



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,

INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“IDENTIFICACIÓN DE LA CANTIDAD Y CALIDAD DE
METANO GENERADO POR LA MATERIA ORGÁNICA
DE LOS BARES DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE
CUENCA”**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

AUTORES: DANNY JICKSON ANDRADE MOROCHO.

PAUL GUSTAVO ASHQUI AREVALO.

DIRECTOR: ING. VICTOR MANUEL CHACÓN CEDEÑO.

CUENCA-ECUADOR

2024

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN.**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL.

**IDENTIFICACIÓN DE LA CANTIDAD Y CALIDAD DE METANO
GENERADO POR LA MATERIA ORGÁNICA DE LOS BARES DE
LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA.**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL.**

AUTORES: DANNY JICKSON ANDRADE MOROCHO

PAUL GUSTAVO ASHQUI AREVALO

DIRECTOR: ING. VÍCTOR MANUEL CHACÓN CEDEÑO

CUENCA - ECUADOR

2024

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD

Danny Jickson Andrade Morocho portador de la cédula de ciudadanía N.º **1104427206** y **Paul Gustavo Ashqui Arevalo** portador de la cedula de ciudadanía N.º **0106579758**. Declaramos ser los autores de la obra: **“Identificación de la cantidad y calidad de metano generado por la materia orgánica de los bares de la Universidad Católica de Cuenca”**, sobre la cual nos hacemos responsables sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaramos que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaramos finalmente que nuestra obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales,éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también nos responsabilizamos y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 14 de marzo del 2024

F: 

Danny Jickson Andrade Morocho

1104427206

F: 

Paul Gustavo Ashqui Arevalo

0106579758

CERTIFICACIÓN

Yo, Ing. Víctor Manuel Chacón Cedeño con CI: **0102519071** en calidad de director de tesis certifico que el trabajo **“Identificación de la cantidad y calidad de metano generado por la materia orgánica de los bares de la Universidad Católica de Cuenca”**, fue realizado por los estudiantes Danny Jickson Andrade Morocho y Paul Gustavo Ashqui Arevalo, bajo mi supervisión.

Cuenca, 14 de marzo del 2024



Ing. Víctor Manuel Chacón Cedeño

DIRECTOR.

DEDICATORIA

Con mucha alegría y entusiasmo dedico mi tesis, primero a Dios por ser mi guía durante mi formación académica.

A mis padres por su inquebrantable apoyo, amor y sacrificio a lo largo de mi educación. Su constante aliento y ejemplo de perseverancia han sido mi mayor inspiración.

A mis hermanos por su apoyo incondicional quienes fueron mi motivación para poder culminar mis estudios.

A mis queridos abuelitos, cuya sabiduría y ejemplo han guiados mi vida desde mi infancia. Atreves de vuestras historias y enseñanzas.

Danny J, Andrade.

Con gran regocijo y gratitud, dedico esta tesis que he elaborado con dedicación y esfuerzo a Dios, quien ha sido mi guía y fuente de fortaleza para perseverar.

En agradecimiento al invaluable apoyo y sacrificio de mis amados padres, quienes han sido fundamentales en mi camino hacia el logro de mis metas y la finalización de mi carrera universitaria.

A mis hermanos, quienes han sido mi inspiración constante para perseverar en mis estudios y aspirar a convertirme en un modelo a seguir para ellos

A mis queridos sobrinos, cuya presencia en mi vida ha sido una fuente constante de alegría y motivación.

A mis amigos por su apoyo inquebrantable durante mi trayecto académico. Vuestra amistad ha sido mi roca, brindándome motivación y aliento en cada paso del camino.

Paul G, Ashqui.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Dios por su bondad y bendiciones sobre mí, en cada etapa de mi vida. Por fortalecerme en momentos de debilidad y por concederme la sabiduría para superar los desafíos.

Mis queridos padres, quienes han sido mis pilares inquebrantables durante toda mi vida, por su amor y su constante apoyo han sido la fuerza impulsora detrás de cada uno de mis logros.

A mis queridos hermanos, quiero agradecerles por ser una parte tan importante de mi vida. Gracias por su apoyo, por animarme a seguir mis sueños y por celebrar mis triunfos como si fueran propios.

Queridos abuelos, quiero expresar mi profunda gratitud por el amor incondicional y la generosidad que han demostrado hacia mí a lo largo de los años. Sus palabras de aliento, sus sonrisas cálidas, su legado de bondad y compasión seguirá inspirándome siempre.

Danny J, Andrade.

En primer lugar, expreso mi gratitud a Dios por acompañarme en los momentos más desafiantes de mi vida y por dirigirme por el camino adecuado.

Quiero agradecer a mis padres por haber confiado en mí y por brindarme su apoyo incondicional a lo largo de mis años universitarios.

Agradezco profundamente la alegría y el estímulo que mis queridos sobrinos han traído a mi vida.

También agradezco a mis amigos por su constante apoyo a lo largo de mi carrera académica. Su amistad ha sido un sólido pilar que me ha motivado y alentado en cada etapa de este camino.

Paul G, Ashqui.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se enfoca en el estudio y desarrollo de métodos eficientes para la obtención de metano a partir de materia orgánica. Se aborda la importancia del metano como recurso energético y su relevancia en la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero. Se revisa la literatura científica actualizada sobre los diferentes enfoques y tecnologías utilizadas para la obtención de metano, destacando los avances más recientes en el campo.

La investigación se enfoca en la selección y caracterización de la materia orgánica de los cuatro bares de comida de la Universidad Católica de Cuenca, campus central, utilizando reactores anaeróbicos de 55 galones en dos situaciones diferentes. Un biodigestor manual procesa residuos orgánicos frescos, mientras que un segundo biodigestor electrónico utiliza rumen de vaca en una relación 1:4 con la materia orgánica. Este último cuenta con sensores para monitorear variables en tiempo real dentro del sistema.

Se evaluaron variables como el pH, oxígeno disuelto, DBO y DQO del lixiviado, con mediciones realizadas a los 75 días en el primer biodigestor y a los 25 días en el segundo. Para determinar la composición del biogás, se utilizaron tubos de almacenamiento y el equipo "Biogás 5000" para el primer biodigestor, mientras que en el segundo se emplearon sensores para el monitoreo. Los dos biodigestores produjeron biogás con bajo contenido de metano, siendo mayor en el segundo reactor (0.55%) a comparación del primero (0.3%), atribuido al tiempo de retención y la composición de la materia orgánica.

Palabras clave: Biodigestor, residuos orgánicos, per cápita, rumen de vaca, sensores.

ABSTRACT

This research studies and develops efficient methods for obtaining methane from organic matter. It addresses the importance of methane as an energy resource and its relevance in mitigating greenhouse gas emissions. The updated scientific literature on approaches and technologies used for methane production was reviewed, highlighting the latest advances in the issue.

The investigation focuses on selecting and characterizing organic matter from the four food bars at the Catholic University of Cuenca, main campus, using 55-gallon anaerobic reactors in two different situations. The first reactor is a manual biodigester that processes fresh organic waste. The second reactor is an electronic biodigester that uses cow rumen in a 1:4 ratio with organic matter. The latter has sensors to monitor variables within the system in real-time.

The study evaluates variables such as pH, dissolved oxygen, BOD, and COD of the leachate. Measurements were taken at 75 days in the first biodigester and 25 days in the second. Storage tubes and the "Biogas 5000" equipment were employed for the first biodigester to determine biogas composition, while sensors were utilized for monitoring in the second biodigester. Both biodigesters produced biogas with low methane content, which was higher in the second reactor (0.55%) than the first one (0.3%), attributed to retention time and organic matter composition.

Keywords: Biodigester, organic waste, per capita, cow rumen, sensors

ÍNDICE.

INDÍCE DE FIGURAS.....	10
INDÍCE DE TABLAS.....	13
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	15
1.1 Contexto y relevancia del tema de investigación.....	15
1.1.1 Justificación de la investigación.....	15
1.2 Formulación y delimitación del problema.....	19
1.2.1 Formulación del Problema.....	19
1.2.2 Delimitación del Problema.....	20
1.3 Objetivos.....	21
1.3.1 Objetivo General.....	21
1.3.2 Objetivos Específicos.....	21
CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	22
2.1 Antecedentes.....	22
2.1.1 Aprovechamiento del metano en el mundo.....	23
2.2 Estado del arte.....	25
2.3 Marco teórico.....	30
2.3.1 Proceso de la digestión anaeróbica.....	30
2.3.2 Etapas de la digestión anaeróbica.....	31
2.3.3 Factores que influyen en la digestión anaeróbica.....	36
2.3.4 Biodigestores.....	49
2.3.5 Tipos de Biodigestores.....	50
2.3.6 Sensores en los biodigestores.....	56
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA APLICADA.....	59
3.1 Metodología para determinar la generación per cápita de los residuos sólidos que genera cada estudiante en los patios de comida de la institución.....	59
3.1.1 Caracterización y cálculo de la generación per cápita de los residuos sólidos esencial para la producción de metano.....	61

3.2	Metodología para identificar los factores que intervienen en el comportamiento de la digestión anaeróbica para la producción del metano como: temperatura, oxígeno disuelto, pH, DBO y DQO presentes en los lixiviados.....	69
3.2.1	Evaluación de las temperaturas	74
3.2.2	Evaluación del pH	74
3.2.3	Evaluación del Oxígeno disuelto.....	75
3.2.4	DQO y DBO del lixiviado	76
3.3	Metodología para cuantificar el volumen de metano generado en los biodigestores a partir de la materia orgánica de los bares de la institución.	78
3.3.1	Medición de cantidad metano.....	78
CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		81
4.1	Resultados para determinar la generación per cápita de los residuos sólidos que genera cada estudiante en los patios de comida de la institución.	81
4.1.1	Resultados de la generación per cápita de los residuos sólidos	82
4.2	Resultados para identificar los factores que intervienen en el comportamiento de la digestión anaeróbica para la producción del metano como: temperatura, oxígeno disuelto, pH, DBO y DQO presentes en los lixiviados.....	84
4.2.1	Temperatura.....	84
4.2.2	Oxígeno disuelto.....	87
4.2.3	PH del lixiviado generado en los biodigestores.....	87
4.2.4	DBO5 del lixiviado.....	88
4.2.5	DQO del lixiviado	88
4.3	Resultados para cuantificar el volumen de metano generado en los biodigestores a partir de la materia orgánica de los bares de la institución.	89
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.		96
5.1	Conclusiones.....	96
5.2	Resultados destacados.....	98
5.3	Recomendaciones	99
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.		101
ANEXO 1		106
	Identificación de los patios de comida.....	106
ANEXO 2		106

Equipos y materiales	106
ANEXOS 3	111
Clasificación de los Residuos para la colocación en los biodigestores	111
ANEXOS 4	113
Ensayos realizados en laboratorio.....	113
ANEXOS 5	116
Cálculo de los pesos volumétricos de los residuos solidos.....	116
ANEXOS 6	118
Número de estudiantes de las carreras de la Universidad Católica de Cuenca (Matriz). 118	
ANEXOS 7	119
Cálculo de la generación per-cápita de los residuos sólidos en los bares de la institución. 119	
ANEXOS 8	120
Evaluación de las temperaturas en el primer biodigestor (manual).....	120
Evaluación de las temperaturas en el segundo biodigestor (sensores).	122
ANEXOS 9	125
Croquis del segundo biodigestor (electrónico).	125
ANEXOS 10.....	126
Monitoreo del segundo biodigestor para la producción de metano (sensores).....	126
Plano del biodigestor manual	129

INDÍCE DE FIGURAS.

Figura 1: Proceso de la digestión anaeróbica para obtener metano.....	31
Figura 2. Procesos de la digestión Anaeróbica.....	32
Figura 3.Esquema de un Biodigestor con relación con el medio rural.....	50
Figura 4. Biodigestor tipo tanque.	53
Figura 5. Biodigestor tipo domo fijo.	54
Figura 6. Biodigestor tipo tambor flotante.	55
Figura 7. Biodigestor tipo Globo.....	56
Figura 8. Sensor para medir presión G1/4 5V.....	57
Figura 9. Tipo de sensor MQ-4.	58
Figura 10. Tipo de sensor DHT22.....	58
Figura 11. Ubicación de los 4 bares donde proviene la materia orgánica para los biodigestores.....	60
Figura 12: Peso promedio de los residuos orgánicos por carreras en los 7 días de recolección.....	62
Figura 13: Peso promedio de los residuos inorgánicos por carreras en los 7 días de recolección.....	62
Figura 14. Composición de materia orgánica de los bares de la Universidad.....	64
Figura 15. Tipo de recipiente utilizado para obtener el volumen.....	65
Figura 16. Resultados per cápita de los residuos orgánicos.	68
Figura 17. Resultados per cápita de los residuos inorgánicos.	69
Figura 18. Colocacion de techo y nivelacion del terreno.	70
Figura 19. Croquis para obtener datos del primer biodigestor (manual).....	70

Figura 20. Croquis para obtener datos del segundo biodigestor (electrónico).	71
Figura 21. Medición del pH tomado a los 60 días en campo y en laboratorio del primer biodigestor (manual).	74
Figura 22. Medición del OD en gm/L, del primer biodigestor (manual).	75
Figura 23. Medición del DQO en gm/L de la primera muestra del primer biodigestor.	76
Figura 24. Cantidad de DBO en mg/L, del primer biodigestor (primera muestra)	77
Figura 25. Modelado del tubo de goma en SketchUp.	78
Figura 26. Resultado de la composición de la muestra del tubo pequeño.	80
Figura 27. Datos de los pesos volumétricos (kg/m ³) de los residuos sólidos obtenidos de la Institución.	81
Figura 28. Porcentaje de residuos sólidos generados y composición de los residuos orgánicos generados en los patios de comida de la institución.	82
Figura 29. Resultado del per cápita ponderado (kg/estudiante*día) de la materia orgánica de los bares.	83
Figura 30. Resultados del per cápita (kg/estudiante*día) de los residuos sólidos de los bares.	83
Figura 31. Temperaturas Ambiente del primer biodigestor (13:00 pm).	84
Figura 32. Temperaturas internas y ambientes (09:00 am) del segundo biodigestor (electrónico).	85
Figura 33. Temperaturas internas y ambientes (13:00 pm) del segundo biodigestor (electrónico).	85
Figura 34. Monitoreo del metano del segundo biodigestor.	90
Figura 35. Monitoreo de la producción de metano con respecto a la temperatura interna.	91

Figura 36. Monitoreo del sulfuro de hidrógeno del segundo biodigestor.	93
Figura 37. Monitoreo del Oxígeno del segundo biodigestor.	94
Figura 38. Monitoreo del Dióxido de carbono del segundo biodigestor.	94

INDÍCE DE TABLAS.

Tabla 1. Tabla resumen.	25
Tabla 2. Componentes del biogás.....	30
Tabla 3. Orígenes de los residuos orgánicos y animales.	37
Tabla 4. Composición química de residuos orgánicos y animales (seca).	37
Tabla 5. Rangos de temperatura y tiempo de la digestión anaeróbica.	39
Tabla 6. Relación C/N del estiércol de Animales.....	42
Tabla 7. Relación C/N de materia orgánica.....	42
Tabla 8. Relación C/N de varias materias orgánicas. Fuente: (Ambientum, 2022)	43
Tabla 9. Relación C/N de varias materias orgánicas. Fuente: (Fernández, 2022).....	43
Tabla 10. Tiempo de retención hidráulica del estiércol de ganado.	46
Tabla 11. Tiempo de retención de los residuos orgánicos.....	46
Tabla 12. Datos de los pesos de los residuos orgánicos del 4 al 13 de octubre.....	61
Tabla 13. Datos de los pesos de los residuos inorgánicos del 4 al 13 de octubre.	62
Tabla 14. Pesos obtenidos de la clasificación en los 7 días de recolección de la materia orgánica.	63
Tabla 15 Dimensiones del tanque.....	64
Tabla 16. Dato del peso volumétrico de los residuos orgánicos del primer día.....	65
Tabla 17. Dato del peso volumétrico de los residuos inorgánicos del primer día.....	65
Tabla 18. Resultados de los pesos volumétricos de todos los días de recolección en los bares de la institución.	66

Tabla 19. Resultados de los pesos volumétricos de todos los días de recolección en los bares de la institución.	66
Tabla 20. Resultados de promedios per cápita de residuos orgánicos e inorgánicos por cada carrera.	68
Tabla 21. Muestra de volumen obtenida de los dos biodigestores.	79
Tabla 22. Medición de metano en la planta de Biogás EMAC BGP ENERGY C.E.M (EBE).	79
Tabla 23. Temperaturas registradas de los dos biodigestores.	86
Tabla 24. Resultado del Oxígeno disuelto de los dos biodigestores.	87
Tabla 25. Resultados del pH de los biodigestores.	88
Tabla 26. Resultados del DBO5 de los dos biodigestores.	88
Tabla 27. Resultados del DQO de los dos biodigestores.	89
Tabla 28. Resultados de la composición del biogás a partir de la materia orgánica (primer biodigestor).	89
Tabla 29. Composición del biogás de los dos biodigestores.	95

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.

1.1 Contexto y relevancia del tema de investigación.

1.1.1 Justificación de la investigación.

Ecuador, como muchos otros países de América Latina, enfrenta un gran desafío en cuanto a la gestión de residuos sólidos. Esto se debe a la falta de infraestructura, recursos económicos y conciencia de la población en temas de sostenibilidad y reciclaje. Con 104 botaderos a cielo abierto, los residuos generan una alta contaminación del suelo, aire y agua, lo que representa un riesgo para la salud pública. Además, muchos de estos lugares carecen de infraestructura adecuada, como sistemas para lixiviados y respiración para gases (Gila Hoyas, 2022).

La producción y saturación de desechos sólidos en el mundo se pueden analizar a través de los siguientes datos y estudios (Mena Roa, 2022):

- A nivel mundial, se generan alrededor de 2.010 millones de toneladas de desechos sólidos municipales al año.
- El 33% de estos desechos sólidos municipales no se gestiona adecuadamente, lo que plantea problemas medioambientales y de salud.
- China es el país que más DSM produce, con 395 millones de toneladas al año, seguido de Estados Unidos, con 265 millones de toneladas.
- La rápida urbanización, el crecimiento de la población y el desarrollo económico han llevado a que la cantidad de residuos sólidos creada aumente en los próximos años

En América Latina, la generación de residuos sólidos también ha experimentado un crecimiento (SEMARNAT, 2016):

- La producción de DSM en la región se caracteriza por un crecimiento sostenido, impulsado por factores como el crecimiento urbano, el desarrollo industrial y las modificaciones tecnológicas.
- En México, por ejemplo, el crecimiento de la generación de residuos sólidos urbanos ha paralelado el gasto del consumo final privado y el Producto Interno Bruto (PIB) nacional.

En Ecuador, un residente de zona urbana generó en promedio 0,84 kg al día como producción per cápita de residuos sólidos (PPC) en 2020. Destaca que Guayas fue la provincia con la mayor producción diaria de residuos, alcanzando los 1,04 kg por habitante (Gila Hoyas, 2022).

La generación semanal de desechos sólidos en Ecuador asciende a 58,829 toneladas, de las cuales solo el 20% se gestiona de manera adecuada (Solíz Torres, 2015). El restante porcentaje se divide entre vertederos al aire libre, celdas emergentes, cuerpos de agua e instalaciones de incineración (Solíz Torres, 2015). Un 45,5% de los municipios reporta la participación de recicladores informales, y se estima que el índice total de reciclaje, considerando tanto las prácticas formales como informales, se sitúa en el 14% (Solíz Torres, 2015).

En relación con la ciudad de Cuenca, de acuerdo con un artículo publicado en El Mercurio el 19 de abril de 2020, la Empresa Municipal de Aseo de Cuenca (EMAC EP) recolectó un promedio diario de 424,00 toneladas (tn) de desechos durante el mes de abril hasta la fecha de publicado en periódico. En marzo, la cifra diaria fue de 525,27 toneladas, en febrero alcanzó las 528,10 toneladas, mientras que en enero registró un total de 568,51 toneladas diarias (Mendieta, 2020).

En este contexto, toda materia orgánica puede contribuir a la generación de gases de efecto invernadero, incluyendo el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O) y otros. De estos gases, el metano (CH₄) se destaca como uno de los principales contribuyentes al efecto invernadero, ya que su capacidad para atrapar calor es significativamente mayor que la del dióxido de carbono (CO₂). Conocido por su potente efecto de absorción de calor, el metano es aproximadamente 28 a 36 veces más eficaz que el CO₂ en retener la radiación infrarroja que regresa del planeta. Aunque se encuentra en menor cantidad que el CO₂ en la atmósfera, el metano puede tener un impacto significativo en el cambio climático debido a su alta capacidad de absorción de calor. Es importante destacar que el metano es principalmente emitido por actividades humanas, como la agricultura, la ganadería, la industria y la descomposición de desechos en vertederos (Ballesteros & Aristizabal, 2007).

Con todo lo anterior expuesto es evidente la necesidad de encontrar energías alternativas y renovables más amigables con la salud y la conservación del medio ambiente. Esta necesidad impulsa la búsqueda de alternativas para complementar las fuentes de energías no renovables, los combustibles fósiles y fertilizantes agrícolas. Una alternativa prometedora es el aprovechamiento del biogás a través de la transformación de los desechos orgánicos y los residuos de animales en un gas ecológico que, a su vez, genera energía limpia. Los beneficios de utilizar el biogás a partir de la materia orgánica se contribuirá con la reducción del cambio climático al impedir la emisión de metano al medio ambiente, así como la disminución de problemas relacionados con malos olores y la acumulación de residuos en vertederos (González Coto, 2013).

El biogás es un subproducto de la descomposición anaeróbica de materia orgánica, donde microorganismos descomponen materiales biodegradables en ausencia de oxígeno. Este proceso puede ocurrir de manera natural o en instalaciones específicas llamadas

biodigestores. Los residuos orgánicos, como restos de alimentos, estiércol, rumen y desechos agrícolas, se introducen en el biodigestor, donde bacterias digieren la materia orgánica y producen biogás como resultado (Sierra & Barrios, 2013). El componente principal del biogás es el metano, que puede alcanzar un porcentaje variable de entre 30% el al 60% dependiendo de los materiales utilizados (Environment, 2022).

Teniendo en cuenta que los combustibles fósiles requieren millones de años para su formación y que su consumo es considerablemente más rápido que su producción natural. Utilizar fuentes de energía como el metano renovable es una alternativa más sostenible (Guillén & Rivas, 2012). Asimismo, la extracción y quema de combustibles fósiles genera una serie de problemas ambientales y de salud en la sociedad. Siendo, necesario aprovechar los desechos y residuos orgánicos (Guillén & Rivas, 2012). Por tanto, el metano generado en los biodigestores emerge como una alternativa económica y rentable. La obtención del metano es un proceso sencillo, práctico y de bajo costo. Este gas constituye una fuente de energía renovable que puede desempeñar un papel crucial en la diversificación de la matriz energética y en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (Guillén & Rivas, 2012). Al analizar y comprender tanto la cantidad como la calidad del metano producido, es factible optimizar los procesos de producción y maximizar su potencial energético. Esta medida, a su vez, ayuda a reducir la dependencia de combustibles fósiles, los cuales son finitos y se agotarán con el tiempo.

En general, se pretende aprovechar los residuos de los bares de la Universidad Católica de Cuenca para la obtención de biogás, esperando una producción entre el 60% al 70 % de acuerdo a los autores (Sierra & Barrios, 2013) o 40% al 60% de acuerdo al autor (Costas, 2019). Este gas es valioso como fuente de energía renovable. El restante porcentaje está compuesto principalmente por dióxido de carbono, con trazas de otros gases.

1.2 Formulación y delimitación del problema.

1.2.1 Formulación del Problema.

Uno de los potenciales problemas es la alta generación de los residuos y desechos sólidos en los bares de la Universidad expuesto en el trabajo de titulación por los Sres. (Aragundi Zambrano & Chamba Duman, 2023). Los bares universitarios suelen producir una cantidad considerable de desechos orgánicos, como restos de alimentos, cáscaras de frutas, posos de café, entre otros. Si no se manejan adecuadamente, estos residuos pueden generar olores desagradables, atraer plagas como moscas, mosquitos o roedores, y contribuir a la proliferación de bacterias y hongos, lo que podría representar un riesgo para la salud pública la gran producción de gases de efecto invernadero.

Además, la acumulación de residuos en vertederos y lugares inadecuados ocasiona la contaminación de suelos, cuerpos de agua lo que produce un impacto negativo en la biodiversidad local. La desintegración de las sustancias orgánicas en circunstancias inapropiadas provoca emisiones de gases de efecto invernadero, como metano, lo que empeora problemas del cambio climático y contribuye al calentamiento global (Martínez, 2013).

Los gases de efecto invernadero son aquellos presentes en la atmósfera que retienen el calor radiante del sol, contribuyendo al fenómeno del efecto invernadero. Este fenómeno está exacerbando el calentamiento global y el cambio climático. Algunos de los principales gases de efecto invernadero incluyen el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O), entre otros (Ballesteros & Aristizabal, 2007). El metano (CH₄) destaca como uno de los principales contribuyentes al efecto invernadero, ya que su capacidad para atrapar calor es significativamente mayor que la del dióxido de carbono (CO₂). Es por esto que, la emisión de metano durante la degradación de los residuos

sólidos representa un problema sustancial en este contexto (Ballesteros & Aristizabal, 2007).

La captación del metano se puede realizar de diferentes maneras, dependiendo de las fuentes de emisiones, como captación en los rellenos sanitarios, de instalaciones ganaderas, en instalaciones de extracción y distribución de gas natural, en aguas residuales, etc (Barreto, 2021). La generación del metano producido por los desechos sólidos se puede lograr a través del proceso de digestión anaeróbica. La efectividad y viabilidad de esta generación dependen de la adecuada clasificación de los residuos orgánicos en las fuentes, así como de una gestión apropiada de los sistemas de recolección y tratamiento. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la generación del metano no es una solución completa y no aborda la raíz del problema de la producción de gases de efecto invernadero (Guillén & Rivas, 2012).

En esta situación, resulta preocupante el posible desaprovechamiento del metano, el cual podría ser utilizado a partir de la materia orgánica como una fuente de energía renovable. La gestión inadecuada de este gas de efecto invernadero conlleva su liberación descontrolada en la atmósfera, lo que supone desperdiciar una valiosa oportunidad para emplearlo como una fuente limpia y sostenible de energía (Sierra & Barrios, 2013).

1.2.2 Delimitación del Problema.

Este proyecto se centra en dos elementos esenciales. En primer lugar, se realizará la recopilación de los desechos sólidos generados en los bares pertenecientes a la Universidad Católica de Cuenca. De donde, se procederá a la clasificación de la materia obtenida de los diferentes bares de la institución, para obtener datos sobre la generación per cápita de los residuos generados en cada patio de comida. Posterior, se reutilizará los residuos orgánicos para emplearles como materia prima para la generación de metano en

un biodigestor, con la posibilidad de convertirlo posteriormente en energía o combustible ecológico.

En segundo lugar, se emplearán los biodigestores previamente diseñado en el trabajo de titulación "Construcción de biodigestor para identificar la cantidad y calidad de biogás generado por la materia orgánica de los bares de la Universidad Católica de Cuenca" (Aragundi Zambrano & Chamba Duman, 2023). Se prestará especial atención al comportamiento del metano. Este análisis se llevará a cabo mediante la evaluación de la composición del gas generado, ya que la proporción de metano es un indicador crucial para determinar la calidad del biogás, el cual desempeña un papel fundamental como fuente de energía.

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo General.

- Evaluar la cantidad y calidad del metano de biodigestores, mediante la caracterización de los residuos orgánicos de los bares de la Universidad Católica de Cuenca.

1.3.2 Objetivos Específicos.

- Determinar la generación per cápita de los residuos sólidos que genera cada estudiante en los patios de comida de la institución.
- Identificar los factores que intervienen en el comportamiento de la digestión anaeróbica para la producción del metano como: temperatura, oxígeno disuelto, pH, DBO y DQO presentes en los lixiviados.
- Cuantificar el volumen de metano generado en los biodigestores a partir de la materia orgánica de los bares de la institución.

CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA.

2.1 Antecedentes

En el año 1776, el científico italiano Alessandro Volta realizó el primer hallazgo del metano (CH₄) como un gas inflamable liberado por los pantanos, sin anticipar la importancia que tendría este gas en la sociedad en los años subsiguientes (Díaz & Durán, 2020).

