407	0,01927	0,00130	22	34	13	1
173	5	15,21	15,89	16,435	15,789	63,32	44,327	19,00	9,1187	1,2158	7,1429	0,4939	0,0760	0,9499	0,75926	1,20378	0,44643	0,03526	0,00237	22	34	13	1
174	4	5,701	6,42	6,834	5,892	24,85	17,393	7,45	3,5780	0,4771	2,8027	0,1938	0,0298	0,3727	0,29792	0,47234	0,17517	0,01383	0,00093	22	34	13	1
175	5	8,78	4,43	7,85	8,78	29,84	20,888	8,95	4,2970	0,5729	3,3660	0,2328	0,0358	0,4476	0,35778	0,56726	0,21037	0,01661	0,00112	22	34	13	1
176	6	29,58	29,35	29,98	29,56	118,47	82,929	35,54	17,0597	2,2746	13,3634	0,9241	0,1422	1,7771	1,42046	2,25210	0,83521	0,06596	0,00443	22	34	13	1
177	5	11,98	7,48	11,32	11,867	42,65	29,853	12,79	6,1412	0,8188	4,8106	0,3326	0,0512	0,6397	0,51134	0,81072	0,30066	0,02374	0,00160	22	34	13	1
178	5	48,5	22,33	36,54	42,04	149,41	104,587	44,82	21,5150	2,8687	16,8534	1,1654	0,1793	2,2412	1,79143	2,84027	1,05334	0,08318	0,00559	22	34	13	1
179	3	8,2	9,53	6,75	8,31	32,79	22,953	9,84	4,7218	0,6296	3,6987	0,2558	0,0393	0,4919	0,39315	0,62333	0,23117	0,01826	0,00123	22	34	13	1
180	5	1,75	8,56	1,05	7,93	19,29	13,503	5,79	2,7778	0,3704	2,1759	0,1505	0,0231	0,2894	0,23129	0,36670	0,13599	0,01074	0,00072	22	34	13	1
181	7	2,34	5,734	4,58	2,88	15,53	10,874	4,66	2,2369	0,2983	1,7522	0,1212	0,0186	0,2330	0,18625	0,29530	0,10951	0,00865	0,00058	22	34	13	1
182	5	8,51	8,53	8,67	7,45	33,16	23,212	9,95	4,7750	0,6367	3,7404	0,2586	0,0398	0,4974	0,39759	0,63037	0,23378	0,01846	0,00124	22	34	13	1
183	3	11,75	12,52	12,34	11,22	47,83	33,481	14,35	6,8875	0,9183	5,3952	0,3731	0,0574	0,7175	0,57348	0,90924	0,33720	0,02663	0,00179	22	34	13	1
184	6	28,02	26,856	28,88	24,789	108,55	75,982	32,56	15,6305	2,0841	12,2439	0,8467	0,1303	1,6282	1,30146	2,06343	0,76524	0,06043	0,00406	22	34	13	1
185	4	5,65	4,33	1,79	1,21	12,98	9,086	3,89	1,8691	0,2492	1,4641	0,1012	0,0156	0,1947	0,15563	0,24675	0,09151	0,00723	0,00049	22	34	13	1
186	3	19,43	45,08	52,03	18,43	134,97	94,479	40,49	19,4357	2,5914	15,2246	0,0528	0,1620	2,0246	1,61829	2,56577	0,95154	0,07514	0,00505	22	34	13	1
187	6	7,6	7,78	6,45	7,89	29,72	20,804	8,92	4,2797	0,5706	3,3524	0,2318	0,0357	0,4458	0,35634	0,56497	0,20953	0,01655	0,00111	22	34	13	1
188	3	5,07	6,102	3,907	5,296	20,38	14,263	6,11	2,9340	0,3912	2,2983	0,1589	0,0245	0,3056	0,24430	0,38733	0,14364	0,01134	0,00076	22	34	13	1
189	2	9,23	6,78	5,68	6,67	28,36	19,852	8,51	4,0838	0,5445	3,1990	0,2212	0,0340	0,4254	0,34004	0,53912	0,19994	0,01579	0,00106	22	34	13	1
190	5	34,01	37,11	36,21	42,08	149,41	104,587	44,82	21,5150	2,8687	16,8534	1,1654	0,1793	2,2412	1,79143	2,84027	1,05334	0,08318	0,00559	22	34	13	1
191	5	1,96	1,77	1,24	8,63	13,60	9,520	4,08	1,9584	0,2611	1,5341	0,1061	0,0163	0,2040	0,16306	0,25853	0,09588	0,00757	0,00051	22	34	13	1
192	5	11,43	12,05	11,56	9,58	44,62	31,234	13,39	6,4253	0,8567	5,0331	0,3480	0,0535	0,6693	0,53499	0,84822	0,31457	0,02494	0,00167	22	34	13	1
193	8	15	7,59	9,84	7,77	40,20	28,140	12,06	5,7888	0,7718	4,5346	0,3136	0,0482	0,6030	0,48200	0,76420	0,28341	0,02238	0,00150	22	34	13	1
194	11	11,845	12,854	12,879	10,411	47,99	33,592	14,40	6,9104	0,9214	5,4132	0,3743	0,0576	0,7198	0,57539	0,91227	0,33832	0,02672	0,00180	22	34	13	1
195	6	7,7	14,4	20,9	28,6	71,60	50,120	21,48	10,3104	1,3747	8,0765	0,5585	0,0859	1,0740	0,85848	1,36111	0,50478	0,03986	0,00268	22	34	13	1
196	3	9,23	16,01	20,99	27,66	73,89	51,723	22,17	10,6402	1,4187	8,3348	0,5763	0,0887	1,1084	0,88594	1,40464	0,52092	0,04114	0,00277	22	34	13	1
197	7	2,1	7,8	8,2	10,08	28,18	19,726	8,45	4,0579	0,5411	3,1787	0,2198	0,0338	0,4227	0,33788	0,53570	0,19867	0,01569	0,00105	22	34	13	1
198	5	15,8	31,6	47,9	63,7	159,00	111,300	47,70	22,8960	3,0528	17,9352	1,2402	0,1908	2,3850	1,90641	3,02257	1,12095	0,08852	0,00595	22	34	13	1
199	5	8,5	17,07	25,57	34,14	85,28	59,696	25,58	12,2803	1,6374	9,6196	0,6652	0,1023	1,2792	1,02251	1,62116	0,60122	0,04748	0,00319	22	34	13	1
200	6	25,64	54,73	84,52	114,32	279,21	195,447	83,76	40,2062	5,3608	31,4949	2,1778	0,3351	4,1882	3,34773	5,30775	1,96843	0,15545	0,01045	22	34	13	1
201	4	5,62	9,92	11,62	12,83	39,99	27,993	12,00	5,7586	0,7678	4,5109	0,3119	0,0480	0,5999	0,47948	0,76021	0,28193	0,02226	0,00150	22	34	13	1
202	6	19,84	32,14	48,14	100,12	200,24	140,168	60,07	28,8346	3,8446	22,5871	1,5619	0,2403	3,0036	2,40088	3,80654	1,41169	0,11148	0,00749	22	34	13	1
203	4	2,471	7,26	12,89	16,082	38,70	27,092	11,61	5,5732	0,7431	4,3657	0,3019	0,0464	0,5805	0,46405	0,73574	0,27286	0,02155	0,00145	22	34	13	1
204	4	5,13	10,52	15,68	21,18	52,51	36,757	15,75	7,5614	1,0082	5,9231	0,4096	0,0630	0,7877	0,62960	0,99821	0,37020	0,02923	0,00197	22	34	13	1
205	5	10,4	21,72	32,57	44,1	108,79	76,153	32,64	15,6658	2,0888	12,2715	0,8486	0,1305	1,6319	1,30439	2,06809	0,76697	0,06057	0,00407	22	34	13	1
206	4	9,95	21,05	66,3	97,3	194,60	136,220	58,38	28,0224	3,7363	21,9509	1,5179	0,2335	2,9190	2,33326	3,69933	1,37193	0,10834	0,00728	22	34	13	1
207	5	30	58	85	173	346,00	242,200	103,80	49,8240	6,6432	39,0288	2,6988	0,4152	5,1900	4,14854	6,57743	2,43930	0,19263	0,01295	22	34	13	1
208	4	0,6992	5,885	11,838	15,138	33,56	23,492	10,07	4,8327	0,6444	3,7856	0,2618	0,0403	0,5034	0,40239	0,63798	0,23660	0,01868	0,00126	22	34	13	1
209	6	11,55	19,02	23,77	28,71	83,05	58,135	24,92	11,9592	1,5946	9,3680	0,6478	0,0997	1,2458	0,99577	1,57877	0,58550	0,04624	0,00311	22	34	13	1
210	6	26,06	53,13	73,91	153,1	306,20	214,340	91,86	44,0928	5,8790	34,5394	2,3884	0,3674	4,5930	3,67134	5,82083	2,15871	0,17048	0,01146	22	34	13	1
211	5	10,5	22,5	35,8	46,5																		

