



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE  
DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIA Y  
CONSUTRCCION**

**CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

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

**TEMA**

**DISEÑO Y EVALUACIÓN DE BIODIGESTOR PARA  
APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE LA INDUSTRIA PORCINA  
Y GENERACIÓN DE ENERGÍA**

**TUTOR**

**Mgtr. KEVIN ANGEL MENDOZA VILLACIS**

**AUTORES**

**WILLAN ADRIAN CARRION QUEZADA**

**PAULO CESAR LOAIZA TORRES**

**GUAYAQUIL**

**2025**

<b>REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA</b>	
<b>FICHA DE REGISTRO DE TESIS</b>	
<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b> Diseño y evaluación de biodigestor para aprovechamiento de residuos de la industria porcina y generación de energía	
<b>AUTOR/ES:</b> Carrión Quezada Willan Adrián Loaiza Torres Paulo Cesar	<b>TUTOR:</b> Mgr. Kevin Angel Mendoza Villacis
<b>INSTITUCIÓN:</b> <b>Universidad Laica Vicente Roca fuerte de Guayaquil</b>	<b>Grado obtenido:</b> Ingeniero Civil
<b>FACULTAD:</b> FACULTAD DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCION.	<b>CARRERA:</b> INGENIERIA CIVIL.
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b> 2025	<b>N. DE PÁGS:</b> 120
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b> Arquitectura y Construcción.	
<b>PALABRAS CLAVE:</b> Biogás, Desperdicio agrícola, Diseño estructural, Energía de la biomasa, Impacto ambiental.	
<b>RESUMEN:</b> El presente proyecto propone una alternativa estructural eficiente para la gestión de residuos porcinos mediante biodigestores optimizados. Este diseño permite un manejo adecuado de los desechos y la producción de biogás como fuente de energía renovable. El estudio analiza la composición del biogás, determinando la concentración óptima de metano para maximizar la generación de electricidad. También evalúa la eficiencia energética del sistema en función de la producción de biogás por metro cúbico y su capacidad para alimentar un generador eléctrico. Se realizaron análisis estructurales para garantizar la estabilidad y durabilidad del sistema, considerando factores como cargas, peso de los componentes y condiciones operativas en granjas porcinas. Además, se evaluó la viabilidad operativa del biodigestor en la parte alta de la provincia de El Oro, resaltando su impacto en la gestión sostenible de residuos. Los resultados evidencian el potencial del biogás como energía renovable y destacan la eficiencia del diseño propuesto. Finalmente, se resalta su contribución a la reducción de la contaminación y a la autosuficiencia energética del sector porcino.	
<b>N. DE REGISTRO (en base de datos):</b>	<b>N. DE CLASIFICACIÓN:</b>
<b>DIRECCIÓN URL (Web):</b>	

<b>ADJUNTO PDF:</b>	<b>SI</b> <input checked="" type="checkbox"/>	<b>NO</b> <input type="checkbox"/>
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b> Carrion Quezada Willan Adrian Loaiza Torres Paulo Cesar	<b>Teléfono:</b>	<b>E-mail:</b> wcarrionq@ulvr.edu.ec ploaizat@ulvr.edu.ec
<b>CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:</b>	PhD Marcial Calero Amores <b>Teléfono:</b> (04) 2596500 <b>Ext.</b> 241 <b>E-mail:</b> mcaleroa@ulvr.edu.ec Mgr. Jorge Enrique Torres Rodríguez <b>Teléfono:</b> (04) 2596500 <b>Ext.</b> 242 <b>E-mail:</b> etorresr@ulvr.edu.ec	

## CERTIFICADO DE SIMILITUD

Diseño y evaluación de biodigestor para aprovechamiento de residuos de la industria porcina y generación de energía

### INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>7</b> %	<b>3</b> %	<b>0</b> %	<b>4</b> %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>journal.espe.edu.ec</b> Fuente de Internet	<b>2</b> %
<b>2</b>	<b>Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru</b> Trabajo del estudiante	<b>1</b> %
<b>3</b>	<b>Submitted to Universidad Nacional Jose Faustino Sanchez Carrion</b> Trabajo del estudiante	<b>1</b> %
<b>4</b>	<b>Submitted to ITESM: Instituto Tecnologico y de Estudios Superiores de Monterrey</b> Trabajo del estudiante	<b>&lt;1</b> %
<b>5</b>	<b>ri.uaemex.mx</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1</b> %
<b>6</b>	<b>repositorio.utc.edu.ec</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1</b> %
<b>7</b>	<b>www.coursehero.com</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1</b> %

