

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**

**“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”**

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

**AUTORES: PEDRO LUCAS ARAGUNDI ZAMBRANO.**

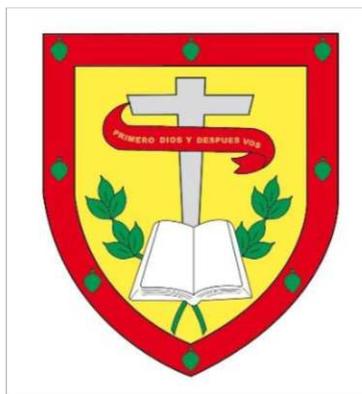
**JORGE SANTIAGO CHAMBA DUMAN.**

**DIRECTOR: ING. VICTOR MANUEL CHACÓN CEDEÑO.**

**CUENCA-ECUADOR**

**2023**

**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.**

**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.**

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

**AUTORES: PEDRO LUCAS ARAGUNDI ZAMBRANO**

**JORGE SANTIAGO CHAMBA DUMÁN**

**DIRECTOR: ING. VÍCTOR MANUEL CHACÓN CEDEÑO**

**CUENCA - ECUADOR**

**2023**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**

## DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD

**Pedro Lucas Aragundi Zambrano** portador de la cédula de ciudadanía N° 0704666940 y **Jorge Santiago Chamba Dumán** portador de la cedula de ciudadanía N° 0107093338. Declaramos ser los autores de la obra: **“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”**, 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, 30 de marzo del 2023

F:  .....

Pedro Lucas Aragundi Zambrano

0704666940

F:  .....

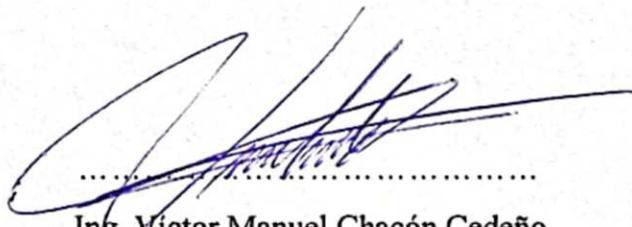
Jorge Santiago Chamba Dumán

0107093338

## CERTIFICACIÓN

Yo, Ing. Víctor Manuel Chacón Cedeño con CI: 0102519071 en calidad de director de tesis certifico que el trabajo **“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”**, fue realizado por los estudiantes Pedro Lucas Aragundi Zambrano y Jorge Santiago Chamba Dumán, bajo mi supervisión.

Cuenca, 17 de abril del 2023



.....

Ing. Víctor Manuel Chacón Cedeño

**DIRECTOR.**

## **DEDICATORIA**

Con sentimiento de alegría y satisfacción dedico esta Tesis que la he realizado con esmero y sacrificio a Dios por ser mi guía y darme fortaleza para seguir adelante.

A mis queridos padres como reconocimiento al invaluable esfuerzo por ellos realizados para conducirme hasta alcanzar la meta de mi vida y culminar mi carrera Universitaria.

A mis hermanos que han sido mi motivación para nunca rendirme en mis estudios y poder llegar a ser un buen ejemplo para ellos.

A mis abuelitas y abuelitos por preocuparse por mí y guiarme con sus sabios consejos.

Pedro L, Aragundi.

Quiero dedicar de manera muy especial este logro a mis padres, quienes a pesar de las dificultades me formaron correctamente y me inculcaron sus valores. Gracias a sus reglas y límites me encamine por el sendero del bien y me motivaron para aprovechar la educación que me dieron con tanto esfuerzo. Estoy muy orgulloso de poder dedicar este logro a ellos.

De manera especial deseo mencionar a mis abuelos y padrinos de confirmación, quienes en el transcurso de mi vida me brindaron su amor, apoyo y paciencia contagiándome de confianza, temple y serenidad por medio de palabras de aliento y consejos. Ustedes han estado ahí para mí, animándome en mis momentos de triunfo y reconfortándome en mis momentos de derrota.

Con todo mi cariño y gratitud

Jorge S, Chamba.

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente, agradezco a Dios por estar conmigo en los momentos más difíciles de mi vida y guiarme por el camino correcto.

Agradezco a mis padres por confiar en mí y apoyarme durante todos estos años de mi carrera Universitaria.

Mi agradecimiento sincero a nuestro Tutor Ing. Víctor Manuel Chacón Cedeño por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico con mucha paciencia, siendo mi guía y permitiendo con sus sabios consejos que mi afán de realizar la Tesis haya llegado a su final con éxito.

Para finalizar quiero agradecer a nuestra Universidad por haberme abierto sus puertas y permitirme cumplir el más grande de mis sueños cómo es el de ser un Profesional y servir a mi Patria.

Pedro L, Aragundi.

Ante todo, quiero expresar mi gratitud a Dios por permitirme vivir cada día, cuidar de mi salud y brindarme la fuerza y serenidad necesaria para concluir con éxito mi trabajo de titulación con tanto esmero.

Quiero agradecer especialmente a mi familia, quienes han sido un pilar fundamental en mi vida. Gracias por brindarme su apoyo incondicional en todo momento, por ser mi guía, fortaleza y sacar siempre lo mejor de mí. Esta tesis es el resultado de un esfuerzo de muchos años, espero sea una muestra de mi gratitud hacia ustedes, este logro es también suyo.

Deseo mencionar el aporte de mi director, quien me brindó la oportunidad de aprovechar sus conocimientos científicos con los cuales se realizó el desarrollo académico de este proyecto.

Para finalizar, deseo agradecer a mis profesores por impartirme sus conocimientos y dedicación en cada una de sus clases.

Jorge S, Chamba.

## RESUMEN

La investigación busca aprovechar los residuos orgánicos de siete bares de comida en facultades de la Universidad Católica de Cuenca para producir biogás mediante la digestión anaerobia en biodigestores. Se construyeron tres reactores anaeróbicos en tanques de 55 galones para experimentar con tres situaciones diferentes.

El primer prototipo contiene residuos orgánicos del día (frescos), a diferencia del segundo reactor que posee un contenido adicional de 18.76 kg de materia biodegradable en descomposición anaeróbica durante un periodo de 10 días. Por último, el tercer prototipo se forró con lana de vidrio con la finalidad de aislar térmicamente la temperatura ambiente, logrando mayor concentración de calor en el interior del tanque.

Para analizar la calidad y cantidad del biogás generado en los biodigestores, se evaluará el pH, la DBO y DQO del lixiviado, como también el volumen de los tubos de almacenamiento. Además, se determinará la composición del biogás mediante el equipo "Biogás 5000".

En definitiva, los resultados muestran que el biogás presenta un nivel bajo de metano por lo que el tiempo de retención no es suficiente para culminar las etapas de digestión anaerobia, tal es el caso que el pH es bajo, mientras que el DBO y DQO indican que los sustratos no están descompuestos totalmente, producto de la baja temperatura. Por lo tanto, se estima que el biogás a los 60 días de retención se encuentra en una etapa de acidogénesis.

*Palabras clave:* biodigestor, reactor, residuos orgánicos, cantidad, calidad.

## **ABSTRACT.**

This research aims to exploit organic waste from seven cafeterias in the Catholic University of Cuenca's faculties to obtain biogas through anaerobic digestion in biodigesters. Three anaerobic reactors were built in a 55-gallon tank to experiment with three different scenarios.

The prototype contains fresh organic waste from the day. While the second reactor has an additional content of 18.76 kg of biodegradable matter in anaerobic decomposition for a period of 10 days. Finally, the third prototype was lined with glass wool to thermally insulate the environment temperature, achieving a higher concentration of heat inside the tank.

To analyze the quality and quantity of the biogas produced in the biodigesters, the pH, BOD, and COD of the leachate will be evaluated, as well as the volume of the storage tubes. In addition, the composition of the biogas will be determined using the "Biogas 5000" device.

In conclusion, the results show that the biogas has a low methane level, so the storage time is not long enough to complete the anaerobic digestion stages, such is the case that the pH is low, while the BOD and COD indicate that the substrates are not completely decomposed, as a result of the low temperature. Therefore, it is estimated that the biogas after 60 days of storage is in an acidogenesis stage.

*Keywords:* biodigester, reactor, organic waste, quantity, quality.

# ÍNDICE.

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES.....	1
1.1    Introducción.....	1
1.2    El Problema.....	3
1.2.1    Formulación del Problema.....	3
1.2.2    Delimitación del Problema.....	4
1.2.3    Definición De La Zona De Estudio.....	5
1.3    Justificación.....	6
1.4    Objetivos.....	8
1.4.1    Objetivo General.....	8
1.4.2    Objetivos Específicos.....	8
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1    Gestión integral de residuos en el cantón cuenca.....	9
2.2    Residuos orgánicos e inorgánicos.....	11
2.2.1    Peso volumétrico de residuos orgánicos e inorgánicos.....	12
2.2.2    Degradación de los residuos orgánicos.....	13
2.3    Digestión anaerobia.....	14
2.3.1    Etapas de la digestión anaerobia.....	15
2.3.2    La relación DBO y DQO en la digestión anaerobia.....	20
2.3.3    Factores que intervienen en la digestión anaerobia.....	22
2.4    Biodigestor.....	26
2.4.1    Tipos de biodigestor.....	26
2.5    Producción de lixiviados.....	28
2.6    Generación del biogás.....	30
2.6.1    Composición del biogás.....	31
2.6.2    Transformación de residuos en biogás.....	32
2.6.3    Rendimiento y producción de biogás según la materia orgánica.....	33
2.6.4    Ventajas del biogás.....	34
2.6.5    Desventajas del biogás.....	34

2.7	Aprovechamiento del gas producido en el biodigestor.....	35
2.8	Caracterización .....	37
CAPÍTULO 3. RECOLECCIÓN DE DATOS, MUESTREO Y ANÁLISIS DE LA GENERACIÓN DE RESIDUOS EN LOS BARES DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA. ....		39
3.1	Metodología aplicada.....	39
3.1.1	Planificación .....	39
3.1.2	Recolección de residuos sólidos .....	39
3.2	Caracterización de los residuos solidos .....	41
3.2.1	Cuantificación del peso en kg de residuos sólidos .....	41
3.2.2	Cálculo del peso volumétrico de desechos orgánicos e inorgánicos. ....	43
3.2.3	Cálculo de la generación per cápita de los residuos sólidos .....	46
CAPÍTULO 4. CONSTRUCCIÓN Y DESEMPEÑO DEL BIODIGESTOR.....		51
4.1	Selección de biodigestor .....	51
4.2	Dimensionamiento del biodigestor .....	51
4.2.1	Volumen en función del peso volumétrico de los residuos orgánicos .....	53
4.3	Equipos y materiales para la construcción del biodigestor .....	54
4.4	Construcción del biodigestor .....	55
4.4.1	Primera fase .....	55
4.4.2	Segunda Fase .....	58
4.5	Almacenamiento de materia orgánica en los reactores.....	59
4.6	Calidad del biogás.....	61
4.6.1	Composición del biogás.....	61
4.6.2	Evaluación del pH .....	64
4.6.3	DQO y DBO del lixiviado .....	65
4.6.4	Medición de cantidad de biogás .....	66
CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		69
5.1	Realizar la caracterización de desechos biodegradables generados en el área de estudio y establecer la generación per-cápita de los residuos que produce cada estudiante de materia orgánica.....	69

5.1.1	Generación per-cápita de los residuos sólidos.....	70
5.2	Diseño del biodigestor de acuerdo a la cantidad de la materia orgánica generada en los bares de comida. ....	72
5.3	Medición de la calidad de biogás.....	73
5.3.1	pH del lixiviado generado en los reactores.....	73
5.3.2	DBO del lixiviado.....	73
5.3.3	DQO del lixiviado .....	74
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. ....		75
6.1	Conclusiones.....	75
6.2	Recomendaciones .....	76
Referencias .....		78

## INDÍCE DE FIGURAS.

Figura 1: Ubicación de los 7 bares donde proviene la materia orgánica para los biodigestores.....	6
Figura 2: Esquema de la digestión anaerobia para la obtención de biogás. ....	16
Figura 3: Etapas de la digestión anaerobia. ....	17
Figura 4: Biodigestor tipo tanque. ....	27
Figura 5: Biodigestor de plástico de bajo costo.....	28
Figura 6: Distribución del biogás. ....	28
Figura 7: Comparación de los sustratos respecto a la composición. ....	32
Figura 8: Rendimiento de biogás a partir de los sustratos orgánicos. ....	33
Figura 9: Bus funcionando a partir de biogás.....	36
Figura 10: Uso del biogás para 1 m <sup>3</sup> .....	37
Figura 11: Identificación ejemplo: bar número 2 “Bioquímica y farmacia”. ....	39
Figura 12: Puntos de almacenamiento de Residuos Orgánicos e Inorgánicos en los bares de comida.....	40
Figura 13: Obtención del peso de los residuos inorgánico en el bar de Medicina y Odontología. ....	41
Figura 14: Peso de los residuos orgánicos de los bares por carreras en promedio durante los 7 días. ....	42
Figura 15: Peso de los residuos inorgánicos de los bares en promedio durante los 7 días. ....	43
Figura 16: Per cápita de los residuos orgánicos ....	49
Figura 17: Per cápita de los residuos inorgánicos ....	49
Figura 18: Modelamiento de los biodigestores.....	51
Figura 19: Tanque comercial de 55gal. ....	53
Figura 20: Detalles de las conexiones en la parte superior del tanque. ....	55
Figura 21: Colocación del termómetro bimetalico ....	56
Figura 22: Construcción del sistema de evacuación de lixiviado.....	56

Figura 23: Reactores en su primera fase.....	57
Figura 24: Finalización de la primera fase de Construcción de los reactores anaeróbicos. .....	57
Figura 25: Conexión en el primer reactor.....	58
Figura 26: Conexión en el segundo reactor .....	59
Figura 27: Materia orgánica en el reactor 3.....	60
Figura 28: Materia orgánica insertada en los biodigestores (Reactores).....	60
Figura 29: Demostración del resultado final de la alimentación de los 3 biodigestores.	61
Figura 30: Muestras de biogás almacenadas en tubos. ....	62
Figura 31: Resultado de la composición de la muestra del tubo grande. ....	63
Figura 32: Resultado de la composición de la muestra del tubo pequeño.....	63
Figura 33: Comprobación de la combustión del biogás. ....	64
Figura 34: Obtención del Ph del reactor 1.....	65
Figura 35: Cantidad de DQO en mg/L .....	65
Figura 36: Cantidad de DBO en mg/L.....	66
Figura 37: Volumen del tubo pequeño es $8301,74\text{cm}^3$ .....	67
Figura 38: Volumen del tubo grande es de $15962,22\text{cm}^3$ .....	67
Figura 39: Pesos volumétricos obtenidos de los residuos sólidos generados en los bares de comida.....	69
Figura 40: Pesos volumétricos obtenidos en zonas urbanas de residuos de comida. ....	70
Figura 41: Per cápita de la materia orgánica de los bares de comida. ....	71
Figura 42: Per cápita de la materia orgánica de los restaurantes.....	71
Figura 43: Per cápita de la materia orgánica de los bares de comida.....	72

## INDÍCE DE TABLAS.

Tabla 1. Peso volumétrico de material orgánico en zonas urbanas. ....	13
Tabla 2. Tipos de residuos orgánicos. ....	14
Tabla 3. Estimación de la relación temperatura – tiempo de retención.....	23
Tabla 4. Tiempo de retención y temperatura en función del tipo de región. ....	23
Tabla 5. Tiempo de retención en función del tipo de residuo. ....	25
Tabla 6. Componentes del biogás.....	31
Tabla 7. Comparación de propiedades entre el biogás frente a otros gases. ....	35
Tabla 8. Bares considerados para la recolección de residuos sólidos. ....	40
Tabla 8. Bares considerados para la recolección de residuos sólidos (continuación). ...	41
Tabla 9. Pesos de residuos orgánicos de la semana del 9 al 18 de enero. ....	42
Tabla 10. Pesos de residuos inorgánicos de la semana del 9 al 16 de enero. ....	42
Tabla 11. Dimensiones del tanque.....	44
Tabla 12. Residuos inorgánicos del día 1.....	44
Tabla 13.Total de Residuos orgánicos del miércoles, 11 de enero.....	44
Tabla 14: Pesos volumétricos del total de residuos orgánicos por día en cada uno de los bares de comida. ....	45
Tabla 15: Pesos volumétricos del total de residuos inorgánicos por día en cada uno de los bares de comida. ....	45
Tabla 16. Producción per cápita de los residuos orgánicos e inorgánicos por carrera y promedio.....	47
Tabla 17. Cálculo de generación per cápita de los residuos orgánicos e inorgánicos por carrera y promedio.....	48
Tabla 18. Peso diario de los residuos orgánicos que se producen en los bares por carrera y promedio.....	52
Tabla 19: Tiempo considerado de digestión anaerobia. ....	52
Tabla 20: Materiales de construcción necesarios para el biodigestor. ....	54
Tabla 20: Materiales de construcción necesarios para el biodigestor (continuación). ...	55

Tabla 21. Pesos orgánicos insertados en los biodigestores (Reactor). .....	60
Tabla 22: Tiempo considerado para la evaluación de la composición. ....	62
Tabla 23: Volumen total de biogás generado. ....	67

## **CAPÍTULO 1. GENERALIDADES.**

### **1.1 Introducción.**

El manejo de los desechos biodegradables es un problema habitual que debe ser tratado con mayor cuidado por afecciones a la salud, contaminación ambiental, deterioro paisajístico, entre otros. Además, parte del problema es el aumento proporcional de los desechos respecto al crecimiento demográfico (Melo, 2018) (Bustamante & Pérez, 2022).

La correcta gestión de los residuos es fundamental para precautelar “el derecho de vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, garantizando el buen vivir de la población” (RCOA, 2019), por lo tanto, según el Reglamento al Código Orgánico del Ambiente propone en su artículo 805, la participación ciudadana en la gestión de residuos para la separación de residuos en la fuente, recolección, y aprovechamiento de los mismos (2019).

Según Del Val indica que existían al menos 71 elementos contaminantes en la atmósfera que en síntesis son conceptuados como peligrosos para la salud aún en cantidades muy reducidas, entre ellos se identifican las dioxinas, los furanos (2011), aunque existen otras sustancias denominadas compuestos orgánicos volátiles en rellenos sanitarios que perjudican a la salud de la población como lo son: benceno, tolueno, cloruro de vinilo, xileno, acetona, clorobenceno, cloroformo, diclorometano, bromuro de etileno, etilbenceno, entre otros (Rentería & Agudelo, 2005).

Por otro lado, el biogás que se origina mediante la descomposición de los residuos sólidos, es una composición de gases como resultados de procesos físicos, químicos y biológicos, en los cuales predominan los siguientes componentes: metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), mientras que hay otros elementos que conforman el biogás en

menor cantidad como lo son: Hidrógeno (H), Nitrógeno (N), Oxígeno(O), Sulfuro de Hidrógeno (H<sub>2</sub>S), Cloruro (CL), Argón (Ar) y Sulfato (S) (Olmedo & Curillo, 2019).

El biogás se produce por medio de la biodegradación del material orgánico en condiciones anaeróbicas, no obstante, la composición depende primordialmente de la materia orgánica usada y del rendimiento y/o funcionamiento del proceso de confinamiento (Olmedo & Curillo, 2019). Así mismo, el valor calorífico del biogás incrementa o disminuye dependiendo del contenido de metano y proceso del biogás (Olmedo & Curillo, 2019). Por ejemplo, el valor calorífico del biogás para un 50% de metano varía entre 18 a 23Mj/m<sup>3</sup> (Olmedo & Curillo, 2019).

Un biogás con una cantidad de metano representativa se convierte en una fuente de energía limpia y sostenible que puede ser utilizada como combustible para la generación de energía eléctrica y térmica, así como también para fines de transporte y otros usos industriales y domésticos (Rentería & Agudelo, 2005). Al utilizar biogás en lugar de combustibles fósiles, se pueden reducir significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono y el metano, a su vez en lugar de desechar los residuos orgánicos en vertederos o incinerarlos, se pueden utilizar como materia prima para la generación de biogás (RCOA, 2019).

## **1.2 El Problema.**

### **1.2.1 Formulación del Problema.**

La producción desmedida de residuos causa un impacto ambiental negativo que con el tiempo crece proporcionalmente con el aumento poblacional, regida directamente por una cultura del consumismo (Melo, 2018). Por otro lado, es evidente la falta de conciencia ambiental debido al incumplimiento de los estándares mínimos de protección ambiental (Melo, 2018), razón por la cual aún existen botaderos a cielo abierto, contaminación de los arroyos, derramamiento de lixiviado en el suelo, entre otros.

Actualmente se genera al día en el Ecuador 14.000 toneladas de residuos, lo que resulta ser más de cinco millones de toneladas al año, de los cuales el 56,2% corresponde a residuos orgánicos y el 43,8% a inorgánicos (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2020).

A causa del mal manejo de los desechos se produce la contaminación, en el caso del suelo, los problemas inducen al deterioro y contaminación de la misma a causas de las distintas sustancias contenidas en los residuos sólidos, incitando a posibles desvalorización del terreno. En cuanto al agua, el problema influye directamente en la eutrofización, malos olores, factores estéticos, lixiviados, entre otras características negativas. Finalmente, se tiene al aire como uno de los principales afectados dado que se genera gas metano, gases de efecto invernadero, malos olores y humos (Chacón, 2022). Repercutiendo de manera constante en la salud de la población debido a la deficiente gestión de los residuos. Razón por la cual se ha determinado más de 22 enfermedades que son transmitidas producto de vectores sanitarios, enfermedades ambientales, entre otros (Vargas, 2005).

El biogás que procede del material orgánico está compuesto aproximadamente de 55% a 70% de gas metano (CH<sub>4</sub>), seguido por el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que confiere de 30%

a 40%, finalmente existen otros gases como  $H_2$ ,  $N_2$  y  $H_2S$  que actúan en porcentajes menores (Quechulpa, Herrera, Guarneros, Terron, & Itehua, 2020). Haciendo hincapié a estos gases contaminantes, el Índice Potencial de Calentamiento Global (GWP) es la capacidad de almacenar calor de estos gases en la atmósfera, por consiguiente, el metano comparado con el  $CO_2$ , en un periodo temporal de 20 años, posee 86 veces más GWP que el  $CO_2$  (El biogás y los Gases de Efecto Invernadero (GEI), 2017); resultando un gas de efecto invernadero (GEI) superior a pesar de estar en igualdad de masa, por lo tanto se debería aprovechar las emisiones del gas metano.

La materia orgánica al descomponerse por medio de los microorganismos se convierte en una mezcla gaseosa llamada biogás, principalmente de metano ( $CH_4$ ). Este biogás al quemarse se desprende en monóxido de carbono y agua cuando es un combustible ecológico, ya que produce monóxido de carbono y agua cuando se quema. Primero ingresa a la atmósfera, donde es absorbido por plantas que producen carbohidratos a través de la fotosíntesis.

La materia orgánica en descomposición se puede transformar, por medio de la acción de microorganismos, en una mezcla de gases llamada biogás. De la cual está compuesta principalmente por metano ( $CH_4$ ), Además este gas al quemarse se desprende en monóxido de carbono y agua por lo que es comúnmente conocido como combustible ecológico, puesto que al mismo tiempo al salir a la atmosfera es captado por las plantas a través de la fotosíntesis.

### **1.2.2 Delimitación del Problema.**

A lo largo del tiempo el gas licuado de petróleo (GLP) se lo ha venido empleando para la cocción de los alimentos en los hogares y la calefacción, sustituyendo a la leña. No obstante, hoy por hoy se desarrolla el campo de las energías renovables mediante

biocombustibles; por tal razón resultaría una opción el aprovechamiento de los residuos sólidos para la generación de biogás. Además, la reutilización de los residuos orgánicos generados por los bares, evita su disposición final en el relleno sanitario.