218	5	5.01	10.02	14.5	18.07	47.60	33.320	14.28	6.8544	0.9139	5.3493	0.3713	0.0571	0.7140	0.57072	0.90487	0.33558	0.00250	0.00178	22	34	13	1
219	6	10.7	22.88	34.92	48.4	116.90	81.890	35.07	16.8396	2.2445	13.1869	0.9118	0.1403	1.7535	1.40163	2.22226	0.83415	0.06508	0.00438	22	34	13	1
220	5	2.0	33.1	53.3	64.5	170.90	119.630	51.27	24.6065	3.2813	19.2775	1.3330	0.2051	2.5635	2.04909	3.24879	1.20485	0.00515	0.00640	22	34	13	1
221	4	2.99	6.33	9.2	12.16	30.68	21.476	9.20	4.4173	0.5891	3.4607	0.2393	0.0368	0.4602	0.36785	0.58822	0.21639	0.01708	0.00115	22	34	13	1
222	5	18.6	36.1	49.3	58.7	162.70	113.890	48.81	25.4288	3.1238	18.3526	1.2491	0.1952	2.4405	1.95077	3.03931	1.14704	0.00958	0.00609	22	34	13	1
223	6	3.595	10.255	3.6	21.03	38.46	26.922	11.54	5.5382	0.7384	4.3383	0.3000	0.0462	0.5749	0.46114	0.73112	0.27134	0.02141	0.00144	22	34	13	1
224	4	1.333	2.732	4.543	5.643	14.25	9.976	4.28	2.0521	0.2786	1.6075	0.1112	0.0171	0.2138	0.17087	0.27091	0.10047	0.00793	0.00053	22	34	13	1
225	4	5.59	9.67	14.76	10	40.02	28.044	12.01	5.7620	0.7884	4.5143	0.3122	0.0480	0.6003	0.47984	0.78078	0.28214	0.02228	0.00130	22	34	13	1
226	5	30.65	63.71	96.86	108.9	235.12	206.584	88.54	42.4973	5.6663	33.2895	2.3019	0.3341	4.4288	3.53849	5.61020	2.08060	0.16431	0.01105	22	34	13	1
227	4	6.4	14.2	21.75	30.8	73.15	51.205	21.95	13.0766	1.7496	10.2434	0.7083	0.1090	1.3622	1.08881	1.73529	0.64021	0.03056	0.00340	22	34	13	1
228	4	8.4	19.39	28.45	34.57	90.81	63.567	27.24	13.0766	1.7496	10.2434	0.7083	0.1090	1.3622	1.08881	1.73529	0.64021	0.03056	0.00340	22	34	13	1
229	4	9.9	18.9	27.3	38.1	94.20	65.940	28.26	13.5648	1.8086	10.6258	0.7348	0.1130	1.4130	1.12945	1.79073	0.66411	0.03145	0.00353	22	34	13	1
230	4	16.8	31.95	45.05	61.9	135.70	108.990	46.71	22.4208	2.8884	17.5630	1.2345	0.1868	2.3935	1.86484	2.93904	1.07949	0.08659	0.00508	22	34	13	1
231	6	7.95	17.95	24.95	31.56	82.41	57.887	24.72	11.8670	1.5823	9.2958	0.6408	0.0889	1.2362	0.98810	1.56661	0.58009	0.04588	0.00308	22	34	13	1
232	5	10.95	21.55	31.1	41.4	105.00	73.500	31.50	15.1200	2.0360	11.8440	0.8190	0.1260	1.5750	1.25885	1.99604	0.74025	0.05846	0.00399	22	34	13	1
233	4	0.65	10.6	17.04	23.33	51.62	36.134	15.49	7.4333	0.9911	5.8227	0.4026	0.0619	0.7749	0.61882	0.98229	0.36932	0.02874	0.00198	22	34	13	1
234	4	7.104	15.368	22.785	30.994	76.05	53.236	22.82	10.9513	1.4802	8.5786	0.5992	0.0913	1.1408	0.91185	1.46572	0.53616	0.04234	0.00285	22	34	13	1
235	4	17.43	31.99	50.74	70.03	170.19	119.138	51.06	24.5074	3.2676	19.1974	1.3775	0.2042	2.5529	2.04058	3.23530	1.19894	0.09475	0.00637	22	34	13	1
236	5	7.47	14.01	20.76	27.07	69.31	48.517	20.79	9.9806	1.3308	7.8182	0.5406	0.0882	1.0897	0.88103	1.31738	0.48864	0.03859	0.00239	22	34	13	1
237	5	8.371	16.135	25.739	34.769	85.01	59.510	25.30	12.2400	1.6323	9.5986	0.6631	0.1020	1.2752	1.01892	1.61511	0.59935	0.04733	0.00318	22	34	13	1
238	5	39.5	79.95	109.55	144	387.00	256.900	110.10	52.8480	7.0464	41.3076	2.8626	0.4404	5.3050	4.40083	6.97669	2.58735	0.20493	0.02374	22	34	13	1
239	5	2.294	6.254	10.614	15.314	34.48	24.133	10.34	4.9645	0.6689	3.8889	0.2689	0.0414	0.5171	0.41387	0.63539	0.24006	0.01919	0.00129	22	34	13	1
240	5	13.68	26.72	39.68	45.31	121.39	84.973	36.42	17.4802	2.3307	13.6028	0.9468	0.1457	1.8209	1.45547	2.30761	0.85580	0.05758	0.00454	22	34	13	1
241	5	14.04	25.34	39.98	56.04	135.40	94.780	40.62	19.4976	2.5997	15.2731	1.0561	0.1625	2.0810	1.62345	2.57894	0.95457	0.07338	0.00507	22	34	13	1
242	4	11.5	20.2	31.7	42.4	105.80	74.060	31.74	15.2352	2.0314	11.9942	0.8252	0.1270	1.3870	1.26854	2.01125	0.74589	0.05890	0.00396	22	34	13	1
243	5	5.457	11.316	18.425	25.525	80.72	56.506	24.22	11.6241	1.5499	9.1056	0.6296	0.0969	1.2108	0.96787	1.53954	0.56910	0.04494	0.00302	22	34	13	1
244	6	6.7	15.4	24.42	28.2	74.72	52.304	22.42	10.7977	1.4346	8.4284	0.5828	0.0897	1.1208	0.89589	1.42042	0.52678	0.04160	0.00280	22	34	13	1
245	4	8.27	16.17	27.27	34.77	86.48	60.536	25.34	12.4311	1.6684	9.7549	0.6745	0.1088	1.2972	1.03880	1.64898	0.60848	0.04815	0.00324	22	34	13	1
246	4	5.75	10.88	17.19	23.42	41.57	31.199	13.37	6.4181	0.8557	5.0275	0.3476	0.0535	0.6686	0.54849	0.84727	0.31422	0.02481	0.00167	22	34	13	1
247	5	8.79	16.23	26.78	36.465	88.27	61.786	26.48	12.7102	1.6947	9.9563	0.6885	0.1059	1.3240	1.05880	1.67791	0.62227	0.04914	0.00330	22	34	13	1
248	6	27.85	49	74.45	49.4	197.70	138.390	59.31	28.4688	3.7958	22.3006	1.5421	0.2372	2.9655	2.37042	3.73026	1.38979	0.11007	0.00740	22	34	13	1
249	5	1.6	13.83	23.82	36.06	75.31	52.717	22.39	10.8446	1.4460	8.4950	0.5874	0.0904	1.1297	0.90297	1.43164	0.53094	0.04193	0.00282	22	34	13	1
250	6	41.5	72.8	115.3	147.3	376.90	269.830	113.07	54.2766	7.2365	42.5149	2.9988	0.4523	5.6535	4.51903	7.16483	2.65715	0.20884	0.01411	22	34	13	1
251	4	7.25	14.9	21.5	30.85	74.50	52.150	22.35	10.7280	1.4304	8.4036	0.5811	0.0894	1.1175	0.89326	1.41634	0.53523	0.04148	0.00279	22	34	13	1
252	5	4.59	9.49	20.93	33.39	68.40	47.880	20.52	9.8496	1.3133	7.7155	0.5385	0.0821	1.0260	0.80012	1.30028	0.48222	0.03808	0.00256	22	34	13	1
253	5	10.45	21.5	34.5	45.45	111.90	78.390	33.57	16.1196	2.1485	12.6223	0.8728	0.1343	1.6785	1.34168	2.12721	0.78890	0.06230	0.00419	22	34	13	1
254	5	6.63	2.65	19.3	19.3	47.88	33.516	14.36	6.8947	0.9193	5.4009	0.3795	0.0575	0.7182	0.57408	0.91019	0.33775	0.02666	0.00179	22	34	13	1
255	5	2.5	5.72	8.12	13	29.34	20.538	8.80	4.2129	0.5683	3.3096	0.2289	0.0352	0.4401	0.35179	0.55775	0.20685	0.01633	0.00110	22	34	13	1
256	4	5.9	12.05	18.8	27.3	64.05	44.835	19.22	9.2232	1.2298	7.2248	0.4996	0.0769	0.9608	0.76795	1.21738	0.45135	0.03566	0.00240	22	34	13	1
257	5	6.62	12.87	19.24	26.99	65.72	46.004	19.72	9.4637	1.2618	7.4132	0.5125	0.0789	0.9858	0.78798	1.24933	0.46233	0.03659	0.00246	22	34	13	1
258	5	9.35	18.1	25.6	29.47	82.52	57.764	24.76	11.8829	1.5884	9.3083	0.6497	0.0990	1.2378	0.98942	1.56870	0.58177	0.04594	0.00309	22	34	13	1
259	4	2.5	4.85	9.81	13.28	30.44	21.308	9.13	4.3834	0.5884	3.4336	0.2374	0.0365	0.4566	0.36488	0.57866	0.21440	0.01695	0.00114	22	34	13	1
260	4	7.28	15.67	25.52	30.79	79.26	55.482	23.78	11.4134	1.5218	8.9405	0.6282	0.0951	1.2889	0.95883	1.50672	0.55878	0.04413	0.00297	22	34	13	1
261	4	12.18	21.76	32.92	42.18	109.20	76.440	32.76	15.7488	2.0966	12.3178	0.8100	0.1310	1.6380	1.30991	2.07588	0.78986	0.06080	0.00409	22	34	13	1
262	5	30.65	63.45	94.1	120.71	308.91	216.237	92.67	44.4880	5.9311	34.9450	2.4095	0.3707	4.6937	3.70883	5.87235	2.17782	0.17198	0.01156	22	34	13	1
263	4	17.5	32.8	52	68.9	171.20	119.840	51.36	24.6528	3.2870	19.3134	1.3354	0.2054	2.5680	2.05369	3.25490	1.20636	0.09531	0.00641	22	34	13	1
264	4	5.24	10.4	16.01	21.58	53.23	37.261	15.97	7.6651	1.0220	6.0043	0.4152	0.0689	0.7985	0.63823	1.01190	0.37527	0.02264	0.00198	22	34	13	1
265	5	9.6	20.1	30.02	41.62	103.34	72.338	31.00	14.8801	1.9841	11.6568	0.8061	0.1240	1.5501	1.23905	1.96448	0.78855	0.05753	0.00387	22	34	13	1
266	4	27.54	53.96	73.1	96.52	235.12	177.184	75.94	36.4493	4.6599	28.5519	1.9743	0.3287	3.7948	3.03401	4.81179	1.78490	0.14092	0.00947	22	34	13	1
267	4	18.1	28.55	39	45.29	130.94	91.658	39.28	18.8354	2.5140	14.7000	1.0213	0.1571	1.9641	1.56897	2.48816	0.92313	0.07990	0.00490	22	34	13	1
268</																							