En 1808, Hymphry Davy, un investigador, intentó examinar la cantidad del metano presente en los residuos orgánicos, específicamente en el excremento bovino.

En 1890, en la India construyeron el primer biorreactor a escala completa, y para 1896, en Exeter, Inglaterra, las calles estaban iluminadas con gas producido a partir de la fermentación de los lodos urbanos en digestores (Environment, 2022).

1896, Donald Cameron adaptó un pozo séptico con el fin de generar su propio gas, y mediante este método de producción de biogás, logró un control eficiente de motores para el año 1900 (BÁEZ & BENÍTEZ, 2015).

Durante la Segunda Guerra Mundial, el metano cobró una importancia notable debido a la escasez de combustible. Sin embargo, tras el conflicto y ante la excesiva dependencia generalizada de los combustibles derivados del petróleo, muchas empresas se vieron obligadas a cerrar. No obstante, a inicios de la década del año 1960 en India, los avances para la obtención de biogás a partir de las excretas de vacas se volvieron popular. Este enfoque tenía una doble finalidad: aprovechar la energía generada y obtener biofertilizantes (Peñañiel Campi & Sancán Medina, 2021).

El metano se posiciona como los primordiales gases responsables del calentamiento por los gases de efecto invernadero, compartiendo los primeros lugares en esa lista con el gas de agua y el dióxido de carbono (Environment, 2022). A lo largo del siglo XX, la

concentración de metano experimentó un aumento. Después, entre los años 1999 y 2006, se mantuvo relativamente constante, pero desde 2016, se observa un incremento a una tasa anual del 0,4% (Peñañiel Campi & Sancán Medina, 2021). Como respuesta a esta tendencia preocupante, se están explorando opciones para reducir las emisiones de metano, lo que podría implicar la captura de biogás mediante biodigestores o la mejora en la gestión de residuos sólidos urbanos. (Peñañiel Campi & Sancán Medina, 2021).

2.1.1 Aprovechamiento del metano en el mundo

El aprovechamiento del metano ha experimentado diferencias en otras regiones del mundo, se debe a factores que no solo abarcan la disponibilidad de materias primas, sino también las políticas diseñadas para fomentar su generación y aprovechamiento. En términos de producción global los países con mayor producción global, se encuentran en China, Estados Unidos y Europa en conjunto representan aproximadamente el 90% de la producción total (Escobedo & de Querétaro, 2014).

En la actualidad, Europa lidera la producción de biogás, Alemania destaca como uno de los países que más aprovecha el biogás de la región, alberga aproximadamente dos tercios de la capacidad de las plantas de biogás en Europa. Inicialmente, el desarrollo de la producción de biogás en el país de Alemania se basó principalmente en el uso de desechos de cultivos como elemento prima. Sin embargo. Las políticas se dirigen hacia el uso de residuos de cultivos, cultivos secundarios, desechos ganaderos y el aprovechamiento de metano de vertederos como materias primas (Environment, 2022).

En China, en la actualidad el uso de biodigestores domésticos en zonas rurales es importante para el gobierno, con el beneficio de aumentar a todos fuentes de energía limpias y combustibles para la cocción. Además, se han creado diversas alternativas para respaldar la creación de establecimientos de generación a mayor producción, es decir,

instalaciones que generan tanto ardor como electricidad. A finales de 2019, “la Comisión Nacional de Desarrollo y Reforma de China” creó un pliego de disposición centrado específicamente en la industria del biogás (Environment, 2022).

En los Estados Unidos, la principal fuente de biogás se ha centrado en la captura de gas de vertederos, lo que actualmente constituye aproximadamente un 90% de su fabricación total de biogás (Liu et al., 2021). Además, ha surgido un aumento en el interés de la producción de biogás con los residuos pecuarios, dado que los proveedores nacionales de ganado son garantes de aproximadamente un poco más del tercio de la producción de metano en el país, según el informe del “USDA en 2016”. Estados Unidos también se destaca a nivel mundial por liderar la utilización de biometano en el sector del transporte, gracias al respaldo de políticas estatales y federales en este ámbito (Martínez Hernández & García López, 2016).

En Perú, se implementaron aproximadamente 20 biodigestores familiares con el objetivo de generar biogás con los desechos orgánicos producidos por las zonas rurales de la comunidad. Cada uno de estos biodigestores produce aproximadamente 0,2 metros cúbicos de biogás al día (Ángel & Miguel, 2017). Esto significa que con biodigestores de 5 metros cúbicos, se logra la generación suficiente de biogás para cocinar durante 3-4 horas al día, que permitirá la sustitución de los combustibles tradicionales durante el proceso de cocción (Viteri Vega, 2020).

Para que el biogás sea inflamable y pueda utilizarse como combustible, es necesario que contenga una proporción de metano que supere el umbral del 45%. Este componente esencial del biogás es fundamental para su capacidad de combustión y su utilidad como fuente de energía renovable (Viteri Vega, 2020).

2.2 Estado del arte.

En la tabla 1 se describen la metodología que siguen los diferentes autores para el aprovechamiento de los residuos orgánicos. Estos estudios se centran en mejorar la eficiencia del proceso, optimizar las condiciones de digestión anaeróbica y explorar nuevas fuentes de materia orgánica para la producción de metano ver tabla 1. Aquí te proporciono un resumen general y algunos ejemplos de investigaciones relevantes.

Tabla 1. Tabla resumen.

Autor/Año	Tema	Tipo de biodigestor	Tipo de materia	Tiempo de retención	Resultados obtenidos
(Díaz & Durán, 2020)	Estudio de prefactibilidad para la generación de biogás a partir de los residuos orgánicos generados en la granja ganadera “Caluco”, en el departamento de Sonsonate	Biodigestor horizontal del tipo tubular	Residuos orgánicos	Climas tropicales es de 30 días	Las heces del ganado generan alrededor de 3446.5 kg por día de biomasa, lo que resulta en una producción estimada de biogás de 121.81 m ³ diarios con un tiempo de retención de aproximadamente 30 días.
(Arana Zevallos, 2021)	Diseño de un biodigestor automatizado para la producción de biogás usando desechos orgánicos para el distrito de Chacapampa	Biodigestor automatizado	Desechos orgánicos	30 días	Los desechos orgánicos de aves presentan un considerable potencial para la generación de biogás, con una tasa de 0.13 m ³ por cada kilogramo. La combinación de residuos orgánicos de diversas especies animales en el biodigestor reduce este potencial, resultando en una generación de biogás con una tasa de 0.037 m ³ por cada kilogramo.
(BÁEZ & BENÍTEZ, 2015)	Diseño y construcción de un biodigestor tipo campana flotante con la utilización de	Biodigestor tipo campana flotante	Desechos porcinos	Retención puede variar	Genera 0,2 m ³ de biogás que se irán acumulado en su reservorio

	desechos porcinos para la finca “el recuerdo”			de entre 24 a 30 días.	de 1 m ³ de capacidad y 10 litros de bioabono.
(Barreto, 2021)	Análisis de producción de metano a partir del desarrollo de un generador de energía no contaminante	Biodigestor tipo tanque	Desechos de residuos de alimentos	30 días	Producción de 1,6 metros cúbicos de biogás por día.
(Briseño Arciniega, 2016)	Producción de biogás a través de la codigestión de residuos sólidos y semisólidos: hacia una planta centralizada de biogás para la generación de energía.	Biodigestores de codigestantes completa o CSTR	Disolución de leche basura de las industrias de quesos, y estiércol de vacas, cerdos, y gallinazos, y las grasas de residuo de producción.	27 días	Se evidencio que las cargas como la C1 y su duplicado, C2, se identificó la carga óptima para el reactor horizontal, con rendimientos de biogás de 1001 L/KgSV y 986 L/KgSV, respectivamente. Todas las cargas tuvieron un tiempo de residencia de 32 días, y se notó que la producción de biogás fue más estable durante los días 12 al 25.
(Viteri Vega, 2020)	Producción de biogás a partir de residuos orgánicos de frutas y hortalizas generados en el mercado Gómez Rendón.	Biodigestores de flujo discontinuo	Residuos orgánicos de frutas y hortalizas	Retención de un mes	Se ha confirmado que es posible obtener biogás a partir de residuos orgánicos de frutas y hortalizas. En el caso específico de los residuos de frutas, correspondientes al tratamiento N°1, se observó una mayor producción de biogás, con un valor promedio de 1.161×10^{-3} m ³ .
(Ramírez Sánchez, 2016)	Valoración de la producción de biogás durante un proceso de digestión anaerobia con contenido ruminal de origen bovino bajo condiciones de tiempo, carga y temperaturas diferenciales.	Biodigestores de laboratorio transportados fácilmente de un lugar a otro.	Ruminal de origen bovino	30 días	Se generó una media armónica de 0,33% sobre el total de 30 días analizados, estos resultados se dan debido a la influencia de

					variables en el proceso de digestión anaerobia.
(Ávila-Hernández et al., 2018)	Generación de biogás a partir del aprovechamiento de residuos sólidos biodegradables en el Tecnológico de Costa Rica, sede Cartago.	Biodigestor tipo tanque de una capacidad de 132 L.	Residuos sólidos biodegradables	24 días	Se inició la generación del biogás en el día nueve y se mantuvo durante todo el tiempo de retención en el biodigestor.
(Sanabria Vindell et al., 2018)	Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia a partir de aprovechamiento de sustratos orgánicos (pasto y aserrín), en la ciudad de Estelí.	Biodigestores tipo Bach	Desechos orgánicos, pasto y aserrín.	23 a 31 días	La sustancia utilizada como el aserrín es mejor en comparación a los desechos utilizados, esto queda verificado al realizar la prueba de la llama.
(Peñañiel Campi & Sancán Medina, 2021)	Evaluación de la mejor alternativa para la obtención de gas metano a partir de materia orgánica para su uso como biocombustible.	Biodigestor tipo tanque	Excretas ganado vacuno, excretas de porcino y residuos obtenidos de rellenos sanitarios.	20 a 30 días	La opción más apropiada económicamente para la obtención de biogás con metano con los sustratos orgánica es las excretas de ganado vacuno, que presenta un poder calorífico de 22,76 MJ/m ³ .
(Aragundi Zambrano & Chamba Duman, 2023)	Construcción de biodigestor para identificar la cantidad y calidad de biogás generado por la materia orgánica de los bares de la Universidad Católica de Cuenca.	Biodigestores tipo tanque	Desechos orgánicos de los bares de la Universidad	90 días	Los resultados muestran que el biogás tiene una baja concentración de metano (0.2%) y un alto contenido de dióxido de carbono (81.3%), por tanto, se estima que el tiempo de retención de 48 días para temperaturas desfavorables que oscilan de (15-18) °C retardan las fases de digestión anaerobia.

Algunas investigaciones realizadas por los autores (Viteri Vega, 2020); (Sanabria Vindell et al., 2018); (Arana Zevallos, 2021). Abordan, aspectos ambientales y económicos de la producción de biogás a partir de residuos orgánicos domiciliarios, incluyendo la evaluación de la generación de biogás. El proceso de los autores se basa principalmente en la digestión anaeróbica, que es un proceso biológico en el cual microorganismos descomponen la materia orgánica en ausencia de oxígeno, generando metano como subproducto del biogás. Para estos autores es una solución prometedora para abordar los desafíos de la gestión de residuos y proporcionar una fuente de energía sostenible. La integración de estas tecnologías en sistemas de gestión de residuos puede contribuir significativamente a la sostenibilidad ambiental y energética.

La materia orgánica obtenida por los autores mencionados está compuesta principalmente de residuos biodegradables que provienen de actividades cotidianas en el hogar. A continuación, se mencionan algunos de los componentes comunes de la materia orgánica domésticas utilizadas por los autores como: restos de alimentos, residuos de cocina, residuos de jardín, aserrín y estiércol de animales domésticos. Como se puede apreciar en las investigaciones de los autores previamente mencionados toman en cuenta el volumen del biodigestor y su diseño que son factores determinantes. Ellos recalcan que los biodigestores con diseños específicos pueden permitir tiempos de retención más cortos. Siendo que, el tiempo de retención es crucial en la transformación de la materia orgánica a biogás y que puede influir al momento de obtener biogás, tiempos de retención más largos pueden aumentar la eficiencia, pero también pueden requerir un mayor volumen de biodigestor.

Como describen en los trabajos de investigación realizados por los autores (Barreto, 2021); (Peñañiel Campi & Sancán Medina, 2021); (Díaz & Durán, 2020). Para la captura de metano, se emplean biodigestores tipo tanque debido a su versatilidad y capacidad para

adaptarse a diversos sustratos, desde estiércol animal hasta residuos orgánicos domésticos. Estos sistemas pueden operar de manera continua, lo que permite la carga y descarga regulares de materiales sin interrupciones. Además, son relativamente fáciles de controlar y monitorear, lo que facilita ajustes en factores como la temperatura, el pH y el tiempo de retención. Estos tipos de biodigestores son más económicos, cómodos y rápidos para mejorar la gestión de residuos domiciliarios.

Otro de los aspectos importantes para obtención de metano es la materia orgánica como muestra los autores (BÁEZ & BENÍTEZ, 2015); (Briseño Arciniega, 2016); (Ramírez Sánchez, 2016). Donde, emplean estiércol de ganado, ruminal de origen bovino, donde este residuo es de mucha importancia ya que es clave para obtener metano en menor tiempo en el proceso anaeróbico debido a que los bovinos son animales rumiantes, lo que significa que tienen un sistema digestivo especializado que incluye la fermentación de los alimentos en el estómago, particularmente en el rumen.

Como se puede observar en las referencias de varios autores, la mayoría utiliza principalmente materia orgánica, como excretas de animales de granja. Partiendo de la investigación de mejorar la calidad y reducción del tiempo de retención para obtener metano en un menor tiempo. Donde se realizará dos biodigestores tipo tanque, el primero solo con contenido de materia orgánica y el segundo con la utilización de materia orgánica incluyendo un porcentaje de rumen de ganado, ya que se pudo evidenciar que es rico en materia orgánica y contiene bacterias metanogénicas que pueden convertir los residuos orgánicos en biogás, principalmente metano, lo cual servirá como un acelerante y reduce el tiempo de retención. Ya que en el trabajo de titulación de (Aragundi Zambrano & Chamba Duman, 2023). Ellos únicamente emplean desechos orgánicos provenientes de la Universidad Católica de Cuenca, lo cual requiere un mayor tiempo de retención y

prolonga el proceso de producción, lo que no sería beneficioso para su uso. Además, no consideran la relación carbono-nitrógeno con la que trabajarán en los biodigestores.

Este trabajo se basó en los estudios realizados por Chamba y Aragundi (2023), donde, la generación per cápita promedio obtenida de la materia orgánica e inorgánica, se obtuvo de 0.0112 kg/ (estudiante por día) de residuos orgánicos y en la materia inorgánica de 0.0010 kg/ (estudiante por día).

2.3 Marco teórico.

2.3.1 Proceso de la digestión anaeróbica

La digestión anaeróbica es un proceso biológico en el cual los microorganismos descomponen materia orgánica en ausencia de oxígeno. Este proceso tiene lugar en ambientes anaeróbicos, como en el fondo de cuerpos de agua, en sedimentos, en el interior de vertederos y en el sistema digestivo de algunos organismos. La digestión anaeróbica es un componente clave en la descomposición de residuos orgánicos y en la producción de biogás (Barreto, 2021).

Este biogás, una mezcla de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), vapor de agua (H₂O), sulfuro, nitrógeno, amoníaco, hidrogeno, gases traza (varios gases en pequeñas cantidades), en la tabla 1 se puede observar el porcentaje en el que se puede encontrar cada gas (El-Mashad et al., 2004).

*Tabla 2. Componentes del biogás.
Fuente: (Salleh et al., 2016).*

Components	Amount (%)
Methene	50 - 75
Carbon dioxide	25 - 45
Water vapour	2 - 7
Sulphide	0.002 - 2
Nitrogen	< 2
Ammonia	< 1
Hydrogen	< 1
Traces gases	< 2

2.3.2 Etapas de la digestión anaeróbica

La digestión anaeróbica se distingue por su complejidad, influenciada por la diversidad de reacciones bioquímicas y la participación de varios microorganismos en condiciones de ausencia de oxígeno. De hecho, muchas de estas reacciones ocurren simultáneamente. La metodología del análisis anaeróbico de los desechos orgánica se divide en cuatro etapas o fase distintas (ROJAS, 2019).

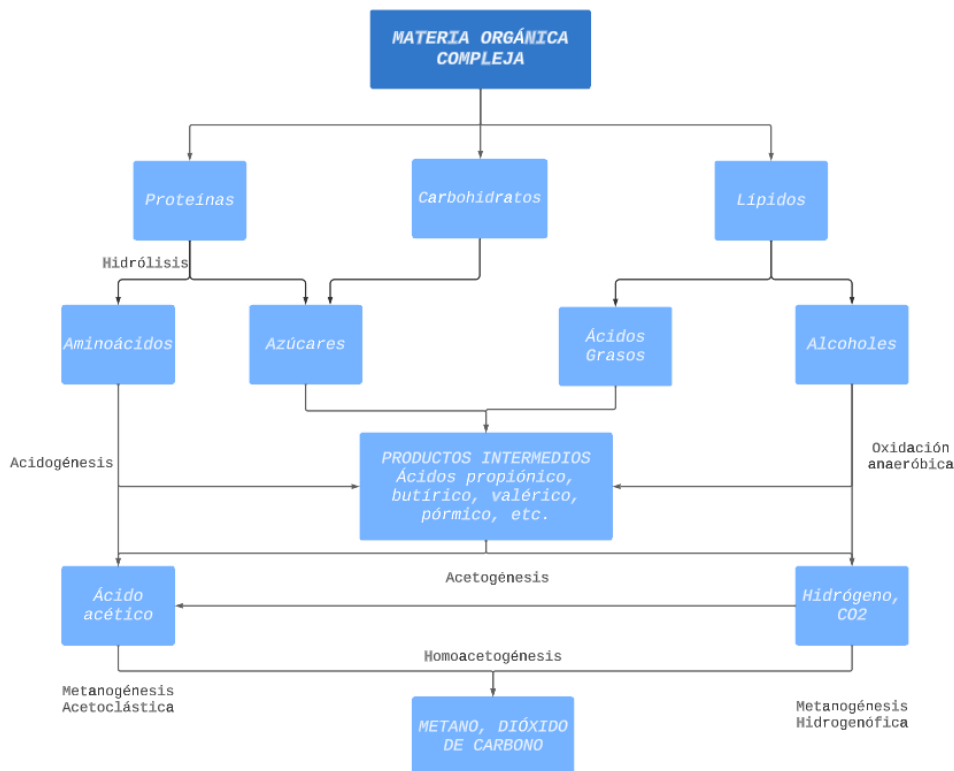
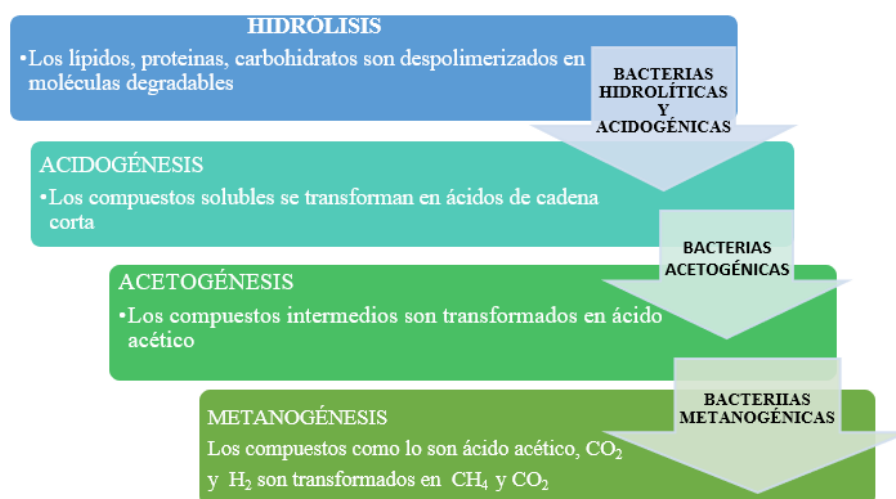


Figura 1: Proceso de la digestión anaeróbica para obtener metano.
Fuente: (Viteri Vega, 2020)

El proceso de digestión anaeróbica implica un balance dinámico entre bacterias metanogénicas y no metanogénicas. Para lograr el estado de equilibrio necesario, el biodigestor debe mantener condiciones específicas, incluyendo la ausencia de oxígeno disuelto, concentraciones inhibitorias de amoníaco libre y un pH dentro del rango óptimo. En el análisis de la evaluación anaeróbica de la materia orgánica, se destacan procesos cruciales como la hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis, ejecutados por

diversos grupos bacterianos. Estos procesos son esenciales para la generación de biogás, una valiosa fuente de energía renovable. En el estudio de la digestión anaeróbica, estos procesos suceden en secuencia y son llevados a cabo por diferentes grupos bacterianos, siendo fundamentales para la producción de biogás como recurso sostenible de energía (Medina Herrera, 2010).

En la siguiente figura se proporciona una descripción de cada uno de estos procesos y su interrelación en la digestión anaeróbica.



*Figura 2. Procesos de la digestión Anaeróbica.
Fuente: (Corona, 2007)*

Durante el proceso que consta de las cuatro fases en el proceso de digestión anaerobia, pueden variar en duración según varios factores, como el tipo de material orgánico, la temperatura, la humedad, el pH y la presencia de microorganismos particulares. En líneas generales, la duración de estas fases puede oscilar desde pocos días hasta varias semanas, dependiendo de las condiciones específicas del proceso (Ávila-Hernández et al., 2018).

Hidrólisis

La hidrólisis es conocido como la primera etapa, se observa el procesamiento de las cadenas de materia orgánica presente. Este proceso de análisis es posible gracias a la acción de bacterias hidrolíticas, las cuales se encargan de descomponer las moléculas

disueltas en el agua. Estas moléculas pueden ser grasas, proteínas o carbohidratos, las cuales se transforman previamente en polímeros más simples (Díaz & Durán, 2020).

La complejidad inherente de las moléculas más grandes se simplifica mediante la descomposición en componentes más simples, lo que facilita su asimilación por parte de los microorganismos. En este proceso de desglose, donde, dichas proteínas se desintegran por aminoácidos, los lípidos se descomponen en ácidos grasos y glicerol, los carbohidratos se transforman en azúcares, la celulosa se convierte en glucosa y celobiosa, y la hemicelulosa se descompone por hexosas y pentosas. Durante esta fase, la eficiencia de la hidrólisis y la velocidad del proceso son influenciadas por diversos factores, entre los que se incluyen el pH, la temperatura, el tipo de material orgánico y el tamaño de las partículas, donde, se encuentran a condiciones de temperaturas moderadas (aproximadamente 25-40°C), el tiempo de hidrólisis puede estar en el rango de 1 a 7 días. (Varnero Moreno, 2011).

Acidogénesis

La etapa de acidogénesis, las moléculas más simples experimentan una descomposición que resulta en la formación de cadenas pequeñas de ácidos grasos, siendo el ácido acético el más predominante. Además, se generan propionato y butirato durante este proceso. En esta fase también se produce dióxido de carbono, alcoholes e hidrógeno. Cabe destacar que algunas bacterias tienen la capacidad de prosperar en entornos ácidos y requieren la presencia de oxígeno y carbono en el sustrato para producir ácido acético. Este escenario crea situaciones satisfactorias para la multiplicación de los microorganismos representantes de la fabricación de metano (Medina Herrera, 2010).

La presencia de este grupo de bacterias es crucial no solo porque genera el alimento para los grupos bacterianos que intervienen en etapas posteriores, sino también porque

eliminan cualquier rastro de oxígeno disuelto en el sistema. Este conjunto de microorganismos incluye bacterias facultativas y bacterias anaeróbicas estrictas, y se les conoce en conjunto como "bacterias formadoras de ácidos". Su papel es fundamental en el proceso de digestión anaeróbica (Ávila-Hernández et al., 2018).

Las bacterias anaerobias facultativas tienen la capacidad de utilizar oxígeno molecular para complementar su metabolismo, pero no pueden crecer en presencia de oxígeno. De hecho, incluso pequeñas cantidades de oxígeno pueden resultar tóxicas para ellas. Por lo tanto, su habilidad para consumir oxígeno es una estrategia para sobrevivir en entornos anaeróbicos, pero su crecimiento y reproducción se limitan a condiciones libres de oxígeno. Es por esto que, la acidogénesis suele ocurrir a temperaturas (aproximadamente 25-40°C) con un rango de pH ligeramente ácido a neutro es generalmente favorable para la actividad de las bacterias acidogénicas, cuyos valores de pH oscilan entre 5.5 a 7.5. (Ángel & Miguel, 2017).

Acetogénesis

Durante esta etapa, las bacterias acetogénicas son responsables de descomponer los ácidos orgánicos en alcoholes, ácidos grasos y compuestos aromáticos. Este proceso resulta en la producción de ácido acético y la liberación de productos esenciales como hidrógeno y dióxido de carbono. Estos compuestos son elementos fundamentales y precursores necesarios para el metabolismo de las bacterias metanogénicas (Medina Herrera, 2010).

Se hace mención a la minimización de acetato, un proceso donde implica generación de acetato a través de dos vías: la disminución de dióxido de carbono (CO₂) y transformación de los ácidos orgánicos en acetato. Los acetógenos que requieren hidrógeno, también llamados homoacetógenos, son microbios anaeróbicos estrictas que

principalmente emplean la ruta del acetyl-CoA. Mediante este dispositivo, el acetyl-CoA se reduce a partir de CO₂, proporcionándoles energía y un método de conservación de electrones. Además, esta estrategia les permite sintetizar compuestos de carbono para el crecimiento celular a partir de CO₂. La acetogénesis generalmente ocurre a temperaturas (alrededor de 25-40°C), valores que se encuentran en un rango de pH ligeramente ácido a neutro (aproximadamente 6.5-7.5) suele ser favorable para la actividad de las bacterias acetogénicas. (Barreto, 2021).

Metanogénesis

En este punto, una variedad de bacterias anaeróbicas estrictas colabora en el procesamiento de los productos generados en las fases anteriores. Entre estos microorganismos, los metanogénicos desempeñan un papel crucial en la asociación de bacteria anaerobios, encargados de la producción metano y eliminar los subproductos como las etapas previas del lugar. De hecho, son los responsables de denominar al proceso global como biometanización (Viteri Vega, 2020).

La producción de metano se lleva a cabo a través de tres aspectos primordiales: (1) la minimización de dióxido de carbono, (2) la digestión de acetato y (3) la minimización de metanol o metilaminas. En estas rutas, un proceso frecuente implica la eliminación de la metilcoenzima M para generar metano, así como la baja del heterodisulfuro de la coenzima M y la coenzima B. Todo este proceso es catalizado por la metilcoenzima M y las reductasas de heterodisulfuro (Díaz & Durán, 2020).

Se ha demostrado que alrededor del 70% del metano generado en los reactores anaeróbicos proviene de la descarboxilación del ácido acético. Los géneros de microorganismos Methanosarcina y Methanotrix, pertenecientes al dominio Archaea y conocidos como metanógenos, desempeñan un papel crucial en este proceso al

descomponer materia orgánica de manera anaeróbica. *Methanosarcina* utiliza tres rutas metabólicas para la producción de metano y prospera en entornos con altas concentraciones de acetato, mientras que *Methanothrix* se especializa en el uso de acetato como sustrato, mostrando una alta afinidad por este compuesto, aunque con una tasa de crecimiento más lenta en comparación con *Methanosarcina*. Estas características hacen que *Methanothrix* sea más adecuado para entornos con bajas concentraciones de acetato. Ambos géneros son esenciales en la producción de metano a partir de diversos sustratos orgánicos, y su presencia y actividad están influenciadas por la composición química y las condiciones ambientales. Además, la fracción restante del metano se origina a partir de sustancias como el ácido carbónico, el ácido fórmico y el metanol, siendo el ácido carbónico el sustrato más significativo, ayudando a la reducción mediante el hidrógeno derivado del período preliminar del proceso. La temperatura y el pH son factores críticos para la metanogénesis, ya que operan mejor a temperaturas moderadas, alrededor de 25-40°C, y en un rango de pH ligeramente alcalino a neutro (aproximadamente 6.8-7.5), lo cual es favorable para la actividad de las arqueas metanogénicas (Díaz & Durán, 2020).