8	Submitted to consultoriadeserviciosformativos Trabajo del estudiante	<1 %
9	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	<1 %
10	Submitted to Universidad Nacional del Chimborazo Trabajo del estudiante	<1 %
11	Gabriel April-Lalonde, Sara Latorre, Myriam Paredes, María Fernanda Hurtado et al. "Characteristics and Motivations of Consumers of Direct Purchasing Channels and the Perceived Barriers to Alternative Food Purchase: A Cross-Sectional Study in the Ecuadorian Andes", Sustainability, 2020 Publicación	<1 %
12	www.webyempresas.com Fuente de Internet	<1 %
13	Submitted to Universidad de los Hemisferios Trabajo del estudiante	<1 %



Kevin Mendoza Villacís

Excluir citas      Activo      Excluir coincidencias      < 20 words  
Excluir bibliografía      Activo

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

El(Los) estudiante(s) egresado(s) WILLAN ADRIAN CARRION QUEZADA y PAULO CESAR LOAIZA TORRES, declara (mos) bajo juramento, que la autoría del presente Trabajo de Titulación, (Diseño y evaluación de biodigestor para aprovechamiento de residuos de la industria porcina y generación de energía), corresponde totalmente a el(los) suscrito(s) y me (nos) responsabilizo (amos) con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedo (emos) los derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establece la normativa vigente.

Autor(es)

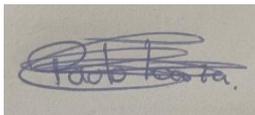
Firma:



WILLAN ADRIAN CARRION QUEZADA

1750875302

Firma:



PAULO CESAR LOAIZA TORRES

0705328425

## **CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL DOCENTE TUTOR**

En mi calidad de docente Tutor del Trabajo de Titulación (Diseño y evaluación de biodigestor para aprovechamiento de residuos de la industria porcina y generación de energía), designado(a) por el Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

### **CERTIFICO:**

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Trabajo de Titulación, titulado: (Diseño y evaluación de biodigestor para aprovechamiento de residuos de la industria porcina y generación de energía), presentado por el (los) estudiante (s) WILLAN ADRIAN CARRION QUEZADA y PAULO CESAR LOAIZA TORRES como requisito previo, para optar al Título de (INGENIERO CIVIL), encontrándose apto para su sustentación.



Firma:

KEVIN ANGEL MENDOZA VILLACIS

C.C.

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero brindar mi agradecimiento en especial a mi madre, a Dios, mi familia, la universidad, docentes, mi compañero de tesis y demás compañeros. Profundamente agradecido por haberme apoyado en el transcurso de mi formación como profesional. Al Mgtr. Kevin Mendoza por ser nuestro tutor y habernos apoyado y guiado en la elaboración del proyecto. Y a mí mismo por haberme comprometido con la elaboración de este proyecto y no desistir en ningún momento.

**WILLAN ADRIAN CARRIÓN QUEZADA**

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar este proyecto a mi madre y familia, quienes siempre me ha brindado su apoyo incondicional en todo momento, a mi querido abuelo quien ha sido mi ángel y sé que desde cielo sé que estará orgulloso por verme conseguir este logro tan grande en mi vida. Y a mí mismo como prueba de que puede lograr grandes cosas con dedicación, constancia y esfuerzo.

**WILLAN ADRIAN CARRIÓN QUEZADA**

## **AGRADECIMIENTO**

A lo largo de este camino lleno de retos y aprendizajes, hubo personas que con su amor, apoyo y confianza hicieron posible que hoy llegue hasta aquí.

En primer lugar, agradezco a Dios, quien me dio la fortaleza para seguir adelante a pesar de todas las dificultades. Su guía y compañía fueron mi refugio en los momentos más desafiantes.