ANEXO 35

VALOR CORRESPONDIENTE g/mol			
509,7485			
Rápidamente biodegradable:			
$1(MOBR) + 9.5H_2O \rightarrow 16.75CH_4 + 15.25CO_2 + NH_3$			
	671,75	→	956,0
Peso específico	CH4 (kg/m3)		0,717
Peso específico	CO2 (kg/m3)		1,978
16,75CH4	268		
15,25CO2	671		
Rapidamente biodegradable (m3N)			
CH4	149,959597		
CO2	136,098976		
Vol teórico biogas (Vol/kg)	1,39875		

ANEXO 36

Cálculo de posibilidad de usarse el biogás como sistema complementario del gas doméstico (Butano)

# Personas por hogar	SUSTRATO [Kk]	SUSTRATO [k]	SUSTRATO [MOLES]	CH4 [MOLES]	CH4 [Kg]	ENERGÍA PCI CH4= 11,973 [Kcal/Kg]	# Cilindros 15 kg	ENERGÍA BUTANO	RELACIÓN PODER CALORÍFICO BUTANO/CH4 PCI	SUSTITUIBLE	
8	62,63	62630	6,907	1250,243	20,05703	240142,78	1	160845,00	0,669789041	Si	Total hogares=
3	28,954	28954	3,193	577,990	9,272412	111018,58	1	160845,00	1,448811482	No	Total Si es=
6	67,19	67190	7,410	1341,272	21,51735	257627,23	3	482535,00	1,872996919	No	Total No es=
4	13,471	13471	1,486	268,913	4,314038	51651,98	Electrildad		0	No	
4	19,17	19170	2,114	382,679	6,139122	73503,70	2	321690,00	4,376514101	No	Proporción sustituible
5	35,8	35800	3,948	714,653	11,46482	137268,26	2	321690,00	2,343513277	No	
4	114,68	114680	12,648	2289,285	36,72585	439718,56	1	160845,00	0,363790789	Si	
5	100	100000	11,029	1956,237	32,02463	383430,91	2	321690,00	0,838977753	Si	Máximo
4	16,357	16357	1,804	326,524	5,238269	62717,79	1	160845,00	2,564583216	No	
6	28,71	28710	3,166	573,120	9,194272	110083,01	2	321690,00	2,922249227	No	
3	29,2	29200	3,220	582,901	9,351192	111961,82	1	160845,00	1,436605742	No	
3	15,67	15670	1,728	312,810	5,01826	60083,62	2	321690,00	5,354037991	No	
4	25,33	25330	2,816	509,639	8,175888	97899,91	1	160845,00	1,643121334	No	
6	24,56	24560	2,709	490,276	7,365249	94170,61	1	160845,00	1,708016599	No	
7	44,95	44950	4,958	897,308	14,39507	172352,19	2	321690,00	1,866468861	No	
6	123,48	123480	13,619	2464,953	39,54401	473460,48	1	160845,00	0,339722122	Si	
5	43,5	43500	4,798	868,363	13,93071	166792,44	2	321690,00	1,92868449	No	
6	180,64	180640	19,923	3606,002	57,84929	692629,59	3	482535,00	0,696671075	Si	
6	24,37	24370	2,688	486,483	7,804403	93442,11	1	160845,00	1,721333101	No	
4	12,88	12880	1,421	257,118	4,124772	49385,90	1	160845,00	3,256901216	No	
7	31,56	31560	3,458	625,827	9,039773	109205,59	1	160845,00	1,308082541	No	
3	22,48	22480	2,479	448,754	7,191137	86195,27	1	160845,00	1,866053722	No	
4	15,97	15970	1,761	318,799	5,114334	61233,92	1	160845,00	2,626730599	No	
4	54,09	54090	5,966	1079,765	17,32212	207397,78	1	160845,00	0,775538688	Si	
4	47,294	47294	5,216	944,100	15,14573	181339,81	1	160845,00	0,886981174	Si	
1	6,27	6270	0,692	125,164	2,007944	24041,12	1	160845,00	6,690412705	No	
7	13,773	13773	1,519	274,942	4,410752	52809,94	2	321690,00	6,091467024	No	
5	39,76	39760	4,385	793,704	12,73293	154521,13	1	160845,00	1,05052592	No	
5	20,08	20080	2,208	399,647	6,411331	76762,87	1	160845,00	2,095349034	No	
6	40,745	40745	4,494	813,367	13,04844	156228,92	2	321690,00	2,059093762	No	
2	10,189	10189	1,124	203,397	3,26299	39067,78	1	160845,00	4,117076029	No	
5	61,5	61500	6,783	1227,686	19,69515	235810,01	1	160845,00	0,682095734	Si	
4	19,74	19740	2,177	394,057	6,321662	75689,26	1	160845,00	2,125070297	No	
5	56,2	56200	6,198	1121,885	17,99794	215488,17	1	160845,00	0,746421489	Si	
6	26,075	26075	2,876	520,519	8,350423	99979,61	2	321690,00	3,217556101	No	
5	31,55	31550	3,480	629,813	10,10377	120972,45	1	160845,00	1,329600243	No	
2	8,451	8451	0,932	168,702	2,706402	32403,75	1	160845,00	4,963777974	No	
4	6,045	6045	0,667	120,673	1,935889	23178,40	1	160845,00	6,93943551	No	
10	46,81	46810	5,163	934,439	14,99073	179484,01	1	160845,00	0,896152268	Si	
5	42,6	42600	4,698	850,397	13,64249	163341,57	2	321690,00	1,969431346	No	
5	46,001	46001	5,073	918,289	14,73165	176382,05	1	160845,00	0,911912516	Si	
5	40,4	40400	4,456	806,480	12,93795	154906,09	1	160845,00	1,038338803	No	
4	23,3	23300	2,570	465,123	7,461739	89339,49	2	321690,00	3,600762889	No	
4	34,57	34570	3,813	690,099	11,07091	132552,06	Electrildad		0	No	
3	64,65	64650	7,130	1290,567	20,70392	247888,08	Electrildad		0	No	
4	32,6	32600	3,595	650,773	10,44003	124998,48	1	160845,00	1,286775695	No	
5	126,21	126210	13,920	2519,451	40,41829	483928,15	1	160845,00	0,332373724	Si	
9	205,39	205390	22,652	4100,071	65,77539	787528,74	2	321690,00	0,408480332	Si	
9	27,48	27480	3,031	548,566	8,800369	105366,81	3	482535,00	4,579572889	No	
4	39,93	39930	4,342	797,822	10,9929	131922,11	1	160845,00	0,803389025	No	
3	52,15	52150	5,752	1041,038	16,70085	199959,22	1	160845,00	0,804389025	Si	
5	36,89	36890	4,069	736,412	11,81389	141447,66	1	160845,00	1,13713439	No	
6	101,47	101470	11,191	2025,582	32,49539	389067,34	Electrildad		0	No	
2	10,708	10708	1,181	213,757	3,429197	41057,78	1	160845,00	3,917527798	No	
5	43,750	43750	4,825	873,354	14,01078	167751,02	1	160845,00	0,958831718	Si	
2	8,346	8346	0,920	166,606	2,672776	32001,14	1	160845,00	5,026226655	No	
5	55,489	55489	6,149	1107,517	17,07527	20727,47	1	160845,00	1,340648375	Si	
6	31,29	31290	3,451	624,623	10,02051	119375,33	1	160845,00	1,340648375	No	
2	17,44	17440	1,923	348,144	5,585096	66870,35	1	160845,00	2,405326127	No	
5	44,726	44726	4,933	892,837	14,32334	171493,31	1	160845,00	0,937908323	Si	
5	44,31	44310	4,887	884,533	14,19011	169898,23	1	160845,00	0,946713782	Si	
7	41,52	41520	4,579	828,838	13,29663	159200,51	2	321690,00	2,020659329	No	
5	13,684	13684	1,509	273,165	4,38225	52468,69	2	321690,00	6,131085598	No	
5	28,289	28289	3,121	564,915	9,62165	115627,11	1	160845,00	1,48234523	Si	
4	25,62	25620	2,826	511,436	8,20471	98235,00	Electrildad		0	No	
6	69,47	69470	7,662	1386,786	22,24751	266369,45	1	160845,00	0,603841769	Si	
4	30,991	30991	3,418	618,654	9,924753	118829,07	2	321690,00	2,7071658	No	