2.3.3 Factores que influyen en la digestión anaeróbica

Características y estructura bioquímica de los desechos primarios

La multitud de materias primas susceptibles de ser utilizadas en la digestión metanogénica abarcan desde restos orgánicos provenientes de vegetales, forestal, animal, industrial, forestal, doméstico, entre otros. Las estructuras bioquímicas de estos desechos son propicias para promover el crecimiento y la acción microbiana en el método anaeróbico. Este proceso microbiológico está influenciado no solo por la disponibilidad de fuentes de carbono y nitrógeno, sino también por un equilibrio adecuado de sales minerales. Estas sales comprenden elementos como azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc y cobalto (Varnero Moreno, 2011).

Tabla 3. Orígenes de los residuos orgánicos y animales.

Fuente: (Varnero Moreno, 2011)

Residuos de origen animal	estiércol, orina, guano, camas, residuos de mataderos (sangre y otros), residuos de pescados.
Residuos de origen vegetal malezas	malezas, rastrojos de cosechas, pajas, forraje en mal estado.
Residuos de origen humano	heces, basura, orina.
Residuos agroindustriales	salvado de arroz, orujos, cosetas, melazas, residuos de semillas.
Residuos forestales	hojas, vástagos, ramas y cortezas.
Residuos de cultivos acuáticos	algas marinas, jacintos y malezas acuáticas.

Tabla 4. Composición química de residuos orgánicos y animales (seca).

Fuente: (Varnero Moreno, 2011)

Materia Prima	Lípidos (%)	Proteínas (%)	Celulosa Hemicelulosa (%)	Lignina (%)	Ceniza (%)
Paja de trigo	1,10	2,10	65,45	21,60	3,53
Paja de centeno	9,62	5,42	59,95	12,70	12,31
Paja de arroz	2,35	12,26	30,51	10,61	12,55
Poroto verde	3,80	11,04	39,61	13,84	9,14
Pasto verde	8,05	4,94	57,22	9,80	19,99
Alfalfa	10,41	12,81	36,79	8,95	10,30
Hojas secas	4,01	3,47	32,78	29,66	4,68
Caña maíz		4,59	35,40	10,30	6,50
Bovino	3,23	9,05	32,49	35,57	19,66
Porcino	11,50	10,95	32,39	21,49	23,67
Aves	2,84	9,56	50,55	19,82	17,23
Equino	2,70	5,00	40,50	35,00	17,80
Ovino	6,30	3,75	32,00	32,00	25,95
Caprino	2,90	4,70	34,00	33,00	26,40

En la tabla 4 se presentan los porcentajes de los principales elementos químicos presentes en los desechos, residuos orgánicos y residuos de animales (Varnero Moreno, 2011):

- **Lípidos:** Son una valiosa fuente de energía para los microorganismos anaerobios, especialmente durante las etapas de hidrólisis y acetogénesis.
- **Proteínas:** Actúan como una fuente esencial de nitrógeno y aminoácidos para los microorganismos, fundamentales para la síntesis de biopolímeros y la producción de enzimas.
- **Celulosa y hemicelulosa:** Son polímeros de carbono que son descompuestos por los microorganismos anaerobios durante la fermentación acética, generando ácidos volátiles y metano.
- **Lignina:** Constituye un componente vegetal más resistente a la degradación debido a su compleja estructura. No obstante, la co-digestión de materiales lignocelulósicos con otros sustratos puede mejorar su digestibilidad y la producción de biogás.
- **Ceniza:** Se trata del residuo inorgánico resultante de la incineración de los desechos orgánicos. Aunque no es degradado por los microorganismos anaerobios, la ceniza puede impactar la densidad y viscosidad del sustrato, lo que, a su vez, puede influir en la eficiencia del proceso de digestión.

La composición y proporción de estos componentes son determinantes para la eficacia de la digestión anaeróbica, ya que afectan la disponibilidad de nutrientes y energía para los microorganismos, así como la producción de biogás. Además, dichos factores pueden incidir en la selección y dinámica de la comunidad microbiana involucrada en este proceso (Varnero Moreno, 2011).

Temperatura

La temperatura puede ejercer una influencia significativa en la velocidad de crecimiento y el metabolismo de los microorganismos presentes. Además, puede modificar las propiedades físicas de estos microorganismos, como su solubilidad, viscosidad y presión parcial. Un aumento en la temperatura puede traducirse en un incremento de la solubilidad de los compuestos orgánicos en la fase acuosa, al mismo tiempo que acelera las reacciones químicas y biológicas, lo que puede llevar a la inactivación de microorganismos patógenos. La temperatura también afecta a los microorganismos involucrados en las etapas acetogénica y metanogénica del proceso, lo que resulta en un aumento de la concentración de amoníaco libre, el cual tiene un efecto inhibitorio en la actividad de estos microorganismos (Peñañiel Campi & Sancán Medina, 2021).

Tabla 5. Rangos de temperatura y tiempo de la digestión anaeróbica.

Fuente: (Sanabria Vindell et al., 2018)

Rangos de temperatura y tiempo de la digestión anaeróbica				
Digestión	Mínimo	Óptimo	Máximo	Tiempo de digestión
Psicrofilicos	4-10 °C	15-18°C	20-25°C	Sobre 100 días
Mesofilicos	15-20 °C	25-35°C	35-45°C	30-60 días
Termofilicos	25-45°C	50-60°C	75-80°C	10-15 días

Es desafiante prever con precisión cuál sería la calentura esencial para cada uno de estas categorías, ya que depende de diversos factores como el tipo de residuo y las condiciones ambientales. Sin embargo, de manera general, se consideran temperaturas óptimas de alrededor de 35 °C para los tratamientos mesófilos y aproximadamente 55 °C para los tratamientos termófilos. Estas temperaturas suelen ser las más efectivas en la descomposición de los residuos y en la activación de la actividad microbiana en los procesos de tratamiento de residuos orgánicos (Díaz & Durán, 2020).

Los métodos anaeróbicos, como otros muchos procedimientos biológicos, están íntimamente vinculados a la temperatura. La rapidez de reacción que se dan en estos pasos

varía del crecimiento de los microorganismos involucrados, y este crecimiento, a su vez, se ve afectado por la temperatura. En este contexto, se identifican tres rangos de temperatura en los cuales los microorganismos anaerobios pueden operar de manera eficaz (Varnero Moreno, 2011).

PH

Los procesos anaeróbicos son especialmente sensibles a pequeñas variaciones del pH que se hallan afuera de su nivel óptimo. Dentro de la comunidad microbiana anaeróbica, los microorganismos metanogénicos están particularmente capaces a las fluctuaciones de pH en comparación con otros microorganismos presentes (Guillén & Rivas, 2012).

El pH se sitúa en un rango que generalmente oscila entre 6, 7 y 8. Es fundamental evitar pH por debajo de 5 o superiores de 8, ya que existe el riesgo de inhabilitar o incluso detener por completo el proceso de fermentación en estas condiciones. Mantener el pH dentro de este rango es crucial para un funcionamiento efectivo del proceso (Sierra & Barrios, 2013).

Para asegurar un desarrollo satisfactorio del proceso, es esencial que el pH se mantenga en el rango de 6.0 a 8.0. El valor del pH en el digestor no solo afecta la producción de biogás, sino también su composición. Cuando el pH desciende por debajo de 6, una de las consecuencias es que el biogás generado contiene menos metano y, por lo tanto, tiene un menor valor energético. Dado que la etapa de metanogénesis se toma en cuenta como la fase restrictiva del proceso, es fundamental que el pH del sistema cercano a la neutralidad. Microorganismos acidogénicos son considerablemente menos sensibles por variaciones extremas del pH en comparación con los microorganismos metanogénicos (Díaz & Durán, 2020).

Composición de la materia orgánica

Para la digestión de los microorganismos metanogénicos, es esencial contar con una cantidad adecuada de desechos orgánicos de peso para evitar que la digestión se detenga. La proporción más apropiado de sólidos para este propósito suele situarse en el rango del 5% al 10%. Esto sugiere que la biomasa más adecuada para el proceso anaeróbico es aquella que posee contenido de humedad alta. La presencia suficiente de agua dentro del material orgánico de carga es fundamental para mantener las condiciones óptimas para la actividad de los microorganismos metanogénicos y, por lo tanto, garantizar la eficacia de la digestión anaeróbica (Barreto, 2021).

Nutrientes

Como pasa en las sistematizaciones bioquímicas, los procesos anaeróbicos solicitan macronutrientes como carbono, azufre, fósforo y nitrógeno, así como micronutrientes como minerales, para llevar a cabo la disminución de una nueva biomasa. Cabe recalcar que los procesos de la fermentación anaeróbica en comparación con los métodos aeróbicos radican en su disminución demanda de nutrientes. Esto se debe a que los microorganismos anaeróbicos tienen tasas de producción de biomasa relativamente bajas en comparación con sus contrapartes aeróbicas. Por lo tanto, aunque siguen requiriendo nutrientes para su crecimiento y actividad, su necesidad de nutrientes es generalmente menor en los procesos anaeróbicos (Ramírez Sánchez, 2016).

Relación C/N

Los materiales de fermentación consisten principalmente en carbono (C) y también incorporan nitrógeno (N). La relación entre estos elementos, conocida como la relación C/N, desempeña un papel crucial en la producción de gas (Alcayaga et al., 1999). Se considera aceptable una relación C/N de 20:1 hasta 30:1 (Alcayaga et al., 1999). Mezclas

de materiales de fermentación con alto contenido de nitrógeno, como el estiércol de gallina, junto con materiales de fermentación ricos en carbono, como el tamo de arroz, generan una notable producción de gas (Alcayaga et al., 1999). En las tablas subsiguientes, se presentan las relaciones C/N para diversos productos residuales:

*Tabla 6. Relación C/N del estiércol de Animales.
Fuente: (Varnero Moreno, 2011)*

Estiércol	Disponibilidad Kg/día*	Relación C/N	Volumen de biogás	
			m3/kg húmedo	m3/día/año
Bovino (500 kg)	10	25:1	0.04	0.4
Porcino (50 kg)	2.25	13:1	0.06	0.135
Aves (2 kg)	0.18	19:1	0.08	0.014
Ovino (32 kg)	1.50	35:1	0.05	0.075
Caprino (50 kg)	2.00	40:1	0.05	0.1
Equino (450 kg)	10.00	50:1	0.04	0.4
Conejo (3 kg)	0.35	13:1	0.06	0.021
Excretas humanas	0.40	3:1	0.06	0.025

*Tabla 7. Relación C/N de materia orgánica.
Fuente: (Varnero Moreno, 2011)*

Residuos	Cantidad residuo Ton/ha	Relación C/N	Volumen de biogás	
			m3/Ton	m3/ha
Cereales (paja)				
Trigo	3.3	123:1	367	1200
Maíz	6.4	45:1	514	3300
Cebada	3.6	95:1	388	1400
Arroz	4.0	58:1	352	1400
Tubérculo (hojas)				
Papas	10.0	20:1	606	6000
Betarragas	12.0	23:1	501	6000
Leguminosas (paja)				
Porotos	3.2	38:1	518	1650
Habas	4.0	29:1	608	1400
Hortalizas (hojas)				
Tomate	5.5	12:1	603	3300
Cebolla	7.0	15:1	514	3600

Tabla 8. Relacion C/N de varias materias organicas.

Fuente: (Ambientum, 2022)

MATERIAL		%N2	C/N
Residuos de Comida	Fruta	1.52	34.80
	Mataderos	7.0-10	2
Estiércoles	Vaca	1.70	18
	Cerdo	3.75	20
	Aves	6.30	15
	Oveja	6.30	15
Fangos activados	Digeridos	1.88	15.70
	Crudos	5.60	6.30
Madera y paja	Serrin	0.10	200-500
	Paja trigo	0.30	128
	Madera pino	0.07	723
Papel	Mezclado	0.25	173
	Periodico	0.05	983
	Revistas	0.07	470
Residuos de jardín	Césped	2.15	20.10
	Hojas caídas	0.5-1	40-80
Biomasa	General	1.96	20.90

Tabla 9. Relacion C/N de varias materias organicas.

Fuente: (Fernández, 2022)

Residuo	Proporción (C:N)
Pellets de aserrin	500:1
Cartón	350:1
Papel (periódico, servilletas)	170:1
Hojas (secas)	80:1
Residuos de fruta	35:1
Malezas	30:1
Residuos de jardinería	30:1
Residuos de vegetales	25:1
Broza de café	20:1
Recortes de zacate	20:1
Residuos de comida	20:1

Para alcanzar un rendimiento de gas consistente y óptimo durante el proceso de fermentación, es fundamental combinar proporciones adecuadas de materiales con diferentes rendimientos, tanto bajos como altos, y tener en cuenta diversas velocidades de generación (Vera, 1996). La relación C/N de esta combinación puede calcularse como se muestra en la siguiente formula:

Ecuación 1: Formula para el calculo de la relacion C/N
Fuente: (Vera, 1996).

$$K = \frac{\sum C_i * X_i}{\sum N_i * X_i}$$

En esta ecuación, "K" representa la relación C/N resultante de la combinación de materiales seleccionados para la carga. Además, "N" denota el porcentaje de nitrógeno en la materia "i", "C" indica el porcentaje de carbono en la misma materia "i", y "X" representa el peso de dicha materia (Vera, 1996).

Contenido de agua en la mezcla

Las bacterias y otros microorganismos no pueden desempeñar sus funciones de manera efectiva cuando el contenido de agua en la mezcla es insuficiente, resultando en una producción limitada de biogás. Por otro lado, una dilución excesiva de la mezcla conlleva a la digestión de una cantidad relativamente pequeña de materia orgánica, lo que restringe la generación de biogás (Vera, 1996). Para un uso óptimo de excretas humanas, orina, estiércol y residuos agrícolas como componentes del digestor, se debe mantener una proporción de biomasa a agua entre 1:1 y 1:2. En el caso de 100 kg de heces y orina, se requerirán entre 100 y 200 litros de agua. Si el material de alimentación consiste principalmente en residuos vegetales, se necesitará más agua, con una proporción de 1:3 o 1:4 (Vera, 1996). La actividad de mezclado debe llevarse a cabo de manera adecuada y

uniforme en el tanque del digestor para fomentar una digestión efectiva, especialmente cuando se utiliza biomasa cruda con un alto contenido leñoso (Vera, 1996)

Tiempo de retención de los sólidos

El tiempo de residencia de los sólidos y la fase acuosa en el reactor desempeña un papel crucial en el avance de la reacción en un proceso. Cuando se observa una disminución en este tiempo de retención, la velocidad de reacción suele reducirse. En situaciones en las que se produzca una salida de sólidos en el reactor, es necesario retirar una porción de la población de microorganismos. Este retiro se lleva a cabo con el propósito de garantizar que el crecimiento poblacional de los microorganismos sea igual al número de microorganismos retirados. Esto es fundamental para mantener la operación del proceso de manera continua y prevenir posibles fallas en el sistema (Medina Herrera, 2010).

De acuerdo con los resultados obtenidos en una escala de laboratorio, los autores (Varnero Moreno, 2011); (Briseño Arciniega, 2016) proporcionan información valiosa:

- **Tiempos de retención menores a 5 días:** En este intervalo de tiempo, se considera que son insuficientes para lograr un grado significativo de digestión. La descomposición de los residuos no ha avanzado lo suficiente.
- **Entre 5 y 8 días:** Durante este período, se observa un rompimiento incompleto de las macromoléculas, especialmente en lo que respecta a los lípidos. La separación aún no es completa.
- **Después de 8 a 10 días:** A partir de los 8 a 10 días, se evidencia una digestión significativa, y en este rango de tiempo, se inicia la descomposición de los lípidos.

- **Al décimo día:** En el décimo día, se observa un aumento en la velocidad de reacción y se comienza a experimentar un proceso que se considera estable. Esto sugiere que, a partir de este punto, la revisión avanza de manera más eficiente.

Existen estudios de (Escobedo & de Querétaro, 2014), en el cual han comprobado que el tiempo de retención en condiciones mesofílica no debe ser menor de 10 a 15 días, y por lo general se conserva mayor a este tiempo para certificar un proceso más viable, así pues, el tiempo de generación de metanogénicos tiende a oscilar de 3 a 30 días.

La duración de la estancia de la materia prima dentro del digestor debe ser cuidadosamente gestionada. Debe permitir la máxima digestión de la materia prima, pero no debe ser excesivamente larga, ya que esto requeriría un digestor más grande y aumentaría los costos del proceso. La temperatura en el biodigestor también es un elemento crítico a tomar en cuenta, debido a que influye en la velocidad y eficiencia del procesamiento de la materia prima. Por lo tanto, encontrar el equilibrio adecuado entre el tiempo de residencia y la temperatura es esencial para optimizar el proceso de digestión anaeróbica y maximizar su eficiencia sin incurrir en costos excesivos.

Tabla 10. Tiempo de retención hidráulica del estiércol de ganado.

Fuente: (Varnero Moreno, 2011)

TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA DEL ESTIERCOL DE GANADO	
Tiempo de retención hidráulico	Características
30-40 días	Clima tropical con regiones planas.
40 – 60 días	Regiones cálidas con inviernos fríos cortos.
60 – 90 días	Clima temperado con inviernos fríos.

Tabla 11. Tiempo de retención de los residuos orgánicos.

Fuente: (Varnero Moreno, 2011)

TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA DE RESIDUOS ORGÁNICOS	
Tipo De Residuo Orgánico	Tiempo de Retención
Residuos de alimentos	20 - 30 días
Residuos agrícolas	20 - 60 días
Residuos forestales	30 - 60 días

En el contexto de los biodigestores localizados en Cuenca, es recomendable tener en cuenta un tiempo de retención de 60 a 90 días debido al clima frío que caracteriza a esta región.

DBO

La Demanda Bioquímica de Oxígeno es una medida que se utiliza para cuantificar la cantidad de oxígeno que los microorganismos necesitan para descomponer la materia orgánica en una muestra de lixiviados, se expresa (mg/L). La medición de la DBO en lixiviados ayuda a determinar la carga de materia orgánica presente y proporciona información sobre la biodegradabilidad de los compuestos orgánicos en el agua y medir la cantidad de oxígeno consumido por los microorganismos durante un período específico de tiempo. Cuanto mayor sea la DBO, mayor será la cantidad de oxígeno necesario para la descomposición microbiana de la materia orgánica presente en la muestra (Sanabria Vindell et al., 2018).

La cantidad de oxígeno requerida por microorganismos para descomponer la materia orgánica en lixiviados de vertederos puede fluctuar significativamente debido a diferentes factores, como la composición de los desechos urbanos, el tiempo que ha estado operativo el vertedero y las condiciones ambientales locales. Investigaciones han documentado niveles de oxígeno necesario en lixiviados de vertederos que van desde 4538,50 mg/L (Torrez et al., 2018) hasta 160 mg/L (Velásquez & Rojas, 2006). Otras bibliografías también muestran que en rellenos sanitarios los valores de DBO pueden encontrarse entre 30000 mg/L y 2000mg/L para lixiviados jóvenes y maduros respectivamente según (Giraldo, 2014).

DQO

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es otra medida utilizada para evaluar la carga de contaminantes orgánicos en muestras lixiviados. Mide la cantidad total de compuestos químicos reductores presentes en una muestra, incluyendo tanto los compuestos biodegradables como los no biodegradables. Dado que la DQO incluye la oxidación química, el proceso es más rápido que la DBO, que implica una descomposición biológica más lenta. Cuando se aplica a lixiviados, la medición de la DQO proporciona una indicación de la carga total de materia orgánica presente en forma de compuestos reductores. Niveles elevados de DQO en lixiviados pueden indicar una carga significativa de contaminantes orgánicos, lo que puede afectar negativamente a los cuerpos de agua si no se gestiona adecuadamente (Ángel & Miguel, 2017).

Los valores de Demanda Química de Oxígeno (DQO) presentes en los lixiviados generados por la descomposición de materia orgánica exhiben una variabilidad considerable, influenciada por diversos factores como el diseño del vertedero, la composición de los residuos sólidos urbanos (RSU), las características del entorno y la antigüedad del vertedero. Por lo general, los lixiviados muestran niveles elevados de DQO, indicando así una notable presencia de materia orgánica en su composición (Tamayo & Andrade, 2019).

Los valores de DQO (Demanda Química de Oxígeno) en los lixiviados varían ampliamente según la ubicación y las condiciones específicas, pudiendo alcanzar concentraciones de varios miles de miligramos por litro. Algunos estudios han registrado valores particulares de DQO en lixiviados jóvenes y maduros de acuerdo a la investigación de Torres et al (2018), Morales & León (2020), y Giraldo (2014) con rangos que oscilan entre los 84,634.54 mg/L y 3000 mg/L respectivamente.

Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto (OD) en los lixiviados describe a la cuantía de oxígeno molecular (O₂) presente y disuelto en el agua que compone los lixiviados. El oxígeno disuelto (OD) en los lixiviados se enmarca a la cantidad de oxígeno molecular (O₂) que está presente y disuelto en el agua que compone los lixiviados, el oxígeno disuelto debería mantenerse por debajo de 0.5 mg/L (miligramos por litro) para asegurar un ambiente anaeróbico (Medina Herrera, 2010).

2.3.4 Biodigestores

Un biodigestor se puede definir como un contenedor hermético en el que se lleva a cabo un proceso de descomposición anaeróbica, también conocido como digestión anaeróbica. La materia prima que se utiliza en el biodigestor está compuesta por materia orgánica, como desechos agrícolas, residuos de animales, residuos humanos, entre otros. El nombre "biodigestor" proviene del hecho de que se produce una descomposición de los desechos orgánicos en su interior. Como resultado de este proceso, se obtienen productos como biogás, permitiendo como producto final una energía limpia de bajo costo y principalmente renovante (Guillén & Rivas, 2012).

Un biodigestor puede adoptar diversas formas, como tanques cilíndricos, esféricos, semiesféricos u otras, según las distinciones del beneficiario y las disposiciones de construcción disponibles. Sin embargo, desde una perspectiva física y del proceso, no se recomienda utilizar pozos rectangulares. Esto ocurre porque los tanques rectangulares suelen necesitar una mayor cantidad de materiales de construcción, lo que puede resultar en la creación de zonas dentro de la masa en digestión con diferentes composiciones y temperaturas, es decir, áreas muertas. Esto puede dificultar la obtención de un mayor

rendimiento y eficiencia del sistema, por lo que otras formas, como los tanques cilíndricos, suelen ser preferibles para los biodigestores (Ángel & Miguel, 2017).

2.3.5 Tipos de Biodigestores

A lo largo del tiempo, se han ideado diversas soluciones para facilitar la implementación de biodigestores en diversas regiones del mundo. En el ámbito rural o en áreas con recursos limitados, se suelen utilizar biodigestores de domo fijo, tanque flotante o tubular. Estos tipos de biodigestores operan de manera continua y en condiciones mesofílicas, siendo considerados como opciones económicas debido a su sencilla operación y el uso de materiales básicos. Se presenta un diagrama que ilustra un Digestor Anaerobio y su conexión con entornos rurales. En este esquema, se destaca el manejo integral de aguas residuales y desechos orgánicos en una vivienda rural. Se observa claramente cómo los materiales ingresan al digestor anaerobio, dando lugar a la generación de biogás y mostrando sus posibles aplicaciones (Medina Herrera, 2010).

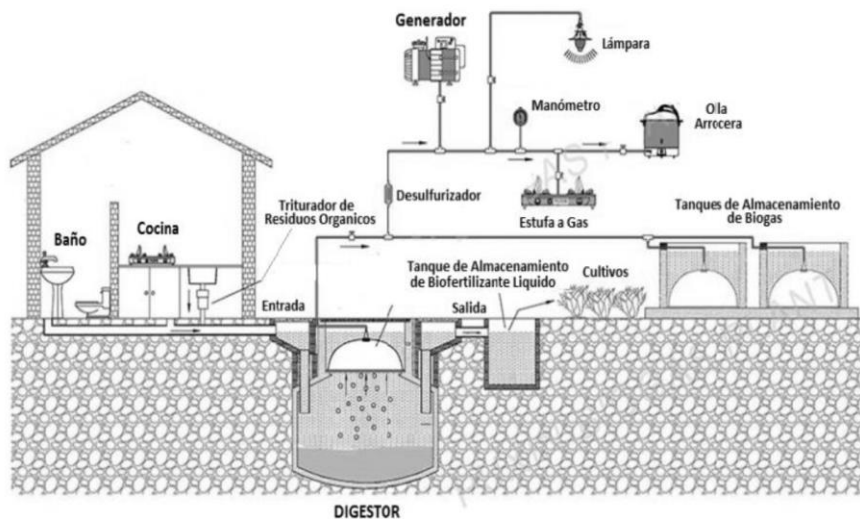


Figura 3. Esquema de un Biodigestor con relación con el medio rural.

Fuente: dgsa.uaeh.edu.mx:8080/biblioteca/digital/bitstream/handle/231104/362/Biodigestores.pdf?sequence=1

Biodigestor de carga por lote

En este tipo de biodigestor el sustrato se carga una sola vez, no se extrae ni se añade más hasta que culmine el proceso de degradación completamente, es decir cuando no se produce más biogás (Fuentes López, 2012).

Biodigestores de flujo continuo

Estos digestores son las de mayor tamaño y requieren de mayor tecnología, ya que es necesario el control y monitoreo del sustrato de manera constante para su rápida degradación, por ello consumen mucha energía, se usan generalmente cuando se dispone de una gran fuente de sustrato y de manera constante, ejemplo: Aguas negras (Fuentes López, 2012).

Biodigestores de flujo semi continuo

Este biodigestor recibe una carga fija de sustrato cada día y descarga biól en la misma cantidad (Fuentes López, 2012).

Biodigestor tipo tanque o batch

Un biodigestor tipo tanqueo batch es una tecnología simple y económica que permite la creación de biogás a partir de desechos orgánicos. En el contexto de la producción de biogás, el término "batch" se refiere a la operación por lotes, lo que implica que el proceso se realiza en ciclos discretos en lugar de manera continua. Al ser un sistema por lotes involucra la introducción intermitente de residuos orgánicos, seguida por el sellado completo del tanque para permitir la digestión anaerobia y la producción de biogás (Díaz & Durán, 2020).

En este tipo de biodigestor, el proceso se divide en fases distintas, y cada ciclo implica la alimentación, reacción, seguida por la digestión anaeróbica y, finalmente, la descarga de los productos finales.

A continuación, se destacan algunas características clave del reactor anaeróbico en este biodigestor:

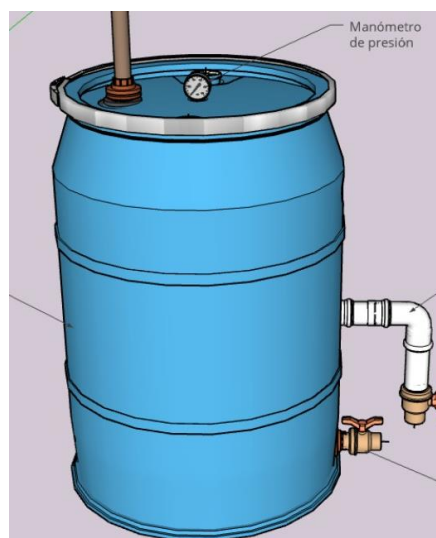
- **Alimentación:** Se añade el flujo de entrada al reactor (Viteri Vega, 2020).
- **Reacción:** Período de duración variable en el que tiene lugar principalmente el procesamiento de la materia orgánica (Viteri Vega, 2020).
- **Sedimentación:** Se interrumpe la agitación y la biomasa se deposita, separándose del efluente clarificado (Viteri Vega, 2020).
- **Descarga:** Se elimina el efluente purificado (clarificado) del reactor (Viteri Vega, 2020).

Este tipo de biodigestor presenta características distintivas que le confieren ventajas sobre los sistemas continuos convencionales. Los puntos destacados son (Díaz & Durán, 2020):

- **Flexibilidad operativa:** La capacidad para adaptar la biomasa a sustratos específicos permite una mayor versatilidad en la operación del reactor.
- **Control mejorado del proceso:** La posibilidad de lograr una descarga de alta calidad cuando el efluente cumple con los estándares requeridos contribuye a un control más efectivo del proceso.
- **Dinámica de abundancia y escasez de sustrato:** La biomasa experimenta ciclos dinámicos, imitando de manera más precisa el estado fisiológico natural de los microorganismos.
- **Operación sin recirculación de sólidos ni líquidos:** Cuando se utilice la recirculación como método de agitación, lo cual simplifica el proceso.