A mi mamá y mi tía Mayra, quienes siempre creyeron en mí y me apoyaron incondicionalmente. Su amor y confianza fueron mi mayor motivación para nunca rendirme. Gracias por estar ahí en cada paso de este recorrido, por sus palabras de aliento y por ser mi pilar en todo momento.

A mi papá, que en paz descanse, por todo el apoyo que me brindó hasta sus últimos días. Aunque no pueda estar físicamente aquí para ver este logro, su amor, enseñanzas y sacrificios siempre estarán en mi corazón. Espero honrar su memoria con cada uno de mis pasos.

A mi compañero de tesis, por su dedicación, compromiso y toda la ayuda brindada a lo largo de la carrera. Este trabajo no habría sido el mismo sin su esfuerzo y compañerismo.

A mi tutor, por su paciencia, guía y consejos durante la elaboración de este trabajo. Su apoyo fue fundamental para culminar esta etapa con éxito.

A todos aquellos que, de una u otra manera, formaron parte de este proceso, gracias. Este logro no es solo mío, sino también de ustedes.

Con gratitud y aprecio,

**PAULO CÉSAR LOAIZA TORRES**

## **DEDICATORIA**

A Dios, por darme la fuerza y la perseverancia para seguir adelante a pesar de los obstáculos. Por ser mi guía y sostén en cada paso de este camino.

A mi mamá y mi tía, por ser mi refugio incondicional, por su amor infinito y por creer en mí incluso cuando yo dudaba. Gracias por ser mi motor y mi mayor inspiración.

A mi papá, por su amor, sacrificio y todo lo que hizo por mí. Aunque físicamente no esté aquí, sé que desde donde está sigue acompañándome y sintiéndose orgulloso de este logro.

A mis hermanos, quienes con su ejemplo me enseñaron a nunca rendirme, a seguir adelante sin importar las dificultades y a luchar por mis sueños con determinación. Gracias por ser mi apoyo y por demostrarme que la perseverancia siempre vale la pena.

A mis compañeros y amistades en general que de alguna manera fueron parte de este proceso, que me alentaron y confiaron en mí. Este logro también es suyo.

Con todo mi cariño y gratitud,

**PAULO CÉSAR LOAIZA TORRES**

## RESUMEN

El presente proyecto ofrece una alternativa estructural eficiente para la gestión de residuos porcinos mediante la implementación de un sistema de biodigestores optimizados. Este diseño no solo permite un manejo adecuado de los desechos, sino que también facilita la producción de biogás como fuente de energía renovable. El estudio abarca un análisis integral que incluye la composición del biogás obtenido, determinando la concentración óptima de metano para maximizar la generación de electricidad. Se evaluó la eficiencia energética del sistema, expresada en términos de producción de biogás por metro cúbico generado y su capacidad para alimentar un generador eléctrico. Además, se llevaron a cabo análisis estructurales detallados para garantizar la estabilidad y durabilidad del sistema, considerando factores como cargas por metro cuadrado, el peso de los componentes y el peso propio de la estructura para soportar las condiciones operativas en una granja porcina. Asimismo, se analizó la viabilidad operativa del biodigestor en la parte alta de la provincia de El Oro, evaluando su impacto en la gestión sostenible de residuos. Los resultados obtenidos evidencian el potencial del biogás como fuente de energía renovable y destacan los beneficios estructurales del diseño propuesto, asegurando su eficiencia y resistencia. Finalmente, se resalta su contribución a la reducción de la contaminación ambiental y la autosuficiencia energética del sector porcino.

**Palabras clave:** Biogás, Desperdicio agrícola, Diseño estructural, Energía de la Biomasa, Impacto ambiental.

## ABSTRACT

This project offers an efficient structural alternative for the management of pork waste through the implementation of an optimized biodigester system. This design not only allows for proper waste management, but also facilitates the production of biogas as a renewable energy source. The study covers a comprehensive analysis that includes the composition of the biogas obtained, determining the optimal concentration of methane to maximize electricity generation. The energy efficiency of the system was evaluated, expressed in terms of biogas production per cubic meter generated and its capacity to power an electrical generator. In addition, detailed structural analyzes were carried out to ensure the stability and durability of the system, considering factors such as loads per square meter, the weight of the components and the self-weight of the structure to withstand the operating conditions on a pig farm. Likewise, the operational viability of the biodigester in the upper part of the province of El Oro was analyzed, evaluating its impact on sustainable waste management. The results obtained show the potential of biogas as a renewable energy source and highlight the structural benefits of the proposed design, ensuring its efficiency and resistance. Finally, its contribution to the reduction of environmental pollution and the energy self-sufficiency of the pork sector is highlighted.