4	30,991	30991	3,418	618,634	9,924,733	118829,07	2	321690,00	2,7071658	No
1	8,41	8410	0,927	162,158	2,601415	31146,74	1	160845,00	5,164103174	No
5	142,43	142430	15,693	2746,269	44,05702	527494,74	1	160845,00	0,304922472	Si
3	21,944	21944	2,418	423,114	6,787807	81270,41	1	160845,00	1,979133599	No
3	15,05	15050	1,658	290,187	4,655327	55738,23	1	160845,00	2,885721441	No
4	61,9	61900	6,820	1193,527	19,14716	229248,92	2	321690,00	1,403234497	No
8	49,62	49620	5,467	956,750	15,34866	183769,49	2	321690,00	1,75050817	No
4	39,5	39500	4,352	761,621	12,2183	146289,70	2	321690,00	2,198992795	No
6	30,87	30870	3,401	595,221	9,548833	114328,18	2	321690,00	2,813741995	No
2	24,99	24990	2,753	481,846	7,730008	92551,38	Electricidad		0	No
4	37,375	37375	4,118	720,647	11,56099	138419,69	Electricidad		0	No
6	135,5	135500	14,929	2612,648	41,91341	501829,23	2	321690,00	0,6410348	Si
3	13,621	13621	1,501	262,634	4,213303	50445,87	1	160845,00	3,188466904	No
4	29,85	29850	3,289	575,554	9,233323	110550,57	1	160845,00	1,454944981	No
3	19,328	19328	2,130	372,674	5,978615	71581,96	1	160845,00	2,247004744	No
3	24,79	24790	2,731	477,989	7,668143	91810,68	2	321690,00	3,503840879	No
7	4,698	4698	0,518	90,585	1,453204	17399,22	2	321690,00	18,48876445	No
5	45,35	45350	4,997	874,418	14,02785	167955,39	Electricidad		0	No
6	21,127	21127	2,328	407,361	6,535089	78244,62	1	160845,00	2,055668467	No
5	25,87	25870	2,850	498,813	8,002213	95810,50	1	160845,00	1,678782671	No
4	23,1	23100	2,545	445,403	7,145385	85551,70	1	160845,00	1,880091242	No
4	180,71	180710	19,911	3484,366	55,89795	669266,13	2	321690,00	0,480660812	Si
5	23,753	23753	2,617	457,994	7,347374	87970,11	2	321690,00	3,656810314	No
4	46,1	46100	5,079	888,879	14,25984	170733,04	1	160845,00	0,942084766	Si
5	26,87	26870	2,961	518,095	8,311537	99514,03	2	321690,00	3,23260943	No
5	54,2	54200	5,972	1045,059	16,76536	200731,69	2	321690,00	1,602587	No
3	38,7	38700	4,264	746,195	11,97084	143326,87	1	160845,00	1,122225005	No
4	13,005	13005	1,433	250,756	4,022759	48164,50	Electricidad		0	No
4	20,93	20930	2,306	403,563	6,474152	77515,02	1	160845,00	2,07501709	No
3	45,82	45820	5,048	883,480	14,17323	169696,05	1	160845,00	0,947841722	Si
4	29,87	29870	3,291	575,939	9,239509	110624,64	1	160845,00	1,453970797	No
4	41,74	41740	4,599	804,811	12,91119	154585,62	1	160845,00	1,04049132	No
5	126,27	126270	13,912	2434,680	39,05835	467645,59	1	160845,00	0,343946366	Si
6	78,7	78700	8,671	1517,457	24,3438	291468,34	2	321690,00	1,103687616	No
1	98,71	98710	10,876	1903,280	30,53338	365576,11	1	160845,00	0,439976777	Si
4	21,38	21380	2,356	412,239	6,613348	79181,62	1	160845,00	2,031342736	No
7	63,59	63590	7,006	1226,113	19,66992	235507,90	1	160845,00	0,682970714	Si
5	41,62	41620	4,586	802,498	12,87407	154141,20	2	321690,00	2,08698259	No
10	48,6	48600	5,355	937,083	15,03315	179991,89	3	482535,00	2,680870845	No
3	37,5	37500	4,132	723,058	11,59965	138882,63	1	160845,00	1,158136205	No
4	126,02	126020	13,885	2429,859	38,98102	466719,70	2	321690,00	0,689257383	Si
4	61,4	61400	6,765	1183,886	18,9925	227397,16	1	160845,00	0,707330744	Si
5	51,16	51160	5,637	986,443	15,82502	189472,94	1	160845,00	0,8489075	Si
6	43,65	43650	4,809	841,639	13,50199	161659,38	2	321690,00	1,989924751	No
6	70,6	70600	7,779	1361,276	21,83828	261469,69	Electricidad		0	No
3	10,236	10236	1,128	197,366	3,166241	37909,40	1	160845,00	4,242878829	No
3	46,39	46390	5,111	894,470	14,34954	171807,07	1	160845,00	0,936195467	Si
4	9,3	9300	1,025	179,318	2,876714	34442,89	2	321690,00	9,339808106	No
4	38,203	38203	4,209	736,613	11,81711	141486,21	1	160845,00	1,136824535	No
5	18,65	18650	2,055	359,601	5,768893	69070,96	1	160845,00	2,328692101	No
6	56,88	56880	6,267	1096,734	17,59435	210657,17	2	321690,00	1,52707833	No
4	11,604	11604	1,279	223,743	3,589396	42975,84	1	160845,00	3,74268422	No
5	18,37	18370	2,024	354,202	5,682283	68033,97	1	160845,00	2,364186592	No
5	39,27	39270	4,327	757,186	12,14716	145437,89	1	160845,00	1,105936025	No
3	46,01	46010	5,069	887,143	14,232	170399,73	2	321690,00	1,887855149	No
5	58,818	58818	6,481	1134,101	18,19382	217834,62	2	321690,00	1,476762477	No
4	29,23	29230	3,221	563,599	9,041542	108254,38	1	160845,00	1,485805942	No
3	15,73	15730	1,733	303,299	4,865667	58256,63	1	160845,00	2,760973153	No
3	41,31	41310	4,552	796,520	12,77818	152993,10	1	160845,00	1,0513219	No
5	59,89	59890	6,599	1154,771	18,52542	221804,82	2	321690,00	1,450329193	No
4	57,06	57060	6,287	1100,204	17,65003	211323,81	Electricidad		0	No
4	11,986	11986	1,321	231,108	3,707558	44390,59	1	160845,00	3,623402944	No
6	92	92000	10,137	1773,901	28,45781	340725,38	1	160845,00	0,472066388	Si
6	66,36	66360	7,312	1279,523	20,52674	245766,70	1	160845,00	0,654462141	Si