- **Sedimentación interna:** La etapa de sedimentación se realiza dentro del propio reactor, eliminando la necesidad de contar con una unidad separada para este fin.
- **Eliminación potencial de la etapa de sedimentación:** La posibilidad de reducir el tiempo de cada ciclo mediante el uso de biomasa inmovilizada en soportes permite incluso eliminar la etapa de sedimentación, optimizando el proceso.

Este tipo de biodigestor se utiliza en zonas rurales, campos, haciendas y fincas, entre otros lugares que se encuentran alejados del servicio de gas. Tienen muchas ventajas puede presentar algunas limitaciones, como el corto tiempo de vida útil, pero sigue siendo una alternativa viable para la producción de biogás en zonas donde no hay acceso a servicios de gas (Peñañiel Campi & Sancán Medina, 2021).



*Figura 4. Biodigestor tipo tanque.
Fuente: Elaboración propia*

Biodigestor tipo Domo fijo

Las instalaciones de cúpula rígida para plantas de biogás incluyen un contenedor estacionario e inmóvil diseñado para retener el gas, ubicado en la parte de encima del biodigestor. A medida que comienza el desarrollo del gas, la mezcla se desplaza hacia el depósito de almacenamiento, resultando en un aumento de la presión del gas. Este

incremento en la presión es el resultado del aumento del volumen del biogás acumulado, así como de la discrepancia de elevación entre la altura de la mezcla en el biodigestor y la altura de la mezcla en el tanque de almacenamiento (BÁEZ & BENÍTEZ, 2015).

La construcción subterránea ofrece la ventaja de costos de construcción relativamente reducidos y una larga vida útil. Además, esta modalidad de construcción ahorra espacio y proporciona protección al digestor contra variaciones de temperatura. Un beneficio adicional radica en la generación de empleo durante el proceso de construcción (Briseño Arciniega, 2016).

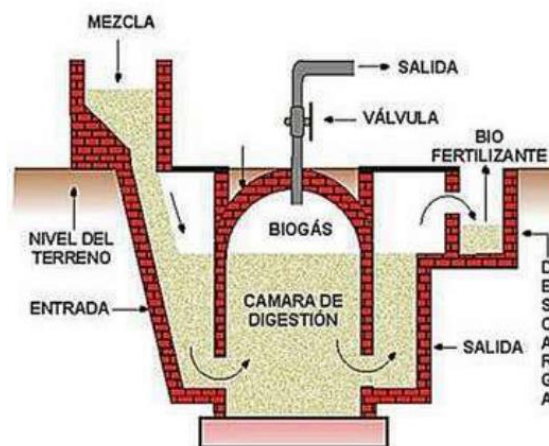


Figura 5. Biodigestor tipo domo fijo.

Fuente: <https://www.eumed.net/rev/caribe/2019/12/tratamiento-estiercol-bovino.pdf>

Biodigestor tipo tambor flotante (Tipo Hindú)

Consta de instalaciones de tambor flotante constan de un biodigestor oculto y un contenedor móvil diseñado con el fin de retener el gas. Este depósito para el flotador de gas se ubica ya sea rectamente sobre la composición de digestión o en un embalse de agua. El gas se acumula en el tambor de gas, donde se eleva y desciende según la cantidad de gas almacenado (Barreto, 2021).

Esta configuración presenta ventajas notables, como una operación simple y fácil de comprender, ya que el volumen de gas almacenado es visible directamente, y la presión

del gas se mantiene constante debido al peso del recipiente de gas. Además, la construcción es relativamente sencilla, y los errores en la etapa de construcción no suelen dar lugar a problemas significativos durante la operación y la producción de gas. Sin embargo, tiene desventajas importantes, como los elevados costos asociados a los materiales requeridos para el tambor de acero. Además, las partes de acero son susceptibles a la corrosión, lo que reduce la vida útil de la planta y conlleva gastos fijos de mantenimiento para aplicar capas de pintura al tambor (Barreto, 2021).

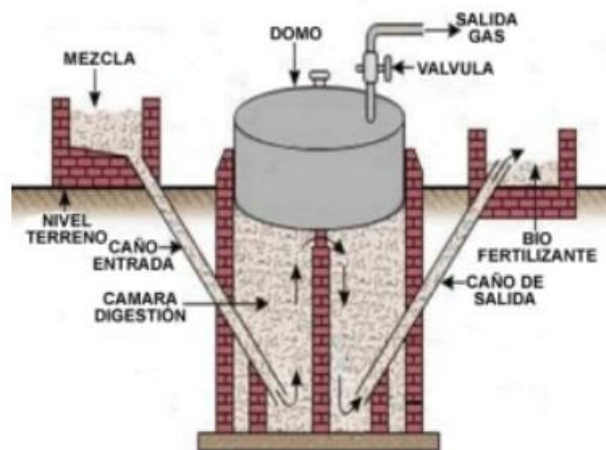


Figura 6. Biodigestor tipo tambor flotante.

Fuente: <https://energiacasa.wordpress.com/2009/09/17/clasificacion-de-biodigestores/>

Biodigestor tipo globo

Las plantas de este tipo cuentan con un digestor de bolsa en la parte superior donde se almacena el gas, y tanto la entrada como la salida se encuentran en la misma superficie de la bolsa. Sus ventajas incluyen un costo reducido, facilidad de transporte, construcción sencilla, altas temperaturas de digestión, facilidad de limpieza, mantenimiento y vaciado. No obstante, presentan desventajas notables, como un tiempo de vida corto, alta

susceptibilidad a daños, baja generación de empleo y, en consecuencia, un potencial limitado para la autoayuda (Sanabria Vindell et al., 2018).



Figura 7. Biodigestor tipo Globo.

Fuente: <https://tallerbiogas.blogspot.com/2014/12/eficiencias-de-biodigestores-tipo.html>

2.3.6 Sensores en los biodigestores

Los sensores recomendados a implementar en los biodigestores son dispositivos electrónicos especialmente diseñados para monitorizar diversas variables durante el proceso de producción de biogás. Su función es esencial para supervisar y regular el desarrollo eficiente del proceso en el biodigestor. Estas variables cruciales abarcan la temperatura, presión y concentración de gases, como el metano (CH₄) (Aqualimpia Engineering e.K, 2020).

Los sensores recomendados son los siguientes:

Sensor de presión G1/4 5V

El sensor de presión G1/4 con 5V en un biodigestor se utiliza para medir y controlar la presión dentro del reactor, lo cual es importante para mantener la eficiencia y seguridad del proceso de digestión anaerobia. La presión dentro del biodigestor puede variar debido a diversos factores, como la cantidad de biomasa, la temperatura, y la composición del gas producido, principalmente metano, dióxido de carbono, e hidrógeno (Aqualimpia Engineering e.K, 2020).

El control de presión es fundamental para evitar la sobrepresión, que podría dañar el biodigestor o causar la liberación de gases tóxicos. Además, la presión puede afectar la eficiencia de la digestión anaerobia, ya que las condiciones óptimas de presión y temperatura son esenciales para la producción de biogás.



Figura 8. Sensor para medir presión G1/4 5V.

Fuente: <https://grupoelectrostore.com/shop/sensores/presion/sensor-de-presion-de-aire-aceite-agua-g1-4-5v/>

Sensor de metano MQ-4

El sensor MQ-4, el cual es un tipo de sensor de gas que se utiliza para detectar concentraciones de gas metano (CH₄) en el aire. En el caso de su utilización en un biodigestor, este sensor puede ayudar al monitoreo de la producción de biogás. El sensor MQ-4 permite supervisar la cantidad de metano presente en el biogás producido, esto proporciona información valiosa sobre la eficiencia del biodigestor y la calidad del biogás generado (Aqualimpia Engineering e.K, 2020). Un aumento o disminución en la concentración de metano podría indicar problemas en el proceso de digestión anaeróbica o cambios en las condiciones de operación. Además, el control del proceso mediante lecturas del sensor MQ-4 permite ajustar y supervisar la producción de biogás. Si las concentraciones de metano son bajas, podría ser necesario optimizar las condiciones del biodigestor o ajustar la mezcla de materia orgánica para mejorar la producción de biogás.



Figura 9. Tipo de sensor MQ-4.

Fuente: <https://orellanaelec.com/producto/modulo-sensor-gas-natural-methano-mq-4/#&gid=1&pid=1>

Sensor de temperatura y humedad DHT22

El sensor DHT22 es un dispositivo que se utiliza para medir la temperatura y la humedad relativa del aire en un ambiente determinado. En el caso de su utilización en un biodigestor, este sensor puede ayudar a controlar de temperatura. La temperatura es un factor crítico en el funcionamiento óptimo de un biodigestor. Los microorganismos responsables de la digestión anaeróbica tienen un rango de temperatura óptimo para su actividad (Adafruit, 2023). El sensor DHT22 puede monitorear constantemente la temperatura dentro del biodigestor y enviar esta información a un sistema de control para asegurarse de que la temperatura se mantenga en el rango adecuado el cual es alrededor de 35 °C (Adafruit, 2023).

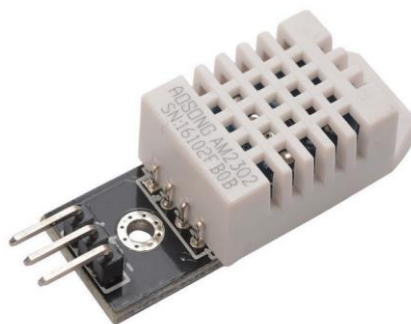


Figura 10. Tipo de sensor DHT22

Fuente: <https://orellanaelec.com/producto/modulo-sensor-humedad-temperatura-dht22-am2302-blanco/#&gid=1&pid=1>

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA APLICADA.

La siguiente investigación se centró en la obtención de la calidad y cantidad de metano de la biomasa en el "contenido de materia orgánica y materia orgánica con un porcentaje de rumen de ganado bobino", la recolección del rumen se realizó en el camal municipal ubicado en el sector Patamarca, Cantón Cuenca. Utilizando enfoques cualitativos y cuantitativos, se llevó a cabo un proceso de recolección de la muestra para la caracterización del contenido de desechos sólidos obtenido de la institución "Universidad Católica de Cuenca". Posterior, se realizó ensayos de (OD, pH, DBO, DQO) de la muestra de lixiviados de los dos biodigestores. Por último, se procedió a medir el volumen de biogás, donde, para el primer biodigestor (manual) se empleó el equipo BIOGAS 5000 y para el segundo biodigestor (electrónico) se utilizó sensores para poder obtener el porcentaje de metano producido en los dos reactores. Este proyecto busca mitigar el impacto ambiental asociado con la descomposición natural de este producto.

3.1 Metodología para determinar la generación per cápita de los residuos sólidos que genera cada estudiante en los patios de comida de la institución.

La investigación y seguimiento, se ubica en el cantón Cuenca en los diferentes bares de la Universidad. El punto de estudio se ubica en el Cantón Cuenca, en los bares pertenecientes a la Universidad Católica de Cuenca, campus central. En donde, el estudio trata de recolectar la mayor cantidad de desechos y residuos orgánicos que son generados por los patios de comida de las diferentes facultades. Los biodigestores se encontrarán en Posgrados de la misma Universidad, para el análisis de resultados durante la obtención del metano. A continuación, se enlista las siete facultades que poseen bares para el estudio:

- Medicina
- Odontología

- Bioquímica y farmacia
- Veterinaria y Agronomía



Figura 11. Ubicación de los 4 bares donde proviene la materia orgánica para los biodigestores.
Fuente: (Elaboración propia)

La planificación para la recolección de residuos orgánicos en los bares de la Universidad Católica de Cuenca, es esencial para garantizar un proceso eficiente y sostenible. Donde, se procedió a la capacitación al personal de los bares sobre la importancia de separar adecuadamente los residuos orgánicos, donde, se les otorgo tachos de basura y fundas para su colocación. Además, se procedió a etiquetar los bares más relevantes en cuanto a la producción de residuos. Este trabajo se basó en los estudios realizados por Chamba y Aragundi (2023), previamente descritos en la figura 11.

La recolección de residuos sólidos en los bares de la Universidad es una parte esencial de la gestión de desechos y puede ser abordada mediante un enfoque organizado y sostenibilidad. Donde, se realizó de manera diaria a la hora que cierran los bares, en un lapso de ocho días continuos establecido en la zona de estudio.

Se propuso con el personal de los bares en las charlas dadas, clasificar los residuos en dos tipos de categorías orgánicos e inorgánicos, donde utilizaban fundas distintivas para la

colocación de la basura, donde las fundas negras para los residuos orgánicos y las de color azul para los inorgánicos.

La recolección de los residuos sólidos, se dio inicio el 4 hasta el 13 de octubre del 2023, cabe recalcar que, durante estos días solo se considera 7 días, específicamente desde el 5 hasta el 16 de enero, para realizar la caracterización y el cálculo per cápita de los residuos sólidos. Se excluyó el primer día, el 4 de enero, ya que corresponde al primer día de prueba (piloto), según lo establecido en la literatura en el capítulo 2, recomienda no tomar en cuenta el primer día de recolección debido a que no proporciona una medida constante o uniforme de la generación de los residuos sólidos de acuerdo a (Elizabeth, 2020).

3.1.1 Caracterización y cálculo de la generación per cápita de los residuos sólidos esencial para la producción de metano.

Dentro de la caracterización de los residuos sólidos, el primer paso es la obtención de la cantidad generada en cada punto de comida, se refiere al proceso de medir y registrar la cantidad de residuos sólidos generados en la Universidad Católica de Cuenca, utilizando una balanza de mano y además una balanza de plataforma durante 8 días laborables. Este proceso es esencial para comprender y gestionar adecuadamente la generación de residuos para su posterior caracterización obtenidos en la tabla 12 y 13.

Tabla 12. Datos de los pesos de los residuos orgánicos del 4 al 13 de octubre.

Fuente: Elaboración propia

semana del 4 al 13 de octubre	*4/10/2023	5/10/2023	7/10/2023	8/10/2023	10/10/2023	11/10/2023	12/10/2023	13/10/2023	Sumatoria (kg)	Promedio
	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg		
Medicina	4,2	3,1	-	-	6,2	2,6	3,9	1,9	17,7	2,53
Bioquímica y Farmacia	38,1	9,5	-	-	34,5	25,7	29,1	3,8	102,6	14,66
Odontología	7,5	11,9	-	-	5,9	9,5	15,1	6,9	49,3	7,04
Agronomía, Veterinaria y Enfermería	28,4	18,7	-	-	24,5	44	22,4	18,4	128	18,29
SUMATORIA	78,2	43,2	-	-	71,1	81,8	70,5	31	297,6	42,51

Tabla 13. Datos de los pesos de los residuos inorgánicos del 4 al 13 de octubre.

Fuente: Elaboración propia

semana del 4 al 13 de octubre	*4/10/2023	5/10/2023	7/10/2023	8/10/2023	10/10/2023	11/10/2023	12/10/2023	13/10/2023	Sumatoria (kg)	Promedio
	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg		
	Inorgánico									
Medicina	1,8	0,9	-	-	1,3	1,2	0,7	1,4	5,5	0,79
Bioquímica y Farmacia	2,2	2,4	-	-	2,3	1,8	2,1	2,3	10,9	1,56
Odontología	2,1	1,6	-	-	0,6	0,9	1,4	1,2	5,7	0,81
Agronomía, Veterinaria y Enfermería	2,6	2,3	-	-	2,5	2,4	2,2	2,4	11,8	1,69
SUMATORIA	8,7	7,2	-	-	6,7	6,3	6,4	7,3	33,9	4,84

De los datos obtenidos, cabe destacar que los datos generados el 4 de octubre primer día de caracterización no se toma en cuenta, ya que son datos de encere, donde, no son seguros en cuanto a la producción de los residuos diarios debido a los inconvenientes de la acumulación de residuos orgánicos e inorgánicos de otros días.

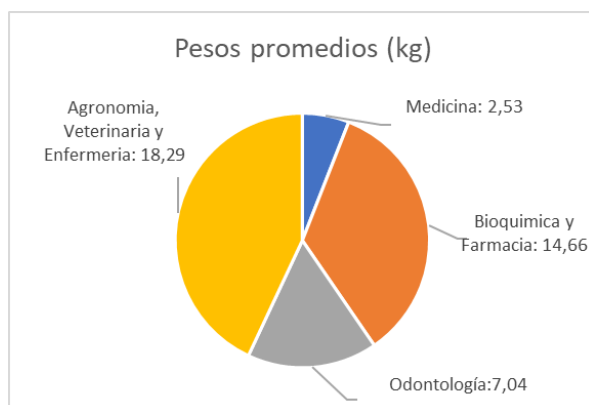


Figura 12: Peso promedio de los residuos orgánicos por carreras en los 7 días de recolección.

Fuente: Elaboración Propia.

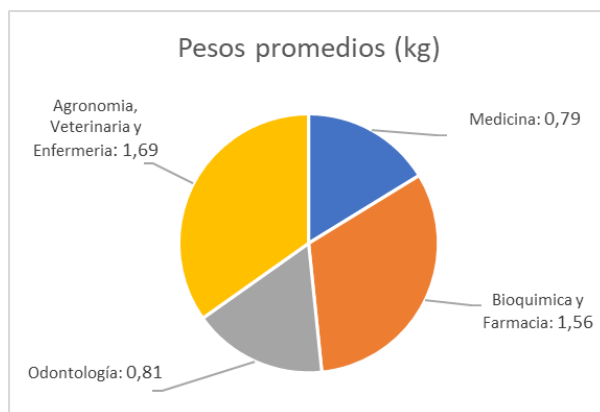


Figura 13: Peso promedio de los residuos inorgánicos por carreras en los 7 días de recolección.

Fuente: Elaboración Propia.

De la siguiente figura 12, se puede apreciar que la cantidad de residuos orgánicos tiene mayor influencia en la facultad de Agronomía, Veterinaria y Enfermería con un valor de 18,29 kg/semana, seguido por la facultad de Bioquímica y Farmacia con un valor de 14,66 kg/semana. La facultad de Medicina son los que tienen un menor porcentaje de residuos orgánicos con un valor de 2,53 kg/semana, la diferencia de estos valores conlleva a estimar que existen un menor número de estudiantes en cada facultad, o también por la accesibilidad hacia otros centros comerciales. También, existe una diferencia en los pesos de materia inorgánica como se puede apreciar en la figura 13.

Tabla 14. Pesos obtenidos de la clasificación en los 7 días de recolección de la materia orgánica.
Fuente: Elaboración propia.

Semana del 4 al 13 de octubre	Corteza de Papa	Frutas	Verduras	Cocida	Sumatoria (kg)	Promedio
	kg	kg	kg	kg		
5/10/2023	28	1,6	6	7,5	43,1	10,775
7/10/2023	-	-	-	-	-	-
8/10/2023	-	-	-	-	-	-
10/10/2023	43	5,8	14,7	7,5	71	17,75
11/10/2023	47,1	4,8	25,4	3,8	81,1	20,275
12/10/2023	32	5,5	24,5	8,5	70,5	17,625
13/10/2023	11,5	2,4	14,2	2,9	31	7,75
SUMATORIA	161,6	20,1	84,8	30,2	296,7	74,175

En la tabla 14, se detalla el proceso de identificar y describir la composición de los compuestos orgánicos presentes en una muestra en los 7 días de recolección. La materia orgánica recogida ese dividió principalmente de corteza de papa, frutas, verduras y comida cocida. Donde, se aprecia que existen mayores cantidades (kg) de corteza de papa con un valor de 197.6 kg, seguido por la verdura que existe 116.5 kg, que son los compuestos orgánicos más relevantes y por último en pocas cantidades se tuvo a las verduras y comida cosida.



Figura 14. Composición de materia orgánica de los bares de la Universidad.
Fuente: propia

Posterior a la obtención de los pesos tanto de los residuos orgánicos e inorgánicos, se continuo con el cálculo de los pesos volumétricos de los desechos, para este paso es crucial conocer el volumen que tiene el recipiente a utilizar, se utilizó dos recipientes como valdes blancos y un tanque de 55 galones.

Tabla 15 Dimensiones del tanque.
Fuente: Elaboración propia

Tanque plástico	
Diámetro (m)	0.57
Altura (m)	0.85
Peso del tanque (kg)	13.2
Área (m ²)	0.26
Volumen (m ³)	0.22

Para la medición de volumen, se utilizó un tacho de plásticos, donde, se realizó diferencias mediciones de la altura de cada uno de los días de recolección de materia orgánica e inorgánica como se observa en la tabla 15, para luego una vez obtenido el peso y el volumen de la materia se procede a encontrar los pesos volumétricos para los dos residuos.



Figura 15. Tipo de recipiente utilizado para obtener el volumen.
Fuente: Elaboración propia

Tabla 16. Dato del peso volumétrico de los residuos orgánicos del primer día.
Fuente: Elaboración propia

Tipo de residuo orgánico	Día 1							Peso volumétrico (kg/m ³)
	kg	Miércoles, 04 de octubre					Volumen	
		(h1)	(h2)	(h3)	(h4)	h promedio		
Corteza de papa	36	0,54	0,52	0,54	0,53	0,53	0,14	264,94
Frutas	4,6	0,79	0,78	0,79	0,79	0,79	0,20	22,89
Verduras	31,7	0,53	0,51	0,53	0,52	0,52	0,13	237,76
Cosido	5,6	0,76	0,76	0,75	0,77	0,76	0,19	28,88

Tabla 17. Dato del peso volumétrico de los residuos inorgánicos del primer día.
Fuente: Elaboración propia

Tipo de residuo inorgánico	Día 1							Peso volumétrico (kg/m ³)
	kg	Miércoles, 04 de octubre					Volumen	
		h1	h2	h3	h4	h promedio		
Peso total	8,7	0,54	0,52	0,54	0,53	0,53	0,14	64,03

Tabla 18. Resultados de los pesos volumétricos de todos los días de recolección en los bares de la institución.

Fuente: Elaboración propia.

Semana del 04 al 13 de octubre	Peso volumétrico orgánico (kg/m³)
*4/10/2023	554,46
5/10/2023	260,88
7/10/2023	-
8/10/2023	-
10/10/2023	414,50
11/10/2023	489,56
12/10/2023	415,17
13/10/2023	170,39
Sumatoria	1750,51
Promedio	350,10
Porcentaje	100%

Nota: No se toma en cuenta el día de encere () para el promedio.*

Tabla 19. Resultados de los pesos volumétricos de todos los días de recolección en los bares de la institución.

Fuente: Elaboración propia.

Semana del 04 al 13 de octubre	Peso volumétrico inorgánico (kg/m³)
*4/10/2023	64,03
5/10/2023	47,22
7/10/2023	-
8/10/2023	-
10/10/2023	41,03
11/10/2023	36,44
12/10/2023	37,02
13/10/2023	54,75
Sumatoria	216,46
Promedio	43,29
Porcentaje	100%

Nota: No se toma en cuenta el día de encere () para el promedio.*

De las tablas 18 y 19, se puede apreciar los resultados obtenidos de los pesos volumétricos tanto de materia orgánica e inorgánica, se puede interpretar que el día 11 de octubre se presenta resultados con mayor relevancia con un valor de 489.56 kg/m³ de residuos orgánicos, mientras que en los residuos inorgánicos se puede apreciar que el día 13 de octubre es el día con un resultado mayor a los demás días de conteo con 54.75 kg/m³

quedando comprobado que el día miércoles es el más relevante en cuanto a la producción de residuos en la Universidad Católica de Cuenca.

Para el cálculo de la generación per cápita, se debe tener en cuenta una variable importante que es el número de estudiantes que pertenecen a cada facultad de la “Universidad Católica de Cuenca”, detallado en el anexo 5. Donde, se procede a recolectar el número de estudiantes pertenecientes al ciclo académico, donde, se realizó la recolección de los desechos, que constan en el periodo académico octubre 2023-febrero 2024, en los 4 bares más destacados de la institución como son:

- El bar asociado a la facultad de Medicina cuenta con un número de estudiantes de 2055 matriculados.
- El bar asociado a la facultad de Bioquímica y Farmacia cuenta con un número de estudiantes de 485 matriculados.
- El bar asociado a la facultad de Odontología cuenta con un número de estudiantes de 1273 matriculados.
- El bar asociado a la facultad de Agronomía, Veterinaria y Enfermería cuenta con un número de estudiantes de 1264 matriculados.

Para realizar el proceso de cálculo de debe considerar el peso de los residuos generados por un día, dividido para el número de estudiantes matriculados en el periodo mencionado pertenecientes a cada facultad. Después, se procede a calcular el promedio de producción per cápita de cada uno de los bares pertenecientes a cada facultad como se muestra (anexo 6), en el cual se utiliza la ecuación 2 como se muestra a continuación:

Ecuación 2. Formula de generación per cápita.

Fuente: Elaboración propia

$$GPC = \frac{\text{Peso recolectado (kg)}}{\text{Numero de estudiantes que pertenece a cada facultad}}$$

De la siguiente formula GPA, generación per cápita de los residuos expresado en (kg/estudiante/día). Donde, con los datos obtenidos de la caracterización de los desechos orgánicos e inorgánicos en el transcurso de siete días, se obtuvo una generación per cápita ponderado de 0.0084 kg/(estudiante*día) de residuos orgánicos y 0.0010 kg/(estudiante*día) de residuos inorgánicos, del total de los bares perteneciente a cada facultad de la Universidad Católica de Cuenca, como se ilustra en la tabla 20.

Tabla 20. Resultados de promedios per cápita de residuos orgánicos e inorgánicos por cada carrera.

Fuente: Elaboración Propia

Carrera	Orgánico (Kg/estudiante*día)	Inorgánico (Kg/estudiante*día)
Medicina	0,0012	0,0004
Bioquímica y Farmacia	0,0302	0,0032
Odontología	0,0055	0,0006
Agronomía, Veterinaria y Enfermería	0,0145	0,0013
GPC (Ponderado)	0,0084	0,0010

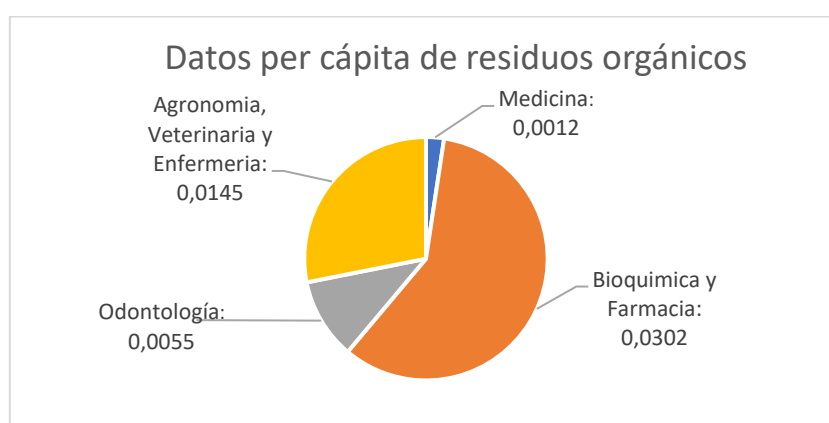
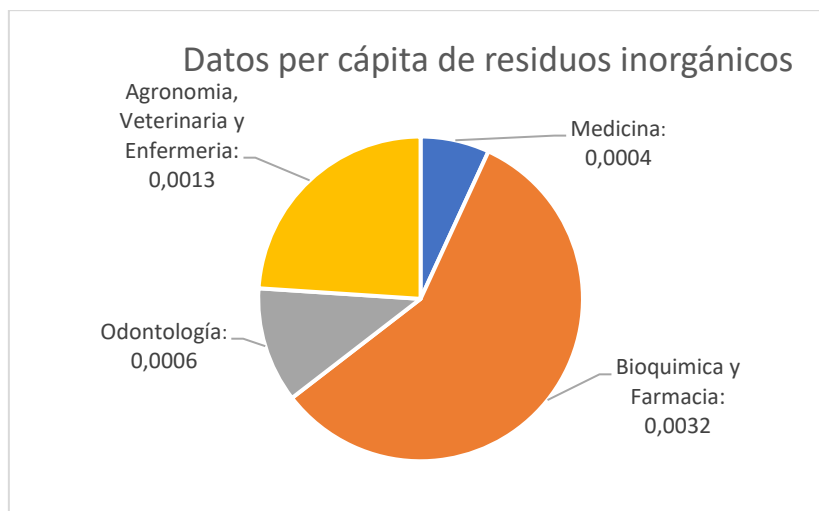


Figura 16. Resultados per cápita de los residuos orgánicos.