Al aprovechar los residuos orgánicos producidos en los bares de la Universidad Católica de Cuenca, específicamente en los sitios de comida de cada facultad ubicados en el cantón Cuenca, como materia prima en un biodigestor, se puede transformar la materia orgánica en energía o combustible limpio y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

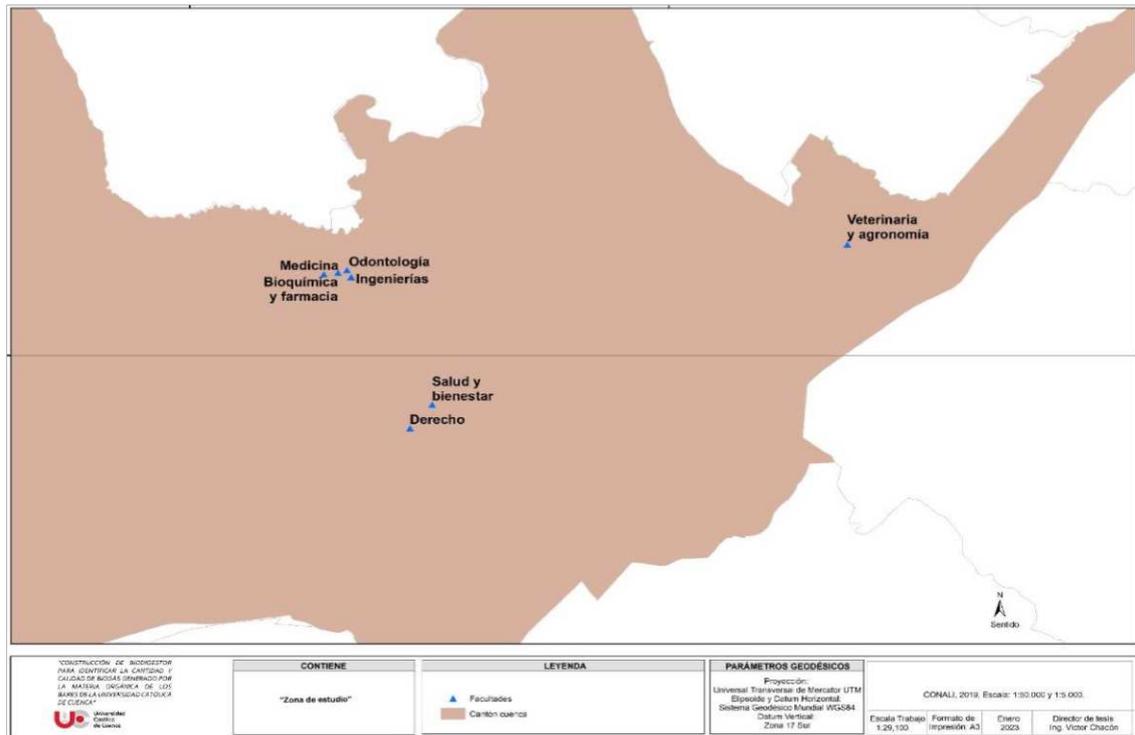
Para la generación de biogás se debe tener claro varios parámetros que son fundamentales para garantizar la producción de la misma, por lo tanto, el reto en este proyecto es experimentar diversos biodigestores en condiciones diferentes, tal es el caso que en total son tres biodigestores ubicados en el cantón Cuenca. La razón por la cual los biodigestores terminan siendo un reto, es porque la obtención de biogás depende mucho del tipo de materia orgánica, del tiempo de retención, así como también de la temperatura, del porcentaje de acidez, entre otros (Briseño, 2017). No obstante, la temperatura es uno de los parámetros que más se debe tomar en cuenta y es que los biodigestores responden efectivamente a temperaturas altas (Herrero, 2019).

### **1.2.3 Definición De La Zona De Estudio**

La investigación se ubica en el cantón Cuenca en los diferentes bares de la Universidad Católica de Cuenca (ir a figura 1). Este estudio, pretende abarcar la mayor cantidad de residuos que se generan en los puntos de comida con el objeto de analizar los resultados de cantidad y calidad del biogás, así como también la construcción de un biodigestor en el CIITT donde se medirán los resultados. A continuación, se detalla los siete lugares académicos de la institución que poseen bares:

- Medicina
- Odontología

- Ingenierías
- Bioquímica y farmacia
- Salud y bienestar
- Derecho
- Veterinaria y Agronomía



**Figura 1:** Ubicación de los 7 bares donde proviene la materia orgánica para los biodigestores.  
Fuente: (Elaboración propia)

### 1.3 Justificación.

Usualmente se considera a los residuos orgánicos como desechos, por lo que es frecuente su presencia en la disposición final que en este caso es el relleno sanitario. La exposición de estos residuos en el punto de disposición final produce gases de efecto invernadero, como monóxido de carbono, dióxido de carbono, metano, entre otros, que son liberados a la atmósfera.

A nivel nacional se generan 14.000 toneladas diarias de residuos sólidos, mientras que en el Cantón Cuenca se registra un ingreso de 7114 toneladas por año de residuos

orgánicos, de los cuales 507 toneladas de residuos orgánicos fueron donados a comunidades para producción de compost, mientras que 473 toneladas son originarias de trueque ambiental. Así como la generación de 407 toneladas, entre compost y humus (EMAC EP, 2015).

La necesidad de reducir los daños a la salud y al medio ambiente, impulsa a buscar alternativas para sustituir el gas licuado, así como para obtener energía limpia (ya sea eléctrica o térmica), biocombustibles y fertilizantes orgánicos (Aponte, Chuchuca, & Ochoa, 2018). Los beneficios de estas alternativas son múltiples, incluyendo la reducción del cambio climático mediante la evitación de la liberación de metano al ambiente, la mitigación de la contaminación en general, la disminución de los problemas causados por los malos olores, la promoción de la sustentabilidad y la sostenibilidad de la actividad, y la mejora de las condiciones de higiene (Cardaci, Lleras, & Pepa, 2009).

El uso de un biodigestor es económicamente rentable, ya que la obtención de biogás es un proceso, fácil, práctico y de bajo costo (Toala, 2013). Por tal motivo, la construcción de un biodigestor es factible para captar el gas ecológico producido por la reutilización de los residuos orgánicos generados en los bares de la Universidad Católica de Cuenca. Como resultado de esta actividad, se evitará que el material vaya a la disposición final, disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y aprovechamiento del biogás para su uso.

Este estudio es de vital aporte para personas o industrias que estén interesados por la producción de biogás a base de residuos orgánicos, lo que colabora con datos obtenidos en campo, nutriendo el conocimiento de los técnicos, ingenieros, estudiantes entre otros.

## **1.4 Objetivos.**

### **1.4.1 Objetivo General.**

- Construir un biodigestor para el análisis de la cantidad y calidad de biogás que se puede obtener a partir de los residuos orgánicos provenientes de los bares de la Universidad Católica de Cuenca.

### **1.4.2 Objetivos Específicos.**

- Realizar la caracterización de desechos biodegradables generados en el área de estudio y establecer la generación per-cápita de los residuos que produce cada estudiante de materia orgánica.
- Diseñar el biodigestor de acuerdo a la cantidad de la materia orgánica obtenida.
- Determinar la calidad y cantidad del biogás generado en el proceso de descomposición en el biodigestor.

## **CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.**

### **2.1 Gestión integral de residuos en el cantón cuenca**

La Estadística Ambiental Económica de los GAD'S en 2017, reveló la situación de gestión de residuos sólidos en el país. Según el informe, solo se recupera el 0,6 % de los residuos orgánicos tratados de un total de 2368,1 toneladas/mes. Además, se encontró que el 43% de los municipios ecuatorianos utilizan rellenos sanitarios para la disposición de residuos, mientras que un 36% utilizan botaderos y el 21% celdas emergentes. En las ciudades de Cuenca y Quito se están llevando a cabo proyectos para la obtención de biogás en rellenos sanitarios, aunque estos proyectos tienen un bajo aprovechamiento debido a la falta de políticas públicas y leyes reguladoras que impiden el desarrollo de soluciones ambientales (Rojas A. , 2019).

El cantón Cuenca, se ha ubicado como una de las ciudades con el más alto índice en la gestión de residuos (Acción ecologica, 2011). De acuerdo con datos proporcionados por la EMAC (2023), la eliminación de residuos en Cuenca es llevada a cabo por la Empresa Pública Municipal de Aseo, la cual brinda cobertura de recolección en el 92,6% del cantón. Como resultado, se recogen en promedio 433 toneladas diarias de residuos sólidos que son depositados en el Relleno Sanitario de Pichacay, siendo esta la disposición final.

La Comisión de Gestión Ambiental (2015) es una entidad pública encargada de manejar el tema ambiental en Cuenca. Sus funciones incluyen coordinar, gestionar y ejercer competencias de autoridad ambiental en el cantón. Además, la comisión tiene como objetivos mejorar la calidad de vida de los habitantes, proteger los ecosistemas y el paisaje, y prevenir desastres. También busca aplicar sistemas de gestión ambiental para lograr procesos, productos y servicios limpios, y fortalecer la educación, investigación y capacitación ambiental con la participación de la ciudadanía.

El manejo de residuos en el cantón Cuenca ha ido fortaleciéndose con el pasar de los años, cabe indicar que poco a poco se ha ido reforzando el Sistema Integral de Reciclaje, cuya finalidad es prolongar la vida útil del relleno sanitario de Pichacay ubicado en la parroquia Santa Ana, además de apoyar la labor de los recicladores, se busca promover la práctica ciudadana para la separación de desechos, se pide colocar en fundas negras los desechos inorgánicos y en la funda celeste lo que corresponde a plásticos, papel, material de aluminio, entre otros (López et al. 2018).

Los mercados en la ciudad de Cuenca generan una cantidad significativa de residuos, principalmente de materia orgánica, lo que representa un total de 626.8 toneladas al mes. Estos residuos se utilizan como materia prima en la Planta de Compostaje de la EMAC EP (Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica, 2020).

Actualmente, el gobierno local se ha propuesto como meta aprovechar el gas metano presente en los sitios de disposición de residuos con el fin de obtener energía verde, lo que a su vez representa una alternativa ambiental, especialmente en la reducción de emisiones. Esta iniciativa se fundamenta en la alta cantidad de residuos que se generan en Cuenca, ya que diariamente se desechan alrededor de 250 Ton, lo que equivale a una producción diaria de 2935,24 Ton CO<sub>2</sub> eq/día. (García, 2019).

En cuanto al potencial energético de los rellenos sanitarios, es importante señalar que estos pueden ser aprovechados como fuente de biomasa para cultivos y en algunos casos, como generadores de biogás. Para que esto sea posible, se necesita que los residuos contengan una cantidad suficiente de materia orgánica y que se den las condiciones adecuadas para la disfunción anaerobia. Es importante destacar que la producción de biogás no es constante, ya que durante los primeros años la generación es mayor, mientras que posteriormente tiende a disminuir gradualmente (Panesso , Mora , & Ordoñez , 2011).

## 2.2 Residuos orgánicos e inorgánicos

Los residuos sólidos orgánicos son de origen natural, de fácil descomposición en el medio ambiente, se transforman en materia orgánica, a este tipo de residuos también se los conoce como residuos biodegradables y se componen de bioelementos químicos como el carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O) y nitrógeno (N), este tipo de residuos generalmente provienen de la flora y fauna, se descomponen gracias a la intervención de microorganismos (Maigua, 2019).

De acuerdo a su fuente de origen los residuos orgánicos pueden estar contaminados por los siguientes factores:

Los residuos de grasa son un subproducto generado por la cocción de grasas de origen vegetal y animal, así como también son resultados de restaurantes, cadenas de comida rápida y procesadores de alimentos (Gonzales & Villalobos, 2021).

Las fuentes de estos residuos incluyen aceite de cocina, manteca de cerdo, mantequilla y margarina, al igual que alimentos horneados. Estos residuos se presentan normalmente en estado sólido o líquido viscoso, dependiendo de la saturación de las cadenas de carbono (Gonzales & Villalobos, 2021).

- Lavaza: los residuos de cocción son aquellos que quedan después de procesar los alimentos. Estos residuos pueden contener restos de comida, carnes y plantas aromáticas. Es importante tener en cuenta que estos residuos pueden presentar contaminación microbiológica debido a la saliva humana y su alto contenido de sales (Guia Técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a partir de metodologías de compostaje y lombricultura, 2015)
- Estiércol de humanos, perros o gatos: puede contener microorganismos patógenos que requieren altas temperaturas para ser eliminados (Guia Técnica para el

aprovechamiento de residuos orgánicos a partir de metodologías de compostaje y lombricultura, 2015).

- Pelos y grasas: son residuos que pueden traer consigo, contaminantes y malos olores. Además, pueden demorar los procesos de falla (Guía Técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a partir de metodologías de compostaje y lombricultura, 2015).

Los residuos inorgánicos son aquellos materiales que no tienen un origen biológico, una diferencia de los orgánicos. Estos residuos son fabricados en procesos artificiales y pueden tardar mucho tiempo en degradarse, ya que no se reintegran fácilmente en la naturaleza.

Es importante tener en cuenta que algunos de estos residuos pueden liberar sustancias contaminantes tanto para la salud humana como para el medio ambiente cuando logren degradarse. Sin embargo, muchos de ellos son reciclables y pueden ser utilizados nuevamente en la cadena de producción y consumo (Servicios Medioambientales de Valencia, 2018).

### **2.2.1 Peso volumétrico de residuos orgánicos e inorgánicos**

El peso volumétrico de los residuos es un dato esencial para el dimensionamiento del reactor, si bien es cierto el valor es calculable a través de ecuaciones para tener un valor real en función de la clase y condición de la materia orgánica o inorgánica recolectada, sin embargo, existen estudios experimentales que proponen valores estándar de acuerdo al tipo de residuos y lugar de consumo (Ambientum, 2022). A continuación, se detalla el peso volumétrico estandarizado:

*Tabla 1. Peso volumétrico de material orgánico en zonas urbanas.  
Fuente: (Ambientum, 2022)*

<b>Componentes</b>	<b>Variación en kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Típico en kg/cm<sup>3</sup></b>
En hogares	131-481	291
<b>Restaurantes</b>	<b>475-950</b>	<b>540</b>
Residuos jardinería	59-225	101
Madera	131-320	237
Papel y cartón	42-131	50
Plásticos	42-131	65
Textiles	42-101	65
Vidrio	160-481	196
Latas de hojalata	50-160	89
Otros metales	65-1151	280

Por ejemplo, en una casa a comparación con un restaurante, la casa tiene menor valor de densidad específica, debido a la cantidad y tipo de materia orgánica generada (Ambientum, 2022).

Además, para el caso de estudio que estamos considerando, un dato relevante es el resultado obtenido del muestreo de restaurantes, donde se evidencia un valor promedio de generación per cápita semanal de 0.255 kg de residuos por cliente por día (Ochoa & Rivera, 2019).

### **2.2.2 Degradación de los residuos orgánicos**

La degradación de los residuos orgánicos es proceso mediante el cual los materiales orgánicos son descompuestos y transformados por microorganismos en sustancias más simples y estables (Agencia de Residuos de Cataluña, 2009).

Este proceso es esencial para la eliminación y manejo adecuado del material orgánico, ya que permite su transformación en productos útiles, como el biogás o el compost (Herrero,

2019). El material biodegradable necesario para ingresar al reactor es de origen vegetal, doméstico, forestal, agroindustrial, excretas de animales y humanos (Benardi, 2021).

*Tabla 2. Tipos de residuos orgánicos.  
Fuente: (Benardi, 2021)*

<b>TIPOS DE RESIDUOS ORGÁNICOS</b>	
Residuos de origen animal	Estiércol, orina, guano, camas, residuos de mataderos (sangre y otros), residuos de pescados.
Residuos de origen vegetal	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.

Es crucial tener en cuenta que, para que el proceso microbiológico del biogás sea efectivo, es necesario no solo contar con carbono y nitrógeno, sino también con una adecuada cantidad de sales minerales y nutrientes, como fósforo, potasio, hierro, calcio, cobalto, cobre, magnesio, zinc, manganeso, selenio, tungsteno, molibdeno y boro (Benardi, 2021).

Los residuos vegetales que resultan ser de alto contenido de lignina (polímeros orgánicos complejos) no son directamente aprovechados, por lo cual, deben someterse a tratamientos previos como cortado, macerado, y/o compostado con el fin de liberar las sustancias factibles de ser transformadas de las incrustaciones de lignina (Benardi, 2021).

### **2.3 Digestión anaerobia**

El biogás se produce en el proceso de digestión anaerobia, que es un proceso biológico en el que los microorganismos descomponen la materia orgánica en ausencia de oxígeno. Durante la digestión anaerobia, los microorganismos transforman los residuos orgánicos en biogás, que está compuesto principalmente de metano y dióxido de carbono.

El proceso de digestión aerobia, por otro lado, requiere la presencia de oxígeno y se utiliza para tratar aguas residuales y residuos orgánicos que no son adecuados para la digestión anaerobia (FAO, 2011).

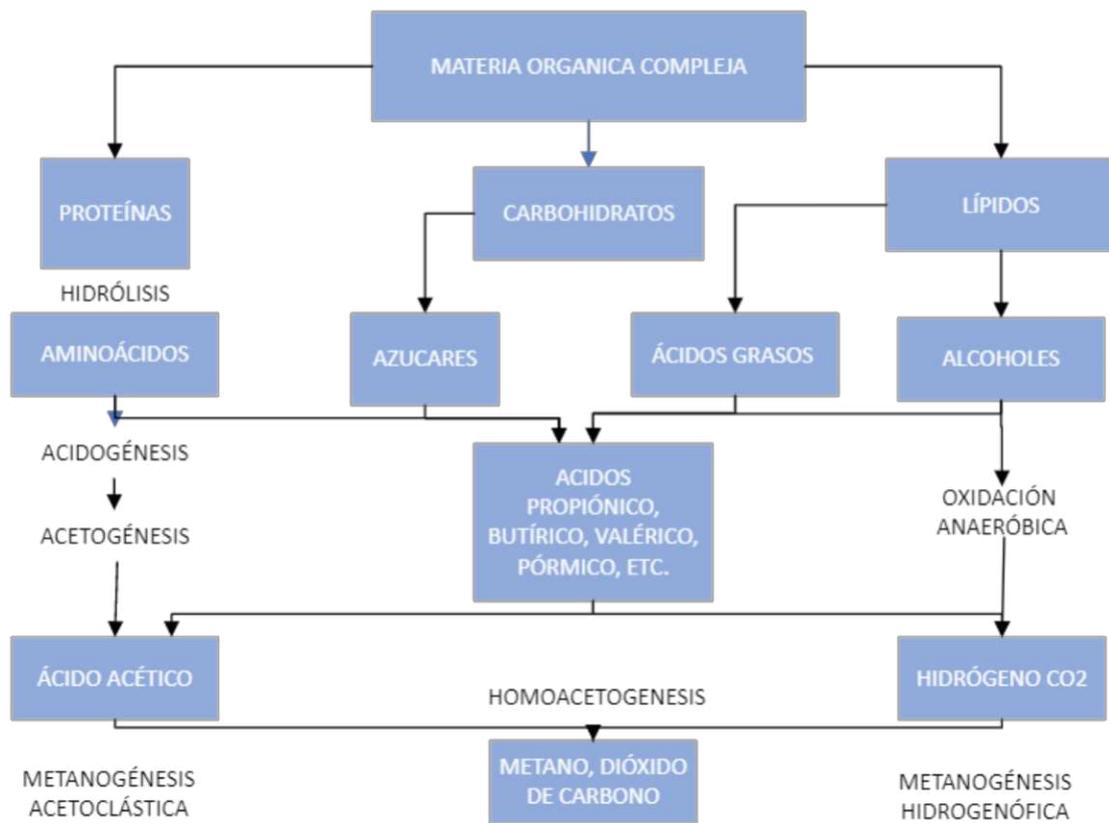
La digestión anaerobia es un método para obtener energía a través del aprovechamiento de residuos orgánicos. Este proceso ayuda a estabilizar la materia orgánica y reducir los malos olores asociados.

Para lograr la digestión anaerobia, es necesario llevar a cabo una serie de procesos microbiológicos que involucran especies específicas y parámetros físico-químicos, como el pH, la temperatura, la composición del sustrato, el balance de nutrientes, los inhibidores y los estimuladores del proceso (Acosta & Obaya, 2005).

La digestión anaerobia ofrece varios beneficios ambientales significativos, ya que permite una gestión adecuada de los residuos orgánicos, reduce la emisión de gases de efecto invernadero, disminuye la dependencia de los combustibles fósiles y reduce la contaminación del aire y del agua.

### **2.3.1 Etapas de la digestión anaerobia**

La digestión anaerobia es un proceso biológico complejo en el cual los microorganismos descomponen la materia orgánica en ausencia de oxígeno. A continuación, se muestra el proceso detallado que describe las etapas que deben atravesar los residuos orgánicos para producir metano.

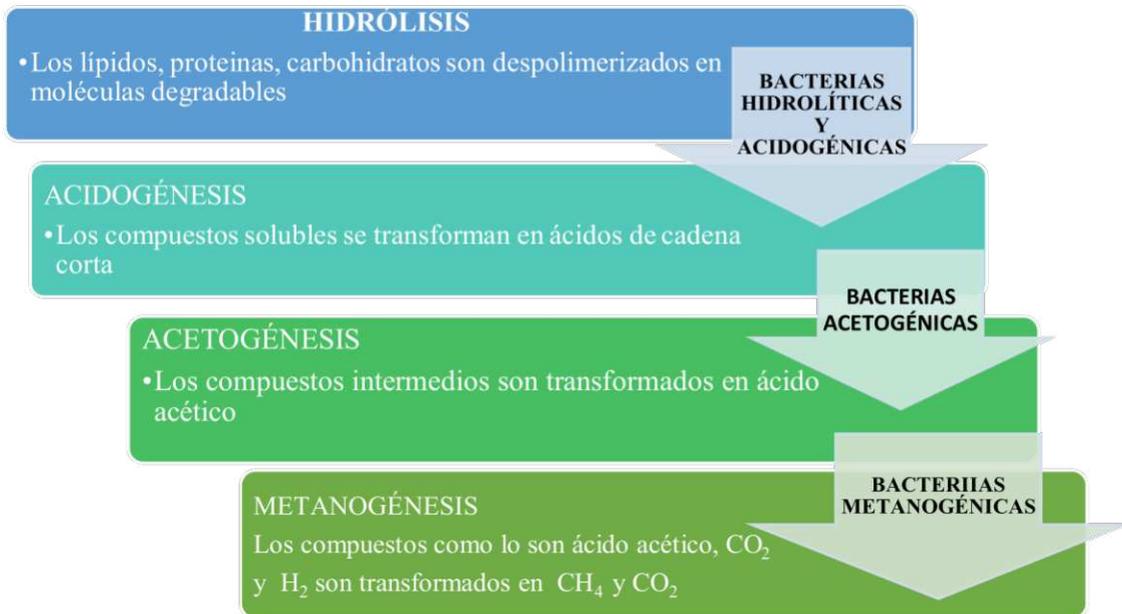


*Figura 2: Esquema de la digestión anaerobia para la obtención de biogás.  
Fuente: Elaboración propia.*

El proceso de digestión constituye un balance dinámico entre las bacterias metanogénicas y no metanogénicas, para alcanzar el estado de equilibrio, el biodigestor tiene ausencia de oxígeno disuelto, concentraciones inhibitorias de amoníaco libre y el pH debe cumplir el rango óptimo (ver rango en: Factores que intervienen en la digestión anaerobia) (Ramirez, 2016).

En el estudio de la digestión anaeróbica de la materia orgánica, la hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis son procesos importantes que se suceden en secuencia. Cada uno de ellos es llevado a cabo por diferentes grupos de bacterias y es crucial para la producción de biogás, que puede ser utilizado como una fuente de energía renovable. En el siguiente mapa conceptual se presenta una descripción detallada de cada uno de estos procesos y cómo se relacionan entre sí en la digestión anaeróbica.

A continuación, se describen las 4 fases que debe cumplir la digestión anaeróbica (ver figura 3):



*Figura 3: Etapas de la digestión anaerobia.  
Fuente: (Corona, 2007)*

Existen 4 fases en el proceso de digestión anaerobia, el tiempo de duración de cada una de ellas puede variar dependiendo de factores como el tipo de material orgánico, la temperatura, la humedad, el pH y la presencia de microorganismos específicos. En términos generales, estas fases pueden durar desde pocos días hasta varias semanas, dependiendo de las condiciones específicas del proceso (Briseño, 2017).

### 2.3.1.1 Hidrólisis

La primera etapa del proceso de digestión anaerobia implica la acción de enzimas que transforman los materiales orgánicos, incluyendo componentes grandes de la masa molecular como lípidos, proteínas, ácidos nucleicos, grasas y polisacáridos. Según (Parra, 2015), este proceso es considerado el paso limitante de esta etapa.

Su velocidad de descomposición durante la primera etapa considerada hidrólisis depende del tipo de materia orgánica. Para que este proceso de la biodegradación se de, los

microorganismos deben secretar diferentes tipos de enzimas que se encargan de cortar grandes moléculas en pedazos pequeños (Parra, 2015).

Durante esta fase, se genera una serie de metabolitos ácidos que podrían ocasionar una ligera disminución del pH del entorno, alcanzando valores cercanos a 5,5 en ausencia de otros organismos capaces de metabolizar dichos ácidos en la siguiente etapa (Reyes, 2017).

Aquí los residuos orgánicos son enzimolizados por enzimas extracelulares (celulosa, amilasa, proteasa y lipasa) de los microorganismos, se da un proceso de descomposición bacteriana en unas largas cadenas de carbohidratos, proteínas y lípidos (Reyes, 2017).

#### **2.3.1.2 Acidogénesis**

En la fase de acidogénesis, las bacterias acidogénicas transforman los compuestos orgánicos complejos obtenidos en la hidrólisis en ácidos orgánicos de cadena corta, tales como ácido acético, butírico, propiónico y valérico, entre otros. En la acetogénesis, los productos intermedios de la acidogénesis se basan en ácido acético, dióxido de carbono y en ocasiones hidrógeno por parte de las bacterias acetogénicas (Corona, 2007).

Las bacterias que se encargan de la producción de ácidos durante la acidogénesis son anaeróbicas, lo que significa que no necesitan oxígeno y carbono para llevar a cabo su proceso metabólico. Estas bacterias determinarán los intermediarios producidos durante la fermentación, como ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), en ácidos orgánicos como ácido láctico, butírico y propiónico (Corona, 2007).