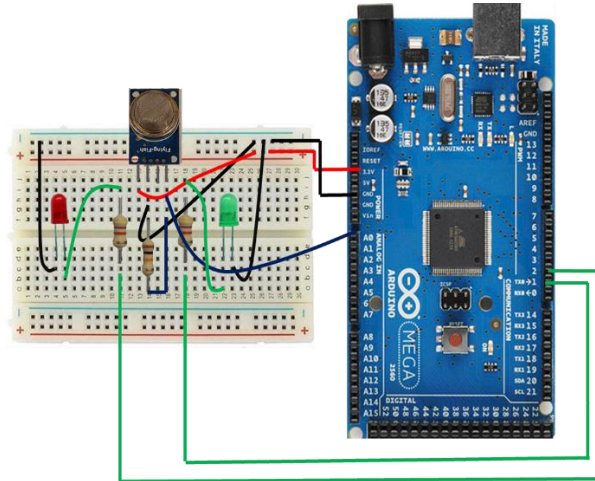
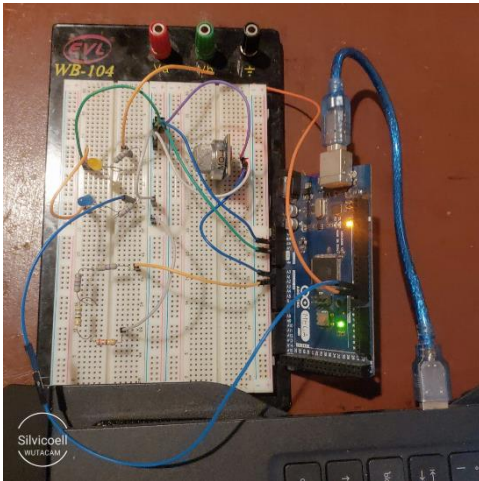
4	19,03	19030	2,104	378,703	6,075343	72740,09	1	160845,00	2,211229143	No
4	22,38	22380	2,474	445,369	7,144834	85545,09	1	160845,00	1,880236398	No
6	16,89	16890	1,867	336,116	5,392147	64560,17	1	160845,00	2,49139672	No
4	40,974	40974	4,530	815,396	13,08098	156618,62	1	160845,00	1,026985176	No
2	10,29	10290	1,138	204,774	3,285091	39332,40	1	160845,00	4,089377123	No
5	24,42	24420	2,700	485,966	7,796105	93342,77	1	160845,00	1,723165053	No
6	30,783	30783	3,403	612,591	9,827499	117664,64	1	160845,00	1,366978222	No
3	72,23	72230	7,986	1437,400	23,05949	276091,25	1	160845,00	0,58257913	Sí
5	22,648	22648	2,504	450,702	7,230393	86569,49	1	160845,00	1,857987045	No
6	74,86	74860	8,276	1489,738	23,89912	286144,14	3	482535,00	1,68633545	No
3	82,72	82720	9,145	1646,154	26,40843	316188,12	Electricidad		0	No
5	12,61	12610	1,394	250,943	4,025753	48200,34	1	160845,00	3,337009564	No
4	23,12	23120	2,556	460,095	7,381079	88373,66	2	321690,00	3,640111643	No
3	8,321	8321	0,920	165,591	2,656486	31806,11	1	160845,00	5,057047302	No
3	13,93	13930	1,540	277,211	4,447164	53245,90	1	160845,00	3,020796166	No
5	29,464	29464	3,257	586,343	9,406407	112622,91	2	321690,00	2,85634609	No
3	12,01	12010	1,328	239,003	3,834203	45906,91	1	160845,00	3,503721115	No
6	54,04	54040	5,975	1075,413	17,25232	206561,97	1	160845,00	0,778676732	Sí
4	22,99	22990	2,542	457,508	7,339577	87876,75	1	160845,00	1,830347568	No
4	72,066	72066	7,967	1434,136	23,00713	275464,38	2	321690,00	1,167809802	No
3	45,529	45529	5,034	906,042	14,53517	174029,61	1	160845,00	0,924239289	Sí
5	9,739	9739	1,077	193,809	3,109184	37226,26	1	160845,00	4,320740384	No
3	47,37	47370	5,237	942,678	15,12291	181066,63	1	160845,00	0,888319413	Sí
3	30,81	30810	3,406	613,129	9,836118	117767,84	1	160845,00	1,365780285	No
6	74,597	74597	8,247	1484,504	23,81515	285138,85	1	160845,00	0,564093604	Sí
4	18,35	18350	2,029	365,171	5,858253	70140,86	1	160845,00	2,293171115	No
7	32,379	32379	3,580	644,352	10,33702	123765,17	2	321690,00	2,59919643	No
5	71,982	71982	7,958	1432,465	22,98031	275143,30	1	160845,00	0,584586294	Sí
7	133,652	133652	14,776	2659,717	42,66851	510870,10	3	482535,00	0,944535598	Sí
4	16,423	16423	1,816	326,823	5,243056	62775,12	2	321690,00	5,12448281	No
6	65,57	65570	7,249	1304,864	20,93328	250634,13	1	160845,00	0,641752182	Sí
3	61,39	61390	6,787	1221,680	19,59881	234656,54	1	160845,00	0,685448617	Sí
2	15,36	15360	1,698	305,669	4,903693	58711,91	1	160845,00	2,73956319	No
5	47,12	47120	5,209	937,703	15,0431	180111,03	2	321690,00	1,786064966	No
5	17,541	17541	1,939	349,071	5,599979	67048,55	1	160845,00	2,39893339	No
4	90,631	90631	10,020	1803,586	28,93402	346427,05	2	321690,00	0,928593761	Sí
7	52,355	52355	5,788	1041,881	16,71438	200121,24	2	321690,00	1,607475527	No
4	91	91000	10,061	1810,929	29,05183	347837,51	2	321690,00	0,924828365	Sí
4	84,77	84770	9,372	1686,950	27,06289	324024,02	1	160845,00	0,496398379	Sí
4	13,933	13933	1,540	277,271	4,448122	53257,36	1	160845,00	3,02014574	No
5	42,38	42380	4,685	843,375	13,52985	161992,90	2	321690,00	1,985827777	No
6	34,62	34620	3,827	688,949	11,05246	132331,15	1	160845,00	1,215473443	No
5	63,324	63324	7,001	1260,168	20,21624	242049,04	1	160845,00	0,664514096	Sí
4	24,847	24847	2,747	494,463	7,932426	94974,93	1	160845,00	1,693552163	No
5	29,84	29840	3,299	593,825	9,526445	114060,13	1	160845,00	1,410177299	No
6	118,47	118470	13,098	2357,591	37,82165	452838,58	2	321690,00	0,710385593	Sí
5	42,647	42647	4,715	848,689	13,61509	163013,48	2	321690,00	1,973395108	No
5	149,41	149410	16,518	2973,306	47,69927	571103,33	1	160845,00	0,281639051	Sí
3	32,79	32790	3,625	652,531	10,46823	125336,18	1	160845,00	1,283308649	No
5	19,29	19290	2,133	383,877	6,158349	73733,91	3	482535,00	6,544275365	No
7	15,534	15534	1,717	309,132	4,959243	59377,01	2	321690,00	5,417753392	No
5	33,16	33160	3,666	659,895	10,58636	126750,46	Electricidad		0	No