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la figura 16, indica la cantidad de residuos orgánicos generados por un estudiante en un día. Estas cifras indica que, cada estudiante en cada uno de los puntos de

comida contribuye a generar como por ejemplo la facultad de bioquímica y farmacia contribuye con 0.0302 kg de residuos orgánicos por día. De la misma forma en la figura 17 se puede apreciar la generación per cápita de la materia inorgánica, donde, se aprecia que tiene una contribución de 0.0032 kg/ (estudiante * día).



*Figura 17. Resultados per cápita de los residuos inorgánicos.
Fuente: Elaboración propia.*

3.2 Metodología para identificar los factores que intervienen en el comportamiento de la digestión anaeróbica para la producción del metano como: temperatura, oxígeno disuelto, pH, DBO y DQO presentes en los lixiviados.

En la fase inicial, se llevó a cabo la preparación del emplazamiento designado para albergar los biodigestores en la Facultad de Posgrados de la Universidad Católica de Cuenca. Se instalaron techos para resguardarlos de las lluvias y se niveló el terreno. Dada la ubicación de la ciudad en una región de clima frío, se reconoce que esta condición climática podría incidir potencialmente en la ralentización del proceso de producción de metano como se muestra en la figura 18. Por consiguiente, se propuso la construcción de dos reactores el primer biodigestor (manual), donde, la toma de datos se realizó en campo mediante la implementación de un termómetro con un vástago de 10 cm de longitud y un manómetro para medir la presión como se muestra figura 19. Para el segundo biodigestor

(electrónico), se implementó sensores recomendados en el capítulo 2, (enciso 2.3.6), para la recopilación de datos subidos al software Things speak, indicado en la figura 20.



Figura 18. Colocacion de techo y nivelacion del terreno.
Fuente: Elaboracion propia.

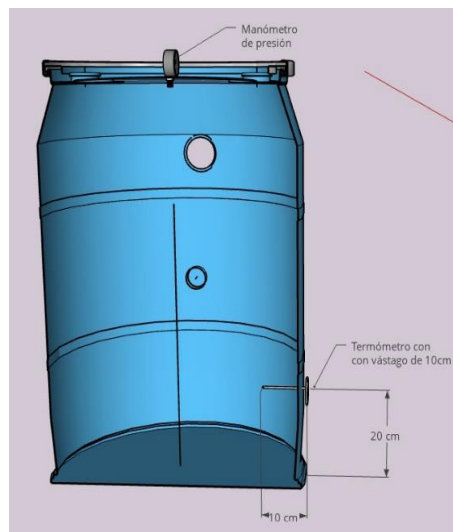


Figura 19. Croquis para obtener datos del primer biodigestor (manual).
Fuente: Elaboración propia.

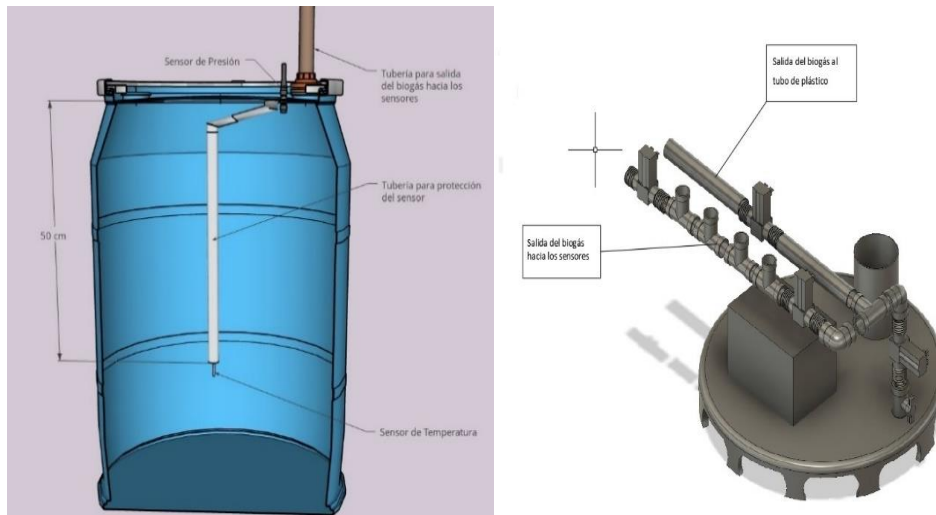


Figura 20. Croquis para obtener datos del segundo biodigestor (electrónico).
Fuente: Realizo por el Sr. Ronald Torres.

En este proyecto se plantea analizar dos biodigestores con variaciones significativas entre sí. El primer biodigestor (manual) se abastece exclusivamente de materia orgánica proveniente de los bares pertenecientes a la institución, mientras que el segundo biodigestor (electrónico) se incorpora una mezcla de materia orgánica proveniente de los bares y rumen de vaca. La inclusión del rumen de vaca se plantea con el propósito de investigar si dicha adición contribuye a acelerar el proceso de producción de metano.

El cargado inicial de un biodigestor tipo batch (o biodigestor de carga por lotes) es un paso crucial para establecer y activar el proceso de biodigestión de manera eficiente. Para ello, es importante seleccionar una mezcla adecuada de materiales orgánicos, asegurándose de mantener una proporción equilibrada de materiales carbonosos y nitrogenados.

Se partió por calcular la cantidad de materia necesaria para llenar el volumen del biodigestor, la cual fue de 121 kg para el primer biodigestor, considerando este dato se ajustó la relación carbono/nitrógeno como se muestra con la ecuación 3, variando los pesos de los diferentes materiales orgánicos para así alcanzar una relación carbonó nitrógeno adecuada de 20:1 hasta 30:1.

Ecuación 3. Cálculo de la relación C/N para el primer biodigestor.

Fuente: Elaboración propia

$$C_{papa} = 25 \quad C_{cocida} = 20 \quad C_{frutas} = 35 \quad C_{verduras} = 25$$

$$N_{papa} = 1 \quad N_{cocida} = 1 \quad N_{frutas} = 1 \quad N_{verduras} = 1$$

$$P_{papa} = 64kg \quad P_{cocida} = 13.1kg \quad P_{frutas} = 6.2kg \quad P_{verduras} = 37.7 kg$$

$$= \frac{C_{papa} * P_{papa} + C_{cocida} * P_{cocida} + C_{frutas} * P_{frutas} + C_{verduras} * P_{verduras}}{N_{papa} * P_{papa} + N_{cocida} * P_{cocida} + N_{frutas} * P_{frutas} + N_{verduras} * P_{verduras}}$$

$$K = \frac{25 * 64 + 20 * 13.1 + 35 * 6.2 + 25 * 37.7}{1 * 64 + 1 * 13.1 + 1 * 6.2 + 1 * 37.7}$$

$$K = 24.971$$

Después de calcular la cantidad necesaria de materia orgánica requerida relación C/N), se procedió a introducirlas en el biodigestor hasta alcanzar un 80% de su capacidad. Este enfoque garantiza la reserva de un 20% del espacio total, necesario para facilitar la óptima generación de metano.

Una vez dispuesta toda la materia orgánica en el biodigestor, se procedió a la adición de agua con el fin de alcanzar un nivel de humedad apropiado. Este paso es crucial, ya que el contenido de agua desempeña un papel esencial en facilitar la actividad microbiana necesaria para el proceso.

Ya colocado todo se procedió al sellado del biodigestor herméticamente para crear un entorno anaeróbico propicio para la producción de biogás. En el primer biodigestor solo se cuentan con la implementación de un manómetro para la medición de la presión y dos vástagos para medir la temperatura.

Para el caso del llenado del segundo biodigestor el cual va a ser colocado con rumen de vaca, obtenido del Camal Municipal de Cuenca, sector Patamarca, colocado para acelerar el proceso de obtención de metano, el cálculo de la relación de C/N se realizó de igual

manera del primer biodigestor. Donde, se empezó por recalculando la relación carbono nitrógeno como se muestra en la ecuación 4.

Ecuación 4. Cálculo de la relación C/N para el segundo biodigestor.

Fuente: Elaboración propia.

$$C_{papa} = 25 \quad C_{cocida} = 20 \quad C_{frutas} = 35 \quad C_{verduras} = 25 \quad C_{rumen} = 18$$

$$N_{papa} = 1 \quad N_{cocida} = 1 \quad N_{frutas} = 1 \quad N_{verduras} = 1 \quad N_{rumen} = 1$$

$$P_{papa} = 32kg \quad P_{cocida} = 13.1kg \quad P_{frutas} = 6.2kg$$

$$P_{verduras} = 37.7kg \quad P_{rumen} = 32kg$$

$$= \frac{C_{pa} * P_{pa} + C_{co} * P_{co} + C_{fru} * P_{fru} + C_{ver} * P_{ver} + C_{rum} * P_{rum}}{N_{pa} * P_{pa} + N_{co} * P_{co} + N_{fru} * P_{fru} + N_{ver} * P_{ver} + N_{rum} * P_{rum}}$$

$$K = \frac{25 * 32 + 20 * 13.1 + 35 * 6.2 + 25 * 37.7 + 18 * 32}{1 * 32 + 1 * 13.1 + 1 * 6.2 + 1 * 37.7 + 1 * 32}$$

$$K = 23.119$$

Para el segundo biodigestor se optó por reducir la cantidad de corteza de papa colocada para ser remplazada por el rumen y mantener una buena relación carbono nitrógeno. Una vez calculados los pesos necesarios se procedió a colocarlos por capas para lograr una adecuada mezcla entre el rumen y la materia orgánica.

Tras completar el llenado del segundo biodigestor, se llevó a cabo el sellado hermético de manera similar al procedimiento realizado anteriormente, asegurando así un proceso óptimo. Cabe destacar que, en este reactor específico, se incorporan sensores que proporcionarán datos más precisos y en tiempo real sobre la producción de metano, mejorando significativamente la monitorización del sistema.

3.2.1 Evaluación de las temperaturas

Para evaluar el comportamiento de las temperaturas de los biodigestores, en el primer biodigestor (manual) se llevó un registro del comportamiento que fue suscitando en cada uno de los días de monitoreo, donde, se tomó una temperatura al medio, como se observa en la figura 29, con la implementación de un termómetro con un vástago de 10 cm de longitud, como se puede ver en el croquis de la figura 19.

Con respecto al segundo biodigestor (electrónico) de igual manera se fue monitoreando en el medio día y la tarde. A diferencia del primer biodigestor (manual), se implementó sensores para su monitoreo, donde se obtuvo temperaturas internas y ambientales como se muestra en el croquis de la figura 20.

3.2.2 Evaluación del pH

Se realizó una evaluación del pH de los dos biodigestores mediante la extracción del lixiviado. El equipo usado para realizar el análisis de la muestra es el pH-metro.



*Figura 21. Medición del pH tomado a los 60 días en campo y en laboratorio del primer biodigestor (manual).
Fuente:Elaboracion propia.*

El análisis del pH se realizó de dos maneras en campo y en el laboratorio de la institución, en campo se utilizó tiras de pH, para la segunda opción se evaluó en el laboratorio se

tomó una muestra de 150 ml, con el equipo multiparamétrico se procedió a la medición del pH, como se muestra en la figura 21.

Cabe resaltar, que se realizó una medición adicional del pH, después de 15 días de la primera evaluación del primer biodigestor. Con la misma metodología realizada para la primera muestra.

Para la toma del pH del segundo biodigestor se realizó de la misma forma que el primero, a diferencia que el segundo biodigestor está compuesto de materia orgánica y rumen de vaca. La muestra de lixiviados está tomada a los 25 días desde la colocación de materia orgánica.

3.2.3 Evaluación del Oxígeno disuelto

Para la evaluación del oxígeno disuelto se utilizó el equipo multiparamétrico con una sonda, siendo útil para medir el oxígeno disuelto. En el primer biodigestor se utilizó una muestra de 150 ml de lixiviados como se muestra en la figura 22.

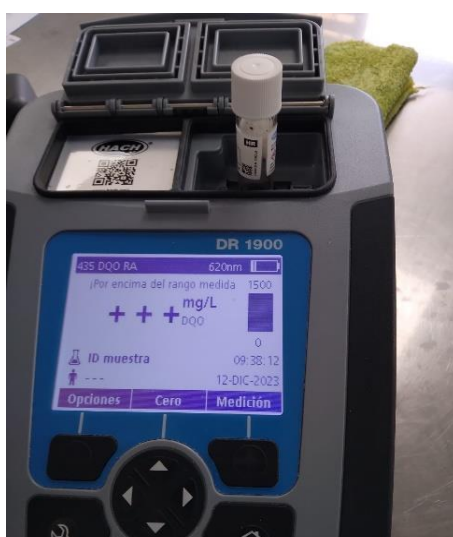


*Figura 22. Medición del OD en gm/L, del primer biodigestor (manual).
Fuente: Elaboración propia.*

Para el análisis del segundo biodigestor, se llevó a cabo utilizando la misma metodología del primer biodigestor, donde, la diferencia es que se realizó el ensayo a los 25 días, con una masa compuesta por materia orgánica y rumen de vaca.

3.2.4 DQO y DBO del lixiviado

El equipo espectrofotómetro se limita a determinar valores de DQO hasta 15000 mg/L, dicho esto, se procede a conseguir el DQO, donde, se tomó 2 ml de la muestra. Posterior, a dicha muestra de lixiviados se colocó los viales, para después colocarlos en el equipo termoreactor, durante 2 horas, para posterior medir la cantidad de DQO como se muestra en la figura 23.



*Figura 23. Medicion del DQO en gm/L de la primera muestra del primer biodigestor.
Fuente: Elaboracion propia.*

Cabe resaltar, que se realizó una medición adicional de DQO, después de 15 días de la primera evaluación del primer biodigestor. Con la diferencia que en la segunda muestra se diluyo al 15% de soluto y 85%.

Para el segundo biodigestor se llevó a cabo la misma metodología, a los 25 días desde la colocación de materia orgánica y rumen de vaca, donde, se diluyo al 45% de soluto y 55% disolvente.

El valor de DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días), para la primera evaluación se tomó una muestra de lixiviados 164 ml, donde, se colocó tres tipos de reactivos: inhibidor de nitrificación, almohadillas tampón de nutrientes y dos lentejas de hidróxido de potasio. Por último, se procedió a llevar a un respirométrico en una incubadora a 20°C, durante 5 días para poder obtener el resultado como se muestra en la figura 24.



*Figura 24. Cantidad de DBO en mg/L, del primer biodigestor (primera muestra)
Fuente: Elaboracion propia.*

De igual manera se realizó otra prueba de DBO5 a los 15 días después del primer ensayo realizado al primer biodigestor. Donde se procedió a evaluar siguiendo los pasos de la muestra anterior.

Para la evaluación del segundo biodigestor se llevó a cabo la misma metodología utilizada para el primer biodigestor, la diferencia es que se realizó a los 25 días desde la colocación de materia orgánica y el rumen de vaca.

3.3 Metodología para cuantificar el volumen de metano generado en los biodigestores a partir de la materia orgánica de los bares de la institución.

Este estudio se enfocó en analizar la producción de metano, mediante la recolección y análisis de muestras de gas tomadas en diferentes momentos durante el proceso de digestión anaerobia.

3.3.1 Medición de cantidad metano

En el primer biodigestor (manual) se realizó el almacenamiento del biogás producido en el biodigestor mediante la utilización de tubos fabricados con llantas. De este modo, se logró determinar el volumen total de biogás generado durante el proceso de digestión anaerobia. Los tubos de llanta fueron empleados como una forma de almacenamiento temporal del biogás, posibilitando la medición y registro del volumen producido en distintos momentos del proceso de digestión. Esta estrategia de almacenamiento demostró ser eficiente y económica en comparación con otras alternativas para el almacenamiento de biogás.

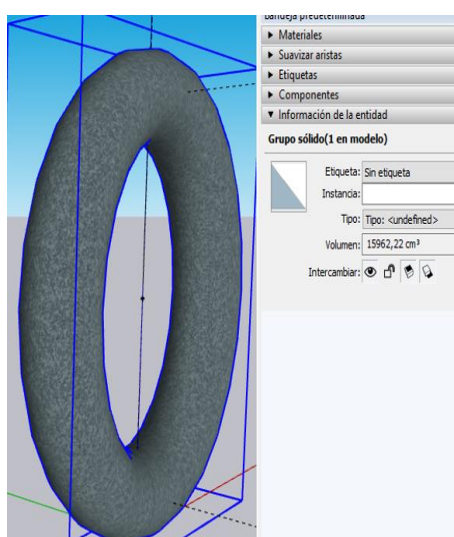


Figura 25. Modelado del tubo de goma en SketchUp.
Fuente: (Aragundi Zambrano & Chamba Duman, 2023)

El volumen se pudo obtener mediante la toma de dimensiones de cada tubo para posteriormente ingresar las dimensiones en SketchUp como se muestra en la tabla 21. El

tubo de menor tamaño está destinado al biodigestor equipado con sensores, mientras que el tubo de mayor tamaño se utiliza para el biodigestor sin sensores.

Tabla 21. Muestra de volumen obtenida de los dos biodigestores.

Fuente: Elaboración propia

PROTOTIPO	TIEMPO (días)	VOLUMEN (cm ³)	CANTIDAD	VOLUMEN TOTAL (cm ³)	m ³
TUBO GRANDE	25	15962,22	1	15962,22	0,016
TUBO PEQUEÑO	75	8301,74	2	16603,48	0,017
				TOTAL	0,033

Para los biodigestores se utilizó el equipo BIOGAS 5000 para medir las concentraciones de los componentes principales del biogás, en especial el metano, dióxido de carbono.

Tabla 22. Medición de metano en la planta de Biogás EMAC BGP ENERGY C.E.M (EBE).

Fuente: Elaboración propia.

PROTOTIPO	REGISTRO INICIAL	MUESTREO DEL BIOGÁS	TIEMPO (DÍAS)
TUBO PEQUEÑO	23/10/2023	22/12/2023	60
TUBO PEQUEÑO	22/12/2023	11/01/2024	80
TUBO GRANDE	11/01/2024	31/01/2024	100

Para alcanzar un rendimiento óptimo y verificar la composición del biogás, se tomó una muestra de volumen del tubo grande. Esta cantidad de volumen se tomó del primer biodigestor a los 60 días como se muestra en la tabla 22. Posterior, la muestra de volumen fue llevado al relleno sanitario de Pichacay, Cantón Cuenca. Asegurando de que el proceso esté funcionando adecuadamente, donde, se utilizó el equipo de BIOGAS 5000 para obtener la cantidad de metano producido, como se muestra en la figura 26.



*Figura 26. Resultado de la composición de la muestra del tubo pequeño.
Fuente: Elaboración propia.*

Para la segunda muestra de volumen del tubo pequeño. De igual manera se siguió la metodología tomada para la primera muestra de volumen, a diferencia que esta muestra se realizó a los 80 y 100 días desde la colocación de materia orgánica como se observa en la tabla 22.

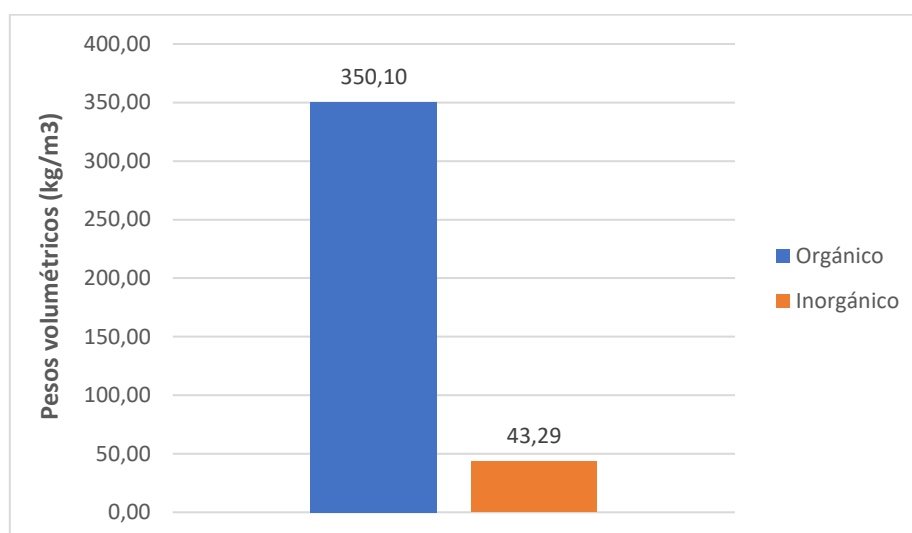
Además, se llevó a cabo una prueba de encendido con fósforo a los 60, 80 y 100 días con el objetivo de evaluar la combustibilidad del biogás generado por los reactores anaeróbicos.

Para el segundo biodigestor (electrónico) se tomó en cuenta el sensor implementado para medir la cantidad de metano producido, donde, se llevó un registro de los datos arrojados por el software ThingSpeak, desde la colocación de la materia orgánica y rumen hasta la actualidad como se muestra en el croquis de la figura 20.

CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

4.1 Resultados para determinar la generación per cápita de los residuos sólidos que genera cada estudiante en los patios de comida de la institución.

Se logro recabar los pesos, durante la caracterización de los desechos sólidos producidos en los bares de dicha institución declarados en el primer capítulo. Este trabajo se basó en los estudios realizados por Chamba y Aragundi (2023), de acuerdo a su investigación mencionan que los bares más representativos en cuanto a producción de desechos sólidos, son los bares de Bioquímica, Agrónoma y farmacia. Donde, se evidencio que son los mayores productores de desechos sólidos dichos bares pertenecientes a la Universidad Católica de Cuenca.



*Figura 27. Datos de los pesos volumétricos (kg/m³) de los residuos sólidos obtenidos de la Institución.
Fuente: Elaboración Propia.*

Se pudo observar de acuerdo a la figura 27, que existe una mayor producción de desechos orgánicos, siendo muy útiles para su aprovechamiento como fuentes de energías limpias, teniendo un peso volumétrico total promedio de residuos orgánicos que oscila entre 350.10 kg/m³ de materia orgánica a comparación de 43.29 kg/m³ de materia inorgánica, teniendo en cuenta que no se encuentran compactados. Así, mismo se pudo observar que la muestra recolectada durante los 7 días, sin considerar el día de encere, que existe un

mayor porcentaje de residuos orgánicos 89% comparados con un 11% de los residuos inorgánicos, por otro lado, se puede apreciar que del total de residuos orgánicos un 53% es de corteza de papa, un 7% es de frutas, el 31% de verduras y el 10% de comida cocida como se puede observar en la figura 28.

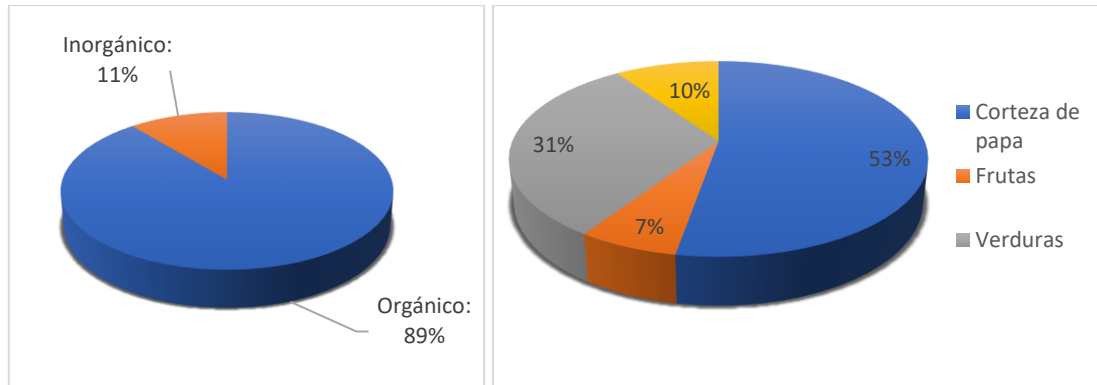


Figura 28. Porcentaje de residuos sólidos generados y composición de los residuos orgánicos generados en los patios de comida de la institución.
Fuente: Elaboración propia.

4.1.1 Resultados de la generación per cápita de los residuos sólidos

De acuerdo a los resultados obtenidos del muestreo realizado en los diferentes bares de comida de la institución, se obtuvo que el valor promedio de generación per cápita por estudiante fue de 0.0084 kg de residuos orgánicos por día y 0.0010 de residuos inorgánicos por día como se muestra en la figura 29, en la zona de estudio previamente detallado en el capítulo 2. De acuerdo a estos valores pone en manifiesto la importancia de tomar en cuenta la generación per cápita de los residuos sólidos ya que existen variaciones notables de cada uno de los patios de comida ya sea por la ubicación y las accesibilidades a las cuales está sometido cada bar.

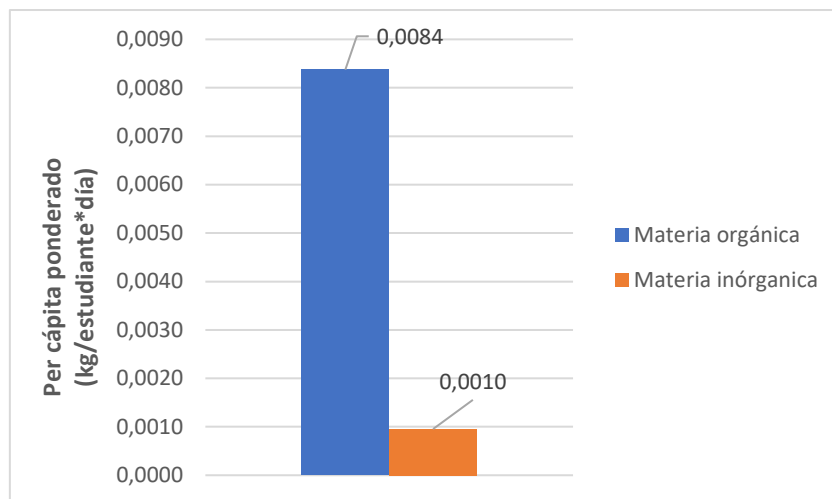


Figura 29. Resultado del per cápita ponderado (kg/estudiante*día) de la materia orgánica de los bares.
Fuente: Elaboración propia.

Cabe resaltar, para obtener el resultado de la generación per cápita se basó en los estudios realizados por Chamba y Aragundi (2023), para la selección de los bares con la mayor generación de residuos sólidos como se describe en el capítulo 3. Donde, según los datos se obtuvo que la facultad que mayor generación per cápita de residuos sólidos es el de Bioquímica y Farmacia, con 0.0302 kg/estudiante*día. En segundo lugar, la facultad de Agronomía, Veterinaria y Enfermería con un valor de 0.0145 kg/estudiante*día. Además, también se detalla la generación per cápita de los residuos inorgánicos generados por cada patio de comida ver la figura 30.

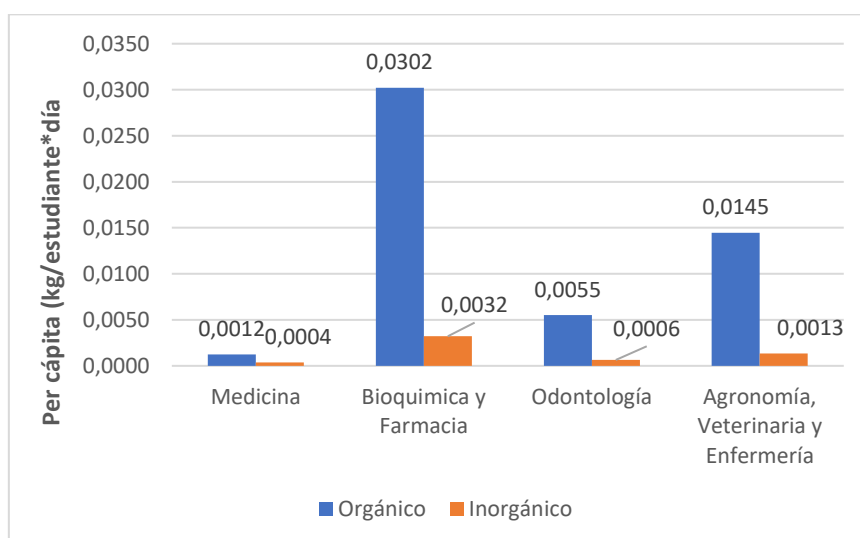


Figura 30. Resultados del per cápita (kg/estudiante*día) de los residuos sólidos de los bares.
Fuente: Elaboración propia.