Durante el proceso de digestión anaeróbica, los distintos grupos bacterianos que intervienen muestran un nivel de actividad óptima en condiciones cercanas a la neutralidad. En particular, los microorganismos acidogénicos alcanzan su óptimo de actividad en un rango de pH entre 5,5 y 6,5. Mantener el pH dentro de este rango es

importante para favorecer la actividad de las bacterias acidogénicas y así obtener una mayor producción de ácidos orgánicos (FAO, 2011).

### **2.3.1.3 Acetogénesis**

En esta fase se genera ácido cítrico el cual modifica la materia gracias a los productos producidos por las bacterias acetogéneas en pre productos del biogás, aquí es muy importante la presión parcial del hidrógeno, gracias a lo cual se obtienen ácidos orgánicos de cadenas largas una vez se han multiplicado permiten la generación del metano, las bacterias de la acetogénesis necesariamente deben vivir asociados a los microorganismos metanogénicos, cuya función es transformar el hidrógeno junto con el  $\text{CO}_2$  en metano, por ello se recomienda mantener las condiciones necesarias para facilitar el trabajo de estas bacterias que generan el ácido cítrico (Corona, 2007).

Durante la acetogénesis, el pH óptimo oscila entre 6,5 y 7,5, aunque puede variar ligeramente dependiendo de los microorganismos y las condiciones específicas del proceso. Es importante mantener el pH dentro de este rango para favorecer la actividad de las bacterias acetogénicas y así obtener una mayor producción de acetato (FAO, 2011).

### **2.3.1.4 Metanogénesis**

En esta etapa se produce la formación de metano, siendo este, el último producto de la digestión anaerobia, es decir, el fin de la descomposición del material orgánico. Cabe resaltar que en esta fase se genera un 90% del total del metano en el biodigestor. Por otra parte, la tasa de crecimiento de las bacterias metanogénicas es aproximadamente 5 veces menor que las de la fase acetogénesis (Aqualimpia, 2017). En la última etapa del proceso, metanogénesis, las bacterias metanogénicas forman metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) (Corona, 2007).

El proceso microbiológico que permite la generación del biogás se basa en estas cuatro fases. Sin embargo, para que este proceso ocurra correctamente, es necesario crear las condiciones adecuadas. Esto implica una concentración óptima de la masa seca del insumo, así como una reducción significativa de la humedad para disminuir el transporte de los insumos (Corona, 2007).

Las bacterias que producen metano también descomponen residuos de bajo peso molecular, para ello requieren de hidrógeno, dióxido de carbono y ácido acético para formar metano y bióxido de carbono (López, Proyecto para la construcción de una planta generadora de Biogas a partir de desechos orgánicos, 2001). En la etapa de metanogénesis se obtiene un pH ideal que ronda entre 6.6 a 7.6 (Briseño, 2017)..

### **2.3.2 La relación DBO y DQO en la digestión anaerobia**

Es común utilizar la relación DBO/DQO como una herramienta para evaluar la proporción de residuo orgánico biodegradable presente en el sustrato. La principal diferencia entre estas dos medidas es que la DBO mide la cantidad de oxígeno que consumen los microorganismos, mientras que la DQO mide sustancia orgánica como inorgánica susceptible a ser oxidada (Reyes, 2017).

Además, la relación DBO/DQO también puede ser útil para evaluar el rendimiento del proceso de digestión anaerobia. Una relación DBO/DQO alta indica que el sustrato es altamente biodegradable y, por lo tanto, se espera que se produzca una mayor cantidad de biogás en el proceso de digestión anaerobia. Por otro lado, una relación DBO/DQO baja indica que el sustrato es menos biodegradable y, por lo tanto, se espera que se produzca menos biogás (Reyes, 2017).

### **2.3.2.1 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

Durante el proceso de digestión anaerobia, no todas las etapas implican una disminución de la Demanda Bioquímica de Oxígeno. En particular, durante la etapa de hidrólisis, no se produce una variación detectable de la DBO. Durante la acidificación, en general, la disminución de la DBO es mínima (Acosta & Obaya, 2005).

Es en la etapa de metanogénesis donde se produce la mayor disminución de la DBO. Durante esta fase, los microorganismos metanogénicos consumen los ácidos grasos volátiles producidos en la etapa anterior y otros compuestos orgánicos complejos, presentan biogás y reducen significativamente la DBO del sustrato (Acosta & Obaya, 2005).

Por lo tanto, aunque la DBO es una medida importante para evaluar la biodegradabilidad del sustrato y el rendimiento del proceso de digestión anaerobia, es importante tener en cuenta que la disminución de la DBO no es uniforme en todas las etapas del proceso. En general, la mayor reducción de la DBO ocurre en la etapa de metanogénesis, cuando los microorganismos metanogénicos están más activos y consumen una amplia gama de compuestos orgánicos (Acosta & Obaya, 2005).

### **2.3.2.2 Demanda química de oxígeno (DQO)**

En cuanto a la Demanda Química de Oxígeno (DQO) las etapas de digestión anaerobias se presentan de la siguiente manera:

En la etapa de hidrólisis, se produce una disolución de los compuestos orgánicos complejos presentes en el sustrato, lo que puede aumentar la concentración de materia orgánica en la solución. Como resultado, la DQO puede aumentar durante esta etapa (Reyes, 2017).

Durante la acidificación, se producen ácidos grasos volátiles y otros compuestos orgánicos simples a partir de la materia orgánica compleja en el sustrato. Como resultado, la DQO también puede aumentar durante esta etapa (Reyes, 2017).

En la etapa de acetogénesis, los ácidos grasos volátiles y otros compuestos orgánicos simples producidos en la etapa anterior se determinarán en ácido acético y otros ácidos orgánicos. Como resultado, la DQO puede disminuir durante esta etapa (Reyes, 2017).

Finalmente, la etapa de metanogénesis, los microorganismos metanogénicos se consumen durante los compuestos orgánicos restantes en el sustrato y producen biogás. Como resultado, la DQO puede disminuir significativamente durante esta etapa (Reyes, 2017).

### **2.3.3 Factores que intervienen en la digestión anaerobia**

- **La temperatura:** es el factor más importante para la biodigestión anaerobia, los rangos necesarios oscilan entre los 5°C hasta los 60°C, es importante mencionar que aquí las bacterias muestran mayor sensibilidad a la temperatura a comparación de otros microorganismos, pues su velocidad de crecimiento es más lenta, el proceso de digestión anaerobio no suele afectarse ante el incremento de la temperatura; sin embargo, un decrecimiento podría retardar la producción de metano, por ende se recomienda mantener un microclima cálido en el biodigestor para conservar una tasa de producción de biogás alta (Solano, 2010). Del mismo modo es esencial evitar el cambio brusco de temperatura, por tanto, se considera óptimo trabajar alrededor de 35 °C (Briseño, 2017).

La temperatura influye en la velocidad de crecimiento y actividad de las bacterias anaerobias que realizan la digestión, por lo que una temperatura más alta puede acelerar la tasa de digestión y reducir el tiempo de retención necesario para lograr una buena eficiencia en la producción de biogás (Herrero, 2019). Sin embargo,

una temperatura demasiado alta puede afectar negativamente la actividad bacteriana y la calidad del digesto producido. A continuación, se detalla el tiempo de retención en función de la temperatura:

**Tabla 3.** Estimación de la relación temperatura – tiempo de retención.  
Fuente: (Herrero, 2019)

<b>Temperatura</b>	<b>Tiempo de Retención (TR)</b>
35° C	25-30 días
30 °C	30-40 días
25 °C	35-50 días
20 °C	50-65 días
15 °C	65-90 días
10 °C	90-125 días

**Tabla 4.** Tiempo de retención y temperatura en función del tipo de región.  
Fuente: (EcoInventos Green technology, 2022)

<b>Región característica</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Tiempo de retención (días)</b>
Trópico	30	20
Valle	20	30
Altiplano	10	60

En general, la tabla 3 como en la tabla 4 indican que a mayor temperatura menor es el tiempo de retención, sin embargo, la diferencia entre ellas son las condiciones a las cuales se encuentran expuestos los reactores como es la cantidad y el tipo de materia orgánica, por otra parte, también depende del tipo de región.

- pH: se evalúa la cantidad y porcentaje de metano en el biogás, a partir de una valoración de pH óptimo que se produce en la etapa de la metanogénesis, por lo general, se encuentra entre 6.6 y 7.6 a causa de la adición de nutrientes (Briseño, 2017). Aunque según Ramirez el rango debe ser de 6.5 hasta 7.5. Mientras que si cae el pH por debajo de los 6.2 las bacterias metanogénicas no actúan (2016, p.28).

Por ejemplo, el estiércol de cerdo ronda los 6.5 de pH siendo este material orgánico uno de los más ácidos, en tanto que la vaca ronda los 7 (Herrero, 2019). En cuanto a los residuos crudos, las autoras Peralta y Serrano obtienen el pH de residuos orgánicos de bares pertenecientes a Instituciones Universitarias, dando como resultado un valor de 4.66, esto quiere decir que los sustratos tienen un pH ácido producto de la alta cantidad de carbohidratos ya que los residuos están conformados por frutas, vegetales y cáscaras (2020).

Por otra parte, en el caso de mezclar el agua con el material orgánico, es importante considerar que el pH resultante puede ser demasiado ácido o alcalino, dependiendo de la proporción y características de los residuos (Herrero, 2019).

Las bacterias metanogénicas dejan de trabajar en condiciones demasiado ácidas, es decir, cuando el pH es menor a 6, lo que significa que no producirán biogás (Herrero, 2019).

- Contenido de sólidos: es recomendable operar con un 10% de sólidos, de modo que la biomasa necesaria sea la que contenga un alto contenido de humedad (Briseño, 2017).
- Nutrientes: Es necesario contar con carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y algunas sales minerales para la actividad bacteriana (Briseño, 2017).
- Tiempo de retención: El tiempo de retención de sólidos que es el tiempo promedio por el cual las bacterias se encuentran en el digestor. Existen estudios 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 (Plascencia, 2014), así pues, según Plascencia, el tiempo de generación de metanogénicos tiende de 3 a 30 días (2014).

Por otro lado, entre más extenso sea el tiempo de retención del material orgánico dentro del biodigestor, mayor es el contenido de metano, mientras que el poder calorífico del biogás con tiempos de retención cortos provocaría que el contenido de metano tienda a disminuir hasta en un 50%; por lo cual si el metano es inferior al 50% de toda la composición, el biogás deja de ser inflamable (LÓPEZ, 2003).

Es importante destacar que los tiempos de retención pueden variar significativamente dependiendo de las condiciones del digestor, como la temperatura, la acidez y la concentración de microorganismos. Por lo tanto, es importante realizar pruebas y ajustes para optimizar los tiempos de retención para cada tipo de residuo y tipo de digestor (Dirección de Sustentabilidad, Medio Ambiente y Cambio Climático, s.f.). A continuación, se presentan algunas estimaciones generales de los tiempos de retención para diferentes tipos de materia orgánica:

*Tabla 5. Tiempo de retención en función del tipo de residuo.  
Fuente: Elaboración propia*

<b>Tipo De Residuo Orgánico</b>	<b>Tiempo de Retención</b>
Residuos de alimentos	20 - 30 días.
Residuos agrícolas	20 - 60 días.
Residuos forestales	30 - 60 días.

- Carga orgánica: se puede colocar altas cargas orgánicas solo cuando no existan inhibidores, esto a la vez producen gran cantidad de biogás, sin embargo la tasa de carga depende de los diversos tipos de residuos en el biodigestor. Por ejemplo en sustratos sencillamente degradables, Cuando se aplican altas cargas en los reactores, las reacciones acidogénicas ocurren a una mayor velocidad, lo que provoca un aumento en la producción de ácidos grasos volátiles en el reactor. Esto

puede llevar a una disminución en las concentraciones de hidrógeno y, por consiguiente, una reducción en el valor de pH (Plascencia, 2014).

## **2.4 Biodigestor**

Para (Solano, 2010) el biodigestor facilita la obtención de energía limpia y renovable a partir de residuos orgánicos, como el estiércol de animales, lo que lo convierte en una fuente de energía de bajo costo. Esta técnica no es nueva, pero en los últimos años ha cobrado interés debido a la crisis energética actual derivada del agotamiento de los combustibles fósiles. El proceso de producción de biogás a partir de residuos agrícolas y otros residuos orgánicos se ha vuelto cada vez más popular como una alternativa sostenible y ecológica.

Por su parte Sánchez, Martillo y Fiallo (2020) mencionan que el biodigestor es un procesador ecológico que recicla el estiércol de los animales, sobre todo de aquellos de ganadería, gracias a esta tecnología natural ecológica es posible obtener combustible (biogás) y abono orgánico (efluente).

En cuanto a su forma, el biodigestor puede ser un tanque cilíndrico, rectangular, esférico o semiesféricos, esto va a depender de las preferencias y presupuesto del usuario para su construcción (López, 2001).

### **2.4.1 Tipos de biodigestor**

De acuerdo a sus características físicas, existen 3 tipos de biodigestores: tipo tanque, biodigestor de globo o tubular, a continuación, se detallan;

#### **2.4.1.1 Biodigestor tipo tanque**

Un biodigestor tipo tanque es una tecnología simple y económica que permite la producción de biogás a partir de materia orgánica. Es un sistema batch que funciona con la entrada intermitente de residuos orgánicos, y una vez que se ha agregado el material,

se sella completamente el tanque para permitir la digestión anaerobia y la producción de biogás. La descarga se realiza cuando el proceso de producción de gas ha finalizado. Este tipo de biodigestor es comúnmente utilizado en zonas rurales, campos, haciendas y fincas, entre otros lugares que se encuentran alejados del servicio de gas. Aunque presenta algunas limitaciones, como el corto tiempo de vida útil, es una alternativa viable para la producción de biogás en zonas donde no hay acceso a servicios de gas (Corona, 2007).



**Figura 4: Biodigestor tipo tanque.**

*Fuente:* <https://www.youtube.com/watch?v=IZx-ZyTVaKA>

#### **2.4.1.2 Biodigestor de globo o tubular**

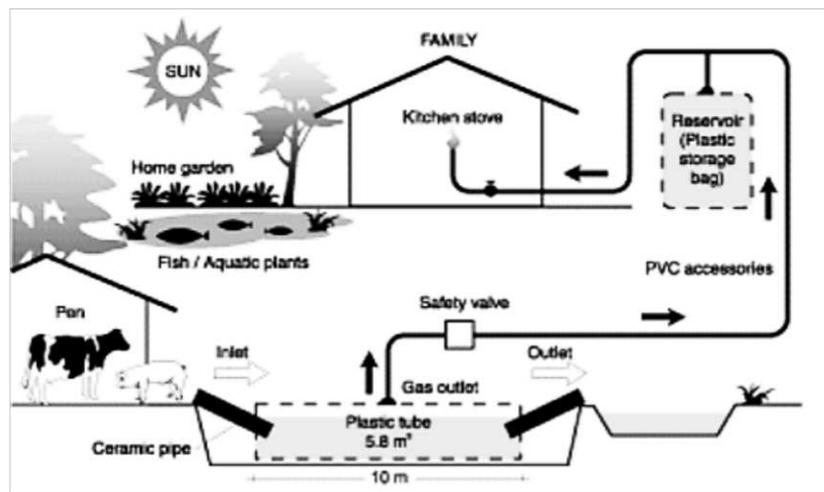
En la parte superior del sistema se encuentra una bolsa que almacena el gas producido. Entre sus principales ventajas se encuentran: bajo costo, facilidad de transporte, construcción poco sofisticada, altas temperaturas de digestión, fácil limpieza, mantenimiento y vaciado. Sin embargo, una de sus desventajas es que tiene un tiempo de vida útil limitado, lo que reduce su potencial (Corona, 2007).



**Figura 5: Biodigestor de plástico de bajo costo.**

Fuente: <https://bioreactorcrc.wordpress.com/2011/03/31/biodigestor-de-bajo-costo/>

El sistema se destaca por ser de bajo costo y fácil de transportar. Sin embargo, su vida útil es limitada y es más susceptible a sufrir roturas debido a las condiciones climáticas adversas y la intervención humana (Corona, 2007).



**Figura 6: Distribución del biogás.**

Fuente: (Corona, 2007).

## 2.5 Producción de lixiviados

Los lixiviados son ricos en microorganismos y se utilizan actualmente como biofertilizantes en los cultivos. Sin embargo, es importante tener en cuenta que pueden ser perjudiciales para la salud humana, ya que contienen grandes cantidades de materia orgánica, nitrógeno amoniacal, metales pesados y sales. Además, las características químicas de los lixiviados pueden variar debido a diversos factores, como el clima, la

edad del relleno, la composición de la basura y la geología del terreno. Por esta razón, es fundamental realizar un adecuado tratamiento de los lixiviados antes de su uso como biofertilizantes, a fin de reducir el riesgo de contaminación y proteger la salud de las personas (López & Santos, 2012).

Por su parte López (2003) menciona que es crucial tener un manejo adecuado de los lixiviados en un biodigestor para evitar cualquier impacto ambiental negativo. Los lixiviados presentan un alto riesgo de contaminar las fuentes de agua cercanas. Además, los gases que se emiten del biodigestor, como el metano ( $\text{CH}_4$ ) y el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), contribuyen al efecto invernadero. Por esta razón, es importante evitar la fuga de lixiviados en el biodigestor, ya que esto puede afectar la generación de biogás y prolongar el tiempo necesario para la fermentación. Los gases producidos por los lixiviados son beneficiosos para las bacterias metanogénicas que contribuyen a la producción de biogás.

Es esencial evitar la fuga del lixiviado en el biodigestor, ya que este líquido contribuye significativamente a la producción de biogás y acelera el proceso fermentativo. Los ácidos generados en el proceso que se escapan con el lixiviado pueden ser aprovechados por las bacterias metanogénicas, las cuales son responsables de la producción de biogás. Para acelerar la fermentación, se recomienda mantener el lixiviado dentro del biodigestor o enviarlo de manera controlada a otros contenedores para su posterior tratamiento. De esta manera, también se reduce el efecto contaminante del lixiviado (López, 2003).

Los lixiviados, se producen mediante el siguiente proceso:

- Fase I: la descomposición de la materia orgánica ocurre cuando las bacterias se desarrollan en condiciones anaeróbicas o en ambientes herméticos (López, 2003).

- Fase II, de transición: Cuando se establecen condiciones anaeróbicas, los nitratos y sulfatos presentes se convierten en gas nitrógeno y sulfuro de hidrógeno, respectivamente. Al mismo tiempo, los ácidos grasos volátiles (AGV) y la producción de CO<sub>2</sub> provocan una disminución del valor de pH en el lixiviado (López, 2003).
- Fase III, o fase ácida: Durante esta etapa, la actividad microbiana se acelera y se produce una gran cantidad de ácidos grasos volátiles (AGV), así como de dióxido de carbono. El pH del ambiente es el más bajo en este punto, lo que provoca la generación de gases de hidrógeno y aumenta la demanda bioquímica y química de oxígeno (López, 2003).
- Fase IV: En esta fase, un grupo específico de microorganismos conocidos como metanógenos convierten el ácido acético y el gas de hidrógeno en dióxido de carbono y metano, siendo este último el gas predominante. Durante este proceso, el pH del ambiente alcanza valores neutros en un rango de 6,8 a 8,0. Además, se produce una reducción en las concentraciones de DBO y DQO, así como de metales pesados (López, 2003).
- Fase V: también conocida como la fase de maduración, en este punto se empiezan a observar pequeñas cantidades de oxígeno y nitrógeno (López, 2003).

## 2.6 Generación del biogás

Uno de los métodos más factibles para la generación de biogás es la digestión anaerobia, donde los microorganismos están sometidos a la ausencia de oxígeno. El mecanismo más usado, es el tanque cerrado denotado como biodigestor. No obstante, la calidad y cantidad de biogás dependerá de la materia orgánica ingresada al biodigestor (FAO, 2011).

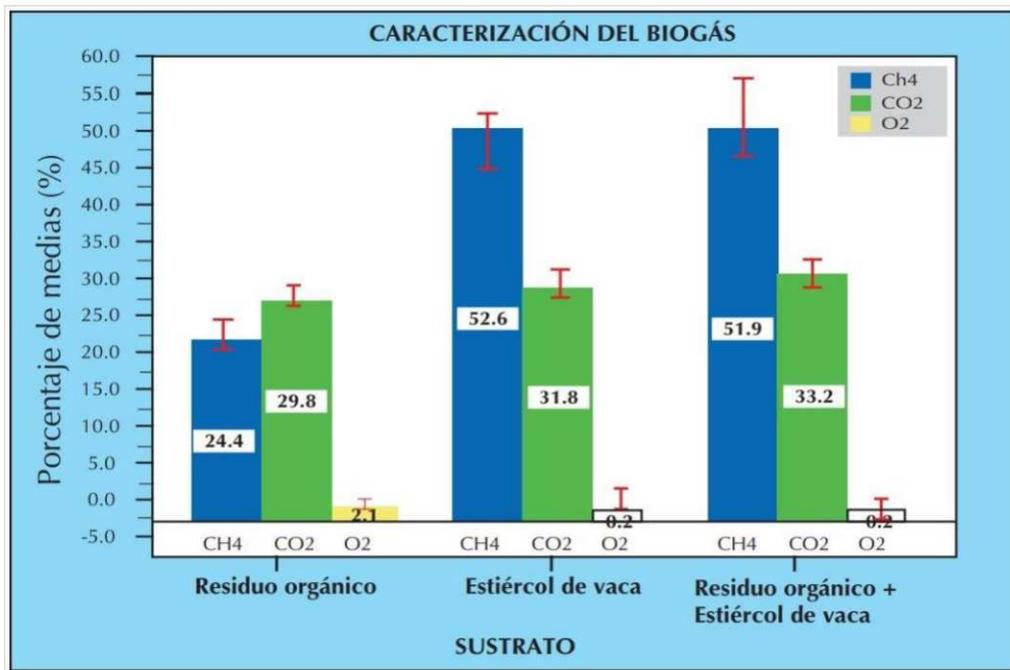
### 2.6.1 Composición del biogás

El biogás es una mezcla de metano (CH<sub>4</sub>) de 40 a 70%, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y otros gases (hidrogeno, sulfuros) el mismo se genera a partir de la acción de los microorganismos presentes en los desperdicios descompuestos dentro del relleno sanitario en donde no hay presencia de oxígeno. Por el contrario, la Dirección de Sustentabilidad, Medio Ambiente y Cambio Climático (s.f.) indica que el porcentaje de proporción de metano oscila de 50% a 70%. Por otro lado, FAO (2011) menciona que un biogás es combustible si la composición de metano es superior a 45%.

*Tabla 6. Componentes del biogás.  
Fuente: (Nogués & Herrer, 2002)*

<b>COMPOSICIÓN MEDIA DEL BIOGÁS Y PODER CALORÍFICO INFERIOR DE SUS COMPONENTES (15,55 °C y 1 atm):</b>		
CH <sub>4</sub>	60-80%	8.145 kcal/m <sup>3</sup>
CO <sub>2</sub>	20-40%	-
H <sub>2</sub>	1-3%	2.441 kcal/m <sup>3</sup>
O <sub>2</sub>	0,1-1%	-
CO	0-0,1%	2.868 kcal/m <sup>3</sup>
N <sub>2</sub>	0,5-3%	-
SH <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub>	0,5-1%	5.552 kcal/m <sup>3</sup> (SH <sub>2</sub> )
H <sub>2</sub> O	Variable	-

En cuanto a la composición del biogás Corona (2007) menciona que tiene una alta proporción de metano, un gas combustible que puede ser usado de muchas formas, es importante mencionar que el biogás se presenta en mayor cantidad en las zonas rurales, puesto que las actividades agrícolas y pecuarias en las que los resultados son desechos de todo tipo de alimento, estiércol de animales y demás residuos orgánicos pueden ser convertidos en energía.



*Figura 7: Comparación de los sustratos respecto a la composición.  
Fuente: (Cárdenas, Quipezco, & Meza, 2013)*

Es importante mencionar que la generación de biogás en el biodigestor es a corto plazo, así mismo el proceso de digestión de la materia orgánica. Por tanto, la temperatura es un factor influyente sobre la velocidad de generación de biogás en los biodigestores, hay 3 intervalos de temperatura en los cuales están los siguientes: a temperaturas superiores a 35°C mayor es la velocidad de fermentación por la fase termofílico, entre 15°C y 35°C corresponde al mesofílico y la velocidad de fermentación es menor a la termofílica, finalmente, entre 0°C y 15°C concierne al psicofílico donde la velocidad de fermentación es lenta, además mientras haya un mayor tiempo de retención de la materia biodegradable al interior de un biodigestor, se obtendrá un alto contenido de metano y por ende el poder calorífico del biogás (López, 2003).