3	47,83	47830	5,277	923,458	14,81458	177374,94	1	160845,00	0,906807901	Sí
6	108,545	108545	11,975	2095,688	33,62008	402533,21	Electricidad		0	No
4	12,98	12980	1,432	250,606	4,020348	48135,62	1	160845,00	3,341496295	No
3	134,97	134970	14,891	2605,878	41,8048	500528,87	1	160845,00	0,321350092	Sí
6	29,72	29720	3,279	573,807	9,205295	110215,00	1	160845,00	1,459374896	No
3	20,375	20375	2,248	393,382	6,310831	75559,57	1	160845,00	2,12871764	No
2	28,36	28360	3,129	547,549	8,784057	105171,51	2	321690,00	3,058718047	No
5	149,41	149410	16,484	2884,673	46,27736	554078,83	2	321690,00	0,580585261	Sí
5	13,6	13600	1,500	262,576	4,212383	50434,86	1	160845,00	3,189163376	No
5	44,62	44620	4,923	861,482	13,82033	165470,83	1	160845,00	0,972044418	Sí
8	40,2	40200	4,435	776,145	12,45131	149079,50	1	160845,00	1,078920943	No
11	47,989	47989	5,294	926,528	14,86383	177964,59	1	160845,00	0,903803411	Sí
6	71,6	71600	7,899	1382,388	22,17696	265524,69	1	160845,00	0,605762876	Sí
3	73,89	73890	8,152	1426,601	22,88625	274017,03	1	160845,00	0,586989064	Sí
7	28,18	28180	3,109	544,074	8,728305	104503,99	1	160845,00	1,539127818	No
5	159	159000	17,542	3069,828	49,24771	589642,82	3	482535,00	0,818351357	Sí
5	85,28	85280	9,409	1646,509	26,41412	316256,22	1	160845,00	0,508590782	Sí
6	279,21	279210	30,804	5390,733	86,48084	1035435,04	1	160845,00	0,155340503	Sí
4	39,99	39990	4,412	772,091	12,38626	148300,73	2	321690,00	2,169173389	No
6	200,24	200240	22,092	3866,052	62,02114	742579,11	2	321690,00	0,433206371	Sí
4	38,703	38703	4,270	747,242	11,98764	143527,96	1	160845,00	1,120652712	No
4	52,51	52510	5,793	1013,815	16,26413	194730,47	2	321690,00	1,651975697	No
5	108,79	108790	12,002	2100,419	33,69596	403441,77	2	321690,00	0,797364131	Sí
4	194,6	194600	21,489	3757,160	60,27424	721663,47	1	160845,00	0,222880894	Sí
5	346	346000	38,173	6680,254	107,168	1283122,11	1	160845,00	0,125354399	Sí
4	33,5602	33560,2	3,703	647,950	10,39474	124456,17	1	160845,00	1,292382701	No
6	83,05	83050	9,163	1603,454	25,72341	307986,39	2	321690,00	1,044494206	No
6	306,2	306200	33,782	5911,831	94,84056	1135525,98	3	482535,00	0,424944042	Sí
5	115,3	115300	12,721	2226,108	35,71233	427583,75	1	160845,00	0,376171916	Sí
5	421,77	421770	46,532	8143,152	130,6365	1564111,01	1	160845,00	0,102834772	Sí
6	66,854	66854	7,376	1290,756	20,70696	247924,41	2	321690,00	1,297532591	No
4	15,44	15440	1,703	298,101	4,782293	57258,40	1	160845,00	2,809107637	No
4	163,26	163260	18,012	3152,076	50,56718	605440,80	1	160845,00	0,265665943	Sí
4	106,7088	106708,8	11,773	2060,237	33,05135	395723,76	2	321690,00	0,812915559	Sí
5	96,07	96070	10,599	1854,832	29,75615	356270,35	2	321690,00	0,902937898	Sí
5	47,6	47600	5,252	919,018	14,74334	176522,00	2	321690,00	1,822379072	No
6	116,9	116900	12,897	2256,999	36,20791	433517,27	2	321690,00	0,742046568	Sí
5	170,9	170900	18,855	3299,582	52,93354	633773,32	1	160845,00	0,253789479	Sí
4	30,68	30680	3,385	592,342	9,50264	113775,10	1	160845,00	1,413709971	No
5	162,7	162700	17,950	3141,264	50,39372	603364,07	2	321690,00	0,533160687	Sí
6	38,46	38460	4,243	742,551	11,91237	142626,81	2	321690,00	2,255466558	No
4	14,251	14251	1,572	275,145	4,414019	52849,06	1	160845,00	3,043479188	No
4	40,02	40020	4,415	772,670	12,39556	148411,98	1	160845,00	1,083773661	No
5	295,12	295120	32,559	5697,909	91,4087	1094436,40	1	160845,00	0,146966054	Sí
4	73,15	73150	8,070	1412,314	22,65704	271272,78	1	160845,00	0,592927162	Sí
4	90,81	90810	10,019	1753,277	28,12695	336763,93	1	160845,00	0,477619446	Sí
4	94,2	94200	10,393	1818,728	29,17694	349335,56	1	160845,00	0,460431231	Sí
4	155,7	155700	17,178	3006,114	48,22559	577404,95	1	160845,00	0,27856533	Sí
6	82,41	82410	9,092	1591,097	25,52518	305612,98	2	321690,00	1,052605798	No
5	105	105000	11,584	2027,245	32,52207	389386,77	Electricidad		0	No
4	51,62	51620	5,695	996,632	15,98847	191429,95	1	160845,00	0,840229018	Sí
4	76,051	76051	8,390	1468,324	23,55558	282030,98	1	160845,00	0,570309686	Sí
4	170,19	170190	18,776	3285,874	52,71363	631140,32	1	160845,00	0,25484824	Sí
5	69,31	69310	7,647	1338,175	21,46766	257032,35	1	160845,00	0,62577726	Sí
5	85,014	85014	9,379	1641,373	26,33173	315269,78	1	160845,00	0,51018211	Sí
5	367	367000	40,056	7210,129	115,6689	1384898,81	1	160845,00	0,11614206	Sí

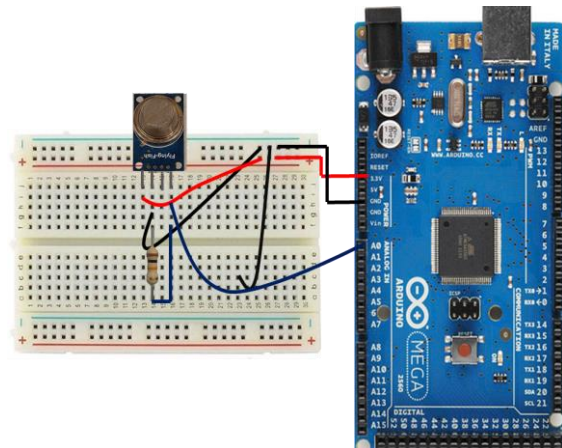
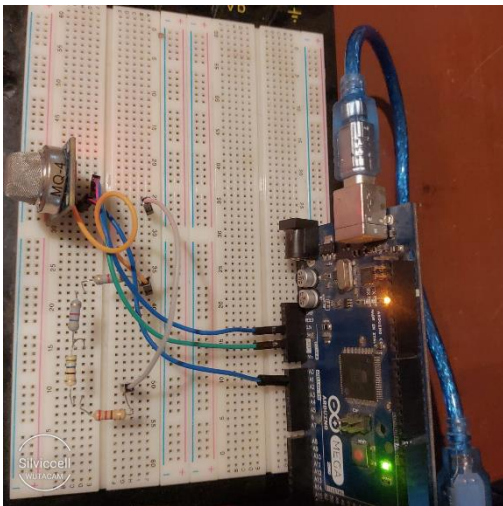
5	367	367000	40,056	7210,129	115,6885	1384898,81	1	160845,00	0,11614206		Sí
5	34,476	34476	3,763	677,320	10,8659	130097,47	1	160845,00	1,236342265		No
5	121,39	121390	13,249	2384,843	38,25885	458073,21	2	321690,00	0,702267665		Sí
5	135,4	135400	14,778	2660,086	42,67442	510940,87	1	160845,00	0,314801595		Sí
4	105,8	105800	11,548	2078,560	33,3453	399243,31	2	321690,00	0,805749261		Sí
5	80,723	80723	8,811	1585,894	25,44171	304613,59	1	160845,00	0,528029631		Sí
6	74,72	74720	8,155	1467,959	23,54973	281960,87	1	160845,00	0,570451498		Sí
4	86,48	86480	9,439	1698,997	27,25616	326338,01	1	160845,00	0,492878537		Sí
4	44,57	44570	4,865	875,628	14,04726	168187,85	1	160845,00	0,956341394		Sí
5	88,265	88265	9,634	1734,065	27,81874	333073,82	1	160845,00	0,48291096		Sí
6	197,7	197700	21,578	3884,039	62,3097	746034,04	2	321690,00	0,431200161		Sí
5	75,31	75310	8,220	1479,550	23,73568	284187,27	1	160845,00	0,565982418		Sí
6	376,9	376900	41,137	7404,625	118,7887	1422257,11	1	160845,00	0,113091366		Sí
4	74,5	74500	8,131	1463,636	23,48039	281130,68	2	321690,00	1,144272105		No
5	68,4	68400	7,466	1343,795	21,55783	258111,93	2	321690,00	1,246319764		No
5	111,9	111900	12,213	2198,402	35,26786	422262,06	2	321690,00	0,761825485		Sí
5	47,88	47880	5,226	940,657	15,09048	180678,35	2	321690,00	1,780456805		No
5	29,34	29340	3,202	576,417	9,247176	110716,43	1	160845,00	1,452765368		No
4	64,05	64050	6,991	1258,334	20,18683	241696,92	2	321690,00	1,330964431		No
5	65,72	65720	7,173	1291,143	20,71317	247998,77	1	160845,00	0,648571758		Sí
5	82,52	82520	9,007	1621,198	26,00808	311394,69	1	160845,00	0,516530973		Sí
4	30,44	30440	3,322	598,028	9,593866	114867,36	1	160845,00	1,400267277		No
4	79,26	79260	8,651	1557,152	24,98061	299092,86	1	160845,00	0,537776128		Sí
4	109,2	109200	11,919	2145,357	34,41689	412073,43	1	160845,00	0,390330915		Sí
5	308,91	308910	33,716	6068,885	97,36009	1165692,35	1	160845,00	0,137982376		Sí
6	171,2	171200	18,686	3363,417	53,95762	646034,54	2	321690,00	0,497945513		Sí
4	53,23	53230	5,810	1045,763	16,77666	200866,93	1	160845,00	0,800754009		Sí
5	103,34	103340	11,279	2030,231	32,56998	389960,33	1	160845,00	0,412465027		Sí
4	253,12	253120	27,627	4972,828	79,77659	955165,08	2	321690,00	0,336789949		Sí
4	130,94	130940	14,291	2572,464	41,26875	494110,76	1	160845,00	0,325524178		Sí
8	193,75	193750	21,147	3806,437	61,06477	731128,46	2	321690,00	0,43999108		Sí
7	134,25	134250	14,653	2637,493	42,31197	506601,27	1	160845,00	0,317498219		Sí
7	111,46	111460	12,165	2189,757	35,12918	420601,69	2	321690,00	0,764832871		Sí
7	27,87	27870	3,042	547,538	8,783871	105169,29	2	321690,00	3,058782627		No
11	152,08	152080	16,599	2987,783	47,93151	573883,95	2	321690,00	0,560548868		Sí
9	563,31	563310	61,483	11066,860	177,5401	2125687,59	2	321690,00	0,151334561		Sí
7	131,7	131700	14,374	2587,395	41,50828	496978,67	3	482535,00	0,970937037		Sí
7	119,5	119500	13,043	2347,712	37,66317	450941,16	2	321690,00	0,71337466		Sí
9	71,109	71109	7,761	1397,016	22,41164	268334,52	1	160845,00	0,599419707		Sí
7	148,8	148800	16,241	2923,344	46,89774	561506,66	1	160845,00	0,286452526		Sí
10	155,36	155360	16,957	3052,222	48,96528	586261,25	1	160845,00	0,274357208		Sí
11	122,84	122840	13,407	2413,330	38,71585	463544,88	1	160845,00	0,346989058		Sí
4	149,2	149200	16,284	2931,202	47,02381	563016,08	2	321690,00	0,571369114		Sí
3	47,056	47056	5,136	924,468	14,83078	177568,93	1	160845,00	0,905817237		Sí
5	34,745	34745	3,792	682,605	10,95069	131112,56	2	321690,00	2,453540706		No
5	13,391	13391	1,462	263,081	4,220482	50531,83	1	160845,00	3,18304353		No
5	60,9	60900	6,647	1196,449	19,19404	229810,18	1	160845,00	0,69990371		Sí
3	32,299	32299	3,525	634,550	10,17977	121882,42	1	160845,00	1,319673548		No
3	44,09	44090	4,812	866,198	13,89598	166376,54	2	321690,00	1,933505825		No
5	16,614	16614	1,813	326,401	5,236284	62694,03	1	160845,00	2,565555309		No
5	38,092	38092	4,158	748,360	12,00557	143742,68	1	160845,00	1,118978681		No
3	47,799	47799	5,217	939,065	15,06495	180372,69	1	160845,00	0,89173698		Sí
6	26,397	26397	2,881	518,599	8,319621	99610,83	2	321690,00	3,22946819		No
4	62,24	62240	6,793	1222,775	19,61637	234866,76	1	160845,00	0,684835089		Sí
5	43,303	43303	4,726	850,736	13,64794	163406,74	Electricidad		0		No
8	55,7	55700	6,079	1094,289	17,55514	210187,64	1	160845,00	0,76524481		Sí