**Keywords:** Biogas, Agricultural waste, Structural design, Biomass energy, Environmental impact.

## ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I .....	2
ENFOQUE DE LA PROPUESTA .....	2
1.1 Tema:.....	2
1.2 Planteamiento del Problema:.....	2
1.3 Formulación del Problema:.....	3
1.4 Objetivo General.....	3
1.5 Objetivos Específicos .....	3
1.6 Idea a Defender (investigaciones cualitativas o mixtas) / Hipótesis (investigaciones cuantitativas) .....	3
1.7 Línea de Investigación Institucional / Facultad.....	4
CAPÍTULO II .....	5
MARCO REFERENCIAL.....	5
2.1 Marco Teórico: .....	5
2.1.1 Suelos .....	5
2.1.1.1 Clasificación de suelos .....	5
2.1.1.2 Mejoramiento de suelos .....	7
2.1.1.3 Relleno con material de compactación .....	9
2.1.2 Membrana .....	9
2.1.2.1 Materiales de fabricación. ....	9
2.1.2.2 Propiedades técnicas. ....	10
2.1.2.3 Especificaciones según catálogos.....	11
2.1.2.4 Normativas de geomembranas.....	12
2.1.3 Biodigestores y biogenerador .....	14
2.1.3.1 Definición y tipo de biodigestores.....	14
2.1.3.2 Principio de funcionamiento del biodigestor.....	14
2.1.3.3 Diseño y componentes del biodigestor.....	19
2.1.3.4 Producción de biogás.....	20
2.1.3.5 Beneficios ambientales. ....	22
2.1.4 Cubetos.....	23
2.1.4.1 Definición y propósito de los cubetos. ....	23
2.1.4.2 Diseño estructural. ....	24
2.1.4.3 Materiales de Construcción. ....	24

2.1.5 Propiedades estáticas y dinámica de fluidos.....	25
2.1.5.1 Presión. ....	25
2.1.5.2 Densidad. ....	26
2.1.5.3 Compresibilidad.....	26
2.1.5.4 Principio de Pascal.....	27
2.1.5.5 Ecuación de continuidad.....	27
2.1.5.6 Presión hidrostática. ....	27
2.2 Marco Legal:.....	29
<b>CAPÍTULO III</b> .....	34
<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	34
3.1 Enfoque de la investigación: (cuantitativo, cualitativo o mixto).....	34
3.2 Alcance de la investigación: (Exploratorio, descriptivo o correlacional) 35	
3.3 Técnica e instrumentos para obtener los datos .....	36
3.4 Población y muestra .....	36
3.5 Metodología Constructiva .....	37
3.5.1 Terreno.....	38
3.5.2 Preparación del terreno. ....	38
3.5.3 Topografía y Nivelación. ....	38
3.5.4 Cubetos.....	39
3.5.4.1 Diseño y dimensionamiento.....	39
3.5.5 Procedimiento de función del biodigestor. ....	41
3.5.6 Recolección y Deposito del Estiércol. ....	41
3.5.7 Entrada del biodigestor. ....	42
3.5.8 Digestión Anaerobia.....	42
3.5.8.1 Digestión Mesófila. ....	43
3.5.8.2 Digestión Termófila. ....	44
3.5.9 Recolección del Biogás. ....	44
3.5.10 Almacenamiento del biogás. ....	44
3.5.11 Distribución y Uso del biogás .....	45
3.5.12 Tratamiento del Efluente.....	45
3.5.13 Control y Monitoreo. ....	46
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	47
<b>PROPUESTA O INFORME</b> .....	47
4.1 Presentación y análisis de resultados .....	47
4.1.1 Excavación:.....	47
4.1.2 Estructura:.....	48