## **2.6.2 Transformación de residuos en biogás**

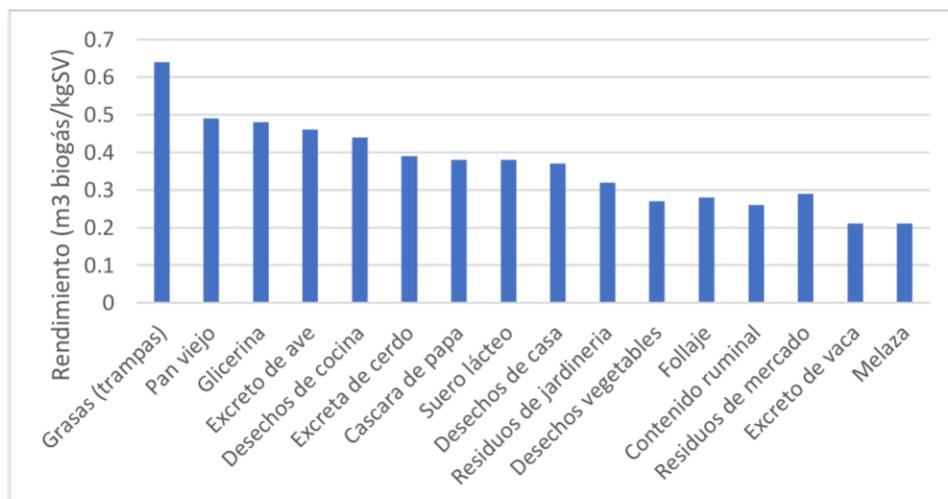
Las bacterias generadas en el interior del biodigestor requieren de un ambiente propicio para multiplicarse hasta alcanzar una buena población. Asimismo, deben contar con la ausencia de oxígeno que le permita cumplir su condición anaeróbica, teniendo los

siguientes beneficios: el gas puede ser usado como energía o fertilizante con un alto contenido de nutrientes (López, 2001).

La biodigestión en un biodigestor involucra diferentes tipos de enzimas que desempeñan un papel fundamental. Las enzimas hidrolíticas, como proteasas, lipasas y amilasas, degradan polímeros orgánicos complejos en moléculas más simples, mientras que las enzimas sacarolíticas, como celulasas, xilanasas y pectinasas, hidrolizan carbohidratos complejos. Las enzimas metanogénicas generan metano, mientras que las acidogénicas y acetogénicas producen ácidos orgánicos y acetato, respectivamente. Cada tipo de enzima es importante en la biodigestión, y su presencia puede variar según el tipo de residuo orgánico y las condiciones ambientales en el biodigestor (FAO, 2011).

### 2.6.3 Rendimiento y producción de biogás según la materia orgánica

La siguiente gráfica de barras ilustra el rendimiento y la producción de biogás a partir de diferentes tipos de materia orgánica. El gráfico muestra claramente las diferencias en la cantidad de biogás producido por cada tipo de sustrato, lo que es importante para comprender cómo podemos maximizar la eficiencia de los procesos de digestión anaerobia.



**Figura 8: Rendimiento de biogás a partir de los sustratos orgánicos.**  
*Fuente: (Nogués & Herrer, 2002)*

Cabe recalcar que existe una comparación lógica entre la producción de biogás generado, el estiércol de animal y los desechos orgánicos comunes, debido al aspecto o estado de los residuos, es decir, el estiércol genera biogás de una manera más rápida que los residuos orgánicos según (Nogués & Herrer, 2002).

#### **2.6.4 Ventajas del biogás**

La utilización del biogás presenta una serie de ventajas, entre las que destaca el aprovechamiento de residuos orgánicos para generar combustible limpio y renovable, lo que ayuda a reducir la contaminación ambiental. Además, su uso contribuye a disminuir la dependencia de combustibles fósiles y, por ende, reduce las emisiones de gases de efecto invernadero.

El biogás puede ser utilizado como fuente de energía para cocinar, generar electricidad, calefacción y como abono para la agricultura, entre otros usos, lo que representa una alternativa sostenible y eficiente en términos económicos y ambientales (Dirección de Sustentabilidad, Medio Ambiente y Cambio Climático, s.f.).

Una de las principales ventajas del biogás es que brinda una solución ecológica para la eliminación de residuos sólidos generados por humanos y animales, lo que contribuye a reducir la contaminación ambiental. Además, la construcción de plantas de biogás resulta ser una opción económica y el mantenimiento de las mismas no requiere de personal altamente capacitado (Dirección de Sustentabilidad, Medio Ambiente y Cambio Climático, s.f.).

#### **2.6.5 Desventajas del biogás**

Se requiere de grandes cantidades de desechos sólidos orgánicos para obtener biogás, a su vez que en los climas fríos y húmedos la producción de biogás es afectado por las bajas temperaturas (Llumipanta, Ramos, & Saltos, 2021).

El biogás tiene características similares al gas natural licuado, el poder calorífico interno (PCI) del gas natural licuado fluctúa entre 8,2 y 11,1 kWh/Nm<sup>3</sup>, el del biogás se encuentra entre 4,5 y 7 kWh/Nm<sup>3</sup>, dependiendo del contenido de metano (Arrieta, 2016). Por ejemplo, un biogás que contenga un 60% de metano tendría un PCI de alrededor de 5500 kcal/Nm<sup>3</sup> o 6,4 kWh/Nm<sup>3</sup> (Arrieta, 2016), por lo tanto, de encontrarse un biogás con un porcentaje mayor al 60% de metano se tendrá como resultado un PCI superior al del gas natural licuado.

*Tabla 7. Comparación de propiedades entre el biogás frente a otros gases.  
Fuente: (Benardi, 2021).*

<b>Energías equivalentes (valor energético) de biogás vs otras fuentes</b>					
<b>Valores</b>	<b>Biogás</b>	<b>Gas natural</b>	<b>Gas propano</b>	<b>Gas metano</b>	<b>Hidrógeno</b>
<b>Valor calorífico (kWh/m3)</b>	7.0	10	26	10	3
<b>Densidad (kg/m3N)</b>	1.08	0.7	2.01	0.72	0.09
<b>Densidad respecto al aire</b>	0.81	0.54	1.51	0.55	0.07
<b>Límite de explosión (% de gas en el aire)</b>	6-12	5-15	2-10	5-15	4-80
<b>Temperatura de encendido (°C)</b>	687	650	470	650	585
<b>Máxima velocidad de encendido en el aire (m/s)</b>	0.31	0.39	0.42	0.47	0.43
<b>Requerimiento teórico de aire (m3/m3)</b>	6.6	9.5	23.9	9.5	2.4

## **2.7 Aprovechamiento del gas producido en el biodigestor**

El biogás tiene la capacidad de abrir campo a un sinnúmero de actividades, así como también, reemplazar a productos o sustancias que suelen ser complicados de gestionar, obtener e incluso llega a ser económicamente sustituible, por ejemplo puede ser un sucesor bastante eficiente del gas natural. En este sentido, el biogás cumple con las características necesarias para hacer funcionar medios de transporte, como es el caso de los autobuses (Arriols, 2018).



*Figura 9: Bus funcionando a partir de biogás.  
Fuente: (Transporte Inteligente, 2017)*

Por otro parte, sirve también para suministrar el servicio de calefacción y agua caliente, semejante a lo que realiza el gas natural, de la misma forma, el biogás puede ser aprovechado para generar energía eléctrica (Arriols, 2018).

Finalmente, el biogás posee otros aprovechamiento aunque no son derivados directamente del gas sino del producto que queda en el interior del contenedor hermético, es decir, cuando se realiza la digestión anaerobia el material orgánico degradado se convierte en un producto rico en nutrientes, producto por el cual se usa como abono y fertilizantes naturales (Arriols, 2018).

Cabe resaltar que durante el proceso de producción de biogás existen residuos sólidos que no son degradados por los microorganismos o bacterias para generar biogás. Por lo cual, estos restos orgánicos, pueden ser utilizados como compost para fertilizar suelos de cualquier tipo (Arriols, 2018). A continuación, se indica a partir de  $1\text{m}^3$  de biogás cual es el rendimiento para el uso de ciertas actividades.



**Figura 10: Uso del biogás para 1 m<sup>3</sup>.**

*Fuente: (Dirección de Sustentabilidad, Medio Ambiente y Cambio Climático, s.f.).*

Es importante además calcular el biogás; actualmente se cuenta con modelos empíricos los cuales son dependientes de las condiciones locales de las ciudades. Por otro lado están aquellos modelos que dan a conocer la fermentación mediante una secuencia de reacciones microbianas, desde el inicio de la degradación y posteriormente en las distintas etapas de la degradación anaerobia como: (hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis) (Aguilar & Ojeda, 2011).

## 2.8 Caracterización

Se menciona que la caracterización se utiliza a la hora de identificar y describir las características y propiedades de los residuos sólidos generados en un punto de generación que podría ser una comunidad, empresa, entre otros (Cantanhede, 2006). Entre los puntos que se miden durante la caracterización son:

- El peso o volumen, de la cantidad de residuos generados (Cantanhede, 2006).

- Del total de estos residuos sólidos, se determina la composición y porcentajes de los materiales, es decir separar por cartón, vidrio, papel, plástico, metales, textiles (Cantanhede, 2006).
- Además, se obtiene el Ph por otro lado, las propiedades físicas, densidad, humedad, abrasión y fricción (Cantanhede, 2006).
- También se determina la presencia de microorganismos y su descomposición (Cantanhede, 2006).
- La importancia de la caracterización es para llevar a cabo con una planificación practicas efectivas de gestión de residuos siendo el transporte, tratamiento, recolección y disposición final de los residuos sólidos (Cantanhede, 2006).

# CAPÍTULO 3. RECOLECCIÓN DE DATOS, MUESTREO Y ANÁLISIS DE LA GENERACIÓN DE RESIDUOS EN LOS BARES DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA.

## 3.1 Metodología aplicada.

### 3.1.1 Planificación

En la recolección, la planificación es el primer paso en la cogida de los residuos sólidos. Por lo tanto, se procede a identificar los lugares donde se generan los residuos y la frecuencia de recolección, en este caso la frecuencia es diaria y para la identificación (ver Figura 11) se colocó una identificación en cada punto de comida que se determinó en el capítulo 1.



*Figura 11: Identificación ejemplo: bar número 2 “Bioquímica y farmacia”.  
Fuente: Elaboración propia.*

### 3.1.2 Recolección de residuos sólidos

Después de la planificación se da paso a la recolección, la cual se efectuó de manera diaria por el lapso de ocho días seguidos en la zona de estudio establecida en el capítulo 1. Para ello se propone clasificar los residuos en dos categorías orgánico e inorgánico, para lo cual se utiliza envolturas o fundas de distinto color para diferenciarlos por ellos, la de color negra para los residuos inorgánicos y la de color celeste para los residuos orgánicos.



**Figura 12: Puntos de almacenamiento de Residuos Orgánicos e Inorgánicos en los bares de comida.**  
*Fuente: Elaboración propia.*

Para garantizar un correcto procedimiento a la hora de la recolección se tiene que realizar una capacitación al personal de los bares de la Institución, indicando la manera de separación de residuos en la fuente para luego almacenar en la funda de color negro o celeste dependiendo del tipo de residuo que se explicó anteriormente.

Durante la recolección de residuos sólidos, se logró la participación de los siete bares (ver tabla 13). En el presente estudio se llevó a cabo la actividad desde el 9 hasta el 16 de enero, de los cuales se consideró 7 días siendo desde el 10 hasta el 16 de enero para los cálculos matemáticos, puesto que el primer día correspondiente al 9 de enero se anula, ya que es el primer día de prueba (piloto) como establece la literatura en el capítulo 2.

Además, cabe recalcar que solamente el bar de comida de las carreras de derecho, periodismo, trabajo social, y el bar de comida de agronomía, veterinaria y durante la recolección de residuos sólidos su aporte fue esporádico.

**Tabla 8. Bares considerados para la recolección de residuos sólidos.**  
*Fuente: (Benardi, 2021).*

Cantidad	Bar por carreras
1.00	Bioquímica y farmacia
2.00	Medicina
3.00	Odontología

*Tabla 8. Bares considerados para la recolección de residuos sólidos (continuación).  
Fuente: (Benardi, 2021).*

Cantidad	Bar por carreras
4.00	Ingeniería Eléctrica, Civil, Ambiental, Industrial, Arquitectura
5.00	Agronomía, Veterinaria y Enfermería
6.00	Administración de empresas, Contabilidad, Marketing, Economía
7.00	Derecho, Periodismo, Trabajo social

### 3.2 Caracterización de los residuos solidos

#### 3.2.1 Cuantificación del peso en kg de residuos sólidos

Para llevar a cabo la caracterización de los residuos sólidos, se comienza por obtener la cantidad generada en cada punto de comida. Para ello, se pesó todas las bolsas de residuos generadas en la fuente, en cada uno de los bares (ver Figura 13). Dado que los residuos no se pueden pesar con una balanza de mano, se utilizó una balanza de plataforma, obteniendo los siguientes resultados (ver Tabla 9 y Tabla 10).



*Figura 13: Obtención del peso de los residuos inorgánico en el bar de Medicina y Odontología.  
Fuente: Elaboración propia.*

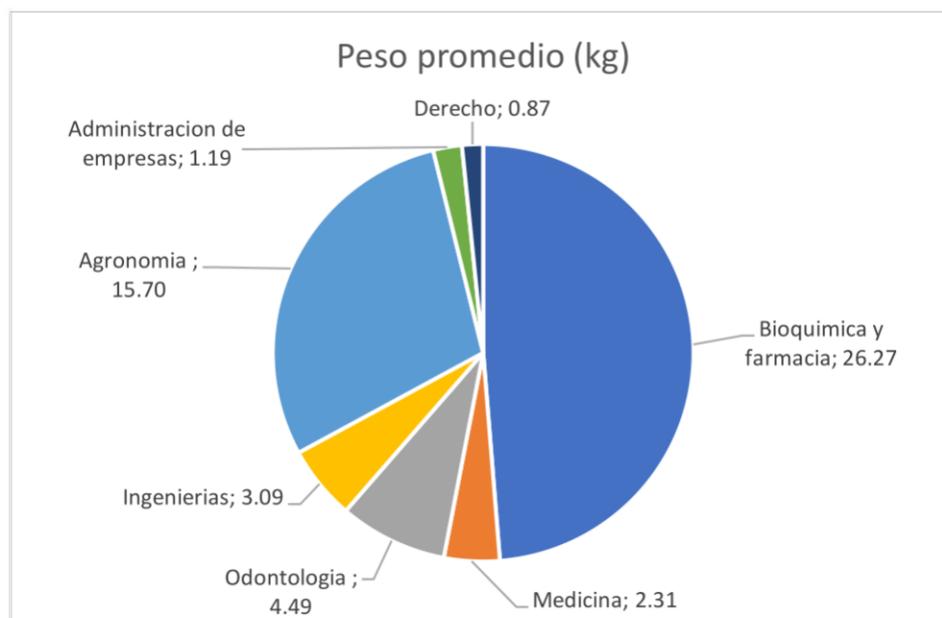
**Tabla 9. Pesos de residuos orgánicos de la semana del 9 al 18 de enero.**  
*\*El 9 de enero no se considera en el promedio por ser el día de prueba.*  
 Fuente: Elaboración propia.

Organico (kg)	*9/1/2023	10/1/2023	11/1/2023	12/1/2023	13/1/2023	14/1/2023	15/1/2023	16/1/2023	Sumatoria (Kg)	Promedio
Bioquímica y farmacia	27.40	35.40	43.40	37.40	41.50	-	-	26.20	183.90	26.27
Medicina	2.80	5.00	2.70	3.40	2.50	-	-	2.55	16.15	2.31
Odontología	-	4.30	5.00	6.50	7.20	-	-	8.40	31.40	4.49
Ingenierías	4.80	5.00	4.50	4.00	3.50	-	-	4.60	21.60	3.09
Agronomía	9.40	26.10	27.00	23.50	24.00	-	-	9.30	109.90	15.70
Administración de empresas	-	1.70	2.00	1.80	1.20	-	-	1.65	8.35	1.19
Derecho	-	-	2.10	1.50	1.40	-	-	1.10	6.10	0.87
Sumatoria	44.40	77.50	86.70	78.10	81.30	-	-	53.80	377.40	53.91

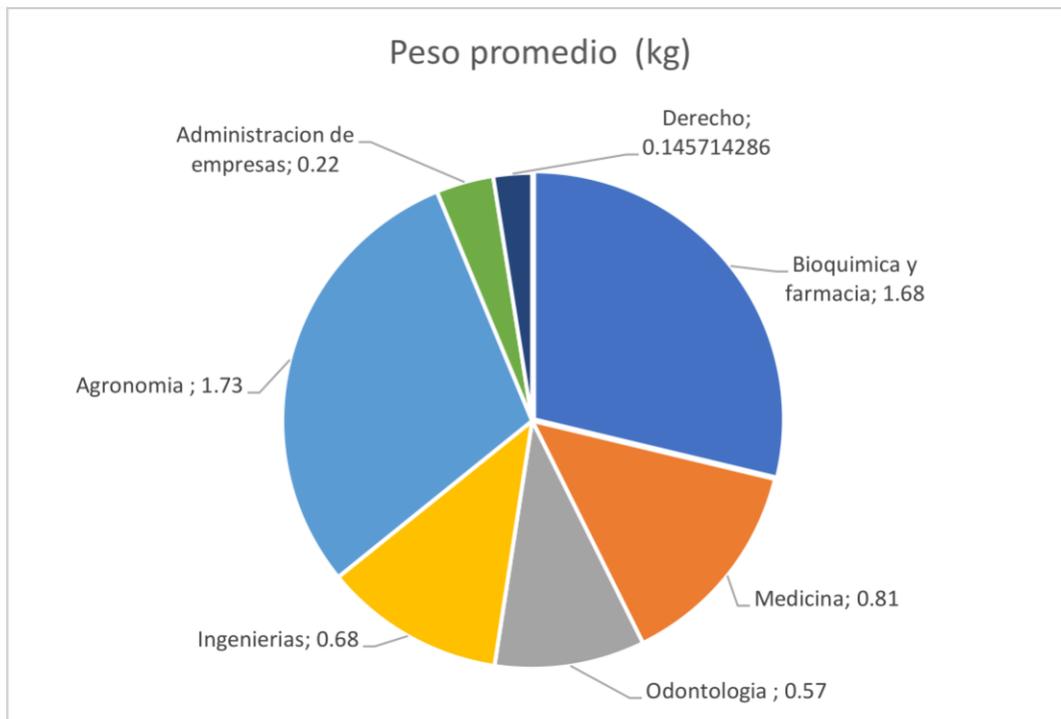
**Tabla 10. Pesos de residuos inorgánicos de la semana del 9 al 16 de enero.**  
*\*El 9 de enero no se considera en el promedio por ser el día de prueba.*  
 Fuente: Elaboración propia.

Inorganico	* 9/1/2023	10/1/2023	11/1/2023	12/1/2023	13/1/2023	14/1/2023	15/1/2023	16/1/2023	Sumatoria (kg)	Promedio (kg)
Bioquímica y farmacia	2.34	2.30	2.75	2.40	2.20	-	-	2.10	11.75	1.68
Medicina	1.00	0.85	1.20	1.10	1.30	-	-	1.23	5.68	0.81
Odontología	0.90	0.75	0.96	0.74	0.75	-	-	0.77	3.97	0.57
Ingenierías	0.95	0.80	1.20	0.92	0.94	-	-	0.93	4.79	0.68
Agronomía	2.50	2.35	2.47	2.35	2.38	-	-	2.55	12.10	1.73
Administración de empresas	-	0.25	0.30	0.43	0.26	-	-	0.28	1.52	0.22
Derecho	-	-	0.20	0.26	0.27	-	-	0.29	1.02	0.15
Sumatoria	7.69	7.30	9.08	8.20	8.10	-	-	8.15	40.83	5.83

Cabe destacar, que los datos de generación obtenidos durante el primer día de caracterización se descartan, ya que no se consideran seguros en cuanto a la producción diaria de residuos, pues probablemente se acumularon residuos de días pasados.



**Figura 14: Peso de los residuos orgánicos de los bares por carreras en promedio durante los 7 días.**  
 Fuente: Elaboración propia.



*Figura 15: Peso de los residuos inorgánicos de los bares en promedio durante los 7 días.  
Fuente: Elaboración propia.*

Se puede apreciar en la Figura 14 que la cantidad de residuos orgánicos tiene más relevancia en la facultad de bioquímica y farmacia, seguido de agronomía con valores que rondan entre 26.27 kg/semana y 15.70 kg/semana respectivamente. Por otro lado, los de menor valor son la facultad de Derecho y Odontología con resultados entre 0.87 kg/semana y 4.49 kg/semana, se estima que esta diferencia se debe a un menor número de estudiantes. De igual forma sucede en los pesos de la materia inorgánica ver Figura 15.

### **3.2.2 Cálculo del peso volumétrico de desechos orgánicos e inorgánicos.**

Luego de obtener los pesos de residuos orgánicos e inorgánicos se prosigue a calcular los pesos volumétricos de los desechos, es necesario conocer el volumen del recipiente a utilizar que en este caso, es un tanque de 55 galones.

**Tabla 11. Dimensiones del tanque.**  
*Fuente: Elaboración propia.*

<b>Tanque Metálico</b>	
<b>Diámetro (m)</b>	0.57
<b>h (m)</b>	0.85
<b>Peso tanque (kg)</b>	13.20
<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	0.26
<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>	0.22

Se utiliza como recipiente para medir el volumen al tanque metálico, en el cual se realiza varias mediciones para obtener el promedio de alturas como se observa en la tabla, para luego una vez que se obtiene el peso y el volumen del material se procede a conseguir el peso volumétrico por día, tanto para los residuos orgánicos como inorgánicos.

**Tabla 12. Residuos inorgánicos del día 1.**  
*\*El 9 de enero no se considera por ser el día de prueba.*  
*Fuente: Elaboración propia.*

<b>Tipo de residuo inorgánico</b>	<b>Día 1</b>							
	<b>Lunes, *9 de enero</b>							
	<b>kg</b>	<b>h1</b>	<b>h2</b>	<b>h3</b>	<b>h4</b>	<b>h promedio</b>	<b>Volumen</b>	<b>Peso volumétrico (kg/m<sup>3</sup>)</b>
<b>Peso total</b>	7.69	0.15	0.17	0.18	0.19	0.17	0.17	44.48

**Tabla 13. Total de Residuos orgánicos del miércoles, 11 de enero.**  
*Fuente: Elaboración propia.*

<b>Tipo de residuo orgánico</b>	<b>Día 3</b>							
	<b>Miércoles, 11 de enero</b>							
	<b>kg</b>	<b>h1</b>	<b>h2</b>	<b>h3</b>	<b>h4</b>	<b>h promedio</b>	<b>Volumen</b>	<b>Peso volumétrico (kgf/m<sup>3</sup>)</b>
<b>Peso total</b>	86.70	0.15	0.17	0.18	0.19	0.17	0.17	501.50

**Tabla 14: Pesos volumétricos del total de residuos orgánicos por día en cada uno de los bares de comida.**  
*\*El 9 de enero no se considera en el promedio por ser el día de prueba.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Semana del 9 al 18 de enero	Peso volumétrico orgánico (kg/m <sup>3</sup> )
<b>*9/1/2023</b>	322,76
<b>10/1/2023</b>	423,29
<b>11/1/2023</b>	501,50
<b>12/1/2023</b>	426,57
<b>13/1/2023</b>	470,26
<b>14/1/2023</b>	-
<b>15/1/2023</b>	-
<b>16/1/2023</b>	293,85
<b>Sumatoria</b>	2115,47
<b>Promedio</b>	<b>302,21</b>

**Tabla 15: Pesos volumétricos del total de residuos inorgánicos por día en cada uno de los bares de comida.**  
*\*El 9 de enero no se considera en el promedio por ser el día de prueba.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Semana del 9 al 18 de enero	Peso volumétrico inorgánicos(kgf/m <sup>3</sup> )
<b>*9/1/2023</b>	44,48
<b>10/1/2023</b>	39,87
<b>11/1/2023</b>	52,52
<b>12/1/2023</b>	44,79
<b>13/1/2023</b>	46,85
<b>14/1/2023</b>	-
<b>15/1/2023</b>	-
<b>16/1/2023</b>	44,51
<b>Sumatoria</b>	228,55
<b>Promedio</b>	<b>32,65</b>

Al tener estos resultados de las tablas se puede interpretar que en el día 11 de enero se presentan el dato con mayor relevancia, en los dos tipos de residuos orgánicos e inorgánicos, por lo tanto, el peso volumétrico es de 501.50 kg/m<sup>3</sup> mientras que en los

residuos inorgánicos da un resultado de  $52.52 \text{ kg/m}^3$  quedando a la vista que el día miércoles es el día pico en los bares de la Universidad Católica de Cuenca.

### **3.2.3 Cálculo de la generación per cápita de los residuos sólidos**

En el cálculo de la generación per cápita de los residuos sólidos se busca determinar la cantidad de kg/estudiante/día en los bares de comida, por lo que se hace referencia a la cantidad de alimentos que se utilizan o consumen por estudiante en un bar de comida en un día determinado.

Para ello una variable a tomar en cuenta en estos puntos de generación, es el número de estudiantes que acuden a cada bar de comida, entonces se describe la cantidad de alumnos vigentes en el tiempo que se realizó la recolección es decir en el periodo académico septiembre 2022 marzo-2023 en los 7 bares de comida de la siguiente manera:

1. El bar que pertenece a la carrera de Bioquímica y Farmacia, cuenta con un número de 474 estudiantes.
2. El bar que pertenece a la carrera de Medicina cuenta con un número de 1795 estudiantes.
3. El bar que pertenece a la carrera de Odontología cuenta con un número de 1315 estudiantes.
4. El bar que pertenece a la carrera de Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Civil, Ingeniería Ambiental y Arquitectura cuenta con un número de 936 estudiantes.
5. El bar que pertenece a la carrera de Agronomía, Veterinaria y Enfermería cuenta con un número de 1253 estudiantes.