ANEXO 37

Montaje electrónico de calibración del sensor MQ4 con Arduino Mega 2560



Montaje electrónico de medición del sensor MQ4 con Arduino Mega 2560 con resistencia de 10 kΩ



ANEXO 38

Calibración y medición de la concentración CH₄ del sensor MQ4

El sensor MQ4 es sensible a medir CH₄ entre otras concentraciones, para su correcta calibración se recomienda calibrar en 5000 ppm – CH₄ en aire y utilizar una resistencia de carga (R_L) sobre 20 kΩ (10 kΩ a 47 kΩ). Para ajustar la curva de la gráfica considerando las escalas se aplica la función potencial $y = ax^b$, donde: “x” es [ppm] y

Rs/Ro es igual a “y” Se puede dejar establecida la ecuación como: $ppm = \left(\frac{R_s}{R_o}\right)^{\frac{1}{b}}$ se toma puntos de la figura 37 del capítulo 7 página 114. A partir de la curva de la gráfica, se toman puntos para Rs/Ro y ppm y realizando una proximidad por el método de mínimos cuadrados se obtiene el factor de escala y el exponente para el gas que queríamos medir, en este caso CH₄. Usando una relación entre la resistencia real que tenga el sensor y la resistencia que debería tener el sensor en aire limpio teniendo en cuenta la Rs/Ro para 1000 ppm – CH₄, donde Rs es la resistencia de sensibilidad del MQ4 y Ro es la resistencia CH₄ a 1000 ppm en aire limpio.

Donde se procede de la siguiente manera con las ecuaciones dadas:

$$R_{sMQ4} = \left(\frac{V_c}{V_o} - 1\right) R_L \quad , \quad \frac{R_s}{R_o} = 1 \quad , \quad r_o = \frac{R_{s,Media}}{R_{o_{clean_air_factor}}} \quad , \quad V_o = adc \frac{5}{1023}$$

V_c: la tensión de alimentación del sensor, 5 V

V_o: la tensión de salida del sensor. Se lee la salida analógica Los valores de “a:11,25” y “b: -0,351”, al tener un valor de Rs a 10kΩ no se tiene CH₄, es decir 0 ppm y si está a 60 kΩ se tendría 10,000 ppm, en otras palabras, Ro_{clean air factor} debe tener un valor de 10 kΩ. La fórmula para determinar la

resistencia media: $R_{s,media} = \frac{\sum_i^n R_s}{n}$

Rs: Resistencia del sensor $R_s = \left(\frac{V_c}{V_o} - 1\right) R_L$

V_c: tensión de alimentación del sensor, 5 V

V_o: voltaje que cae en la resistencia de carga conectada a la salida analógica $V_o = adc \left(\frac{V_c}{1023}\right)$

V_{RL}: lectura de la salida analógica a la que éste conectado el sensor.

R_L: resistencia de carga, según hoja de especificaciones poner 20 kΩ.

n: número de lecturas realizadas del sensor

ANEXO 39

Programa de calibración y medición del sensor MQ4 con Arduino MEGA 2560

```
#define MQ4          (1) //define la entrada analogica para el sensor
#define RL_VALOR    (5) //define el valor de la resistencia de carga en kilo ohms
#define RAL        (4.45) //resistencia del sensor en el aire limpio / RO, que se deriva de la tabla de la
hoja de datos
#define GAS_CH4     (0)
String inputstring = ""; //Cadena recibida desde el PC
float CH4Curve[3] = {2.3,0.25,-0.35};
float Ro = 10;
void setup(){
  Serial.begin(9600); //Inicializa Serial a 9600 baudios
  Serial.println("Iniciando ...");
  //configuracion del sensor
  Serial.print("Calibrando...\n");
  Ro = Calibracion(MQ4); //Calibrando el sensor. Por favor de asegurarse que el sensor se
encuentre en una zona de aire limpio mientras se calibra
  Serial.print("Calibracion finalizada...\n");
  Serial.print("Ro=");
  Serial.print(Ro);
  Serial.print("kohm");
  Serial.print("\n");
}
void loop()
{
  Serial.print("CH4:");
  Serial.print(porcentaje_gas(lecturaMQ(MQ4)/Ro,GAS_CH4));
  Serial.print("ppm");
  Serial.print(" ");
  Serial.print("\n");
  delay(500);
}
float calc_res(int raw_adc)
{
  return (((float)RL_VALOR*(1023-raw_adc)/raw_adc));
}
float Calibracion(float mq_pin){
  int i;
  float val=0;
  for (i=0;i<50;i++) { //tomar múltiples muestras
    val += calc_res(analogRead(mq_pin));
    delay(500);
  }
  val = val/50; //calcular el valor medio
  val = val/RAL;
  return val;
}
float lecturaMQ(int mq_pin){
  int i;
  float rs=0;
  for (i=0;i<5;i++) {
    rs += calc_res(analogRead(mq_pin));
    delay(50);
  }
}
```

```
rs = rs/5;
return rs;
}
int porcentaje_gas(float rs_ro_ratio, int gas_id){
    if ( gas_id == GAS_CH4 ) {
        return porcentaje_gas(rs_ro_ratio,CH4Curve);
    }
    return 0;
}
int porcentaje_gas(float rs_ro_ratio, float *pcurve){
    return (pow(10, (((log(rs_ro_ratio)-pcurve[1])/pcurve[2]) + pcurve[0])));
}
```