4.1.2.1 Cimentación .....	48
4.1.2.2 Diseño de la losa:.....	54
4.1.2.3 Cálculo del refuerzo: .....	56
4.1.3 Sistema de Alimentación.....	58
4.1.4 Sistema de extracción del efluente: .....	62
4.1.5 Muros contenedores para biodigestor .....	66
4.1.6 Transporte y almacenamiento de biogás:.....	70
4.1.7 Componentes del biogás.....	77
4.1.8 Obtención Biogás. ....	78
4.1.9 Generación de energía. ....	78
4.1.9.1 Generador a gas. ....	79
4.1.9.2 Adaptación generador a gasolina. ....	79
4.1.9.3 Eficiencia Energética. ....	80
4.1.9.4 Evaluación de eficiencia. ....	81
4.2 Presupuesto .....	82
4.2.1 Geomembrana.....	83
4.2.2 Biodigestor.....	84
4.2.3 Presupuesto Referencial.....	85
CONCLUSIONES.....	86
RECOMENDACIONES.....	87
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	88
ANEXOS .....	93

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Componentes del biogás.....	19
Tabla 2 Factor producción de biogás.....	21
Tabla 3. Rango óptimo de parámetros del biodigestor. ....	25
Tabla 4 Cargas por metro cuadrado.....	55
Tabla 5 Producción de biogás.....	78
Tabla 6 Eficiencia Energética.....	80
Tabla 7 Dimensionamiento Biodigestor.....	84

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Tipos de Geomembrana .....	10
Figura 2 Biodigestor Modelo Chino o de Cúpula Fija .....	15
Figura 3 Biodigestor de Campana Flotante o de tipo Hindú.....	16
Figura 4 Biodigestor Tubular o de Bolsa de Polietileno .....	17
Figura 5 Biodigestor de Híbrido Cubano .....	18
Figura 6 Distribución de presiones .....	28
Figura 7 Pirámide de Kelsen .....	29
Figura 8 Metodología constructiva.....	37
Figura 9 Rangos de temperatura y tiempo de fermentación anaeróbica. ....	43
Figura 10 Dimensión biodigestor .....	49
Figura 11 Acotación de rellenos.....	52
Figura 12 Momento Flector.....	56
Figura 13 Dimensiones: sistema de alimentación.....	58
Figura 14 Volumen de hormigón sistema de alimentación .....	59
Figura 15 Dimensión suelo sistema de alimentación .....	60
Figura 16 Volumen de hormigón losa inferior del sistema primario .....	60
Figura 17 Alzado sistema de alimentación.....	61
Figura 18 Dimensiones sistema de extracción .....	62
Figura 19 Volúmenes de hormigón sistema de extracción.....	63
Figura 20 Dimensión suelo sistema de extracción.....	64
Figura 21 Volumen losa inferior sistema de extracción secundario.....	64
Figura 22 Tubería sistema de extracción .....	65
Figura 23 Acotación de muros contenedores .....	66
Figura 24 Volumen de hormigón.....	67
Figura 25 Cuantificación muro 0.08m .....	68
Figura 26 Vista en planta .....	69
Figura 27 Alzado.....	70
Figura 28 Salida de biogás hacia tanque de almacenamiento .....	71
Figura 29 Longitud tubería.....	72
Figura 30 Trampa de presión y filtro de ácido sulfhídrico .....	72
Figura 31 Tanque de almacenamiento .....	73
Figura 32 Longitud total tubería .....	74
Figura 33 Vista 3D tanque de almacenamiento .....	74

Figura 34 Dimensiones tanque de almacenamiento.....	75
Figura 35 Cuantificación sistema general de biogás .....	76
Figura 36 Rango de Concentración Componentes del Biogás .....	77
Figura 37 Generador a gas SKU:PGD9000.....	79
Figura 38 Kit de Conversión a GLP.....	80
Figura 39 Consumo concurrente de luz de una granja .....	81
Figura 40 Especificaciones Geomembrana HDPE .....	83
Figura 41 Presupuesto Referencial .....	85

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Cuantificación 1.....	93
Anexo 2 Cuantificación 2.....	94
Anexo 3 Cuantificación 3.....	95
Anexo 4 Cuantificación 4.....	96
Anexo 5 Cimentación.....	97
Anexo 6 Muros.....	98
Anexo 7 Vista Frontal 3D .....	99
Anexo 8 Vista Posterior 3D.....	99
Anexo 9 Corte Longitudinal Modelo 3D .....	100
Anexo 10 Corte Longitudinal Modelo 3D Sin Suelo.....	100
Anexo 11 Vista Isométrica del Sistema de Biodigestores.....	101
Anexo 12 Recorrido del Modelo 3D en Youtube .....	101