6. El bar que pertenece a la carrera de Administración de empresas, Contabilidad, Marketing, Economía, Contabilidad, Marketing y Economía cuenta con un número de 636 estudiantes.

7. El bar que pertenece a la carrera de Derecho, Periodismo, Trabajo social, Periodismo y Trabajo social cuenta con un número de 1170 estudiantes. En el proceso de cálculo se consideró el peso de residuos por día, para el número de estudiantes por punto de comida. Posteriormente, se calculó el promedio de producción per cápita de bares de comida muestreados (anexo 1), para lo cual se utilizó la ecuación 1:

**Ecuación 1:** Fórmula de generación per cápita.

$$GPC = \frac{\text{kg peso recolectado}}{\text{Número de estudiantes que acuden al servicio del bar.}}$$

*Fuente: Elaboración propia.*

Dónde: GPC es la generación per cápita de residuos en (kg/estudiante/día).

A partir de la información proporcionada de la caracterización de los desechos orgánicos e inorgánicos que se realizó en el periodo de siete días, se obtuvo un per cápita promedio de 0.0112 kg/(estudiante \* día) de residuos orgánicos y en la materia inorgánica de 0.0010 kg/(estudiante \* día), como se puede observar en la tabla 14 y 15:

**Tabla 16. Producción per cápita de los residuos orgánicos e inorgánicos por carrera y promedio.**

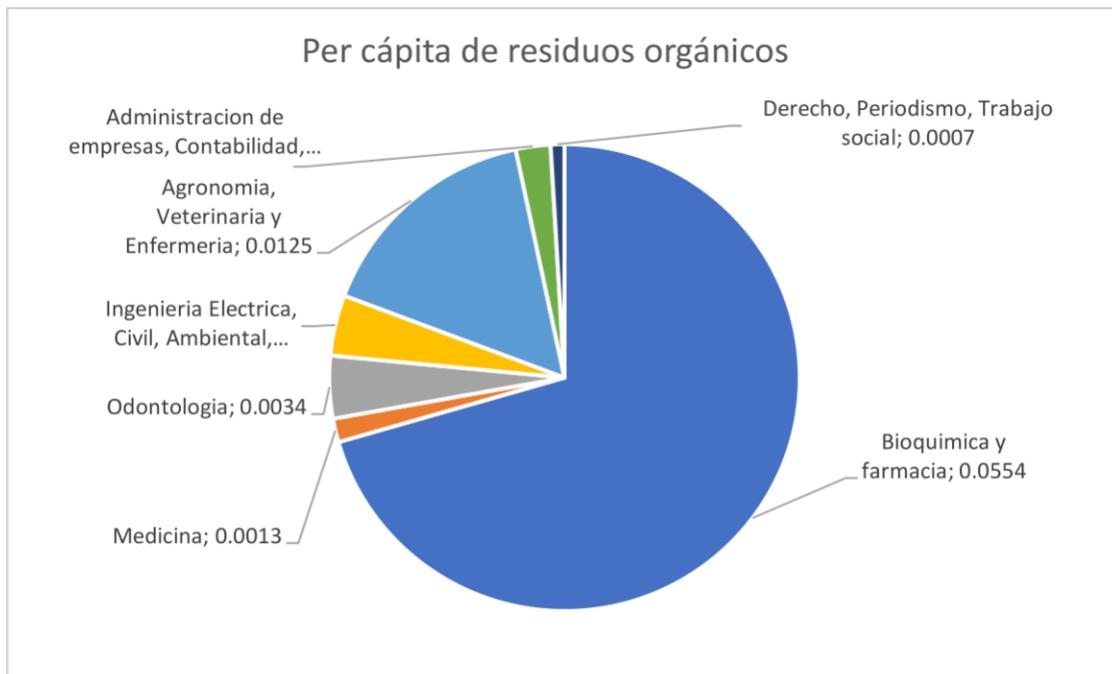
*Fuente: Elaboración propia.*

Carrera	Orgánico (Kg/estudiante) <sup>(1)</sup>	Inorgánico (Kg/estudiante) <sup>(1)</sup>
Bioquímica y farmacia	0,0554	0,0035
Medicina	0,0013	0,0005
Odontología	0,0034	0,0004
Ingeniería Eléctrica, Civil, Ambiental, Industrial, Arquitectura	0,0033	0,0007
Agronomía, Veterinaria y Enfermería	0,0125	0,0014
Administración de empresas, Contabilidad, Marketing, Economía	0,0019	0,0003
Derecho, Periodismo, Trabajo social	0,0007	0,0001
<b>Promedio</b>	<b>0,0112</b>	<b>0,0010</b>

**Tabla 17. Cálculo de generación per cápita de los residuos orgánicos e inorgánicos por carrera y promedio.**

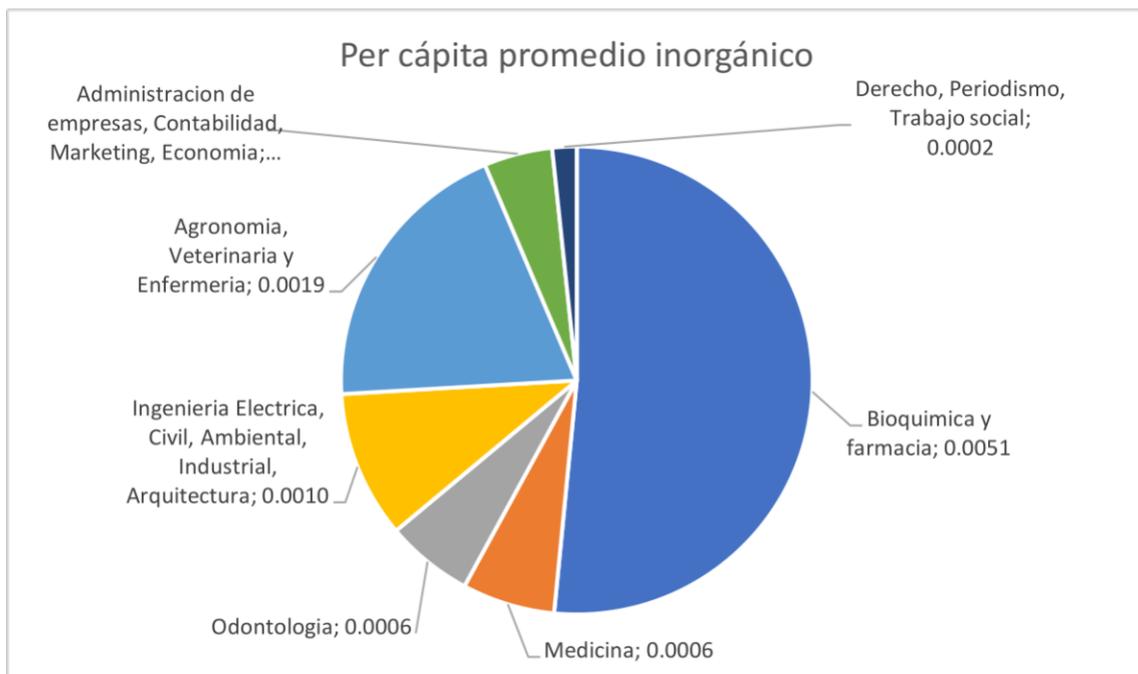
*Fuente: Elaboración propia.*

Semana del 9 al 18 de enero			*9/1/2023	10/1/2023	11/1/2023	12/1/2023	13/1/2023	14/1/2023	15/1/2023	16/1/2023	Total	Promedio	PPC											
			Kg		Kg		Kg		Kg		Kg		Kg		(Kg/estudiante) ^(1)									
Nº	Carreras	Estudian tes	Orgáni co	Inorgá nico	Orgáni co	Inorgán ico	Orgán ico	Inorgá nico	Orgán ico	Inorgá nico	Orga nico	Inorgá nico	Orgá nico	Inorgá nico	Orgán ico	Inorgá nico	Orgán ico	Inorgá nico	Orgánic o	Inorg ánico	Orgá nico	Inorg ánico	Orgáni co	Inorgán ico
1.00	Bioquímica y farmacia	474.00	27.40	2.34	35.40	2.30	43.40	2.75	37.40	2.40	41.50	2.20	0.00	0.00	0.00	0.00	26.20	2.10	183.90	11.75	26.27	1.68	0.0554	0.0035
2.00	Medicina	1795.00	2.80	1.00	5.00	0.85	2.70	1.20	3.40	1.10	2.50	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00	2.55	1.23	16.15	5.68	2.31	0.81	0.0013	0.0005
3.00	Odontología	1315.00	0.00	0.90	4.30	0.75	5.00	0.96	6.50	0.74	7.20	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	8.40	0.77	31.40	3.97	4.49	0.57	0.0034	0.0004
4.00	Ingeniería Eléctrica, Civil, Ambiental, Industrial, Arquitectura	936.00	4.80	0.95	5.00	0.80	4.50	1.20	4.00	0.92	3.50	0.94	0.00	0.00	0.00	0.00	4.60	0.93	21.60	4.79	3.09	0.68	0.0033	0.0007
5.00	Agronomía, Veterinaria y Enfermería	1253.00	9.40	2.50	26.10	2.35	27.00	2.47	23.50	2.35	24.00	2.38	0.00	0.00	0.00	0.00	9.30	2.55	109.90	12.10	15.70	1.73	0.0125	0.0014
6.00	Administración de empresas, Contabilidad, Marketing, Economía	636.00	0.00	0.00	1.70	0.25	2.00	0.30	1.80	0.43	1.20	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	1.65	0.28	8.35	1.52	1.19	0.22	0.0019	0.0003
7.00	Derecho, Periodismo, Trabajo social	1170.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.10	0.20	1.50	0.26	1.40	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	1.10	0.29	6.10	1.02	0.87	0.15	0.0007	0.0001



**Figura 16: Per cápita de los residuos orgánicos**  
Fuente: Elaboración propia.

En referencia a la cantidad de residuos de comida que se generan por estudiante en un día determinado estaría el per cápita de residuos orgánicos en el bar de comida, esta cifra indica que, en promedio cada alumno en este punto de comida genera o contribuye a generar 0.0554 kg de residuos de comida por día en material orgánico ver figura 16, este valor le pertenece a la carrera de bioquímica y farmacia.



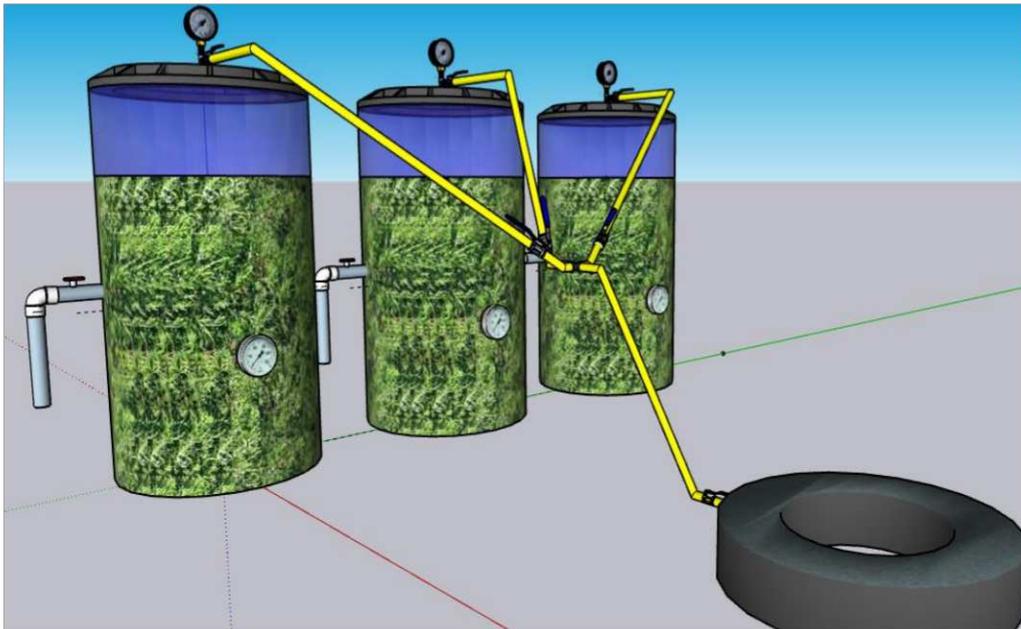
**Figura 17: Per cápita de los residuos inorgánicos**  
Fuente: Elaboración propia.

La siguiente imagen (Figura 17) muestra claramente que en la facultad de bioquímica y farmacia se genera una producción per cápita de 0.0051 kg/(estudiante \* día) de residuos inorgánicos. Se hace énfasis en esta carrera puesto que es representativa en su per cápita en comparación de las demás.

## CAPÍTULO 4. CONSTRUCCIÓN Y DESEMPEÑO DEL BIODIGESTOR.

### 4.1 Selección de biodigestor

La selección del biodigestor es crucial para lograr la efectividad esperada en el tratamiento de la materia orgánica y la obtención de biogás. Por lo tanto, para este proyecto, se ha elegido el tanque batch, el cual cumple con los parámetros de hermeticidad detallados en el capítulo 2.



*Figura 18: Modelamiento de los biodigestores.  
Fuente: Elaboración propia.*

### 4.2 Dimensionamiento del biodigestor

Para dimensionar correctamente el biodigestor, se realiza una estimación del peso mediante el promedio de 3 días de los residuos orgánicos que se generan en los bares de la Universidad Católica de Cuenca, con la finalidad de proporcionar reactores que tengan la capacidad de almacenar todo el material mediante el proceso de digestión anaerobia. A continuación se detalla la producción diaria y promedio de los 7 bares.

**Tabla 18. Peso diario de los residuos orgánicos que se producen en los bares por carrera y promedio.**  
*Fuente: Elaboración propia.*

Carreras	10/1/2023	11/1/2023	12/1/2023
	Kg	Kg	Kg
	Orgánico	Orgánico	Orgánico
Bioquímica y farmacia	35,40	43,40	37,4
Medicina	5,00	2,70	3,4
Odontología	4,30	5,00	6,5
Ingeniería Eléctrica, Civil, Ambiental, Industrial, Arquitectura	5,00	4,50	4
Agronomía, Veterinaria y Enfermería	26,10	27,00	23,5
Administración de empresas, Contabilidad, Marketing, Economía	1,70	2,00	1,8
Derecho, Periodismo, Trabajo social	0,00	2,10	1,5
<b>suma</b>	<b>77,50</b>	<b>86,70</b>	<b>78,10</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>80,77</b>		

De acuerdo a Herrero (2019), presenta la Tabla 4 del capítulo 2, en la cual detalla el tiempo de retención necesario para obtener biogás en función de la temperatura ambiente. En donde el Tr es el tiempo de retención, cabe resaltar que el tiempo sometido a estudio se encuentra a continuación:

**Tabla 19: Tiempo considerado de digestión anaerobia.**  
*Fuente: Elaboración propia.*

PROTOTIPO	FECHA INICIO	FECHA ACTUAL	TIEMPO TOTAL
P1	20/1/2023	21/3/2023	60
P2	20/1/2023	21/3/2023	60
P3	31/1/2023	21/3/2023	49

El tiempo de retención fue de 60 días, para evidenciar los resultados de la cantidad de biogás generado en los reactores, no obstante, se desarrolla una evaluación de la composición del biogás a los 48 días como se menciona en la tabla 22, con la finalidad de identificar si el porcentaje de metano es suficiente para la generación de energía.

Por otra parte se desarrolla a los 60 días una prueba cualitativa mediante la utilización de fósforo para comprobar la combustión del gas.

#### **4.2.1 Volumen en función del peso volumétrico de los residuos orgánicos**

Otro dato inicial para el dimensionamiento de los biodigestores es el peso volumétrico, para lo cual se considera según la Tabla 14 el valor de  $302.21 \text{ kg/m}^3$  correspondiente a los bares de comida. Se plantea llenar en dos días los tres tanques producto de la generación de grandes cantidades de materia orgánica diaria en los puntos de comida. Por otro parte, los resultados obtenidos indican que para los tres reactores anaeróbicos utilizados, el peso total de residuos recolectados en un periodo de almacenamiento de dos días fue de 161.54 kg. Asimismo, se registró que el volumen de residuo por tanque es de 47.069 galones.

Para el cálculo del volumen total del tanque, es importante tener en cuenta que se debe dejar un espacio libre del 20% al 25% del volumen total del reactor, el cual servirá como espacio de almacenamiento inicial de biogás en el tanque. En conclusión, el volumen total del tanque resultó de 56.483 galones.

Es necesario buscar tanques comerciales que tengan una capacidad aproximada de 56.483 galones, que es el volumen total del tanque obtenido. Cabe mencionar que se utilizan tanques de 55 galones, ya que son los disponibles comercialmente, como se muestra a continuación ver figura 19.



*Figura 19: Tanque comercial de 55gal.  
Fuente: Elaboración propia.*

### 4.3 Equipos y materiales para la construcción del biodigestor

Los equipos y materiales que se presentan a continuación han sido útiles para diversas actividades: recolección y almacenamiento de residuos orgánicos e inorgánicos, obtención del peso volumétrico, construcción de los reactores y control de biogás.

*Tabla 20: Materiales de construcción necesarios para el biodigestor.  
Fuente: Elaboración propia.*

EQUIPOS Y MATERIALES	Nº	DESCRIPCIÓN
Tanques de plástico de 55 gal	3	3 tanques que corresponden a los 3 biodigestores.
Tanque de lata de 55 gal	1	Tanque para obtención del peso volumétrico.
Tubo de PVC	1	Para sistema de desalojo de lixiviado.
Termómetro de máximo 120°C	3	Para controlar la temperatura interna del reactor.
Manómetro de máximo 15psi	4	Para controlar la presión que ejerce el biogás.
Conector T de acero de ¼"	4	Instalado para salida y control del biogás
Codo de 90°	6	Para el sistema de desalojo de lixiviado.
Teflón	1	Material adherente para evitar fugas de gas.
Válvula esférica de PVC	3	Permite el paso del lixiviado.
Balanza de mano	1	Peso de residuos orgánicos e inorgánicos.
Válvula de esfera de ¼"	7	Llave de paso para salida de biogás.
Pegatanke	4	Garantiza la hermeticidad en las uniones.
Taladro	1	Usado para hacer huecos en los tanques
Corta papel	1	Herramienta base para la construcción
Destornillador plano	1	Herramienta base para la construcción
Manguera para gas	1	Conductor de biogás.
Conector Cruz de acero	1	Permite 2 salidas de biogás.
Neplo de Plástico de ¼"	3	Está unida a la tapa del tanque y la T de ¼".
Arandela	3	Asegura la hermeticidad.
Abrazadera	17	Asegura la conexión por motivos de presión.
Tubo de llanta	2	Almacena el biogás.
Paquete de fundas plásticas color azul, verde y negra	5	Sirve para depositar los residuos.
Lana de vidrio de 1m x 0,50m	3	Aislante térmico.
Piola de poliéster negra	—	Usado para amarrar la lana de vidrio al tanque.

*Tabla 20: Materiales de construcción necesarios para el biodigestor (continuación).  
Fuente: Elaboración propia.*

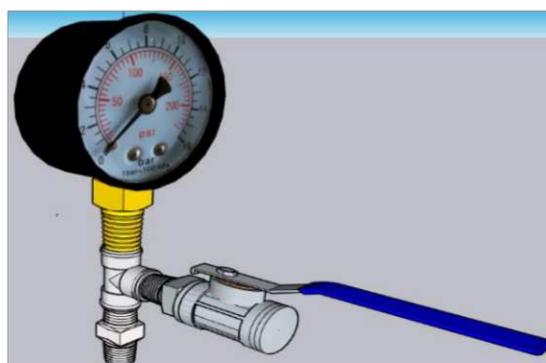
EQUIPOS Y MATERIALES	Nº	DESCRIPCIÓN
Metro para medir	1	Herramienta base para la construcción.
Llave Inglesa para tubo	1	Herramienta base para la construcción.
Llave Inglesa ajustable	1	Herramienta base para la construcción.
Saca rosca con tarraja	1	Herramienta que saca rosca en tubería de PVC
Equipo de seguridad	2	Para la manipulación de los residuos y la construcción.

#### 4.4 Construcción del biodigestor

La construcción de los biodigestores se divide en dos fases. La primera fase tiene como objetivo retener la materia biodegradable para generar biogás a través de la digestión anaerobia. Mientras que la segunda etapa consiste en instalar un sistema de almacenamiento que permita aprovechar el biogás generado, según la cantidad y calidad (ver figura 29).

##### 4.4.1 Primera fase

Luego de haber obtenido el dimensionamiento de los tanques según la producción diaria total de los 7 bares de la Institución, inicia el proceso de construcción de los biodigestores para lo cual se arma la parte superior de los reactores, que tiene como función retener el biogás y permitir la salida de la misma. También se instala un manómetro en la zona superior del reactor, para controlar la presión ejercida por el biogás.



*Figura 20: Detalles de las conexiones en la parte superior del tanque.  
Fuente: Elaboración propia.*

Se coloca un termómetro con un vástago de 6 cm de longitud cerca de la parte inferior del tanque con el fin de determinar la temperatura a la que se está degradando la materia orgánica, y así realizar un control de la misma.



*Figura 21: Colocación del termómetro bimetálico  
Fuente: Elaboración propia.*

Prosiguiendo con la construcción de los reactores anaeróbicos, el siguiente paso fue realizar un sistema de evacuación de lixiviado. Este sistema de tubería este acoplado a una llave de paso la cual permite la evacuación del lixiviado y posible lodo.



*Figura 22: Construcción del sistema de evacuación de lixiviado.  
Fuente: Elaboración propia.*

Para concluir la primera fase de construcción de los biodigestores, se comprueba las tapas correspondientes de cada reactor y su respectivo suncho. A continuación, se presenta la figura 23 que muestra la primera fase de construcción.



*Figura 23: Reactores en su primera fase.  
Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 24: Finalización de la primera fase de Construcción de los reactores anaeróbicos.  
Fuente: Elaboración propia.*

En la Figura 24 se puede observar que las paredes del reactor 3 están forradas con lana de vidrio para mantener una temperatura adecuada. Como se menciona en el capítulo 2, la implementación de aislantes térmicos en los biodigestores contribuye el proceso anaeróbico.

#### 4.4.2 Segunda Fase

La segunda fase, tiene como propósito realizar las conexiones entre biodigestores para su posterior evacuación del biogás. Los tres reactores anaeróbicos están conectados entre sí por medio de un sistema de mangueras unidas mediante un conector Cruz el cual se encarga de guiar el gas de los tres tanques hacia el mismo tubo de almacenamiento. Cabe resaltar que el tubo de llanta no tiene válvula por lo cual es necesario conectar a la manguera una llave de paso pequeña, la cual garantiza la retención del biogás al tubo.

A continuación, en las figuras se explica detalladamente las conexiones para guiar al biogás hacia el punto de almacenamiento y/o aprovechamiento.

Se muestra la conexión de la manguera mediante una válvula de diámetro  $\frac{1}{4}$  de pulgada con el manómetro ver figura 25 y 26.



*Figura 25: Conexión en el primer reactor.  
Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 26: Conexión en el segundo reactor  
Fuente: Elaboración propia.*

#### **4.5 Almacenamiento de materia orgánica en los reactores.**

En el caso de este proyecto los biodigestores se encuentran situados en la ciudad de Cuenca por lo cual el clima es un componente negativo respecto al tiempo necesario para la producción de biogás, a pesar de ello, este proyecto plantea analizar 3 reactores que están expuestas a una variación entre ellas, es decir, el primer tanque contiene una mezcla de materia orgánica generada por los 7 bares de la Universidad Católica de Cuenca; el segundo tanque de igual forma con una combinación de la materia biodegradable recolectada y de un contenido de materia orgánica sellada herméticamente durante 10 días, con el propósito de analizar si ayuda como acelerante en el proceso de obtención de biogás.

Finalmente, se cuenta con un tercer tanque que de igual forma contiene materia orgánica de los bares de comida ver figura 27. El reactor 3 ha sido forrado con lana de vidrio con el propósito de aislar térmicamente la temperatura baja de la zona en la que se encuentra el biodigestor, con el objetivo de generar una mayor concentración de calor en su interior.

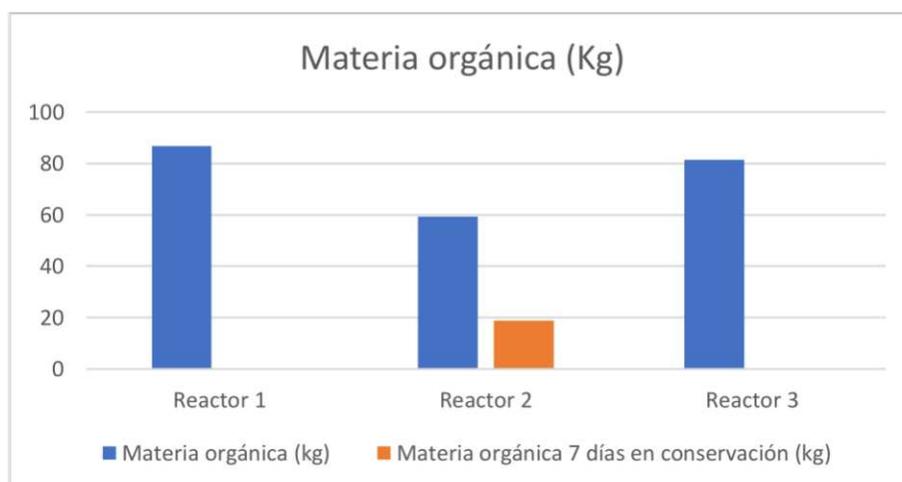


**Figura 27: Materia orgánica en el reactor 3.**  
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 21. Pesos orgánicos insertados en los biodigestores (Reactor).**  
Fuente: Elaboración propia.