4.2 Resultados para identificar los factores que intervienen en el comportamiento de la digestión anaeróbica para la producción del metano como: temperatura, oxígeno disuelto, pH, DBO y DQO presentes en los lixiviados.

4.2.1 Temperatura

De acuerdo a la metodología seguida en el capítulo 3, figura 19, donde se encuentra el proceso para obtener las temperaturas, datos recabados desde la colocación de la materia orgánica, teniendo como resultado temperaturas del primer biodigestor las se encuentran en el anexo 6.

Se procedió a obtener las variaciones de la temperaturas ambientes e internas del primer biodigestor (manual), donde, se dio seguimiento a las temperaturas ambiente obtenidas del biodigestor 2 (electrónico) e interna del biodigestor 1 (manual), para el biodigestor (electrónico) solo se comenzó a tomar temperaturas ambientes desde el 20 de noviembre como se puede apreciar en la figura 31, debido a que el sensor que monitorea la temperatura ambiente se implementó en esa fecha.

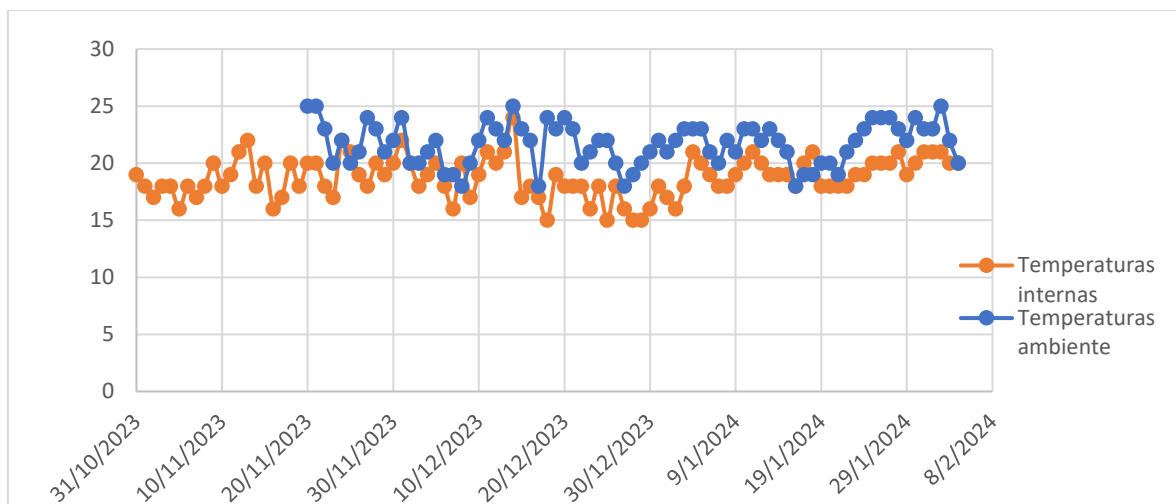


Figura 31. Temperaturas Ambiente del primer biodigestor (13:00 pm).

Fuente: Elaboración propia.

Como se explicó en la metodología capítulo 3, para el segundo biodigestor (electrónico) se optó por utilizar sensores para obtener resultados más precisos, donde, se dio

seguimiento a las temperaturas ambiente e internas como se puede apreciar en la tabla 25. Del mismo modo, se procedió de igual manera a obtener las variaciones de la temperaturas ambiente e internas del segundo biodigestor (electrónico), como se puede apreciar en la figura 32 y 33.

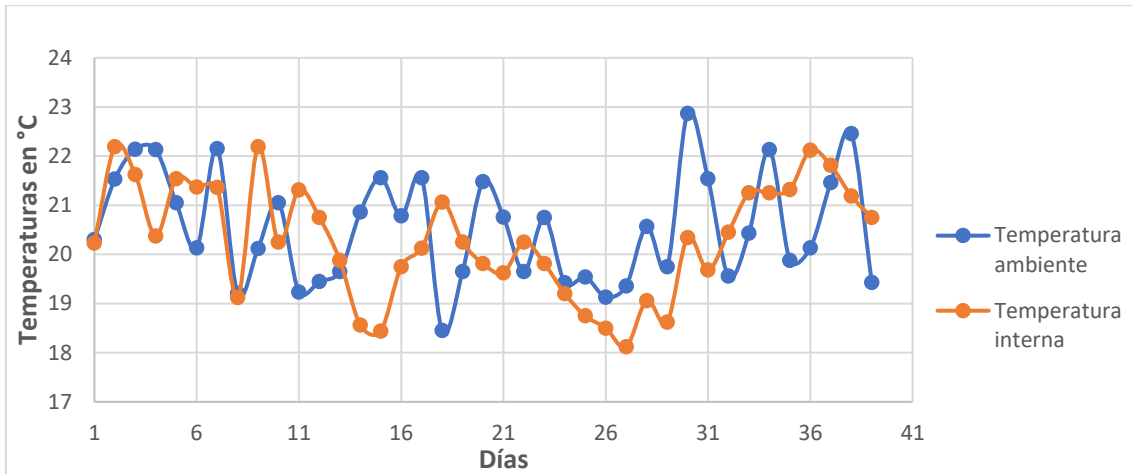


Figura 32. Temperaturas internas y ambientes (09:00 am) del segundo biodigestor (electrónico).
Fuente: Elaboración propia.

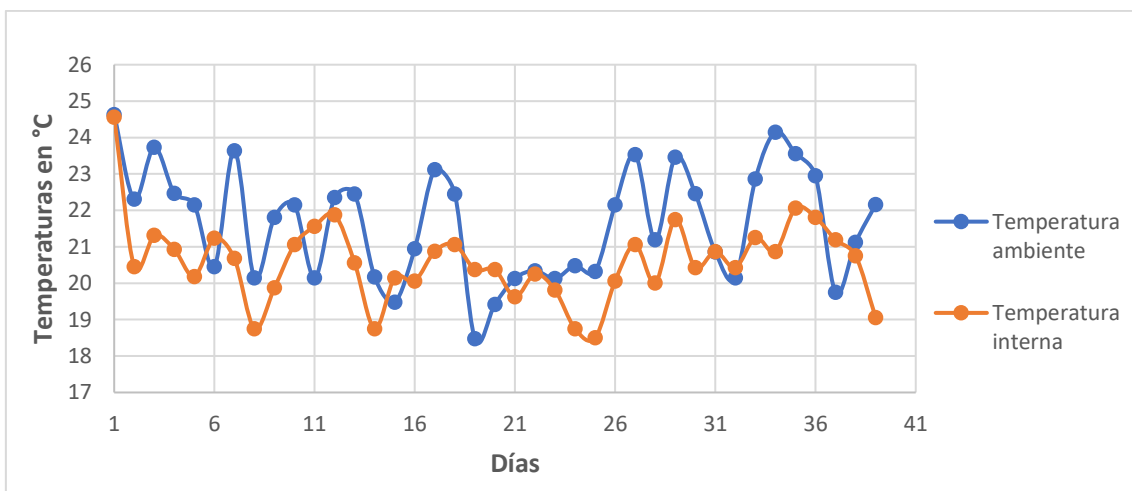


Figura 33. Temperaturas internas y ambientes (13:00 pm) del segundo biodigestor (electrónico).
Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 42, las temperaturas del segundo biodigestor (electrónico) a las 09:00 am, existen variaciones de las temperaturas internas con respecto a las temperaturas ambientes, de igual manera se puede evidenciar pequeñas variaciones 13:00 pm en la figura 33. Estas variaciones son producto a que el proceso de

descomposición de la materia orgánica puede estar ocurriendo a un ritmo más lento de lo esperado, debido a que se destapo para el cambio de los sensores dañados el día 8, donde, se dio pérdidas de calor significativas debido a fugas de gas según (Poggio et al., 2009). Por otro lado, también se debe a las alternaciones de las temperaturas o cambios de bruscos de la temperatura ambientes con las internas, lo que produce la disipación de la temperatura interna hacia el exterior.

Con las temperaturas obtenidas en las tablas de los dos biodigestores, se procede a obtener un resultado promedio de las mismas, teniendo en cuenta que para el biodigestor 1 (manual) se realizó la medición al medio día (13:00 pm), a diferencia del segundo biodigestor (electrónico) se tomó mediciones a las (09:00 am y 13:00pm). En la tabla 23, se procedió a tomar en cuenta las temperaturas arrojadas a las (13:00 pm), donde, dichas temperaturas se encuentran en el rango óptimo, como se muestra en el capítulo 2, tabla 5, que oscila como máximo 25°C y como mínimo 15°C, donde, habla sobre los rangos de temperaturas óptimos para que se desarrolle la digestión anaeróbica, clave para la producción de metano.

*Tabla 23. Temperaturas registradas de los dos biodigestores.
Fuente: Elaboración propia*

Temperaturas de los dos biodigestores a las (13:00 pm)				
	Biodigestor 1 (manual)		Biodigestor 2 (electrónico)	
	Termómetro. (°C)	*Temperatura ambiente	Temperatura interna (°C)	*Temperatura ambiente
Promedio	18.8	21.6	20.6	21.6
Máximo	24	24.63	24.56	24.63
Mínimo	15	18.48	18.5	18.48

4.2.2 Oxígeno disuelto

Como se puede observar en la tabla 24, se obtuvo resultados bajos del oxígeno disuelto, esto debido a que la materia orgánica se encuentra en un proceso de descomposición por los microorganismos, y es por esto que requiere un consumo significativo de oxígeno disuelto. Este proceso biológico da como resultado, la disminución de los niveles de oxígeno disuelto en los lixiviados, donde se puede comprobar que el oxígeno disuelto debería mantenerse por debajo de 0.5 mg/L (miligramos por litro) para asegurar un ambiente anaeróbico.

Tabla 24. Resultado del Oxígeno disuelto de los dos biodigestores.

Fuente: Elaboración propia.

Resultados del oxígeno disuelto del lixiviado de los dos biodigestores	
Biodigestor 1	Biodigestor 2
OD. mg/L (60 días)	OD. mg/L (25 días)
0.25	0.50

4.2.3 PH del lixiviado generado en los biodigestores

Como se muestra en la tabla 25, se obtuvo resultados de pH menores a 7 a los 60 días, siendo indicativos de que el medio en los biodigestores es ligeramente ácido, teniendo en cuenta que el biodigestor 2 tiene un menor tiempo de retención, por lo que se determina que la digestión para este tipo de pH se encuentra entre la etapa de la hidrólisis y acidogénesis. A los 75 días se obtuvo un pH de 7.12, lo que se considera neutral a ligeramente alcalino. Esto significa que el proceso de descomposición de materia orgánica puede ser más eficiente en condiciones cercanas a la neutralidad del pH.

Tabla 25. Resultados del pH de los biodigestores.

Fuente: Elaboración propia.

Resultados de los pH de lixiviados de los dos biodigestores		
Biodigestor 1		Biodigestor 2
pH (60 días)	pH (75 días)	pH (25 días)
5.78	7.12	5.34

4.2.4 DBO5 del lixiviado

En la tabla 26, se detallan los resultados del DBO5 de las dos muestras de lixiviados del primer biodigestor y la una muestra del segundo biodigestor, por tanto, esta cantidad podría indicar la existencia de material orgánico biodegradable, es decir mientras aumenta el proceso de descomposición aumenta la carga orgánica, por ende, tiende a aumentar el DBO5.

Tabla 26. Resultados del DBO5 de los dos biodigestores.

Fuente: Elaboración propia.

Resultados de DBO5 de lixiviados de los dos biodigestores		
Biodigestor 1		Biodigestor 2
DBO5. 1 (mg/L) (60 días)	DBO5. 2 (mg/L) (75 días)	DBO5. 1 (mg/L) (25 días)
874	558	490

4.2.5 DQO del lixiviado

Como se puede observar en la tabla 27, las dos muestras obtenidas del primer biodigestor nos dan un resultado mayor a 15000 mg/L de DQO, debido a que el espectrofotómetro no mide cantidades mayores a dicho valor, lo que indica una alta concentración de materia orgánica en la muestra. Para el segundo biodigestor se implementó una mayor dilución como se muestra en el capítulo 3, dando como resultado 13437 mg/L de DQO. Debido a la alta concentración de materia orgánica, requiere una alta demanda de oxígeno para su oxidación.

Tabla 27. Resultados del DQO de los dos biodigestores.

Fuente: Elaboración propia.

Resultados de DQO de lixiviados de los dos biodigestores		
Biodigestor 1		Biodigestor 2
DQO. 1 (mg/L) (60 días) >15000	DQO. 2 (mg/L) (75 días) >15000	DQO. 1 (mg/L) (25 días) 13437

4.3 Resultados para cuantificar el volumen de metano generado en los biodigestores a partir de la materia orgánica de los bares de la institución.

Siguiendo los pasos explicados en el capítulo 3, donde, se tuvo la composición del biogás del primer biodigestor (manual), realizado a los a los 60, 80 y 100 días desde la colocación de la materia orgánica como se puede observar en la tabla 28. Dando, como resultado que en la primera muestra no existe ningún porcentaje de metano, debido a que se tuvo un alto porcentaje de oxígeno, esto debido a la materia orgánica todavía se encuentra en una fase de descomposición. Después la segunda y muestra realizada a los 80 y 100 días, donde, se aprecia que ya existe un mínimo porcentaje de metano, debido principalmente a que ya existe una disminución de oxígeno en la muestra.

Tabla 28. Resultados de la composición del biogás a partir de la materia orgánica (primer biodigestor).

Fuente: Elaboración propia.

Composición del biogás					
Biodigestor 1					
Primera muestra de volumen (60 días)		Segunda muestra de volumen (80 días)		Tercera muestra de volumen (100 días)	
Metano (CH ₄) %	<<<	Metano (CH ₄) %	0.3	Metano (CH ₄) %	0.2
Dióxido de carbono (CO ₂) %	63.4	Dióxido de carbono (CO ₂) %	84	Dióxido de carbono (CO ₂) %	89
Oxígeno (O ₂) %	15.9	Oxígeno (O ₂) %	1.5	Oxígeno (O ₂) %	1.5
Sulfuro de hidrogeno (H ₂ S) ppm	2	Sulfuro de hidrogeno (H ₂ S) ppm	21	Sulfuro de hidrogeno (H ₂ S) ppm	134

Para el segundo biodigestor (electrónico) como se explicó en el capítulo 3, se optó por la utilización de sensores para su monitoreo desde la colocación de la materia orgánica con rumen de vaca como se muestran en las siguientes figuras, cabe resaltar que durante el proceso de la digestión anaeróbica no se tuvieron valores, debido a que los sensores implementados en el biodigestor se dañaron por las altas precipitaciones de lluvias producidas en esas fechas, por lo que se procedió a cambiar todos los sensores para proseguir con la medición como se muestra en la figura 34.

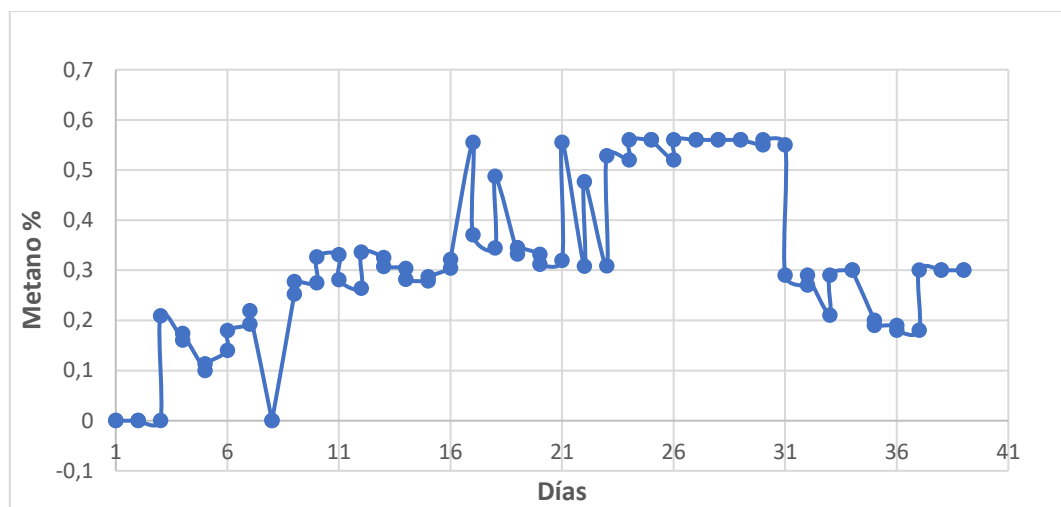


Figura 34. Monitoreo del metano del segundo biodigestor.
Fuente: Elaboración propia.

El primer descenso repentino del nivel de metano a cero, ocurrido a los 8 días, se debió a la apertura de la tapa y al posterior cambio de los sensores, lo que implicó reiniciar el proceso de generación de metano. Sin embargo, se observa que la producción de metano se recuperó rápidamente, alcanzando nuevamente un nivel del 0.25%.

Las fluctuaciones en la producción de metano pueden haber sido causadas por diversos factores. Por ejemplo, la introducción de rumen de vaca al biodigestor pudo haber aportado microorganismos adicionales, lo que generó picos en la producción de metano debido a la actividad bacteriana. Además, cambios en la composición de la carga

orgánica, variaciones de temperatura u otros factores ambientales podrían haber influido en la actividad microbiana y, en consecuencia, en la producción de metano.

El brusco descenso en la producción de metano registrado en el día 31 posiblemente se debió al no registro de datos del sensor, lo que pudo haber provocado su disminución.

Por otro lado, como se puede observar en la figura 38, el aumento repentino en la producción de dióxido de carbono, evidenciado en el mismo día, de 324 ppm a 4000 ppm, sugiere que algo podría no estar funcionando correctamente en el biodigestor. Este incremento en la producción de dióxido de carbono podría ser consecuencia de una acumulación de materia orgánica en el biodigestor, lo que a su vez habría ocasionado una disminución en la producción de metano.

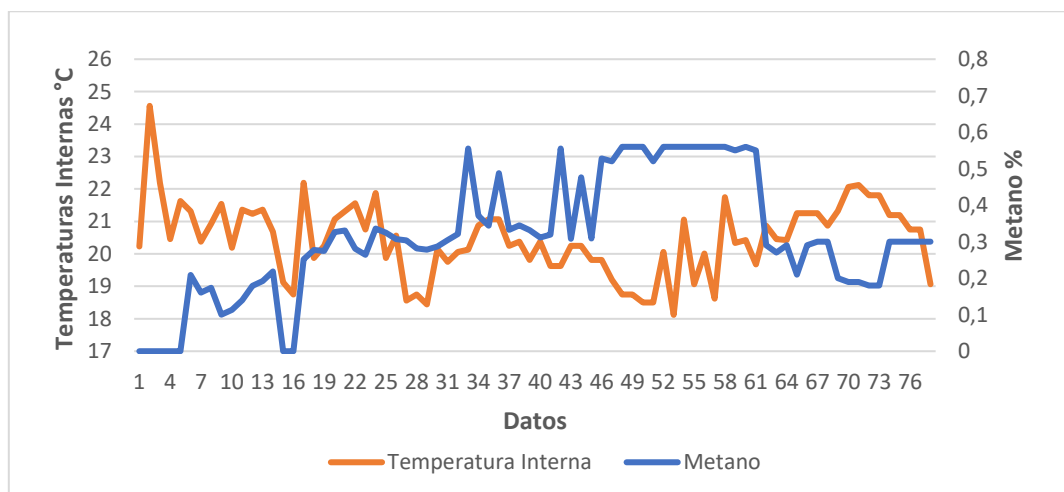


Figura 35. Monitoreo de la producción de metano con respecto a la temperatura interna.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 35 se muestra la producción de metano y las temperaturas internas del segundo biodigestor. En este análisis, se destaca una situación inesperada: a pesar de que la temperatura comenzó a aumentar, lo que normalmente se relacionaría con una mayor actividad microbiana y, por ende, una mayor producción de metano, la concentración de metano en realidad disminuyó de manera significativa, pasando del 0.5% al 0.27%.

Hay diversas posibles interpretaciones para estos resultados que parecen ser contradictorios. Una de ellas es la posible inhibición microbiana, que sugiere que el aumento súbito en la temperatura podría haber afectado la actividad microbiana dentro del biodigestor. A pesar de que las temperaturas más altas suelen ser favorables para las bacterias productoras de metano hasta cierto punto, un aumento brusco o extremo podría haber tenido un efecto negativo, reduciendo su actividad.

Muerte celular: Un rápido incremento en la temperatura podría haber resultado en la muerte de una porción importante de las bacterias encargadas de generar metano. Esta situación probablemente ocasionó una reducción temporal en la concentración de metano (Viteri Vega, 2020).

Cambio en la composición de los microorganismos: La elevación de la temperatura pudo haber provocado cambios en la comunidad microbiana del biodigestor, lo cual podría haber alterado la proporción de microorganismos involucrados en la producción de metano (Environment, 2022).

Desbalance en la relación entre producción y consumo de metano: Aunque la temperatura aumentó, también es posible que otros factores dentro del biodigestor hayan cambiado simultáneamente, como la disponibilidad de sustratos o la competencia de otros microorganismos consumidores de metano. Estos cambios podrían haber alterado el equilibrio entre la producción y el consumo de metano (Velásquez & Rojas, 2006).

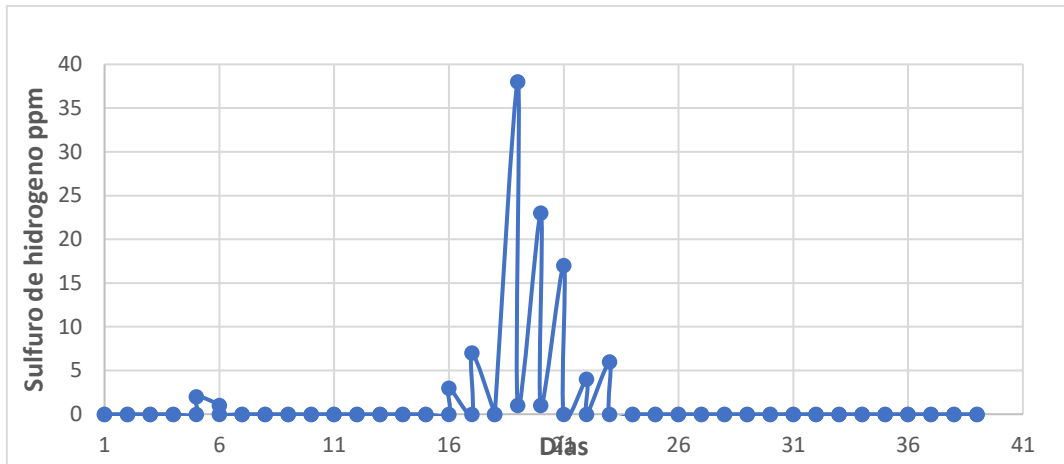


Figura 36. Monitoreo del sulfuro de hidrógeno del segundo biodigestor.
Fuente: Elaboración propia.

La figura 36 muestran un patrón de producción de H₂S que inicialmente se mantiene en valores de cero ppm, lo que indica que en las etapas iniciales del proceso de digestión anaeróbica no se estaba produciendo H₂S. Sin embargo, después de 30 días, se observa un aumento en la concentración de H₂S a 35 ppm, seguido de una disminución gradual hasta regresar a cero.

Una posible interpretación de estos resultados es que el proceso de digestión anaeróbica en el biodigestor estaba funcionando inicialmente de manera eficiente, con una producción insignificante de H₂S. La adición de rumen de vaca podría haber introducido microorganismos adicionales al biodigestor, lo que aceleró la descomposición de la materia orgánica y aumentó la producción de sulfuro de hidrógeno después de aproximadamente 19 días. Esta producción de H₂S puede ser una consecuencia natural del metabolismo microbiano durante la descomposición anaeróbica de la materia orgánica. La disminución gradual del sulfuro de hidrógeno después del pico de 35 ppm sugiere que el sistema ha sido capaz de adaptarse y manejar eficientemente la producción de H₂S, posiblemente debido a la actividad de microorganismos específicos que pueden consumir o metabolizar este compuesto.

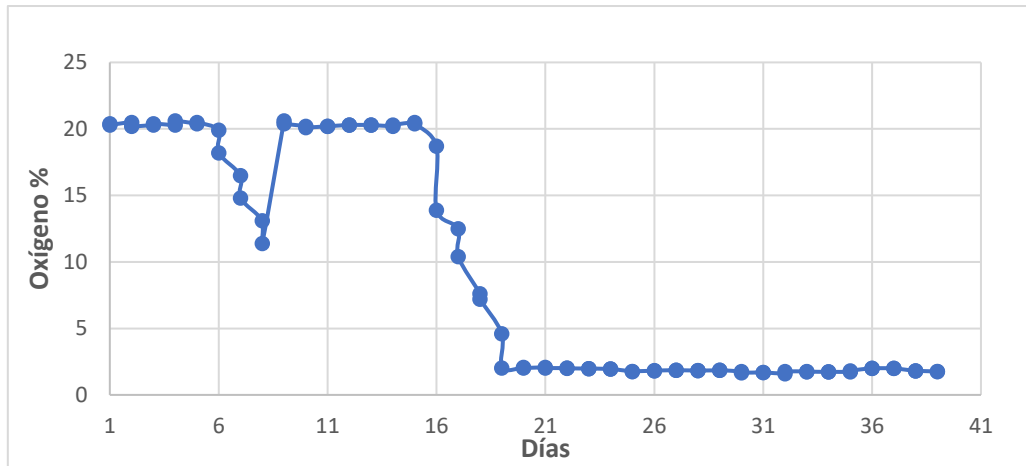


Figura 37. Monitoreo del Oxígeno del segundo biodigestor.
Fuente: Elaboración propia.

La Figura 37 muestra el comportamiento del oxígeno en el biodigestor. A los 6 días, se observa una disminución gradual del oxígeno, y al día 8, al abrir la tapa, se reinició el proceso de digestión anaeróbica, lo que llevó al retorno al porcentaje de oxígeno original. Después de los 16 días, se registró nuevamente un descenso gradual del oxígeno hasta estabilizarse en un valor del 1.67%, considerado adecuado para la producción de metano.

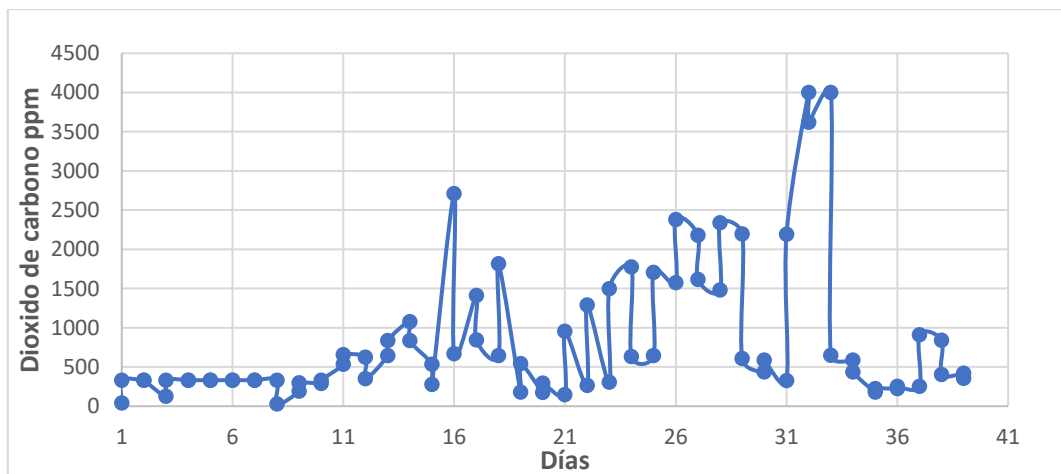


Figura 38. Monitoreo del Dióxido de carbono del segundo biodigestor.
Fuente: Elaboración propia.

Por último, se obtuvo los resultados como se muestra en la tabla 29 con la composición del biogás de los dos biodigestores, el primero con materia orgánica y el segundo aparte

de materia orgánica se colocó un porcentaje de rumen de vaca, para realizar una comparación de los dos resultados.