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de titulación se enfoca en el diseño de biodigestores como una opción sostenible para el aprovechamiento de los residuos generados por la industria porcina. Esta investigación se llevó a cabo referenciando una finca familiar ubicada en Saracay del cantón Piñas, provincia de El Oro, Ecuador, donde la actividad porcina está muy marcada en la economía local de este sector generando una cantidad significativa de desechos orgánicos.

La problemática principal radica en la mala gestión de estos residuos, lo cual trae consigo impactos ambientales negativos, como la contaminación de suelos, cuerpos de agua, y la emisión de gases efecto invernadero. Además de ser una actividad que está regulada y puede ser sancionada, ya que está enmarcada dentro de la legislación ambiental. Así como lo menciona el Código Orgánico del Ambiente (COA), además del anexo a la resolución N°217 de la Guía de Buenas Prácticas porcícolas publicado por AGROCALIDAD, y otras instituciones encargadas de regular esta actividad con disposiciones específicas para garantizar que esta industria se maneje de manera sostenible.

En este contexto se plantea la necesidad de implementar tecnologías que mitiguen el impacto ambiental negativo, además como punto a favor el aprovechamiento energético a través de la producción de biogás generado por el biodigestor, al diseñar este sistema adaptado a las condiciones específicas del entorno, diseño basado en criterios técnicos gracias a la investigación exhaustiva sobre trabajos académicos y en base al análisis obtenido gracias a la visita de otras granjas donde actualmente cuentan con este sistema. Pudiendo garantizar así, una correcta funcionalidad, durabilidad y eficiencia en el tratamiento de estos residuos. El sistema ha sido conceptualizado como un sistema cerrado donde se incluirá una estructura por cada paso a seguir para su operación, desde su zona de carga, zona donde se incorporará el biodigestor, zona de descarga, y zona donde se almacenará el biogás. Estructuras que contarán con materiales seleccionados resistentes a la corrosión y al desgaste químico producido por los residuos orgánicos.

# CAPÍTULO I

## ENFOQUE DE LA PROPUESTA

### 1.1 Tema:

Diseño y evaluación de biodigestor para aprovechamiento de residuos de la industria porcina y generación de energía

### 1.2 Planteamiento del Problema:

La industria porcina en el Ecuador forma de una gran parte de la actividad económica del país, especialmente en las zonas rurales, generando consigo una cantidad significativa de desechos orgánicos, que en su gran mayoría son gestionados inadecuadamente, lo que genera un impacto ambiental negativo. La zona donde se centra el proyecto Saracay - Piñas, El Oro cuenta con alrededor de 113 granjas dedicadas al comercio de cerdos, en la visita a algunos de estos establecimientos se pudo evidenciar la necesidad de implementar el sistema propuesto en este trabajo. Algunas granjas contaban con biodigestores que fueron instalados de manera casera, pero no con la estructura necesaria para poder optimizar su funcionamiento y garantizar una vida prolongada para este mecanismo, en todos estos casos ha sido por la falta de conocimiento y la poca información para su construcción.

Es por eso que la infraestructura adaptada para el sistema de los biodigestores sigue siendo limitada en el contexto de la zona rural, esta situación hace hincapié en la necesidad de desarrollar soluciones prácticas de fácil acceso para los granjeros en donde se evidencie las principales características que deberá tener la infraestructura para poder acceder a un biodigestor

### **1.3 Formulación del Problema:**

¿Cómo puede la implementación de un diseño estructural eficiente para biodigestores optimizar su uso y prolongar la vida útil de este sistema?

### **1.4 Objetivo General**

Desarrollar un diseño eficiente de un biodigestor adaptable a las condiciones de granjas porcinas, con el objetivo de optimizar el tratamiento de residuos orgánicos y la producción sostenible de energía eléctrica.