	Materia orgánica (kg)	Materia orgánica 7 días en conservación (kg)	Total (kg)
<b>Reactor 1</b>	86.70	-	86.70
<b>Reactor 2</b>	59.34	18.76	78.10
<b>Reactor 3</b>	81.30	-	81.30

Se alimenta a los prototipos con los residuos orgánicos de los días 3, 4 y 5. Teniendo la cantidad suficiente para llenar cada reactor, por ende se hizo el llenado hasta un 80% en los tanques con la materia orgánica para así dejar un 20% libre de espacio para el correcto desarrollo del biogás en el interior del biodigestor, ver más detalles en el capítulo 2.



**Figura 28: Materia orgánica insertada en los biodigestores (Reactores).**  
Fuente: Elaboración propia.

En el caso del reactor 2 se alimentó de dos tipos de materia orgánica provenientes de los bares de comida, la una en estado fresco y la otra conservada durante 7 días dando un resultado de 78.10 kg, (ver tabla 21). El monitoreo del biogás se pudo hacer de manera individual debido a las llaves de paso que permiten analizar el gas por reactor así como también en conjunto. En el caso de la composición y la cantidad de biogás se desarrolló unificando los 3 reactores, debido a la poca cantidad de biogás, mientras que para la evaluación del ph, DBO, DQO y la prueba cualitativa con el fósforo se realizó de manera individual.



*Figura 29: Demostración del resultado final de la alimentación de los 3 biodigestores.  
Fuente: Elaboración propia*

De este modo, se pretende evaluar cuál de las tres propuestas es la más factible en cuanto a rendimiento y tiempo para la producción de biogás.

#### **4.6 Calidad del biogás**

##### **4.6.1 Composición del biogás**

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



*Figura 30: Muestras de biogás almacenadas en tubos.  
Fuente: Elaboración propia.*

Se utilizó el equipo BIOGAS 5000 para medir las concentraciones de los componentes principales del biogás, en especial el metano, dióxido de carbono. Este análisis es importante para determinar la calidad biogás producido.

*Tabla 22: Tiempo considerado para la evaluación de la composición.  
Fuente: Elaboración propia.*

PROTOTIPO	FECHA INICIO	Composición	TIEMPO (DÍAS)
TUBO GRANDE	20/1/2023	9/3/2023	48
TUBO PEQUEÑO	20/1/2023	9/3/2023	48

Para alcanzar el rendimiento óptimo y verificar la composición del biogás, es necesario mantener una temperatura promedio de 15°C. No obstante, para obtener resultados más precisos y confiables, se recomienda realizar análisis periódicos durante un tiempo prolongado, especialmente en los primeros días de operación del biodigestor. Esto permitirá asegurarse de que el proceso esté funcionando correctamente y realizar ajustes necesarios en caso de que se presenten problemas. Por lo tanto, se ha considerado realizar una inspección de la composición del biogás a los 48 días de operación.



**Figura 31: Resultado de la composición de la muestra del tubo grande.**  
*Fuente: Elaboración propia.*

Los porcentajes obtenidos de los componentes principales del biogás en el tubo grande muestran una composición de 0,2% de metano y 81,3% de dióxido de carbono en un volumen de 15962,22 cm<sup>3</sup> lo que significa una concentración de metano en el biogás relativamente baja mientras que la concentración de dióxido de carbono es alta.



**Figura 32: Resultado de la composición de la muestra del tubo pequeño.**  
*Fuente: Elaboración propia.*

Los resultados obtenidos de la muestra del tubo pequeño en cuanto a la composición del biogás presentan un porcentaje de 0.1% de metano y 78.1% de dióxido de carbono para un volumen de 8301.74 cm<sup>3</sup>.

Es importante considerar que un biogás con una baja concentración de metano puede ser menos útil como fuente de energía, ya que el metano es el componente principal que se quema para producir calor y energía. Además, la presencia de altas concentraciones de dióxido de carbono en el biogás afecta la calidad del biogás.



*Figura 33: Comprobación de la combustión del biogás.  
Fuente: Elaboración propia.*

Se realizó una prueba de encendido con fósforo a los 60 días para determinar la combustibilidad del biogás producido por los reactores anaeróbicos. El resultado fue negativo, ya que no se produjo un fuego. Esta actividad indica que el biogás producido por el biodigestor no es combustible, es decir, no contiene metano suficiente para producir fuego.

#### **4.6.2 Evaluación del pH**

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

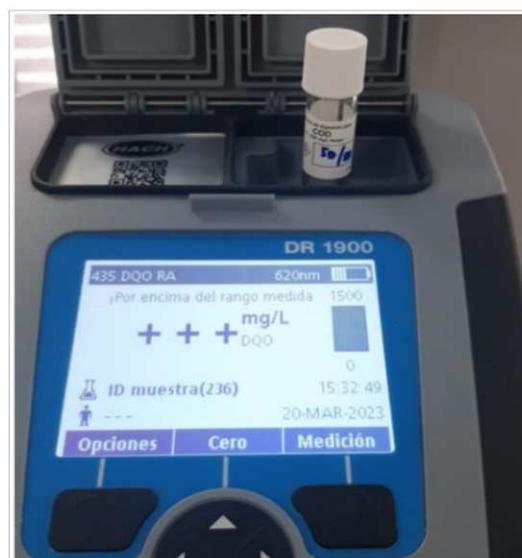


*Figura 34: Obtencion del Ph del reactor 1.  
Fuente: Elaboración propia.*

Los resultados obtenidos indican que el primer reactor presenta un pH de 5.78, mientras que el segundo presenta un pH de 5.40 y el tercer biodigestor presenta un pH de 5.10.

#### **4.6.3 DQO y DBO del lixiviado**

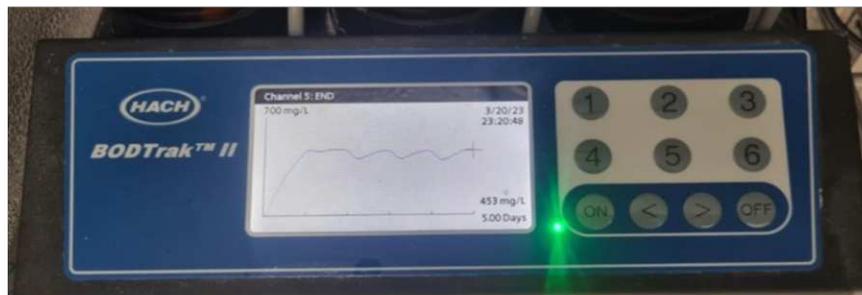
El equipo espectrofotómetro se limita a determinar valores de DQO hasta 1500 mg/L, dicho esto, se procede a conseguir el DQO en el lixiviado obteniéndose un valor de 1500 mg/L.



*Figura 35: Cantidad de DQO en mg/L  
Fuente: Elaboración propia.*

Además, se realizaron dos mediciones adicionales de DQO. En la segunda muestra se diluyó al 50 % de soluto y 50 % de disolvente, mientras que en la tercera medición con un 30% de soluto y 70 % de disolvente, sin embargo, en estas dos muestras se obtuvo un valor mayor a 1500 mg/L.

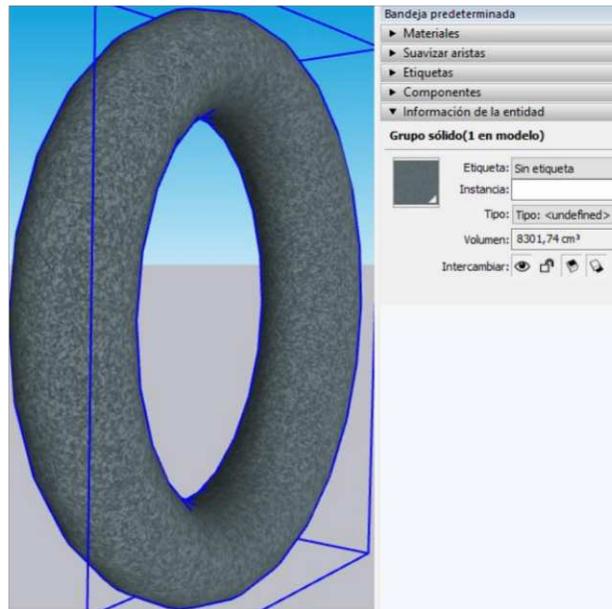
El valor de DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días) de 453 mg/L en la digestión anaerobia indica la cantidad de materia orgánica biodegradable presente en una muestra de lixiviado.



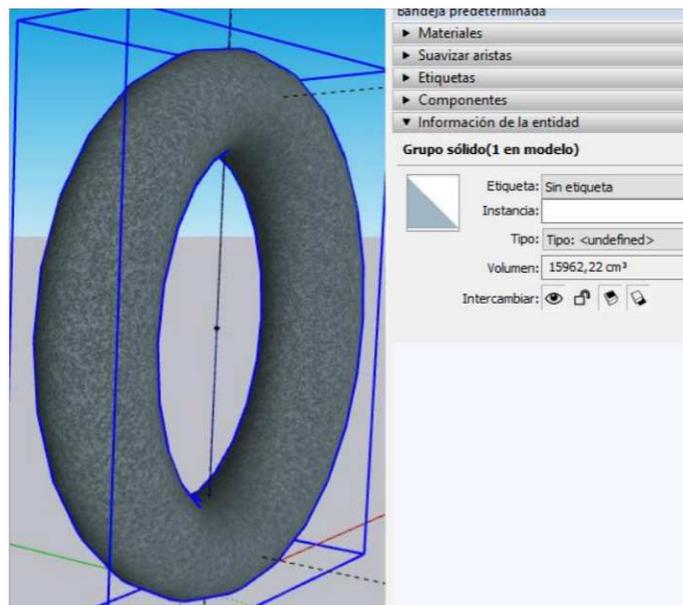
*Figura 36: Cantidad de DBO en mg/L  
Fuente: Elaboración propia.*

#### **4.6.4 Medición de cantidad de biogás**

Se llevó a cabo un almacenamiento de biogás generado en el biodigestor utilizando tubos de llanta. De esta manera, se pudo obtener el volumen total de biogás producido durante el proceso de digestión anaerobia. Los tubos de llanta se utilizaron como un método de almacenamiento temporal del biogás, permitiendo la medición y registro del volumen generado en diferentes momentos del proceso de digestión. Esta técnica de almacenamiento resultó eficaz y económica en comparación con otros métodos de almacenamiento de biogás.



**Figura 37: Volumen del tubo pequeño es 8301,74cm<sup>3</sup>**  
 Fuente: Elaboración propia.



**Figura 38: Volumen del tubo grande es de 15962,22cm<sup>3</sup>.**  
 Fuente: Elaboración propia.

El Volumen se pudo obtener mediante la toma de dimensiones de cada tubo para posteriormente ingresar las dimensiones en SketchUp y ver el resultado final por cada elemento, de tal forma que la cantidad total de biogás generado se muestra a continuación:

**Tabla 23: Volumen total de biogás generado.**  
 Fuente: Elaboración propia.

PROTOTIPO	TIEMPO (días)	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	CANTIDAD	VOLUMEN TOTAL (cm <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>
TUBO GRANDE	60	15962,22	3	47886,66	0,048
TUBO PEQUEÑO	60	8301,74	3	24905,22	0,025
				<b>TOTAL, EN 60 DIAS</b>	<b>0,073</b>

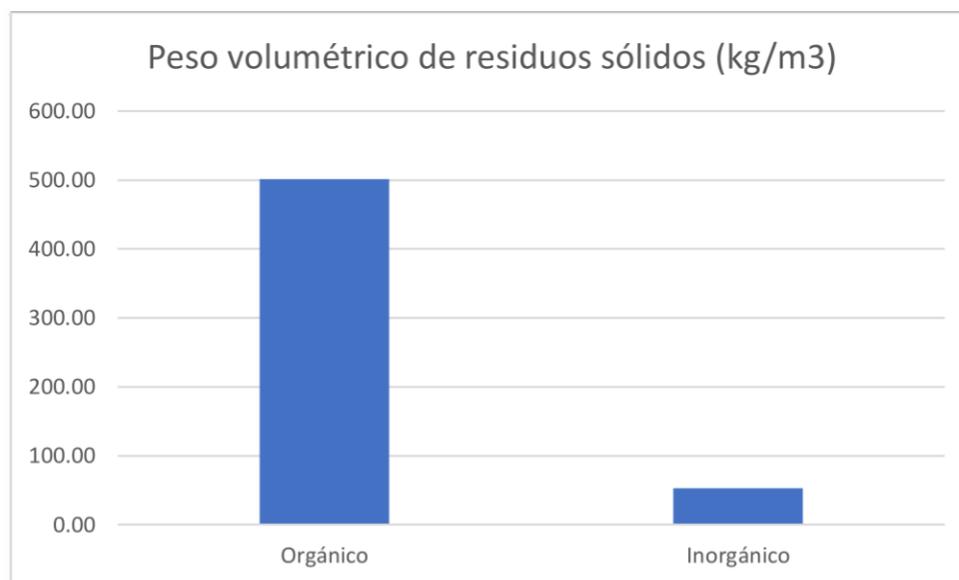
El volumen total que se obtuvo del tubo grande es 0,048m<sup>3</sup>, mientras que el tubo pequeño alcanzó una cantidad de 0,025m<sup>3</sup>. Cabe destacar que la cantidad total de 0,073m<sup>3</sup> se generó hasta los 60 días.

## CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

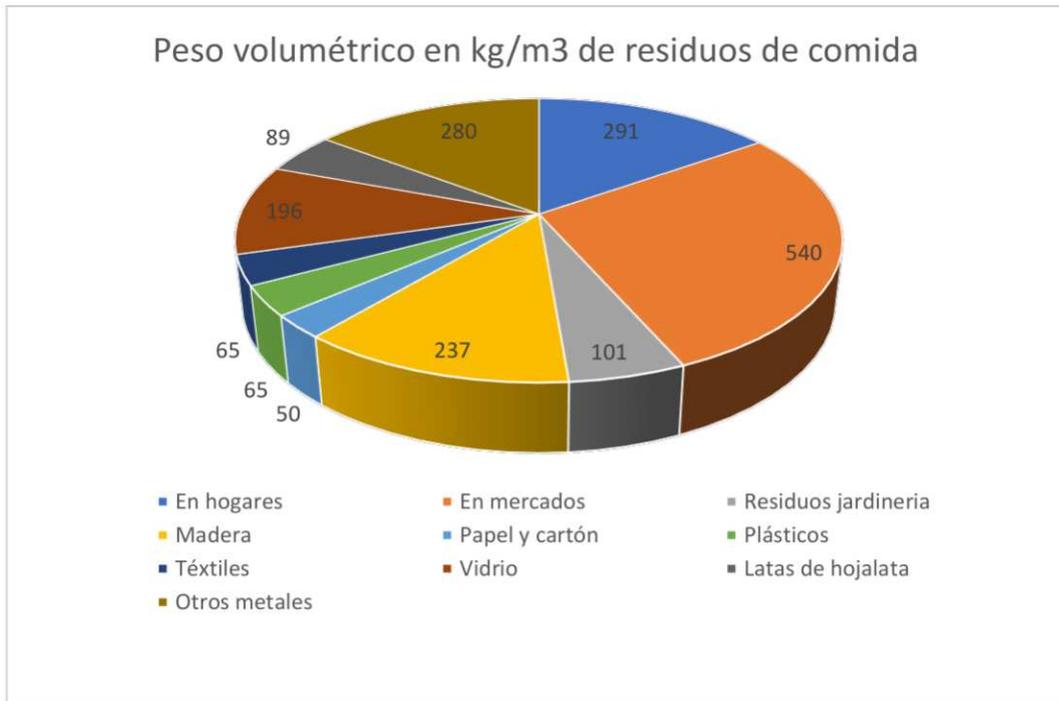
### 5.1 Realizar la caracterización de desechos biodegradables generados en el área de estudio y establecer la generación per-cápita de los residuos que produce cada estudiante de materia orgánica.

Durante el procedimiento de caracterización, se obtuvieron los pesos de los residuos biodegradables generados en los puntos de comida establecidos en el capítulo 1. La cantidad de residuos sólidos obtenida resultó ser representativa tanto en el bar de comida de Bioquímica & Farmacia como en el de Agronomía, se muestra los pesos obtenidos en el capítulo 4.

En general, el peso total promedio de residuos orgánicos oscila entre 0.87 kg y 26.27 kg, mientras que para los residuos inorgánicos el rango se encuentra entre 0.22 kg y 1.73 kg.



*Figura 39: Pesos volumétricos obtenidos de los residuos sólidos generados en los bares de comida.  
Fuente: Elaboración propia.*

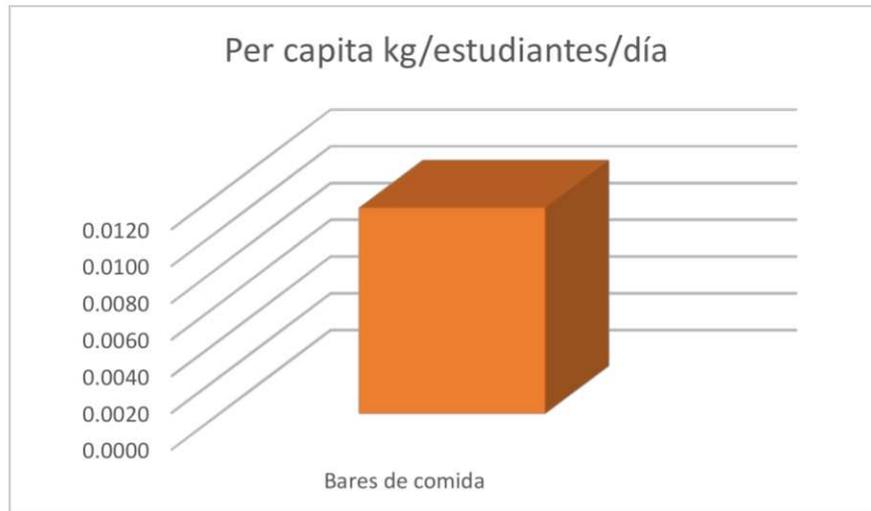


**Figura 40: Pesos volumétricos obtenidos en zonas urbanas de residuos de comida.**  
Fuente: (Ambientum, 2022).

Por otro lado, se determinó que los pesos volumétricos de la materia orgánica oscilan entre 293.85 kg/m<sup>3</sup> y 501.50 kg/m<sup>3</sup>, mientras que en los residuos inorgánicos varían entre 39.87 y 52.52 kg/m<sup>3</sup>. Esto contrasta con los valores presentados en la literatura citada en el capítulo 2, tabla 1 y figura 40, donde se indica un valor estándar de 540 kg/m<sup>3</sup> para la materia orgánica en mercados.

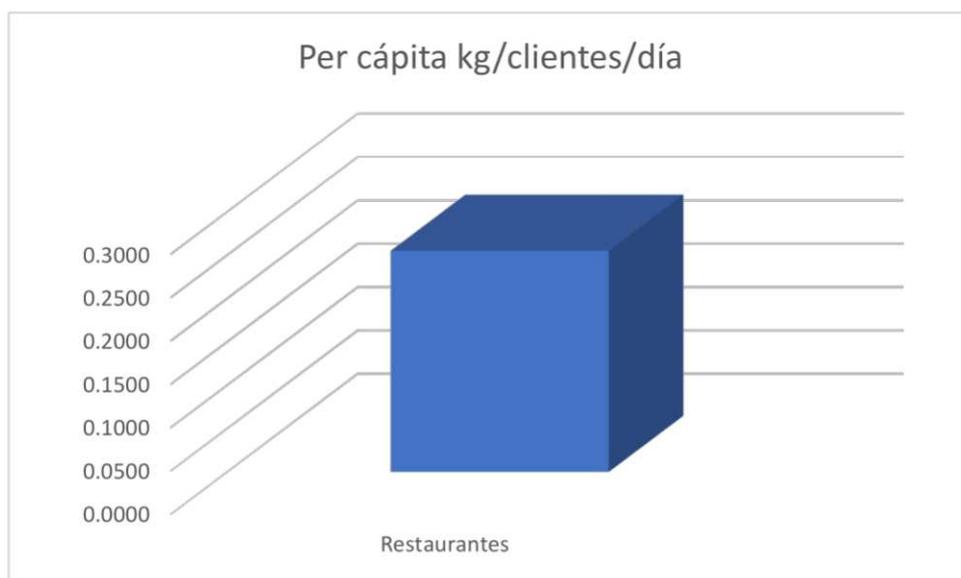
### 5.1.1 Generación per-cápita de los residuos sólidos.

En cuanto al muestreo de bares de comida realizado, se determinó que el valor promedio de generación per cápita fue de 0.0112 kg de residuos por estudiante por día ver figura 41 en la zona de estudio definida en el capítulo 1. Este valor contrasta significativamente con el valor promedio de 0.255 kg de residuos por cliente por día encontrado en la literatura en relación a los restaurantes ver figura 42. Esto pone de manifiesto la importancia de considerar que la generación per cápita de residuos puede variar notablemente dependiendo del tipo de establecimiento y de las actividades que se lleven a cabo en él.



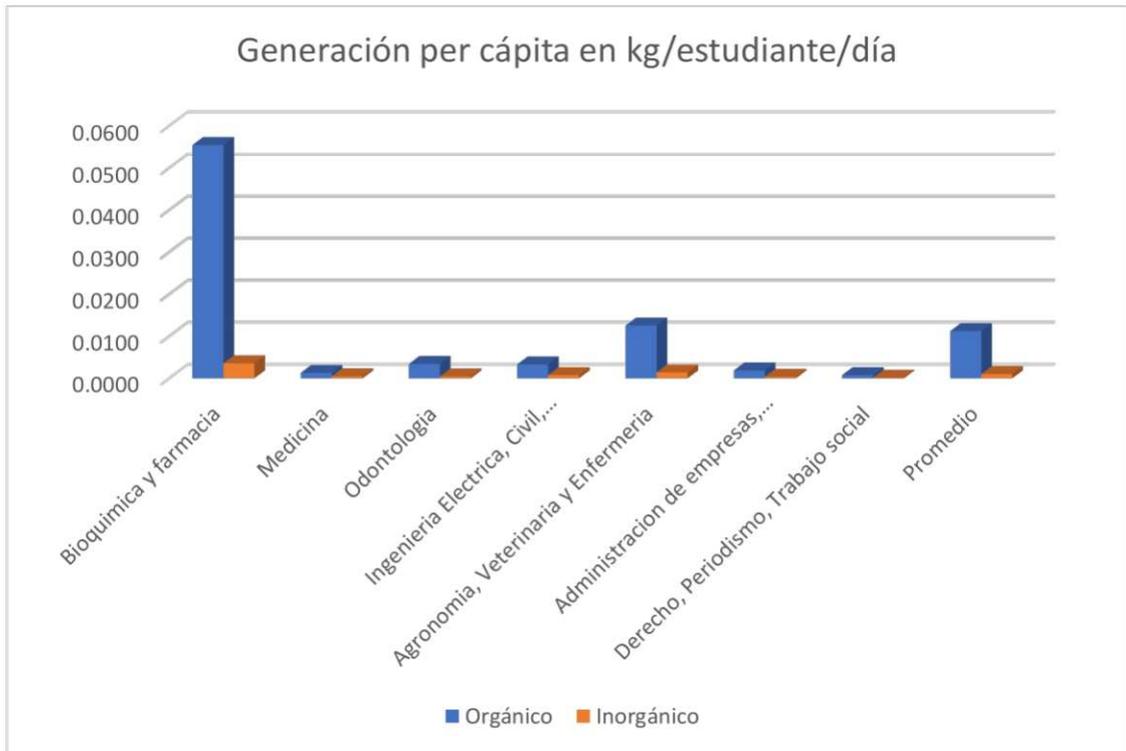
**Figura 41: Per cápita de la materia orgánica de los bares de comida.**  
**Fuente: Elaboración propia.**

En el caso de los restaurantes, la generación per cápita de residuos puede estar influenciada por el tipo de comida que se sirve, la cantidad de clientes que se atienden y la forma en que se manejan los residuos. En el caso de los bares de comida de las universidades, la generación per cápita de residuos puede estar influenciada por la cantidad de estudiantes y personal que utilizan las instalaciones, así como por las actividades académicas y de investigación que se realizan en ellas.