Tabla 29. Composición del biogás de los dos biodigestores.

Fuente: Elaboración propia.

Composición del biogás			
Biodigestor 1		Biodigestor 2	
Muestra de volumen (80 días)		Muestra de volumen (33 días)	
Metano (CH ₄) %	0.3	Metano (CH ₄) %	0.56
Dióxido de carbono (CO ₂) %	84	Dióxido de carbono (CO ₂) ppm	607
Oxígeno (O ₂) %	1.5	Oxígeno (O ₂) %	1.76
Sulfuro de hidrogeno (H ₂ S) ppm	21	Sulfuro de hidrogeno (H ₂ S) ppm	0

Según la tabla 29, donde, se puede apreciar que el biodigestor 2 (electrónico) tiene un mayor porcentaje de metano y con una tendencia a crecer, esto debido principalmente a que el rumen ayuda a reducir el tiempo de retención. Pero por otra parte se observó que también existe un poco diferencia de oxígeno a comparación con el biodigestor 1 (manual), esto debido a que el biodigestor 2 (electrónico). A diferencia que ya produce metano debido a que el rumen tienes alto contenido de metano.

En contraste, según las pautas establecidas por el manual de (Viteri Vega, 2020), el biogás debe contener un 45% de metano para ser inflamable. En este análisis particular, en el primer biodigestor con un tiempo de retención de 100 días, se registró un porcentaje de 0.3% de metano y en el segundo biodigestor con un tiempo de retención de 33 días, se registró un porcentaje de 0.56%, lo que sugiere que el biogás obtenido carece de la calidad necesaria y, por lo tanto, no puede ser considerado como una fuente aprovechable.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1 Conclusiones

- De acuerdo al análisis de la cantidad y composición de los residuos sólidos se encontró que los residuos orgánicos tenían un promedio de 350.10 kg/m³, mientras que los inorgánicos tenían un promedio de 43.29 kg/m³. Del total de desechos sólidos recolectados un 11% fue inorgánico y un 89% fue orgánico, del total de desechos orgánicos generados. Los resultados revelaron que la generación promedio ponderado de residuos orgánicos por estudiante al día fue de 0.0084 kg/estudiante*día mientras que el de los residuos inorgánicos fue de 0.001 kg/estudiante*día, con se puede evidenciar en el capítulo 2 (2.1), donde, se detalla la generación per cápita obtenida por los estudios realizados por Chamba y Aragundi (2023), fue de 0.0112 kg/estudiante*día de materia orgánica y 0.0010 kg/ estudiante*día de materia inorgánica. Donde, se puede apreciar que la materia orgánica es la más influyente en los dos estudios y tiene una mayor diferencia debido a que realizaron la recolección de todos los patios de comida.
- Los factores que intervinieron en la producción y calidad de metano para el primer biodigestor (manual) con las temperaturas de a las 13:00 pm, se obtuvo un promedio de 18.8 °C, con valores máximo y mínimo de 24 °C y 15 °C, respectivamente. Mientras tanto, en el segundo biodigestor (electrónico), se registró un promedio ligeramente más alto de 20.6 °C, con un rango entre 24.56 °C como máximo y 18.5°C como mínimo. A pesar de que las mediciones manuales y las realizadas con sensores presentan algunas diferencias, estas discrepancias no son significativas. Esto sugiere que las mediciones manuales pueden proporcionar una aproximación adecuada a la temperatura en comparación con las mediciones más precisas realizadas con sensores. Con lo

propuesto en el capítulo 2 se afirma que se encuentra en una digestión entre Psicrófilicos y Mesofílicos, necesitando un tiempo de digestión por lo menos de 100 días.

- En el primer biodigestor, que solo contiene materia orgánica, el pH alcanzó un valor de 7.12 después de 75 días, lo que sugiere un proceso de digestión anaeróbica más estable y alcalino. Por otro lado, en el segundo biodigestor que incluye materia orgánica y rumen de vaca, el pH alcanzó un valor de 5.34 después de 25 días, lo que indica un proceso más ácido y posiblemente una fermentación más rápida debido a la presencia de microorganismos adicionales provenientes del rumen de la vaca. Esto sugiere que la adición de rumen de vaca puede acelerar la actividad microbiana y la producción de biogás, aunque también puede resultar en una menor estabilidad del proceso. En consecuencia, estos resultados resaltan la importancia de considerar la composición de la carga en los biodigestores y el impacto que puede tener en la eficiencia y estabilidad del proceso de digestión anaeróbica.
- El biodigestor lleno de materia orgánica mostró un aumento significativo en la concentración de DBO5 desde los 874 mg/L después de 60 días hasta los 558 mg/L después de 75 días, lo que indica una tendencia hacia una mayor estabilización de la materia orgánica. Por otro lado, el biodigestor con materia orgánica y rumen de vaca tuvo una menor concentración de DBO5 a los 25 días (490 mg/L). Con lo expuesto en el capítulo 2 con los rangos de BBO joven y madura no cumplen ni llegan a situarse entre ese rango por que aún se encuentra en un proceso de digestión.

- De acuerdo a la cantidad y calidad del metano producido en los dos biodigestores, muestran una diferencia significativa en la producción de metano, siendo la producción en el primero de 0.3% y del segundo de 0.56%, lo que sugiere que la adición de rumen de vaca al segundo biodigestor ha acelerado la producción de metano en comparación con el primero que solo contiene materia orgánica. Es posible que el primer biodigestor haya requerido más tiempo para que las condiciones internas fueran óptimas para la producción de metano, lo que resultó en la demora observada en la acumulación de este gas. En contraste, la adición de rumen de vaca al segundo biodigestor pudo haber proporcionado una fuente adicional de microorganismos y nutrientes, creando condiciones más favorables para la producción temprana de metano.

5.2 Resultados destacados

- En el primer biodigestor (medición manual), con las temperaturas a la 13:00 pm, el promedio fue de (18.8 °C), ligeramente inferior al promedio de temperatura ambiente (21.9 °C), mientras que el máximo (24 °C) y el mínimo (15 °C) están dentro del rango de la temperatura ambiente (24.63 °C y 18.48 °C respectivamente). En el segundo biodigestor (medición con sensores), el promedio de temperatura (20.6 °C) se acerca más al promedio de temperatura ambiente, con un máximo (24.63 °C) y un mínimo (18 °C) también dentro del rango de la temperatura ambiente. Cabe recalcar, que existen variaciones mínimas de temperaturas (13:00 pm) internas con respecto a los ambientes por la disipación de la temperatura interna.
- Aunque comúnmente se anticiparía que un aumento en la temperatura conduciría a una mayor producción de metano en un biodigestor, la disminución observada en la concentración de metano sugiere que otros factores, como la inhibición

microbiana o cambios en la comunidad microbiana, podrían haber sido determinantes en estos resultados. Se requiere un análisis detallado adicional para comprender completamente los mecanismos involucrados y considerar posibles medidas correctivas si es necesario.

5.3 Recomendaciones

- Realizar un mayor análisis de la relación carbono-nitrógeno de la materia orgánica. Un alto contenido de carbono puede beneficiarse de la adición de fuentes de nitrógeno para mejorar la actividad microbiana y la digestión anaeróbica. Por otro lado, una relación C/N demasiado baja puede resultar en una rápida acidificación y la producción de gases no deseables. Por lo tanto, al seleccionar los materiales para el biodigestor, es fundamental analizar y ajustar la relación C/N para maximizar la eficiencia y la producción de biogás hasta llegar al rango máximo que es 30.
- Por las variaciones de temperaturas producida en el biodigestor (electrónicos), se recomienda utilizar lana de vidrio, para poder contrarrestar la disipación de la temperatura interna hacia el exterior.
- Aunque se ha señalado que el biogás actual no satisface los estándares de inflamabilidad debido a un contenido de metano inferior al 45%, es fundamental continuar vigilando esta variable de cerca. Se recomienda explorar posibles ajustes en el proceso de producción para mejorar la calidad del biogás y alcanzar un nivel de metano más elevado. Este enfoque permitirá optimizar la eficiencia y la utilidad del biogás generado, contribuyendo así a un rendimiento más efectivo y sostenible.

- Se sugiere considerar la opción de ajustar la composición de los sustratos alimentados al biodigestor, focalizándose particularmente en el primer biodigestor, con el objetivo de potenciar la producción de metano. Se recomienda explorar diversas combinaciones de materiales que favorezcan una generación más eficiente de biogás. Este enfoque estratégico podría resultar en mejoras significativas en la producción de metano y, en última instancia, en la eficacia global del sistema de biodigestión.
- Se sugiere examinar la opción de ajustar el tiempo de retención en el primer biodigestor con el fin de potenciar la producción de metano por mínimo de 100 días. Una estrategia práctica para lograr esto sería incorporar lixiviados ya degradados al cargar el biodigestor, con el propósito de optimizar el proceso de generación de metano. Este enfoque tiene el potencial de aumentar significativamente la eficiencia del biodigestor, contribuyendo así a una producción más robusta y sostenible de metano.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Adafruit. (2023). *DHT11, DHT22 and AM2302 Sensors*. Adafruit Learning System. <https://learn.adafruit.com/dht/overview>

Alcayaga, S., Glaría, J., & Guerrero, L. (1999). *Regulaciones de temperatura y potencial de hidrógeno en un biodigestor anaerobio de lecho de lodo granular expandido*. https://www.researchgate.net/profile/Lorna-Guerrero-2/publication/267693488_Regulaciones_de_temperatura_y_potencial_de_hidrogeno_en_un_biodigestor_anaerobio_de_lecho_de_lodo_granular_expandido/links/560966ca08ae4d86bb11d2eb/Regulaciones-de-temperatura-y-potencial-de-hidrogeno-en-un-biodigestor-anaerobio-de-lecho-de-lodo-granular-expandido.pdf

Ambientum. (2022, noviembre 28). Relación Carbono—Nitrógeno—Ambientum. *Ambientum Portal Lider Medioambiente*. https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/suelos/relacion_carbono_nitrogeno.asp

Ángel, V., & Miguel, L. (2017). *Generación de Biogás en un Biodigestor Automatizado*.

Aqualimpia Engineering e.K. (2020). *sensores ch4—Biogas (made in germany)*. Biodigestores - plantas de biogas - generadores - energia. <https://www.aqualimpia.com/equipos-biodigestores/sensores-ch4/>

Aragundi Zambrano, P. L., & Chamba Duman, J. S. (2023). *Construcción de biodigestor para identificar la cantidad y calidad de biogás generado por la materia orgánica de los bares de la Universidad Católica de Cuenca*. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/14097>

Arana Zevallos, F. E. (2021). *Diseño de un biodigestor automatizado para la producción de biogás usando desechos orgánicos para el distrito de Chacapampa*. https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/7125/T010_45658666_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ávila-Hernández, M., Campos-Rodríguez, R., Brenes-Peralta, L., & Jiménez-Morales, M. F. (2018). Generación de biogás a partir del aprovechamiento de residuos sólidos biodegradables en el Tecnológico de Costa Rica, sede Cartago. *Revista Tecnología en Marcha*, 31(2), 159. <https://doi.org/10.18845/tm.v31i2.3633>

BÁEZ, G., & BENÍTEZ, D. (2015). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR TIPO CAMPANA FLOTANTE CON LA UTILIZACIÓN DE DESECHOS PORCINOS PARA LA FINCA “EL RECUERDO”*. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/11470/3/UPS-KT01209.pdf>

Ballesteros, H. O. B., & Aristizabal, G. E. L. (2007). *Gases de efecto invernadero y el cambio climático*.

Barreto, J. A. S. (2021). *ANÁLISIS DE PRODUCCIÓN DE METANO A PARTIR DEL DESARROLLO DE UN GENERADOR DE ENERGÍA NO CONTAMINANTE*.

Briseño Arciniega, L. A. (2016). Producción de biogás a través de la codigestión de residuos sólidos y semisólidos: Hacia una planta centralizada de biogás para la generación de energía. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencia y Nanotecnología*, 9(16), 148. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2016.16.56909>

Corona, I. (2007). *Biodigestores*. <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/362/Biodigestores.pdf?sequence=1>

Costas, J. (2019). *Evaluación del potencial energético a partir del metano producido por codigestión de estiércol vacuno y residuos agrícolas*.

Díaz, Z. V. C., & Durán, V. J. O. (2020). *ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA GENERACIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS GENERADOS EN LA GRANJA GANADERA "CALUCO", EN EL DEPARTAMENTO DE SONSONATE*.

Elizabeth, N. A. K. (2020). *PROPUESTA DE PLAN DE MANEJO Y GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA RESTAURANTES*.

El-Mashad, H. M., Zeeman, G., van Loon, W. K. P., Bot, G. P. A., & Lettinga, G. (2004). Effect of temperature and temperature fluctuation on thermophilic anaerobic digestion of cattle manure. *Bioresource Technology*, 95(2), 191-201. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.07.013>

Environment, U. N. (2022, abril 11). *Evaluación Global de Metano 2030: Informe de referencia*. UNEP - UN Environment Programme. <http://www.unep.org/es/resources/informe/evaluacion-global-de-metano-2030-informe-de-referencia>

Escobedo, P., & de Querétaro, S. (2014). *I.B.Q. Cinthia Elena Plascencia Rosales*.

Fernández, G. (2022). *Carbono y nitrógeno o cafés y verdes: El balance adecuado para el compostaje. Parte 2. Composteros*. <https://composteros.go.cr/blog>

Fuentes López, Á. F. (2012). *Diseño y construcción de un biodigestor con Sistema automático para generación de biogás en la Finca Tanguarín de la parroquia San Antonio de Ibarra* [bachelorThesis]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/1912>

Gila Hoyas, A. (2022). *El mercado de la gestión de residuos sólidos urbanos en Ecuador*. <https://www.icex.es/content/dam/es/icex/oficinas/096/documentos/2022/07/documentos-anexos/DOC2022910503.pdf>

Giraldo, E. (2014). Tratamiento De Lixiviados De Rellenos Sanitarios: Avances Recientes. *Revista de Ingeniería*, 44. <https://doi.org/10.16924/riua.v0i14.538>

González Coto, J. D. (2013). *Alternativas para la reducción de emisiones de metano*. 246.

Guillén, R., & Rivas, O. (2012). *Producción de metano a partir de desechos orgánicos generados en el Tecnológico de Costa Rica*. file:///C:/Users/ASUS/Downloads/Dialnet-ProduccionDeMetanoAPartirDeDesechosOrganicosGenera-4835629%20(2).pdf

Liu, M., Wei, Y., & Leng, X. (2021). Improving biogas production using additives in anaerobic digestion: A review. *Journal of Cleaner Production*, 297, 126666. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126666>

Martínez, F. (2013). *IDENTIFICACIÓN DE CONTAMINANTES, PREVENCIÓN Y APROVECHAMIENTO DE DESECHOS ORGÁNICOS EN LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS Y BIODIESEL, EN CURTIDORAS Y MATADEROS DE LA CIUDAD DE LEÓN, UBICADOS EN LA LADERA DEL RIO CHIQUITO, SEPTIEMBRE 2012-JUNIO 2013*. <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/800/1/225819.pdf>

Martínez Hernández, C. M., & García López, Y. (2016). Utilización de pre-tratamientos básicos y específicos para la producción de biogás. Revisión y análisis. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 25(3), 81-92. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.34865.99688>

Medina Herrera, M. del R. (2010). *OPTIMIZACIÓN DEL TRATAMIENTO DE RESIDUOS PROVENIENTES DE RASTRO MEDIANTE DIGESTIÓN ANAEROBIA PARA MAXIMIZAR LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS*. <https://cideteq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1021/347/1/Optimizaci%C3%B3n%20del%20tratamiento%20de%20residuos%20provenientes%20de%20rastros%20mediante%20digesti%C3%B3n%20anaerobia%20para%20maximizar%20la%20producci%C3%B3n%20de%20biog%C3%A1s.pdf>

Mena Roa, M. (2022). *Infografía: Un mundo de residuos*. Statista Daily Data. <https://es.statista.com/grafico/27140/desechos-solidos-municipales-generados-per-capita-al-ano>

Mendieta, C. S. (2020, abril 19). *Cantidad de basura ha bajado en Cuenca—Diario El Mercurio*. <https://elmercurio.com.ec/2020/04/19/cantidad-de-basura-ha-bajado-en-cuenca/>

Peñañiel Campi, F., & Sancán Medina, E. (2021). *EVALUACIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA PARA LA OBTENCIÓN DE GAS METANO A PARTIR DE MATERIA ORGÁNICA PARA SU USO COMO BIOCOMBUSTIBLE*.

Poggio, D., Ferrer, I., & Batet, L. (2009). *Adaptación de biodigestores tubulares de plástico a climas fríos*.

Ramírez Sánchez, G. C. (2016). *VALORACION DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS DURANTE UN PROCESO DE DIGESTIÓN ANAEROBIA CON CONTENIDO*

RUMINAL DE ORIGEN BOVINO BAJO CONDICIONES DE TIEMPO, CARGA Y TEMPERATURA DIFERENCIALES GLORIA CONSUELO RAMÍREZ SÁNCHEZ.

ROJAS, A. (2019). *PLAN PARA CONDUCCIÓN Y DEPOSITO DE BIOGÁS EN RELLENO SANITARIO «CEIBALES», MACHALA, EL ORO.* <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/15021/1/TTFIC-2019-ICI-DE00023.pdf>

Salleh, S., Zulkifli, M., & Jalani, M. (2016). Production of Biogas Using Dairy Manure as Feedstock and Rumen Fluid as Inoculum. *Journal of Applied Science & Process Engineering*, 3, 83-89. <https://doi.org/10.33736/jaspe.310.2016>

Sanabria Vindell, r. O. J., Sánchez Melgara, A. E., & l Rodas Espinoza, Y. S. (2018). *GENERACIÓN DE BIOGÁS MEDIANTE EL PROCESO DE DIGESTIÓN ANAEROBIA A PARTIR DE APROVECHAMIENTO DE SUSTRATOS ORGÁNICOS (PASTO Y ASERRIN), EN LA CIUDAD DE ESTELÍ EN EL AÑO 2017.* <https://repositorio.unan.edu.ni/9367/1/18880.pdf>

SEMARNAT. (2016). *Residuos.* https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Cap7_Residuos.pdf

Sierra, C. A. S., & Barrios, R. L. A. (2013). Biogás a partir de residuos orgánicos y su apuesta como combustibles de segunda generación. *Ingenium Revista de la Facultad de Ingeniería*, 14(28), Article 28. <https://doi.org/10.21500/01247492.1330>

Solíz Torres, M. F. (2015). *Ecología política y geografía crítica de la basura en el Ecuador.*

Tamayo, L. V. M., & Andrade, P. D. M. (2019). *Tratamiento de lixiviados de relleno sanitario por medio de oxidación en agua subcrítica usando KMnO4 como agente oxidante.*

Torrez, V. M., Tejada, A. A., García-Alzate, L., & Sanabria, L. P. (2018). Caracterización de lixiviados como alternativa que contribuya a la mitigación de contaminantes. *Revista ION*, 31(1), 59-63.

Varnero Moreno, M. T. (2011). *MANUAL DE BIOGÁS.* <https://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>

Velásquez, O., & Rojas, V. (2006). *ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DE RELLENOS SANITARIOS EN PLANTAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS.* <https://www.revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/14445>

Vera, G. (1996). *Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales: Producción de gas y saneamiento de efluentes.* <https://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=REPIDISCA&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=51547&indexSearch=ID>

Viteri Vega, L. L. (2020). *PRODUCCIÓN DE BIOGAS A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE FRUTAS Y HORTALIZAS GENERADOS EN EL MERCADO GÓMEZ RENDÓN.*


ANEXO 1

Identificación de los patios de comida

	 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO</p> <p>TEMA: "CONSTRUCCIÓN DE BIENESTAR PARA IDENTIFICAR LA CANTIDAD Y CALIDAD DE BIENES GENERADO POR LA MATERIA ORGÁNICA DE LOS BARRIOS DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA"</p> <p>Medicina 3</p> <p>IDENTIDAD CANTIDAD</p>	
	 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO</p> <p>TEMA: "CONSTRUCCIÓN DE BIENESTAR PARA IDENTIFICAR LA CANTIDAD Y CALIDAD DE BIENES GENERADO POR LA MATERIA ORGÁNICA DE LOS BARRIOS DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA"</p> <p>Química y Tercero 2</p> <p>IDENTIDAD CANTIDAD</p>	
	 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO</p> <p>TEMA: "CONSTRUCCIÓN DE BIENESTAR PARA IDENTIFICAR LA CANTIDAD Y CALIDAD DE BIENES GENERADO POR LA MATERIA ORGÁNICA DE LOS BARRIOS DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA"</p> <p>Anatomía 1</p> <p>IDENTIDAD CANTIDAD</p>	
	 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO</p> <p>TEMA: "CONSTRUCCIÓN DE BIENESTAR PARA IDENTIFICAR LA CANTIDAD Y CALIDAD DE BIENES GENERADO POR LA MATERIA ORGÁNICA DE LOS BARRIOS DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA"</p> <p>Agronomía 5</p> <p>IDENTIDAD CANTIDAD</p>	

ANEXO 2



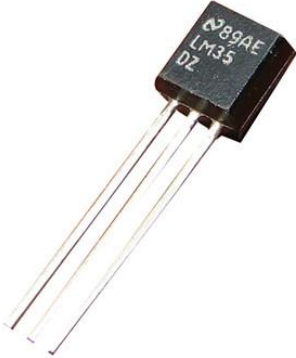
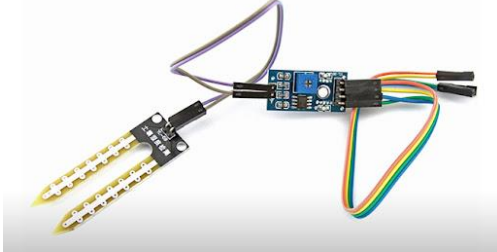

Equipos y materiales




Tipo	Cantidad	Descripción
	1	Balanza capacidad 50 (kg)

	112	Fundas de polietileno.
	1	Tanque metálico de 55 galones
	2	Tanques de plástico de 55 gal
	6	Tachos de plástico pequeños
	1	Tubo de PVC

	1	Termómetro de temperatura máximo 80°C
	4	Codos de 90°
	2	Acoples de plástico
	2	Válvulas esféricas de PVC
	1	Balanza de mano
	3	Teflón

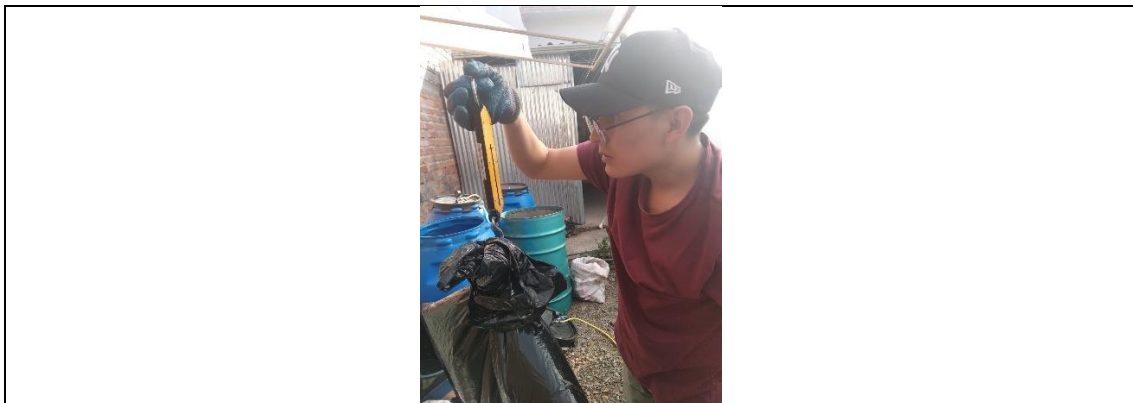
	4	Pega-tanques
	1	Taladro
	1	Estilete
	1	Saca rosca con tarraja
	1	Llave inglesa
	1	Llave inglesa para tuberías
	1	Metro
	2	Equipo de Seguridad

	<p>1</p>	<p>Sensor para medir el oxígeno</p>
	<p>1</p>	<p>Sensor para medir el sulfuro de Hidrógeno (H2S)</p>
	<p>1</p>	<p>Sensor para medir la temperatura ambiente °C</p>
	<p>1</p>	<p>Sensor para medir la Humedad</p>
	<p>1</p>	<p>Sensor para medir el Metano (CH4)</p>

	1	Sensor utilizado para medir el dióxido de carbono (CO ₂)
	1	Sensor para medir la temperatura interna °C
	1	Sensor para medir la presión (hPa)

ANEXOS 3

Clasificación de los Residuos para la colocación en los biodigestores







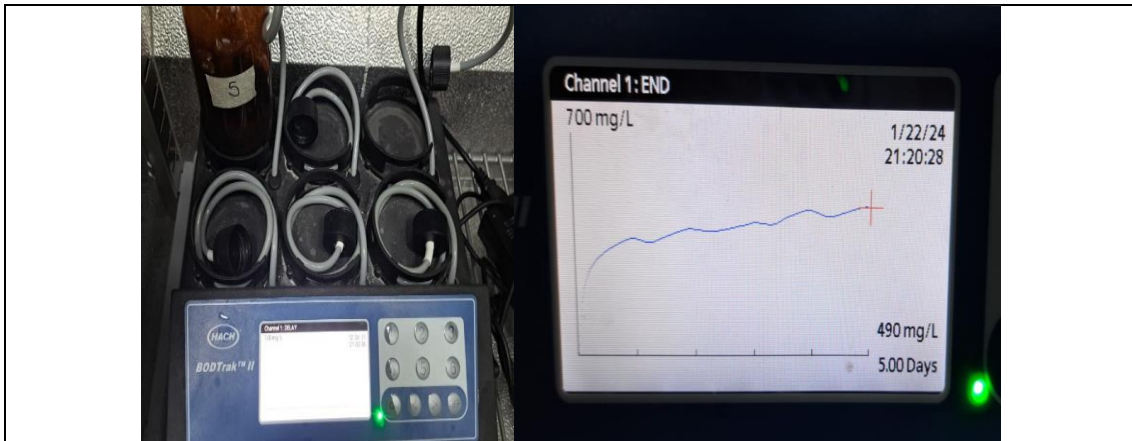
ANEXOS 4

Ensayos realizados en laboratorio









ANEXOS 5

Cálculo de los pesos volumétricos de los residuos solidos

Tipo de residuo orgánico	Día 1							
	Miercoles, 04 de octubre							
	kg	(h1)	(h2)	(h3)	(h4)	h promedio	Volumen	Peso volumétrico (kg/m ³)
Corteza de papa	36	0,54	0,52	0,54	0,53	0,53	0,14	264,94
Frutas	4,6	0,79	0,78	0,79	0,79	0,79	0,20	22,89
Verduras	31,7	0,53	0,51	0,53	0,52	0,52	0,13	237,76
Cocido	5,6	0,76	0,76	0,75	0,77	0,76	0,19	28,88

Tipo de residuo orgánico	Día 2							
	Jueves, 05 de octubre							
	kg	(h1)	(h2)	(h3)	(h4)	h promedio	Volumen	Peso volumétrico (kg/m ³)
Corteza de papa	28	0,6	0,59	0,6	0,6	0,60	0,15	183,65
Frutas	1,6	0,83	0,82	0,82	0,81	0,82	0,21	7,65
Verduras	6	0,75	0,73	0,74	0,75	0,74	0,19	31,67
Cocido	7,5	0,78	0,77	0,77	0,78	0,78	0,20	37,92

Tipo de residuo orgánico	Día 3							
	Martes, 10 de octubre							
	kg	(h1)	(h2)	(h3)	(h4)	h promedio	Volumen	Peso volumétrico (kg/m ³)
Corteza de papa	43	0,65	0,65	0,63	0,63	0,64	0,16	263,30
Frutas	5,8	0,75	0,74	0,74	0,75	0,75	0,19	30,51
Verduras	14,7	0,7	0,71	0,68	0,69	0,70	0,18	82,89
Cocido	7,5	0,78	0,78	0,79	0,76	0,78	0,20	37,80

Tipo de residuo orgánico	Día 4							
	Miércoles, 11 de octubre							
	kg	(h1)	(h2)	(h3)	(h4)	h promedio	Volumen	Peso volumétrico (kg/m ³)
Corteza de papa	47,1	0,62	0,6	0,62	0,62	0,62	0,16	300,13
Frutas	4,8	0,8	0,79	0,8	0,79	0,80	0,20	23,66
Verduras	25,4	0,65	0,69	0,68	0,69	0,68	0,17	146,92
Cocido	3,8	0,79	0,8	0,79	0,78	0,79	0,20	18,85

Tipo de residuo orgánico	Día 5							
	Jueves, 12 de octubre							
	kg	(h1)	(h2)	(h3)	(h4)	h promedio	Volumen	Peso volumétrico (kg/m ³)
Corteza de papa	32	0,62	0,6	0,62	0,62	0,62	0,16	203,91
Frutas	5,5	0,8	0,79	0,8	0,79	0,80	0,20	27,11
Verduras	24,5	0,65	0,69	0,68	0,69	0,68	0,17	141,72
Cocido	8,5	0,78	0,79	0,79	0,78	0,79	0,20	42,43

Tipo de residuo orgánico	Día 6							
	Viernes, 13 de octubre							
	kg	(h1)	(h2)	(h3)	(h4)	h promedio	Volumen	Peso volumétrico (kg/m ³)
Corteza de papa	11,5	0,68	0,69	0,67	0,68	0,68	0,17	66,27
Frutas	2,4	0,81	0,81	0,81	0,82	0,81	0,21	11,58
Verduras	14,2	0,7	0,72	0,71	0,69	0,71	0,18	78,93
Cocido	2,9	0,83	0,83	0,84	0,84	0,84	0,21	13,61

Tipo de residuo inorgánico	Día 1							
	Miércoles, 04 de octubre							
	kg	h1	h2	h3	h4	h promedio	Volumen	Peso volumétrico (kg/m ³)
Peso total	8,7	0,54	0,52	0,54	0,53	0,53	0,14	64,03

Tipo de residuo inorgánico	Día 2							
	Jueves, 05 de octubre							
	kg	h1	h2	h3	h4	h promedio	Volumen	Peso volumétrico (kg/m ³)
Peso total	7,2	0,6	0,59	0,6	0,6	0,60	0,15	47,22

Tipo de residuo inorgánico	Día 3							
	Martes, 10 de octubre							
	kg	h1	h2	h3	h4	h promedio	Volumen	Peso volumétrico (kg/m ³)
Peso total	6,7	0,65	0,65	0,63	0,63	0,64	0,16	41,03

Tipo de residuo inorgánico	Día 4							
	Miercoles, 11 de octubre							
	kg	h1	h2	h3	h4	h promedio	Volumen	Peso volumétrico (kg/m3)
Peso total	6,3	0,65	0,69	0,68	0,69	0,68	0,17	36,44

Tipo de residuo inorgánico	Día 5							
	Jueves, 12 de octubre							
	kg	h1	h2	h3	h4	h promedio	Volumen	Peso volumétrico (kg/m3)
Peso total	6,4	0,65	0,69	0,68	0,69	0,68	0,17	37,02

Tipo de residuo inorgánico	Día 6							
	Viernes, 13 de octubre							
	kg	h1	h2	h3	h4	h promedio	Volumen	Peso volumétrico (kg/m3)
Peso total	7,3	0,53	0,51	0,53	0,52	0,52	0,13	54,75

ANEXOS 6

Número de estudiantes de las carreras de la Universidad Católica de Cuenca (Matriz).