ANEXO 40

Programa de calibración y medición de la Termocupla

```
#include <DallasTemperature.h>

// Pin donde se conecta el bus 1-Wire

#include <DallasTemperature.h>

// Pin donde se conecta el bus 1-Wire

const int pinDatosDQ = 2;

// Instancia a las clases OneWire y DallasTemperature

OneWire oneWireObjeto(pinDatosDQ);

DallasTemperature sensorDS18B20(&oneWireObjeto);

void setup() {

    // Iniciamos monitor serie y sensor de temperatura DS18B20

    Serial.begin(9600);

    sensorDS18B20.begin();

    // Buscamos los sensores conectados

    Serial.println("Buscando dispositivos...");

    Serial.println("Encontrados: ");

    int numeroSensoresConectados = sensorDS18B20.getDeviceCount();

    Serial.print(numeroSensoresConectados);

    Serial.println(" sensores");

    // Si hemos encontrado uno mostramos su dirección

    if(numeroSensoresConectados==1){

        // Tipo definido como una array de 8 bytes (uint8_t)
```

```

DeviceAddress sensorTemperatura;

// Obtenemos dirección

sensorDS18B20.getAddress(sensorTemperatura, 1);

// Mostamos por el monitor serie

Serial.print("Sensor encontrado: ");

// Recorremos los 8 bytes del identificador único

for (uint8_t i = 0; i < 8; i++)

{

    // Si solo tiene un dígito rellenamos con un cero a la izquierda

    if (sensorTemperatura[i] < 16) Serial.print("0");

    // Mostramos los datos que van en HEXADECIMAL

    Serial.print(sensorTemperatura[i], HEX);

}

}

}

void loop() {

}

```

ANEXO 41

Programa: Cálculo de CH₄ con concentración por parte por millón [ppm] del sensor 1 MQ4 calibrado.

The image shows the Arduino IDE interface with a sketch titled "Calculo_de_CH4_MQ4_con_curva_en_ppm" and a serial monitor window open to COM3. The sketch code is as follows:

```
#define MQ4 (1) //define la entrada analogica para el sensor
#define RL_VALOR (5) //define el valor de la resistencia de carga en kilo ohms
#define RAL (9.83) // resistencia del sensor en el aire limpio / RO, que se deriva de la tabla de la hoja de datos
#define GAS_CH4 (1)
String inputstring = ""; //Cadena recibida desde el PC
float CH4Curve[3] = {2.3,0.25,-0.35};
float Ro = 1.08;

void setup(){
  Serial.begin(9600); //Inicializa Serial a 9600 baudios
  Serial.println("Iniciando ...");
  //configuracion del sensor
  Serial.print("Calibrando...\n");
  Ro = Calibracion(MQ4);
  Serial.print("Calibracion finalizada...");
  Serial.print("Ro=");
  Serial.print(Ro);
  Serial.print("kohm");
  Serial.print("\n");
}

void loop()
{
  Serial.print("CH4:");
  Serial.print(porcentaje_gas(lecturaMQ4));
  Serial.print(" ppm");
  Serial.print(" ");
  Serial.print("\n");
  delay(300);
}
```

The serial monitor displays the following output:

```
21:05:35.509 -> Iniciando ...
21:05:35.556 -> Calibrando...
21:06:00.541 -> Calibracion finalizada...
21:06:00.580 -> Ro=41.85kohm
21:06:00.580 -> CH4:0ppm
21:06:01.100 -> CH4:0ppm
21:06:01.664 -> CH4:0ppm
21:06:02.222 -> CH4:0ppm
21:06:02.758 -> CH4:0ppm
21:06:03.306 -> CH4:0ppm
21:06:03.859 -> CH4:0ppm
21:06:04.424 -> CH4:0ppm
21:06:04.986 -> CH4:0ppm
21:06:05.507 -> CH4:0ppm
```

At the bottom of the IDE, a status bar indicates: "El Sketch usa 6574 bytes (2%) del espacio de almacenamiento de programa. El máximo es 253952 bytes. Las variables Globales usan 310 bytes (3%) de la memoria dinámica, dejando 7882 bytes para las variables locales. El máximo es 8192 bytes." and "1 Arduino Mega or Mega 2560 en COM3".

ANEXO 42

Programa: Cálculo de CH₄ con concentración por parte por millón [ppm] del sensor 2 MQ4 calibrado.

The image shows the Arduino IDE interface with a sketch titled "Calculo_de_CH4_MQ4_con_curva_en_ppm" and a serial monitor window titled "COM3".

```
Calculo_de_CH4_MQ4_con_curva_en_ppm
#define MQ4 (1) //define la entrada analogica
#define RL_VALOR (5) //define el valor de la resistencia
#define RAL (9.83) // resistencia del sensor en el aire limpio //
#define GAS_CH4 (1)
String inputstring = "";
float CH4Curve[3] = {2.3,0.25,-0.35};
float Ro = 1.08;
void setup(){
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Iniciando ...");
  //configuracion del sensor
  Serial.print("Calibrando...\n");
  Ro = Calibracion(MQ4); //Calibrando el sensor. Por favor
  Serial.print("Calibracion finalizada...\n");
  Serial.print("Ro=");
  Serial.print(Ro);
  Serial.print("kohm");
  Serial.print("\n");
}

void loop()
{
  Serial.print("CH4:");
  Serial.print(porcentaje_gas(lecturaMQ(MQ4)/Ro,GAS_CH4) );
  Serial.print(" ppm");
  Serial.print(" ");
  Serial.print("\n");
  delay(300);
}

El Sketch usa 6574 bytes (2%) del espacio de almacenamiento de programa. El máximo es 253952 bytes.
Las variables Globales usan 310 bytes (3%) de la memoria dinámica, dejando 7882 bytes para las variables locales. El máximo es 8192 bytes.
```

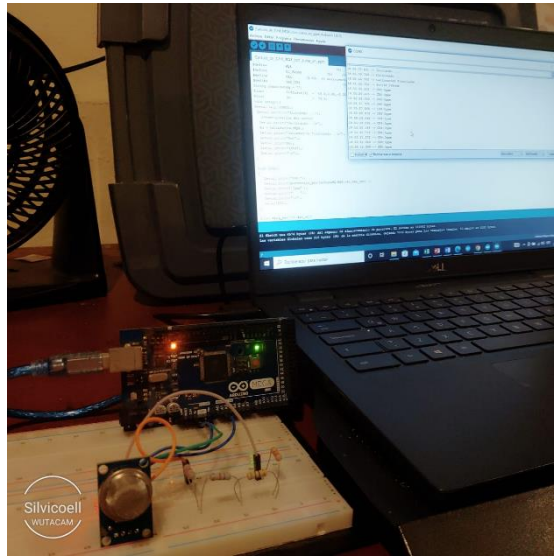
COM3

```
16:41:25.848 -> Iniciando ...
16:41:25.896 -> Calibrando...
16:41:50.893 -> Calibracion finalizada...
16:41:50.893 -> Ro=11.29kohm
16:41:50.938 -> CH4:0ppm
16:41:51.424 -> CH4:0ppm
16:41:51.966 -> CH4:0ppm
16:41:52.551 -> CH4:0ppm
16:41:53.110 -> CH4:0ppm
16:41:53.645 -> CH4:0ppm
16:41:54.190 -> CH4:0ppm
16:41:54.741 -> CH4:0ppm
16:41:55.290 -> CH4:0ppm
16:41:55.865 -> CH4:0ppm
16:41:56.405 -> CH4:0ppm
16:41:56.952 -> CH4:0ppm
```

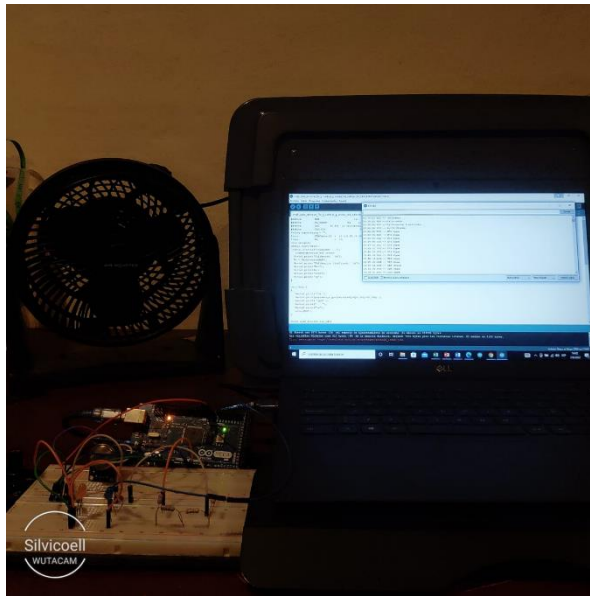
Arduino Mega or Mega 2560 en COM3

ANEXO 43

Programando el MQ4 con Arduino resistencia en el aire.



Programando el MQ4 con Arduino resistencia en R_s calculada.



ANEXO 44

Modelos de BAPE tipo Batch (Por lotes) de laboratorio



BAPE 1



BAPE 3



BAPE 2



BAPE 4

ANEXO 45

Toma de temperaturas de los BAPE



Toma inicial del B1



Temperatura interna de 20°C – B1



Temperatura interna de 23°C – B3



Temperatura con exposición solar 49 °C