**Figura 42: Per cápita de la materia orgánica de los restaurantes.**  
**Fuente: (Carlos Ochoa, 2019).**

Además, cabe mencionar que la generación per cápita por carreras es la siguiente:



**Figura 43: Per cápita de la materia orgánica de los bares de comida.**  
*Fuente: Elaboración propia.*

Según los datos, se puede observar que la carrera con mayor generación de residuos es Bioquímica y Farmacia, con un valor de 0.0554 kg/estudiante por día. En segundo lugar, se encuentra Agronomía, con una generación de 0.0125 kg/estudiante por día. Además, se destaca que estas dos carreras son las que tienen la mayor relevancia en cuanto a la generación de residuos inorgánicos, a diferencia del resto de las carreras evaluadas ver figura 43.

## 5.2 Diseño del biodigestor de acuerdo a la cantidad de la materia orgánica generada en los bares de comida.

- Capacidad del tanque:** En primer lugar, se puede determinar que la capacidad requerida del tanque de biodigestión es de 56.48 galones, según el consumo promedio diario de 80.77 kg residuos orgánicos. Sin embargo, el tanque utilizado es de 55 galones, lo que significa que se está utilizando un tanque comercial que tiene una capacidad ligeramente inferior a la requerida. Es importante monitorear

la capacidad del tanque y asegurarse de que no se llene por encima del 80% de residuos, ya que esto puede afectar el rendimiento del biodigestor.

- **Peso volumétrico de los residuos:** El peso volumétrico de los residuos orgánicos utilizados para diseñar el biodigestor fue de 302.21 kg/m<sup>3</sup> consultar tabla 14 (capítulo 3). Este dato es importante para el diseño del sistema de alimentación del biodigestor, ya que debe estar diseñado para manejar la cantidad y densidad de los residuos orgánicos de manera adecuada.

### 5.3 Medición de la calidad de biogás.

De acuerdo al capítulo 2 para llegar a la etapa de Acidogénesis el pH debe estar en un rango de 5,5 a 6,5 según (FAO, 2011), mientras que el pH analizado del reactor 1 está en 5,78 por lo tanto se presume que se encuentra en esta etapa o en la hidrólisis.

Por otro lado, el metano en el biogás para que sea inflamable según (FAO, 2011) debe contener un porcentaje de 45%, en este estudio, en base al tiempo de retención de 48 días se logró obtener un porcentaje de 0.2%, por lo que se asume un biogás de mala calidad por lo tanto no puede ser aprovechado como energía.

#### 5.3.1 pH del lixiviado generado en los reactores

En el reactor 1 se obtuvo un pH de 5.78, mientras que en el 2 reactor dio un resultado de 5.40 y en el reactor 3 de 5.10. Estos valores de pH son indicativos de que el medio en los biodigestores es ligeramente ácido, por lo que se determina que la digestión para este tipo de pH se encuentra entre la etapa de la hidrolisis y acidogénesis.

#### 5.3.2 DBO del lixiviado

En la medición del DBO se obtuvo 453 mg/L, por tanto, esta cantidad puede ser una buena señal de la presencia de materia orgánica biodegradable para la producción de biogás en

la digestión anaerobia, pero también puede requerir una mayor atención al tratamiento y control del proceso para maximizar la producción de biogás.

### **5.3.3 DQO del lixiviado**

La muestra 3 del capítulo 4 arrojó un resultado mayor a 1500 mg/L de DQO, lo que indica una alta concentración de materia orgánica en la muestra. Esta alta concentración, demanda una gran cantidad de oxígeno para su oxidación.

## CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### 6.1 Conclusiones

- Se recolectó información de 7 bares de comida en una zona de estudio, utilizando una metodología específica. Los resultados indicaron que la generación per cápita promedio de residuos orgánicos fue de 0.0112 kg/estudiante/día, mientras que para los residuos inorgánicos fue de 0.0010 kg/estudiante/día. El peso volumétrico promedio de los residuos orgánicos fue de 302.21 kg/m<sup>3</sup> y para los inorgánicos fue de 32.65 kg/m<sup>3</sup>.
- En el dimensionamiento del biodigestor (reactor), se requiere un tanque con capacidad de 56.48 galones que para este estudio se adquirió 3 de estos reactores.
- 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. A su vez el pH se encuentra en un rango de 5.10 a 5.78, indicando estar entre una etapa de hidrolisis y acidogénesis.
- Durante el proceso de investigación se pudo evidenciar que los equipos instalados en los reactores anaeróbicos no reportaron datos, ya que por una parte el termómetro bimetálico no registró la temperatura interna de los tanques, mientras que el manómetro no marcó presiones generadas por el biogás. Sin embargo, se observó deformaciones en los reactores.
- El biogás producido en el biodigestor depende del material biodegradable utilizado. En el caso de este proyecto, los residuos orgánicos recolectados en los bares experimentaron un proceso de descomposición lento.

- Dado que el pH obtenido se encuentra en rangos menores a (6.6 - 7.6), el proceso de digestión anaerobia sufrió un retraso.

## 6.2 Recomendaciones

- Se recomienda prolongar el tiempo de retención, de preferencia superior a los 90 días según la tabla 3 de (Herrero, 2019), para alcanzar la etapa de metanogénesis. Es importante tener en cuenta que, a los 48 días, el proceso se encuentra en la etapa de hidrolisis.
- Para asegurarse de una concentración de calor adecuada en el interior del biodigestor y conseguir un biogás con alto contenido de metano en un periodo corto, se puede aplicar un método de aislamiento térmico. Este método implica la instalación de una capa de aislamiento térmico en las paredes del biodigestor, excepto lana de vidrio que como se puede evidenciar en el capítulo 4 no resulta, se podría utilizar poliestireno expandido, celulosa, entre otros.
- Para garantizar un registro de la temperatura y presión en los biodigestores, es necesario instalar un sistema electrónico. Este sistema permitirá monitorear de manera precisa la temperatura y presión en tiempo real.
- Se recomienda el uso de enzimas en biodigestores para mejorar la eficiencia de la biodigestión y la calidad del biogás producido, especialmente en la digestión de residuos orgánicos difíciles de degradar.
- Se recomienda trabajar en un proyecto integrador basado en la obtención de biogás a partir de la selección de materia orgánica que se descomponga en menor tiempo así como también un tiempo mínimo de estudio de 90 días, sin embargo,

el tiempo podrá prolongarse dependiendo de la condiciones del digestor y de los factores que intervienen en la digestión anaerobia.

- Es necesario considerar un biodigestor de 55 galones como una opción más económica que los biodigestores de globo o bolsa, aunque es importante evaluar la cantidad de materia orgánica y las necesidades energéticas para determinar su adecuación. Es crucial elegir el tamaño y tipo de biodigestor adecuado para un funcionamiento eficiente y satisfactorio, por lo que se recomienda una evaluación cuidadosa de las necesidades y recursos antes de comprar.

## REFERENCIAS

- Abel Solera, J. P. (Septiembre de 2015). AQUATOOL+ Manual de Usuario. *AQUATOOL+*. Valencia, España.
- Acción ecologica. (2011). *GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL CANTÓN CUENCA*. Obtenido de Basura cero: <https://www.accionecologica.org/gestion-integral-de-residuos-solidos-en-el-canton-cuenca/>
- Acosta, Y., & Obaya, M. (2005). *La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I*. Cuba: Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA).
- Acuerdo Ministerial No. 097-A. (30 de Julio de 2015). Criterios de calidad para aguas de consumo humano y uso doméstico. 10-14. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Agencia de Residuos de Cataluña. (2009). *Digestión anaerobia*. Obtenido de Gencat : [https://residus.gencat.cat/es/ambits\\_dactuacio/valoritzacio\\_reciclatge/instal\\_lacions\\_de\\_gestio/tractament\\_biologic/digestio\\_anaerobia/#:~:text=La%20digesti%C3%B3n%20anaer%C3%B3bica%2C%20tambi%C3%A9n%20llamada,constituido%20principalmente%20por%20metano%2](https://residus.gencat.cat/es/ambits_dactuacio/valoritzacio_reciclatge/instal_lacions_de_gestio/tractament_biologic/digestio_anaerobia/#:~:text=La%20digesti%C3%B3n%20anaer%C3%B3bica%2C%20tambi%C3%A9n%20llamada,constituido%20principalmente%20por%20metano%2)
- Aguilar, V., & Ojeda, P. (2011). *Potencial de producción eléctrica del biogás generado en un relleno sanitario*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/643/64322335007.pdf>
- Ambientum. (28 de Noviembre de 2022). *Características físicas de los residuos sólidos urbanos*. Obtenido de Ambientum Portal Líder Medioambiente: [https://www.ambientum.com/enciclopedia\\_medioambiental/suelos/caracteristicas\\_fisicas.asp](https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/suelos/caracteristicas_fisicas.asp)
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, A. W. (1992). *MÉTODOS NORMALIZADOS PARA EL ANÁLISIS DE AGUAS POTABLES Y RESIDUALES*. Madrid: Díaz de Santos.
- Aponte, B., Chuchuca, M., & Ochoa, D. (2018). *Obtención de un biogás por medio de un biodigestor casero, aprovechando los desechos orgánicos del mercado Buenos Aires en el último semestre 2017*. Machala: Universidad Técnica de Machala.
- Aqualimpia. (2017). *Aqua*. Obtenido de Fases de la digestión anaerobia: [https://www.aqualimpia.com/digestion-anaerobica/#:~:text=METANOGENESIS,H2\)%20y%20di%C3%B3xido%20de%20carbono](https://www.aqualimpia.com/digestion-anaerobica/#:~:text=METANOGENESIS,H2)%20y%20di%C3%B3xido%20de%20carbono).
- Arrieta, W. (2016). *Diseño de un Biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado*. Obtenido de Repositorio Universidad de Piura: <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/2575>

- Arriols, E. (2018). *Ecología Verde*. Obtenido de Qué es el biogás y sus usos: <https://www.ecologiaverde.com/que-es-el-biogas-y-sus-usos-1568.html>
- Benardi. (2021). *DIGESTIÓN ANAERÓBICA: OBTENCIÓN DE BIOGÁS*. UNLP Segunda edición. Obtenido de [https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/95628/mod\\_resource/content/1/Apunte%20sobre%20digesti%C3%B3n%20anaer%C3%B3bica%20y%20biog%C3%A1s%20\\_Edici%C3%B3n%202021\\_.pdf](https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/95628/mod_resource/content/1/Apunte%20sobre%20digesti%C3%B3n%20anaer%C3%B3bica%20y%20biog%C3%A1s%20_Edici%C3%B3n%202021_.pdf)
- Briseño, L. (2017). *Producción de biogás a través de la codigestión de residuos sólidos y semisólidos: hacia una planta centralizada de biogás para generación de energía*. México: Centro de investigación y desarrollo tecnológico en electroquímica.
- Bruno Tassin, D. R. (23 de Julio de 2015). Mathematical Submodels in Water Quality Systems. *Microbial decomposition*, 220. Recuperado el 18 de Agosto de 2022
- Bustamante, & Pérez. (2022). *Análisis de estrategias para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos en el cantón Cuenca*. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/38667>
- Cantanhede, A. (19 de 03 de 2006). *Revista Aidis*. Obtenido de Revista Aidis: <http://revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/13553>
- Cardaci, J., Lleras, L., & Pepa, R. (2009). *Incorporación de planta de biogás en un establecimiento porcino para autoabastecimiento de energía y bio fertilizantes. Establecimiento "Cerdos Pampa"*. Santa Rosa: Universidad Nacional de la Pampa.
- Cárdenas, J., Quipuzco, L., & Meza, V. (2013). *Calidad de biogas y biol obtenidos a partir residuos organicos domesticos pretratados con la tecnica del bocashi*. Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas. Obtenido de <https://link.gale.com/apps/doc/A371689756/IFME?u=googlescholar&sid=bookmark-IFME&xid=5c878388>
- Cardona, D. (2005). Construcción cultural del concepto calidad de vida. *Scielo*, 12.
- Carlos Ochoa, S. R. (2019). *Diseño de un sistema de almacenamiento y recolección de residuos sólidos para bares y restaurantes de una zona del centro histórico de la ciudad de Cuenca*. Cuenca.
- Chacón, V. (2022). *Gestión de Desechos Sólidos*. Cuenca: Universidad Católica de Cuenca.
- Chow, V. T. (1959). *Hidráulica de los canales abiertos*. Champaign: University of Illinois.

- Corona, I. (2007). *Biodigestores*. Obtenido de Repositorio Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo : <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/362/Biodigestores.pdf?sequence=1>
- De León Alicia, E. M. (2011). IMPLEMENTACION DE UN MODELO MATEMATICO PARA EVALUAR LA CALIDAD DE AGUA DEL RÍO PARANÁ DE LAS PALMAS. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente; vol. 15*, 55-62. Recuperado el 15 de Septiembre de 2022, de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/102662>
- Delfa, J. L. (2007). Estudio estadístico de la calidad de las aguas de la cuenca hidrográfica del río Ebro. Madrid, España.
- Departamento Comunicación Social y RRPP. (2022). *EMAC EP rinde cuentas sobre gestión realizada durante periodo 2021*. Obtenido de EMAC: <https://emac.gob.ec/emac-ep-rinde-cuentas-sobre-gestion-realizada-durante-periodo-2021-2/>
- Dirección de Sustentabilidad, Medio Ambiente y Cambio Climático. (s.f.). *Manual de biogás. Conceptos básicos. Beneficios de su producción y la aplicación de*. Obtenido de Plan de bioeconomía.: [https://www.gba.gob.ar/sites/default/files/agroindustria/docs/Manual\\_de\\_Biogas\\_01.pdf](https://www.gba.gob.ar/sites/default/files/agroindustria/docs/Manual_de_Biogas_01.pdf)
- EcoInventos Green technology. (2022). *Cómo hacer un biodigestor casero*. Obtenido de [energiacasera.wordpress.com](https://energiacasera.wordpress.com): <https://ecoinventos.com/biodigestor-casero/>
- EMAC EP. (AS de AS de 2015). *EMAC*. Obtenido de EMAC: AS
- FAO. (2011). *Manual de Biogás*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO): <https://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>
- Franklin Torres Bejarano, H. R.-L. (2015). Validación de un modelo hidrodinámico y calidad del agua para el Río Magdalena, en el tramo adyacente a Barranquilla, Colombia. *Scielo*, 7.
- García, T. (2019). *Caracterización de los residuos sólidos urbanos generados en la parroquia El Vecino del cantón Cuenca*. Obtenido de Repositorio Universidad Tecnológica SEK: <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/3334/1/Tesis%20RSU%20-%20Paola%20Garc%C3%ADa.pdf>
- Gonzales, J., & Villalobos, J. (2021). *Manejo ambiental de residuos orgánicos: Estado del Arte de la generación de compostaje a partir de residuos sólidos provenientes*

*de sistemas de trampa y aceite*. Obtenido de Revista Tecnología en Marcha:  
<https://revistas.tec.ac.cr/index.php/>

*Guía Técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a partir de metodologías de compostaje y lombricultura*. (2015). Obtenido de [https://www.uaesp.gov.co/images/Guia-UAESP\\_SR.pdf](https://www.uaesp.gov.co/images/Guia-UAESP_SR.pdf)

Herrera, J. (2016). Tasas de generación y caracterización de residuos sólidos ordinarios en cuatro municipios del área metropolitana Costa Rica. *UNA*, 15.

Herrero, M. (2019). *Biodigestores Tubulares: Guía de Diseño y Manual de Instalación*. Ecuador: Redbiolac.

Israel, C. M. (2017). Balance de materia para la modelación de la calidad. *Modelación de la calidad de agua en la microcuenca del río Tabacay perteneciente a la subcuenca del río Burgay*. Cuenca, Azuay, Ecuador.

JESSICA KARINA CARVAJAL MEJÍA, M. J. (Junio de 2019). DETERMINACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO PARA EL ESTUDIO DE LA CALIDAD DE AGUA DE LA ACEQUIA PUMAMAQUI. Quito, Pichincha, Ecuador.

Llumipanta, F., Ramos, S., & Saltos, S. (2021). *Sistema de producción de biogás, fundamento, técnicas de mejora*. Revista Agroindustrial Science. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8085155>

López. (2001). *Proyecto para la construcción de una planta generadora de Biogas a partir de desechos orgánicos*. Obtenido de Repositorio Universidad Autónoma de México: <http://132.248.9.195/pd2001/292574/292574.pdf>

López. (2003). *Biodigestión anaerobia de residuos sólidos urbanos; alternativa ambiental y económica*. Obtenido de Revista Tecura, 13 (1): 1-15: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/Tecura/article/download/6187/7711/0>

López. (2003). *Biodigestor anaerobia de residuos sólidos urbanos*. Obtenido de Revista U Distrital, 13 (1): 1-20: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/Tecura/article/view/6187/7711>

LÓPEZ, G. (2003). *Alternativa energética y fuente de trabajo*. Obtenido de BIODIGESTIÓN ANAEROBIA DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.: <file:///C:/Users/Pedro/Downloads/adminojs,+Articulo13-3.pdf>

López, M., & Santos, R. (2012). *Estudio preliminar del comportamiento de rellenos sanitarios como biodigestores a escala de laboratorio*. Obtenido de Revista Afinidad 558 (3): <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/268386/355955>

- Lorena Bracho Vargas, L. A. (18 de Noviembre de 2016). Definición del Qual2k. *Evaluación del software qual2k en fuentes receptoras de vertimientos de residuos líquidos en algunos puntos del río Cesar (Colombia) impactados por actividad minera*. Colombia.
- Maigua, N. (2019). *Educación Ambiental sobre Residuos Sólidos en la Educación Básica*. Obtenido de Repositorio Universidad San Francisco de Quito: <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/8544/1/143732.pdf>
- Melo. (2018). *PROBLEMÁTICA AMBIENTAL POR MAL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS EN EL MUNICIPIO DE GALAPA*. Barranquilla.
- Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica. (2020). *Manual de aprovechamiento de residuos orgánicos municipales*. Obtenido de Gobierno del Encuentro: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/07/MANUAL-DE-APROVECHAMIENTO-DE-RESIDUOS-ORGANICOS-MUNICIPAL.pdf>
- Ministerio del Ambiente y Agua del Ecuador. (2020). *Manual de aprovechamiento de residuos orgánicos municipales*. Obtenido de Gobierno del Encuentro: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/07/MANUAL-DE-APROVECHAMIENTO-DE-RESIDUOS-ORGANICOS-MUNICIPAL.pdf>
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (30 de Julio de 2020). *Gobierno del Encuentro*. Obtenido de Ecuador impulsa la gestión adecuada de residuos orgánicos en las ciudades: <https://www.ambiente.gob.ec/ecuador-impulsa-la-gestion-adecuada-de-residuos-organicos-en-las-ciudades/#:~:text=Ecuador%20impulsa%20la%20gesti%C3%B3n%20adecuada%20de%20residuos%20org%C3%A1nicos%20en%20las%20ciudades,-Ecuador%20impulsa%20la&text=Diariamente>
- Montoya, C. L. (2011). EFECTO DEL INCREMENTO EN LA TURBIEDAD DEL AGUA CRUDA SOBRE LA EFICIENCIA DE PROCESOS CONVENCIONALES DE POTABILIZACIÓN. *Revista EIA*, 137-148.
- Nogués, F., & Herrer, J. (Abril de 2002). *Fundación CIRCE*. Obtenido de CICLO ENERGÍAS RENOVABLES JORNADAS DE BIOMASA: [http://www.agenergia.org/wp-content/uploads/2018/05/1234281334\\_Gralidades\\_biomasa.pdf](http://www.agenergia.org/wp-content/uploads/2018/05/1234281334_Gralidades_biomasa.pdf)
- Ochoa, R., & Rivera, S. (2019). *Diseño de un sistema de almacenamiento y recolección de residuos sólidos para bares y restaurantes de una zona del centro histórico de la ciudad de Cuenca*. Cuenca.

- Olmedo, J., & Curillo, J. (2019). *Valoración de la producción de energía eléctrica a partir del biogás que se genera en el relleno sanitario Ceibales de la Ciudad de Machala*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Palau, C. (2017). *Digestión anaerobia de residuos de biomasa para la producción de biogas*. Obtenido de Repositorio Universidad Politécnica de Valencia : <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/68331/Palau%20-%20Digesti%3%b3n%20anaerobia%20de%20residuos%20de%20biomasa%20para%20la%20producci%3%b3n%20de%20biog%3%a1s.%20Fundamentos..pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Panesso , A., Mora , A., & Ordoñez , J. (2011). *ANÁLISIS DEL BIOGÁS CAPTADO EN UN RELLENO SANITARIO COMO COMBUSTIBLE*. Recuperado el 9 de octubre de 2020, de <https://www.redalyc.org/pdf/849/84921327006.pdf>
- Paredes, J. S. (2007). *Modelo GESCAL para la simulación de la calidad del agua de recursos hídricos. Manual de usuario. Versión 1.0"*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Parra, R. (2015). *Digestión anaeróbica: mecanismos biotecnológicos en el tratamiento de aguas residuales y su aplicación en la industria alimentaria\**. Tunja: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Peralta, M., & Serrano, P. (2020). *Co-digestión Anaerobia De Los Residuos De Alimentos Crudos Generados En Cafeterías De Instituciones Universitarias*. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana Escuela de Ingenierías .
- Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial-Sinincay. (2015). 1. Cuenca, Azuay, Ecuador.
- Plascencia, C. (2014). *Estudio de codigestión de residuos orgánicos agroindustriales para la producción y uso de biogás*. CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO EN ELECTROQUÍMICA.
- Quechulpa, Herrera, Guarneros, Terron, & Itehua. (2020). *ESTUDIO DE LA GENERACIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE BASURA ORGÁNICA, USANDO UN BIODIGESTOR DOMESTICO*. Instituto Tecnológico Superior de Zongolica. doi:DOI:10.19136/Jeeos.a4n1.3480
- Ramírez, C. A. (2011). *Calidad del Agua: Evaluación y diagnóstico*. Medellín: EDICIONES DE LA U.
- Ramírez, G. (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*. Manizales Colombia: UNIVERSIDAD DE

MANIZALES FACULTAD DE CIENCIAS CONTABLES, ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS.

- RCOA. (2019). *REGLAMENTO AL CODIGO ORGANICO DEL AMBIENTE*. Quito: Ministerio del ambiente.
- Rentería, F., & Agudelo, R. (2005). *Determinación de la emisión de sustancias tóxicas gaseosas en el relleno sanitario Curva de Rodas de la ciudad de Medellín*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Reyes, E. (2017). *Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos*. Medio ambiente, tecnología y desarrollo humano. Revista Científica de FAREM-Estelí.
- Rodriguez, M. (2013). Recursos para Agricultores Nitrato en el Agua Potable. *Water Boards* , 1.
- Rojas, A. (2019). *Plan para conducción y depósito de biogás en relleno sanitario Ceibales Machala* . Recuperado el 11 de octubre de 2020, de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/15021/1/TTFIC-2019-ICI-DE00023.pdf>
- Rojas, J. A. (2009). *Calidad del Agua*. Bogota: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Sánchez, M., Martillo, I., & Fiallo, D. (2020). *El biodigestor como medida ecológica para la generación de gas en las empresas de cría de animales*. Obtenido de revista Científica FIPCAEC: <https://fipcaec.com/index.php/fipcaec/article/view>
- Servicios Medioambientales de Valencia* . (2018). Obtenido de <https://www.smv.es/que-son-residuos-inorganicos/>
- Solano, O. (2010). *Biodigestores: factores químicos, físicos y biológicos relacionados con su productividad*. Obtenido de Revista, tecnología en marcha.
- Solano, O. (2010). *Biodigestores: factores químicos, físicos y biológico relacionados con su productividad*. Obtenido de Revista Tecnología en Marcha, 23(1): 1-8: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4835857.pdf>
- Tchobanoglous, G. (1998). *Gestión Integral de Residuos Sólidos*. Madrid España: Impresos y Revistas S. A.
- Toala, E. (2013). *Diseño de un biodigestor de polietileno para la obtención de biogás a partir del estiércol de ganado en el Rancho Verónica* . Riobambaba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo .
- Transporte Inteligente. (2017). *Intelligent Transport*. Obtenido de Bristol obtiene el primer autobús de biogás impulsado por comida podrida: <https://www.intelligenttransport.com/transport-news/24670/bristol-first-bio-gas-bus/>

Vargas, F. (2005). *LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL COMO FACTOR DETERMINANTE*. Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral. Dirección General de Salud Pública. Ministerio de Sanidad y Consumo.