Número de estudiante por carrera periodo (2023-2024)	
Carrera	Número de Estudiantes
Agronomía	23
Biofarmacia	4
Bioquímica y farmacia	481
Enfermería	824
Enfermería A	15
Medicina	1936
Medicina A	119
Medicina Veterinaria	402
Odontología	1227
Odontología A	46

ANEXOS 7

Cálculo de la generación per-cápita de los residuos sólidos en los bares de la institución.

semana del 4 al 13 de octubre			*4/10/2023		5/10/2023		7/10/2023		8/10/2023		10/10/2023		11/10/2023		12/10/2023		13/10/2023		TOTAL		PROMEDIO		PPC		
			kg		kg		kg		kg		kg		kg		kg		kg		kg		kg		(kg/estudiante*día)		
N°	Carrera	N° Estudiantes	Orgánico	Inorgánico	Orgánico	Inorgánico	Orgánico	Inorgánico	Orgánico	Inorgánico	Orgánico	Inorgánico	Orgánico	Inorgánico	Orgánico	Inorgánico	Orgánico	Inorgánico	Orgánico	Inorgánico	Orgánico	Inorgánico	Orgánico	Inorgánico	
1	Medicina	2055	4,2	1,8	3,1	0,9	-	-	-	-	6,2	1,3	2,6	1,2	3,9	0,7	1,9	1,4	17,7	5,5	2,53	0,79	0,0012	0,0004	
2	Bioquímica y Farmacia	485	38,1	2,2	9,5	2,4	-	-	-	-	34,5	2,3	25,7	1,8	29,1	2,1	3,8	2,3	102,6	10,9	14,66	1,56	0,0302	0,0032	
3	Odontología	1273		7,5	2,1	11,9	1,6	-	-	-	-	5,9	0,6	9,5	0,9	15,1	1,4	6,9	1,2	49,3	5,7	7,04	0,81	0,0055	0,0006
4	Agronomía, Veterinaria y Enfermería	1264		28,4	2,6	18,7	2,3	-	-	-	-	24,5	2,5	44	2,4	22,4	2,2	18,4	2,4	128	11,8	18,29	1,69	0,0145	0,0013

ANEXOS 8

Evaluación de las temperaturas en el primer biodigestor (manual).

Hoja de control de temperaturas			
Biodigestor 1			
Día	Hora	Temperatura interna	Temperatura ambiente
31/10/2023	13:00	19	-
1/11/2023	13:00	18	-
2/11/2023	13:00	17	-
3/11/2023	13:00	18	-
4/11/2023	13:00	18	-
5/11/2023	13:00	16	-
6/11/2023	13:00	18	-
7/11/2023	13:00	17	-
8/11/2023	13:00	18	-
9/11/2023	13:00	20	-
10/11/2023	13:00	18	-
11/11/2023	13:00	19	-
12/11/2023	13:00	21	-
13/11/2023	13:00	22	-
14/11/2023	13:00	18	-
15/11/2023	13:00	20	-
16/11/2023	13:00	16	-
17/11/2023	13:00	17	-
18/11/2023	13:00	20	-
19/11/2023	13:00	18	-
20/11/2023	13:00	20	-
21/11/2023	13:00	20	-
22/11/2023	13:00	18	-
23/11/2023	13:00	17	-
24/11/2023	13:00	22	-
25/11/2023	13:00	21	-
26/11/2023	13:00	19	-
27/11/2023	13:00	18	-
28/11/2023	13:00	20	-
29/11/2023	13:00	19	-
30/11/2023	13:00	20	-
1/12/2023	13:00	22	-
2/12/2023	13:00	20	-
3/12/2023	13:00	18	-
4/12/2023	13:00	19	-

5/12/2023	13:00	20	-
6/12/2023	13:00	18	-
7/12/2023	13:00	16	-
8/12/2023	13:00	20	-
9/12/2023	13:00	17	-
10/12/2023	13:00	19	-
11/12/2023	13:00	21	-
12/12/2023	13:00	20	-
13/12/2023	13:00	21	-
14/12/2023	13:00	24	-
15/12/2023	13:00	17	-
16/12/2023	13:00	18	-
17/12/2023	13:00	17	-
18/12/2023	13:00	15	-
19/12/2023	13:00	19	-
20/12/2023	13:00	18	24,63
21/12/2023	13:00	18	22,31
22/12/2023	13:00	18	23,73
23/12/2023	13:00	16	22,47
24/12/2023	13:00	18	22,15
25/12/2023	13:00	15	20,45
26/12/2023	13:00	18	23,64
27/12/2023	13:00	16	20,15
28/12/2023	13:00	15	23,24
29/12/2023	13:00	15	21,09
30/12/2023	13:00	16	22,18
31/12/2023	13:00	18	23,17
1/1/2024	13:00	17	20,45
2/1/2024	13:00	16	21,81
3/1/2024	13:00	18	22,15
4/1/2024	13:00	21	20,15
5/1/2024	13:00	20	22,35
6/1/2024	13:00	19	20,65
7/1/2024	13:00	18	20,17
8/1/2024	13:00	18	19,48
9/1/2024	13:00	19	20,95
10/1/2024	13:00	20	23,12
11/1/2024	13:00	21	22,45
12/1/2024	13:00	20	18,48
13/1/2024	13:00	19	19,42
14/1/2024	13:00	19	20,13
15/1/2024	13:00	19	20,34
16/1/2024	13:00	18	20,13

17/1/2024	13:00	20	20,48
18/1/2024	13:00	21	24,32
19/1/2024	13:00	18	23,15
20/1/2024	13:00	18	24,53
21/1/2024	13:00	18	22,19
22/1/2024	13:00	18	23,46
23/1/2024	13:00	19	22,54
24/1/2024	13:00	19	22,89
25/1/2024	13:00	20	20,43
26/1/2024	13:00	20	18,89
27/1/2024	13:00	20	19,45
28/1/2024	13:00	21	22,86
29/1/2024	13:00	19	22,86
30/1/2024	13:00	20	24,15
31/1/2024	13:00	21	23,56
1/2/2024	13:00	21	22,95
2/2/2024	13:00	21	19,75
3/2/2024	13:00	20	21,12
4/2/2024	13:00	20	22,16

Evaluación de las temperaturas en el segundo biodigestor (sensores).

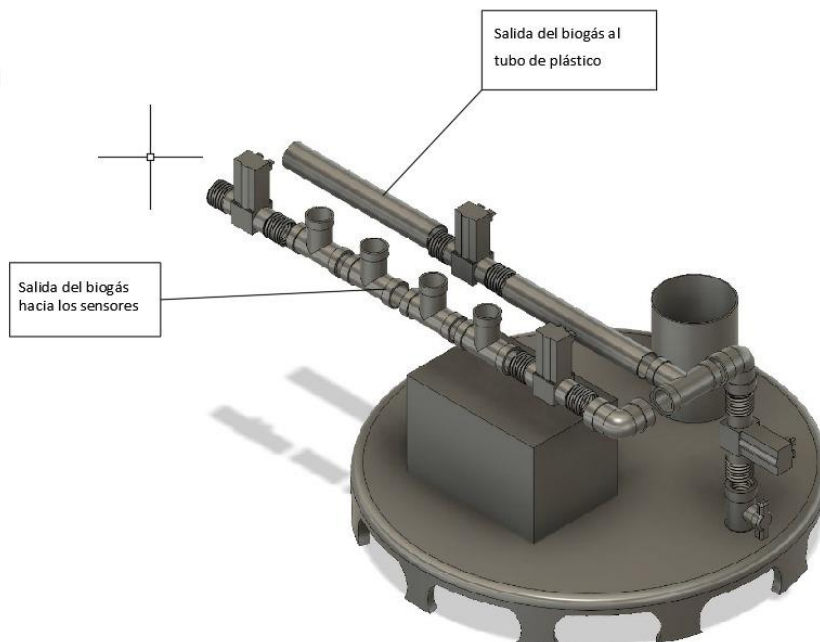
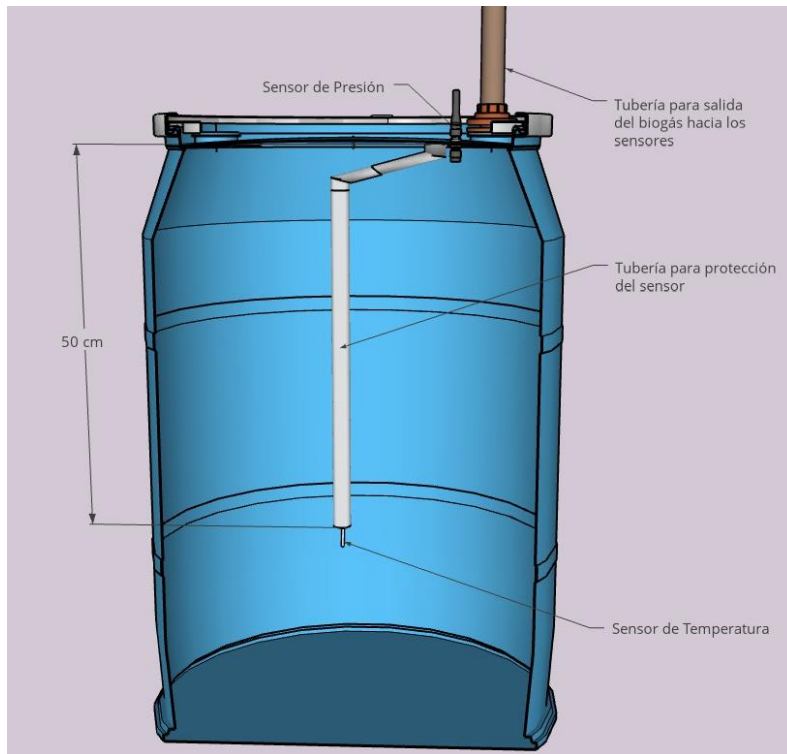
Hoja de control de Datos			
Biodigestor 2			
FECHA	Hora	Temperatura Ambiente	Temperatura Interna
20/12/2023	9:00	20,3	20,23
20/12/2023	13:00	24,63	24,5625
21/12/2023	9:00	21,53	22,1875
21/12/2023	13:00	22,31	20,452
22/12/2023	9:00	22,14	21,625
22/12/2023	13:00	23,73	21,3125
23/12/2023	9:00	22,13	20,375
23/12/2023	13:00	22,47	20
24/12/2023	9:00	21,05	21,541
24/12/2023	13:00	22,15	20,185
25/12/2023	9:00	20,13	21,367
25/12/2023	13:00	20,45	21,235
26/12/2023	9:00	22,15	21,362
26/12/2023	13:00	23,64	20
27/12/2023	9:00	19,21	19,125
27/12/2023	13:00	20,15	18,75
2/1/2024	9:00	20,12	22,1875
2/1/2024	13:00	21,81	19,875
3/1/2024	9:00	21,05	20,25

3/1/2024	13:00	22,15	21,0625
4/1/2024	9:00	19,23	21,3125
4/1/2024	13:00	20,15	21,5625
5/1/2024	9:00	19,45	20,75
5/1/2024	13:00	22,35	21,875
7/1/2024	9:00	20,86	18,5625
7/1/2024	13:00	20,17	18,75
8/1/2024	9:00	21,56	18,4375
8/1/2024	13:00	19,48	18
9/1/2024	9:00	20,78	19,75
9/1/2024	13:00	20,95	20,0625
10/1/2024	9:00	21,56	20,125
10/1/2024	13:00	23,12	20,875
11/1/2024	9:00	18,45	21,0625
11/1/2024	13:00	22,45	21,0625
12/1/2024	9:00	19,65	20,25
12/1/2024	13:00	18,48	20,375
13/1/2024	9:00	21,48	19,8125
13/1/2024	13:00	19,42	20,375
14/1/2024	9:00	20,76	19,625
14/1/2024	13:00	20,13	19,625
15/1/2024	9:00	19,65	20,25
15/1/2024	13:00	20,34	20,25
16/1/2024	9:00	20,75	19,8125
16/1/2024	13:00	20,13	19,8125
17/1/2024	9:00	19,42	19,2
17/1/2024	13:00	20,48	18,75
18/1/2024	9:00	19,54	18,75
18/1/2024	13:00	24,32	18,5
19/1/2024	9:00	20,13	18,5
19/1/2024	13:00	23,15	18,06
20/1/2024	9:00	21,36	18,12
20/1/2024	13:00	24,53	18,06
21/1/2024	9:00	20,57	18,06
21/1/2024	13:00	22,19	18,01
22/1/2024	9:00	19,75	18,62
22/1/2024	13:00	23,46	18,75
29/1/2024	9:00	20,43	19,12
29/1/2024	13:00	22,86	21,25
30/1/2024	9:00	22,13	21,25
30/1/2024	13:00	24,15	20,87
31/1/2024	9:00	19,88	21,32
31/1/2024	13:00	23,56	22,06
1/2/2024	9:00	20,13	22,12
1/2/2024	13:00	22,95	21,81
2/2/2024	9:00	21,46	21,81
2/2/2024	13:00	19,75	21,19
3/2/2024	9:00	22,46	21,19

3/2/2024	13:00	21,12	20,75
4/2/2024	9:00	19,43	20,75
4/2/2024	13:00	22,16	19,06

ANEXOS 9

Croquis del segundo biodigestor (electrónico).



ANEXOS 10

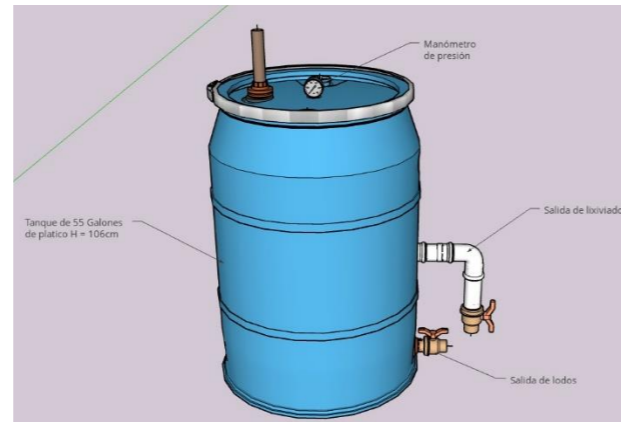
Monitoreo del segundo biodigestor para la producción de metano (sensores).

Hoja de control de Datos										
Biodigestor 2										
FECHA	Hora	entry_id	Oxigeno	Sulfuro de hidrogeno	Temperatura Ambiente	Hum°edad	Metano	Dióxido de carbono	Temperatura Interna	Presión
20/12/2023	9:00	1	0	0	20,3	0	0	40,948	20,23	-0,21392
20/12/2023	13:00	2	20	0	24,63	35,8	0	331,63901	24,5625	-0,21392
21/12/2023	9:00	3	20,5	0	21,53	0	0	1,22	22,1875	-0,21392
21/12/2023	13:00	4	20,2	0	22,31	100	0	331,63901	20,452	-0,21392
22/12/2023	9:00	5	20,3	0	22,14	0	0	125,008	21,625	-0,21392
22/12/2023	13:00	6	20,4	0	23,73	99	0,0209	331,63901	21,3125	-0,21392
23/12/2023	9:00	7	20,3	0	22,13	100	0,0605	331,63901	20,375	-0,21392
23/12/2023	13:00	8	20,6	0	22,47	98,3	0,0737	331,63901	20	-0,21392
24/12/2023	9:00	9	20,4	0	21,05	100	0,1001	331,63901	21,541	-0,21392
24/12/2023	13:00	10	20,5	2	22,15	0	0,1133	331,63901	20,185	-0,21392
25/12/2023	9:00	11	19,9	1	20,13	0	0,1397	331,63901	21,367	-0,21392
25/12/2023	13:00	12	18,2	0	20,45	0	0,1793	331,63901	21,235	-0,21392
26/12/2023	9:00	13	16,5	0	22,15	0	0,1925	331,63901	21,362	-0,21392
26/12/2023	13:00	14	14,8	0	23,64	0	0,2189	331,63901	20	-0,21392
27/12/2023	9:00	15	13,1	0	19,21	0	0,2321	331,63901	19,125	-0,21392
27/12/2023	13:00	16	11,4	0	20,15	0	0,2453	26,222	18,75	-0,21392
2/1/2024	9:00	17	9,7	0	20,12	48,6	0,2522	191,146	22,1875	-0,10495
2/1/2024	13:00	18	8	0	21,81	0	0,27717	298,49701	19,875	-0,10495
3/1/2024	9:00	19	6,3	0	21,05	0	0,27502	290,233	20,25	-0,10495
3/1/2024	13:00	20	4,6	0	22,15	65,7	0,32643	0	21,0625	-0,10495

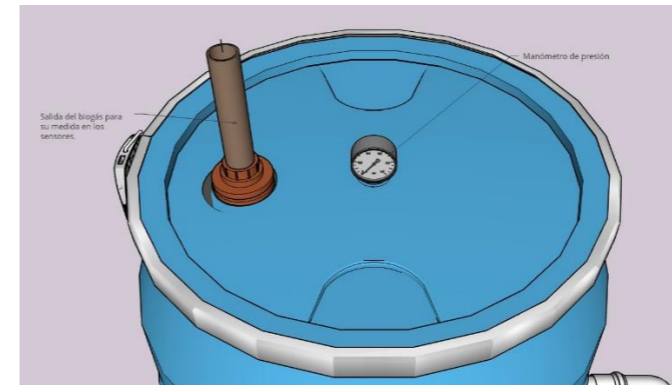
4/1/2024	9:00	21	2,9	0	19,23	0	0,33106	0	21,3125	-0,10495
4/1/2024	13:00	22	2,02	0	20,15	66,7	0,2809	657	21,5625	-0,10495
5/1/2024	9:00	23	2,02	0	19,45	64,8	0,26405	622	20,75	-0,10495
5/1/2024	13:00	24	2,02	0	22,35	63,5	0,33607	352	21,875	-0,10495
7/1/2024	9:00	25	2,03	0	20,86	64,8	0,30371	1078	18,5625	-0,10495
7/1/2024	13:00	26	2,01	0	20,17	68	0,28152	835	18,75	-0,10495
8/1/2024	9:00	27	2,01	0	21,56	68,5	0,27857	533	18,4375	-0,10495
8/1/2024	13:00	28	2,02	0	19,48	73,1	0,28663	278	18	-0,10495
9/1/2024	9:00	29	2,01	0	20,78	99,9	0,3041	2709	19,75	-0,10495
9/1/2024	13:00	30	1,87	3	20,95	90,7	0,32138	668	20,0625	-0,10495
10/1/2024	9:00	31	2,05	0	21,56	99,9	0,55509	1410	20,125	-0,10495
10/1/2024	13:00	32	1,96	7	23,12	99,9	0,37068	846	20,875	-0,10495
11/1/2024	9:00	33	2,08	0	18,45	0	0,34413	646	21,0625	-0,10495
11/1/2024	13:00	34	2,02	0	22,45	0	0,48762	1815	21,0625	-0,10495
12/1/2024	9:00	35	2,01	38	19,65	0	0,33248	180	20,25	-0,10495
12/1/2024	13:00	36	2,02	1	18,48	0	0,34489	542	20,375	-0,10495
13/1/2024	9:00	37	2,08	23	21,48	0	0,3316	176	19,8125	-0,10495
13/1/2024	13:00	38	2,02	1	19,42	0	0,31145	295	20,375	-0,10495
14/1/2024	9:00	39	2,08	17	20,76	0	0,31967	146	19,625	-0,10495
14/1/2024	13:00	40	2,02	0	20,13	0	0,55509	954	19,625	-0,10495
15/1/2024	9:00	41	2,02	4	19,65	93,4	0,30821	264	20,25	-0,10495
15/1/2024	13:00	42	2	0	20,34	95,8	0,47655	1290	20,25	-0,10495
16/1/2024	9:00	43	1,98	6	20,75	0	0,3087	304	19,8125	-0,10495
16/1/2024	13:00	44	1,99	0	20,13	0	0,52833	1497	19,8125	-0,10495
17/1/2024	9:00	45	1,95	0	19,42	95,8	0,52	1774	19,2	-0,1
17/1/2024	13:00	46	1,96	0	20,48	95,8	0,56	632	18,75	-0,1
18/1/2024	9:00	47	1,76	0	19,54	95,8	0,56	644	18,75	-0,1
18/1/2024	13:00	48	1,77	0	24,32	95,8	0,56	1707	18,5	-0,1
19/1/2024	9:00	49	1,82	0	20,13	95,8	0,52	1574	18,5	-0,1

19/1/2024	13:00	50	1,83	0	23,15	95,8	0,56	2381	18,06	-0,1
20/1/2024	9:00	51	1,86	0	21,36	95,8	0,56	2181	18,12	-0,1
20/1/2024	13:00	52	1,86	0	24,53	95,8	0,56	1617	18,06	-0,1
21/1/2024	9:00	53	1,83	0	20,57	95,8	0,56	1482	18,06	-0,1
21/1/2024	13:00	54	1,83	0	22,19	95,8	0,56	2339	18,01	-0,1
22/1/2024	9:00	55	1,85	0	19,75	95,8	0,56	2194	18,62	-0,1
22/1/2024	13:00	56	1,86	0	23,46	95,8	0,56	607	18,75	-0,1
29/1/2024	9:00	57	1,76	0	20,43	99,9	0	0	19,12	-0,1
29/1/2024	13:00	58	1,75	0	22,86	99,9	0,3	650	21,25	-0,1
30/1/2024	9:00	59	1,73	0	22,13	99,9	0,3	586	21,25	-0,1
30/1/2024	13:00	60	1,74	0	24,15	99,9	0,3	437	20,87	-0,1
31/1/2024	9:00	61	1,73	0	19,88	99,9	0,2	0	21,32	-0,1
31/1/2024	13:00	62	1,82	0	23,56	99,9	0,19	225	22,06	-0,1
1/2/2024	9:00	63	2,01	0	20,13	99,9	0,19	225	22,12	-0,1
1/2/2024	13:00	64	2,01	0	22,95	99,9	0,18	251	21,81	-0,1
2/2/2024	9:00	65	2,01	0	21,46	99,9	0,18	254	21,81	-0,1
2/2/2024	13:00	66	2,01	0	19,75	99,9	0,3	911	21,19	-0,1
3/2/2024	9:00	67	1,8	0	22,46	99,9	0,3	841	21,19	-0,1
3/2/2024	13:00	68	1,81	0	21,12	99,9	0,3	403	20,75	-0,1
4/2/2024	9:00	69	1,76	0	19,43	99,9	0,3	418	20,75	-0,1
4/2/2024	13:00	70	1,77	0	22,16	99,9	0,3	356	19,06	-0,1

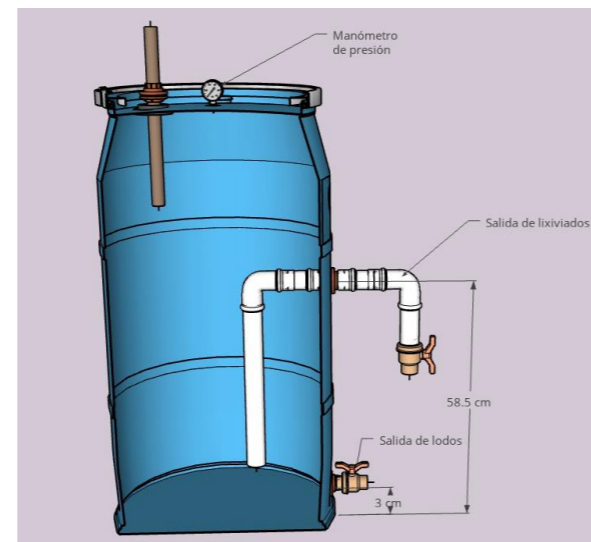
ANEXO 11
PLANO DEL BIODIGESTOR MANUAL



2. Vista perspectiva



1. Tapa del biodigestor



3. Corte lateral



4. Vista lateral



UBICACIÓN DEL PROYECTO

Cantón Cuenca



Unidad académica de Ingeniería,
Industria y Construcción.

Tesis: "IDENTIFICACIÓN DE LA

CANTIDAD Y CALIDAD DE
METANO GENERADO POR LA

MATERIA ORGÁNICA DE
LOS

BARES DE LA
UNIVERSIDAD

CATÓLICA DE CUENCA".

Director de tesis:

Ing. Víctor Chacón

Fecha 18 de diciembre de 2023

Dibujado por:

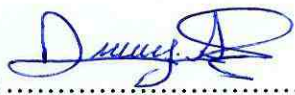
Danny Andrade, Paul Ashqui

Escala: Como se muestra en los planos

AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Nosotros, **Danny Jickson Andrade Morocho** portador de la cédula de ciudadanía N.º **1104427206** y **Paul Gustavo Ashqui Arevalo** portador de la cédula de ciudadanía N.º **0106579758**. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Identificación de la cantidad y calidad de metano generado por la materia orgánica de los bares de la Universidad Católica de Cuenca”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos y no comerciales. Autorizo además a la Universidad Católica de Cuenca, para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 14 de marzo del 2024

F: 

Danny Jickson Andrade Morocho

1104427206

F: 

Paul Gustavo Ashqui Arevalo

0106579758