*waterboards*. (25 de Octubre de 2021). Obtenido de <https://www.waterboards.ca.gov/>

# ANEXO 1

## Identificación de bares





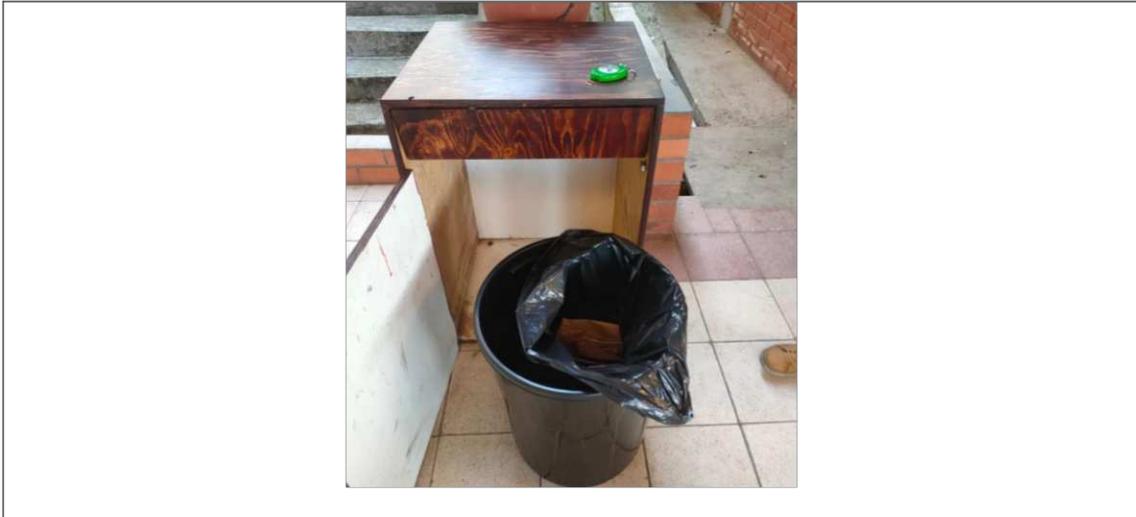





## ANEXO 2

### Recolección de muestras





### ANEXO 3

#### Equipos y materiales.

Figura	Cantidad	Descripción
	1	Balanza de plataforma capacidad 500 (kg)
	112	Fundas de polietileno.
	1	Tanque metálico de 55 galones

	3	Tanque de plástico de 55 gal
	1	Tanque de lata grande
	9	Tanques de lata pequeños
	1	Tubo de PVC
	3	Termómetro de máximo 120°C
	4	Manómetro de máximo 15psi

	4	Conector T de acero de 1/4" (colocado en ese sentido)
	6	Codo de 90°
	1	Teflón
	3	Válvula esférica de PVC (llave de paso)
	1	Balanza de mano
	7	Válvula de esfera de 1/4"

	4	Pegatanke
	1	Taladro
	1	Corta papel
	1	Destornillador plano
	1	Manguera para gas
	1	Conector Cruz de acero
	3	Neplo de Plástico de 1/4"

	3	Arandela
		Abrazadera
	2	Tubo de llanta
	5	Paquete de fundas plásticas color azul, verde y negra
	3	Lana de vidrio de 1m x 0,50m
	—	Piola de poliéster negra
	1	Metro
	1	Llave Inglesa para tubo

	1	Llave Inglesa ajustable
	1	Saca rosca con tarraja
	2	Equipo de seguridad

#### ANEXO 4

##### Procedimiento de construcción del biodigestor.





Colocación de Pegatanke para asegurar las uniones y en especial la unión neplo - tapa de tanque.



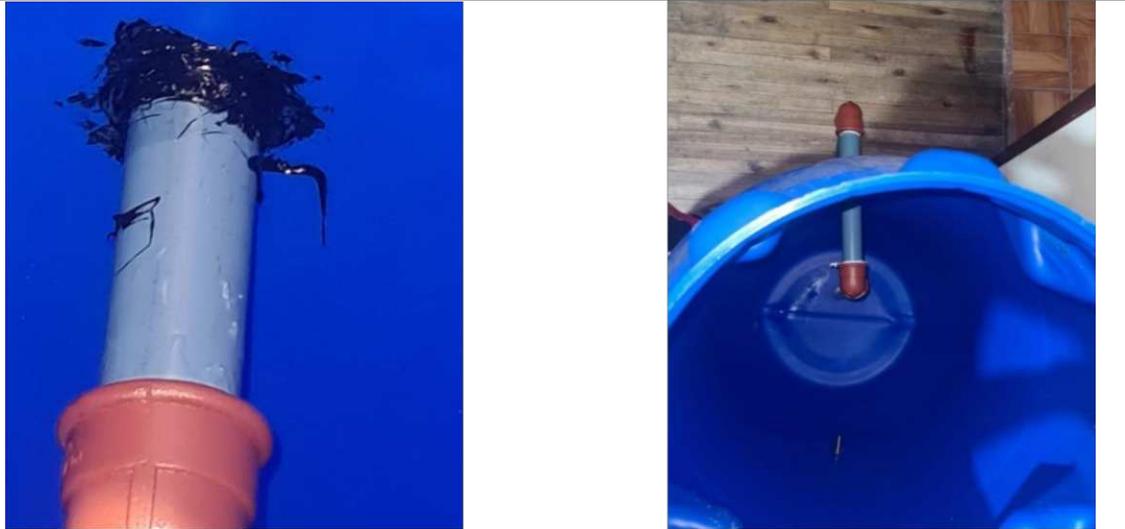
Resultado Final de la parte superior por cada



Colocación de Pegatanke en la unión tanque-termómetro, con la finalidad de evitar fuga de biogás así como de materia orgánica o lixiviado.



*Sacar rosca a las tuberías y colocación de teflón.*



*Resultado final del sistema de evacuación de lixiviado.*



Colocación de lana de vidrio en un solo tanque para aislar térmicamente.



Construcción del sistema de almacenamiento



Colocación de conectores tipo espigas las cuales unen a la cruz con las mangueras.



Colocación de Pegatanke en la unión Espiga- Manguera



Asegurar la hermeticidad en las mangueras mediante abrazaderas al inicio y final de cada manguera industrial.



Demostración del resultado final de la construcción de los 3 biodigestores

## ANEXO 5

### Residuos orgánicos para los biodigestores











## ANEXO 6

### Memoria de cálculo peso volumétrico

Tipo de residuo orgánico	Día 1							
	Lunes, 9 de enero							
	kg	h1	h2	h3	h4	h promedio	Volumen	Peso volumétrico (kg/m3)
<b>Peso total</b>	55.80	0.15	0.17	0.18	0.19	0.17	0.17	322.76

Día 2							
Martes, 10 de enero							
kg	h1	h2	h3	h4	h promedio	Volumen	Peso volumétrico (kg/m3)
77.50	0.12	0.13	0.16	0.12	0.13	0.18	423.29

Tipo de residuo orgánico	Día 3							
	Miércoles, 11 de enero							
	kg	h1	h2	h3	h4	h promedio	Volumen	Peso volumétrico (kg/m3)
<b>Peso total</b>	86.70	0.15	0.17	0.18	0.19	0.17	0.17	501.50

Día 4							
Jueves, 12 de enero							
kg	h1	h2	h3	h4	h promedio	Volumen	Peso volumétrico (kg/m3)
78.10	0.12	0.13	0.16	0.12	0.13	0.18	426.57

Tipo de residuo orgánico	Día 5							
	Viernes, 13 de enero							
	kg	h1	h2	h3	h4	h promedio	Volumen	Peso volumétrico (kg/m3)
<b>Peso total</b>	81.30	0.15	0.17	0.18	0.19	0.17	0.17	470.26

Día 6							
Lunes, 16 de enero							
kg	h1	h2	h3	h4	h promedio	Volumen	Peso volumétrico (kg/m3)
86.60	0.12	0.13	0.16	0.12	0.13	0.18	472.99

Tipo de residuo orgánico	Día 7							
	Martes, 17 de enero							
	kg	h1	h2	h3	h4	h promedio	Volumen	Peso volumétrico (kg/m3)
<b>Peso total</b>	53.80	0.15	0.17	0.18	0.19	0.17	0.17	311.20

Día 8							
Miércoles, 18 de enero							
kg	h1	h2	h3	h4	h promedio	Volumen	Peso volumétrico (kg/m3)
87.31	0.12	0.13	0.16	0.12	0.13	0.18	476.87

Día 8							
Miércoles, 18 de enero							
kg	h1	h2	h3	h4	h promedio	Volumen	Peso volumétrico (kg/m3)
87.31	0.12	0.13	0.16	0.12	0.13	0.18	476.87

Tipo de residuo inorgánico	Día 1							
	Lunes, 9 de enero							
	kg	h1	h2	h3	h4	h promedio	Volumen	Peso volumétrico (kg/m3)
<b>Peso total</b>	7.69	0.15	0.17	0.18	0.19	0.17	0.17	44.48

Tipo de residuo inorgánico	Día 2							
	Martes, 10 de enero							
	kg	h1	h2	h3	h4	h promedio	Volumen	Peso volumétrico (kg/m3)
<b>Peso total</b>	7.30	0.12	0.13	0.16	0.12	0.13	0.18	39.87

Tipo de residuo inorgánico	Día 3							
	Miércoles, 11 de enero							
	kg	h1	h2	h3	h4	h promedio	Volumen	Peso volumétrico (kg/m3)
<b>Peso total</b>	9.08	0.15	0.17	0.18	0.19	0.17	0.17	52.52

Tipo de residuo inorgánico	Día 4							
	Jueves, 12 de enero							
	kg	h1	h2	h3	h4	h promedio	Volumen	Peso volumétrico (kg/m3)
<b>Peso total</b>	8.20	0.12	0.13	0.16	0.12	0.13	0.18	44.79

Tipo de residuo inorgánico	Día 5							
	Viernes, 13 de enero							
	kg	h1	h2	h3	h4	h promedio	Volumen	Peso volumétrico (kg/m3)
<b>Peso total</b>	8.10	0.15	0.17	0.18	0.19	0.17	0.17	46.85

Tipo de residuo inorgánico	Día 6							
	Lunes, 16 de enero							
	kg	h1	h2	h3	h4	h promedio	Volumen	Peso volumétrico (kg/m3)
<b>Peso total</b>	8.15	0.12	0.13	0.16	0.12	0.13	0.18	44.51

Tipo de residuo inorgánico	Día 7							
	Martes, 17 de enero							
	kg	h1	h2	h3	h4	h promedio	Volumen	Peso volumétrico (kg/m3)
<b>Peso total</b>	7.32	0.15	0.17	0.18	0.19	0.17	0.17	42.34

Tipo de residuo inorgánico	Día 8							
	Miércoles, 18 de enero							
	kg	h1	h2	h3	h4	h promedio	Volumen	Peso volumétrico (kg/m3)
<b>Peso total</b>	8.05	0.12	0.13	0.16	0.12	0.13	0.18	43.97

## ANEXO 7

### Número de estudiantes por carrera en la Universidad Católica de Cuenca (Matriz)

SEDE	CARRERAS	PRESENCIAL	TOTAL
<b>MATRIZ CUENCA</b>	ADMINISTRACION DE EMPRESAS	257	280
	AGRONOMÍA	34	34
	ARQUITECTURA	524	524
	ARQUITECTURA Y URBANISMO	34	34
	BIOFARMACIA	25	25
	BIOQUÍMICA Y FARMACIA	474	474
	CAPACITACION PREUNIVERSITARIA MEDICINA	818	818
	CAPACITACION PREUNIVERSITARIA ODONTOLOGIA	90	90
	CONTABILIDAD Y AUDITORIA	174	192
	DERECHO	905	1015
	DERECHO A	5	6
	DISEÑO DE INTERIORES	39	39
	DISEÑO GRÁFICO Y MULTIMEDIA CON NIVEL EQUIVALENTE A TECNOLOGÍA SUPERIOR		39
	ECONOMIA	110	110
	EDUCACIÓN INICIAL	87	87
	ELECTRICIDAD	138	138
	ENFERMERÍA	794	794
	ENFERMERIA A	64	64
	INGENIERÍA AMBIENTAL	17	17
	INGENIERIA AMBIENTAL A	23	23
INGENIERIA CIVIL	238	238	
INGENIERIA CIVIL A	43	43	

INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA	3	3
INGENIERIA INDUSTRIAL	26	26
INGENIERIA INDUSTRIAL A	2	2
MARKETING E INTELIGENCIA DE MERCADOS	54	54
MEDICINA	1795	1795
MEDICINA A	509	509
MEDICINA VETERINARIA	361	361
ODONTOLOGIA	1120	1120
ODONTOLOGIA A	195	195
PEDAGOGÍA DE LOS IDIOMAS NACIONALES Y EXTRANJEROS		26
PEDAGOGÍA, CURRÍCULO Y DIDÁCTICA DE LA EDUCACIÓN BÁSICA	25	25
PERIODISMO	40	40
PSICOLOGÍA CLÍNICA	840	840
REALIDAD VIRTUAL Y VIDEOJUEGOS	33	33
SICOLOGIA CLINICA A	110	110
SOFTWARE	144	144
TÉCNICO SUPERIOR EN GESTIÓN DE REDES SOCIALES		25

## ANEXO 8

### Memoria de cálculo per cápita

Semana del 9 al 18 de enero			Día 1		Día 2		Día 3		Día 4		Día 5		Día 6		Día 7		Día 8		Total		Promedio		PPC	
			Kgf		Kgf		Kgf		Kgf		Kgf		Kgf		Kgf		Kgf		Kgf		Kgf		Kgf/estudiante/día	
Nº	Carreras	Estudiantes	Orgánico	Inorgánico	Orgánico	Inorgánico																		
1.00	Bioquímica y farmacia	474.00	27.40	2.34	35.40	2.30	43.40	2.75	37.40	2.40	41.50	2.20	26.20	2.10	39.50	2.35	44.20	2.86	267.60	16.96	38.23	2.42	0.0807	0.0051
2.00	Medicina	1795.00	2.80	1.00	5.00	0.85	2.70	1.20	3.40	1.10	2.50	1.30	2.55	1.23	4.60	0.90	2.76	1.35	23.51	7.93	3.36	1.13	0.0019	0.0006
3.00	Odontología	1315.00	0.00	0.90	4.30	0.75	5.00	0.96	6.50	0.74	7.20	0.75	8.40	0.77	8.50	0.75	5.10	0.75	45.00	5.47	6.43	0.78	0.0049	0.0006
4.00	Ingeniería Eléctrica, Civil, Ambiental, Industrial, Arquitectura	936.00	4.80	0.95	5.00	0.80	4.50	1.20	4.00	0.92	3.50	0.94	4.60	0.93	4.20	0.85	4.75	0.97	30.55	6.61	4.36	0.94	0.0047	0.0010
5.00	Agronomía, Veterinaria y Enfermería	1253.00	9.40	2.50	26.10	2.35	27.00	2.47	23.50	2.35	24.00	2.38	9.30	2.55	25.50	2.25	26.40	2.67	161.80	17.02	23.11	2.43	0.0184	0.0019
6.00	Administración de empresas, Contabilidad, Marketing, Economía	636.00	0.00	0.00	1.70	0.25	2.00	0.30	1.80	0.43	1.20	0.26	1.65	0.28	2.20	0.26	1.95	0.29	12.50	2.07	1.79	0.30	0.0028	0.0005
7.00	Derecho, Periodismo, Trabajo social	1170.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.10	0.20	1.50	0.26	1.40	0.27	1.10	0.29	2.10	0.00	2.15	0.34	10.35	1.36	1.48	0.19	0.0013	0.0002
	Sumatoria	7579.00	44.40	7.69	77.50	7.30	86.70	9.08	78.10	8.20	81.30	8.10	86.60	8.15	53.80	7.32	87.31	9.23	595.71	57.38	85.10	8.20	0.0112	0.0011

## ANEXO 9

### Registro de temperaturas en los 3 biodigestores.

Hoja de control de temperaturas						
Biodigestor 1						
Día	Hora 1	Hora 2	Hora 3	Temperatura 1	Temperatura 2	Temperatura 3
21/1/2023	9:10	13:20	17:10	10	12	11
22/1/2023	9:20	13:10	17:00	13	12	12
23/1/2023	9:30	13:15	17:15	12	13	11
24/1/2023	9:40	13:30	17:20	12	13	10
25/1/2023	9:20	13:25	17:25	12	13	12
26/1/2023	9:15	13:15	17:30	10	12	11
27/1/2023	9:25	13:30	17:15	13	14	12
28/1/2023	9:10	13:40	17:40	10	13	12
29/1/2023	9:20	13:10	17:45	14	15	13
30/1/2023	9:40	13:35	17:20	13	14	12
31/1/2023	9:35	13:45	17:25	14	14	14
1/2/2023	9:45	13:25	17:25	13	15	15
2/2/2023	9:15	13:15	17:30	13	15	14
3/2/2023	9:25	13:30	17:15	14	15	14
4/2/2023	9:10	13:40	17:40	13	14	14
5/2/2023	9:20	13:10	17:45	14	15	15
6/2/2023	9:40	13:35	17:20	13	14	12
7/2/2023	9:35	13:45	17:25	15	14	13
8/2/2023	9:20	13:10	17:00	15	14	13
9/2/2023	9:30	13:15	17:15	15	16	16
10/2/2023	9:40	13:30	17:20	14	17	17
11/2/2023	9:20	13:25	17:25	16	18	18
12/2/2023	9:15	13:15	17:30	15	17	17
13/2/2023	9:25	13:30	17:15	13	13	12
14/2/2023	9:10	13:40	17:40	14	15	14
15/2/2023	9:20	13:10	17:45	14	16	16
16/2/2023	9:40	13:35	17:20	14	17	17
17/2/2023	9:35	13:45	17:25	18	19	18
18/2/2023	9:20	13:10	17:45	13	15	16
19/2/2023	9:40	13:35	17:20	14	14	14
20/2/2023	9:35	13:45	17:25	16	15	16
21/2/2023	9:45	13:25	17:25	14	15	15
22/2/2023	9:15	13:15	17:30	16	16	16
23/2/2023	9:25	13:30	17:15	15	18	18
24/2/2023	9:10	13:40	17:40	14	16	15
25/2/2023	9:20	13:10	17:45	15	18	17
26/2/2023	9:40	13:35	17:20	18	19	16
27/2/2023	9:35	13:45	17:25	17	18	19

28/2/2023	9:20	13:10	17:00	15	16	14
1/3/2023	9:20	13:10	17:45	13	14	14
2/3/2023	9:40	13:35	17:20	12	15	13
3/3/2023	9:35	13:45	17:25	13	15	14
4/3/2023	9:20	13:10	17:45	13	14	14
5/3/2023	9:40	13:35	17:20	12	15	13
6/3/2023	9:35	13:45	17:25	13	13	10
7/3/2023	9:45	13:25	17:25	13	13	12
8/3/2023	9:15	13:15	17:30	14	17	16
9/3/2023	9:25	13:30	17:15	16	20	20
10/3/2023	9:20	13:10	17:45	17	18	17
11/3/2023	9:40	13:35	17:20	15	20	18
12/3/2023	9:35	13:45	17:25	17	19	19
13/3/2023	9:20	13:10	17:00	17	21	19
14/3/2023	9:20	13:10	17:45	20	19	21
15/3/2023	9:40	13:35	17:20	14	15	13
16/3/2023	9:35	13:45	17:25	19	22	21
17/3/2023	9:20	13:10	17:45	18	20	19

Hoja de control de temperaturas						
Biodigestor 2						
Día	Hora 1	Hora 2	Hora 3	Temperatura 1	Temperatura 2	Temperatura 3
21/1/2023	9:10	13:20	17:10	10	12	11
22/1/2023	9:20	13:10	17:00	12	12	11
23/1/2023	9:30	13:15	17:15	12	13	11
24/1/2023	9:40	13:30	17:20	12	13	10
25/1/2023	9:20	13:25	17:25	12	13	12
26/1/2023	9:15	13:15	17:30	10	12	11
27/1/2023	9:25	13:30	17:15	13	14	12
28/1/2023	9:10	13:40	17:40	10	13	12
29/1/2023	9:20	13:10	17:45	14	15	13
30/1/2023	9:40	13:35	17:20	13	14	12
31/1/2023	9:35	13:45	17:25	14	14	14
1/2/2023	9:45	13:25	17:25	13	15	15
2/2/2023	9:15	13:15	17:30	13	15	14
3/2/2023	9:25	13:30	17:15	14	15	14
4/2/2023	9:10	13:40	17:40	13	14	14
5/2/2023	9:20	13:10	17:45	14	15	15
6/2/2023	9:40	13:35	17:20	13	14	12
7/2/2023	9:35	13:45	17:25	15	14	13
8/2/2023	9:20	13:10	17:00	15	14	13
9/2/2023	9:30	13:15	17:15	15	16	16
10/2/2023	9:40	13:30	17:20	14	17	17
11/2/2023	9:20	13:25	17:25	16	18	18

12/2/2023	9:15	13:15	17:30	15	17	17
13/2/2023	9:25	13:30	17:15	13	13	12
14/2/2023	9:10	13:40	17:40	14	15	14
15/2/2023	9:20	13:10	17:45	14	16	16
16/2/2023	9:40	13:35	17:20	14	17	17
17/2/2023	9:35	13:45	17:25	18	19	18
18/2/2023	9:20	13:10	17:45	13	15	16
19/2/2023	9:40	13:35	17:20	14	14	14
20/2/2023	9:35	13:45	17:25	16	15	16
21/2/2023	9:45	13:25	17:25	14	15	15
22/2/2023	9:15	13:15	17:30	16	16	16
23/2/2023	9:25	13:30	17:15	15	18	18
24/2/2023	9:10	13:40	17:40	14	16	15
25/2/2023	9:20	13:10	17:45	15	18	17
26/2/2023	9:40	13:35	17:20	18	19	16
27/2/2023	9:35	13:45	17:25	17	18	19
28/2/2023	9:20	13:10	17:00	15	16	14
1/3/2023	9:20	13:10	17:45	13	14	14
2/3/2023	9:40	13:35	17:20	12	15	13
3/3/2023	9:35	13:45	17:25	13	15	14
4/3/2023	9:20	13:10	17:45	13	14	14
5/3/2023	9:40	13:35	17:20	12	15	13
6/3/2023	9:35	13:45	17:25	13	13	10
7/3/2023	9:45	13:25	17:25	13	13	12
8/3/2023	9:15	13:15	17:30	14	17	16
9/3/2023	9:25	13:30	17:15	16	20	20
10/3/2023	9:20	13:10	17:45	17	18	17
11/3/2023	9:40	13:35	17:20	15	20	18
12/3/2023	9:35	13:45	17:25	17	19	19
13/3/2023	9:20	13:10	17:00	17	21	19
14/3/2023	9:20	13:10	17:45	20	19	21
15/3/2023	9:40	13:35	17:20	14	15	13
16/3/2023	9:35	13:45	17:25	19	22	21
17/3/2023	9:20	13:10	17:45	18	20	19

Hoja de control de temperaturas						
Biodigestor 3						
Día	Hora 1	Hora 2	Hora 3	Temperatura 1	Temperatura 2	Temperatura 3
21/1/2023	9:10	13:20	17:10			
22/1/2023	9:20	13:10	17:00			
23/1/2023	9:30	13:15	17:15			
24/1/2023	9:40	13:30	17:20			
25/1/2023	9:20	13:25	17:25			
26/1/2023	9:15	13:15	17:30			

27/1/2023	9:25	13:30	17:15			
30/1/2023	9:40	13:35	17:20			
31/1/2023	9:35	13:45	17:25			
1/2/2023	9:45	13:25	17:25	10	12	11
2/2/2023	9:15	13:15	17:30	13	13	13
3/2/2023	9:25	13:30	17:15	12	12	11
4/2/2023	9:10	13:40	17:40	13	14	12
5/2/2023	9:20	13:10	17:45	10	13	12
6/2/2023	9:40	13:35	17:20	13	15	13
7/2/2023	9:35	13:45	17:25	13	14	12
8/2/2023	9:20	13:10	17:00	14	14	14
9/2/2023	9:30	13:15	17:15	15	16	16
10/2/2023	9:40	13:30	17:20	14	17	17
11/2/2023	9:20	13:25	17:25	16	18	18
12/2/2023	9:15	13:15	17:30	15	17	17
13/2/2023	9:25	13:30	17:15	13	13	12
17/2/2023	9:35	13:45	17:25	18	19	18
18/2/2023	9:20	13:10	17:45	13	15	16
19/2/2023	9:40	13:35	17:20	14	14	14
20/2/2023	9:35	13:45	17:25	16	15	16
21/2/2023	9:45	13:25	17:25	14	15	15
22/2/2023	9:15	13:15	17:30	16	16	16
23/2/2023	9:25	13:30	17:15	15	18	18
24/2/2023	9:10	13:40	17:40	14	16	15
25/2/2023	9:20	13:10	17:45	15	18	17
26/2/2023	9:40	13:35	17:20	18	19	16
27/2/2023	9:35	13:45	17:25	17	18	19
28/2/2023	9:20	13:10	17:00	15	16	14
1/3/2023	9:20	13:10	17:45	13	14	14
2/3/2023	9:40	13:35	17:20	12	15	13
3/3/2023	9:35	13:45	17:25	13	15	14
4/3/2023	9:20	13:10	17:45	13	14	14
5/3/2023	9:40	13:35	17:20	12	15	13
6/3/2023	9:35	13:45	17:25	13	13	10
7/3/2023	9:45	13:25	17:25	13	13	12
13/3/2023	9:20	13:10	17:00	17	21	19
14/3/2023	9:20	13:10	17:45	20	19	21
15/3/2023	9:40	13:35	17:20	14	15	13
16/3/2023	9:35	13:45	17:25	19	22	21
17/3/2023	9:20	13:10	17:45	18	20	19

**AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO  
INSTITUCIONAL**

Nosotros(a)s, **Pedro Lucas Aragundi Zambrano** portador de la cédula de ciudadanía N.º **0704666940** y **Jorge Santiago Chamba Dumán** portador de la cedula de ciudadanía N.º **0107093338**. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del 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”** 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, 30 de marzo del 2023

F: .....

  
Pedro Lucas Aragundi Zambrano

0704666940

F: .....

  
Jorge Santiago Chamba Dumán

0107093338