### **1.5 Objetivos Específicos**

- Analizar los principales componentes del biogás de acuerdo con la biomasa porcina.
- Diseñar la parte estructural del sistema de biodigestor considerando las cargas que actúan sobre el sistema estructural.
- Evaluar la eficiencia energética y económica del sistema propuesto.
- Proponer un plan de construcción y operación del biodigestor.

### **1.6 Idea a Defender (investigaciones cualitativas o mixtas) / Hipótesis (investigaciones cuantitativas)**

El diseño estructural de biodigestores combinado con estándares optimizados de ejecución, constituye una solución viable para la gestión sostenible de residuos porcinos y la generación de energía renovable en granjas dedicadas a esta actividad. Este enfoque se basa en la conversión eficiente del estiércol de cerdo en biogás mediante un proceso natural de descomposición controlada, utilizando este recurso como fuente energética para las operaciones de las granjas, a través de generadores de biogás. La identificación de parámetros operativos óptimos, como la eficiencia

energética, el rendimiento de biogás por kilogramo de estiércol y factores climáticos específicos asegura una producción eficiente de electricidad, al mismo tiempo que minimiza los desperdicios.

Este proyecto también promueve la administración sustentable al convertir el biogás en energía eléctrica evitando la liberación de gases de efecto invernadero, así como la contaminación del suelo y del agua. En definitiva, este proyecto constituye una propuesta innovadora para la administración de desechos, impulsa prácticas ecológicas y produce energía renovable.

### **1.7 Línea de Investigación Institucional / Facultad.**

Territorio. Medio ambiente y materiales innovadores para la construcción.

## CAPÍTULO II

### MARCO REFERENCIAL

#### 2.1 Marco Teórico:

##### 2.1.1 Suelos

**2.1.1.1 Clasificación de suelos** Según Chalco Chávez y Olivos García (2019) presenta las siguientes definiciones de los principales tipos de suelo existentes:

##### **Gravas**

Son trozos de rocas con partículas que oscilan entre 2mm y 3 pulgadas (7.62cm). Debido a su procedencia, las gravas, al ser movidas por las aguas, adquieren aristas redondeadas a causa del desgaste.

##### **Arenas**

Material de grano fino con partículas de diámetro que oscilan entre los 2mm y los 0.05 mm. Las arenas, al estar limpias, no se vuelven plásticas ni se contraen, en contraste con las arcillas, experimentan una menor presión y, al aplicar una carga sobre ellas, se comprimen de inmediato.

##### **Limos**

Presentan poca o ninguna plasticidad. Sus partículas finas varían entre 0.05 mm y 0.005 mm de diámetro. Se muestran dos tipos de limos: los inorgánicos, producidos en las canteras y los orgánicos, manifestando características plásticas presentes en los ríos.

##### **Arcillas**

Partículas de diámetro inferior a 0.005 mm, presentan cohesión, características plásticas, se comprimen lentamente al soportar una carga. (Chalco Chávez y Olivos García, 2019) “Un contenido mínimo del 15% de arcilla en un suelo le dará a éste las propiedades de la arcilla” (p.25).

En Ecuador, específicamente en la zona costa los suelos se definen por tres grupos, consisten en suelos formados sobre rocas viejas sedimentarias, metamórficas o ígneas; estas comprenden la mayor parte de suelos ubicados en la zona. (Moreno Izquierdo y Sevillano, 2020). En este caso se da prioridad al suelo de costa que es donde se establecen la mayoría de las granjas porcinas debido al clima tropical húmedo / seco. En su mayoría estos suelos no representan la estabilidad necesaria para poder soportar cargas de estructuras. En el contexto de la estructura donde se implementará el biodigestor según el requerimiento del tamaño de este sistema representará un mejoramiento del suelo a trabajar según sus condiciones.

Según Vargas Quintero y Mancera Rodríguez (2020) para poder evaluar las condiciones del terreno y darlas como óptimas para la instalación de los cubetos es necesario tener en cuenta los siguientes factores:

- La capacidad de soporte última del suelo
- Área requerida para la fundación del cubeto en su base.
- Área requerida para la fundación del cubeto en su parte lateral.
- Asentamiento totales que se presentan en el suelo sobre el cual descansara el cubeto.
- Factor de seguridad contra volcamiento de la estructura.
- Refuerzo de acero necesario para el cubeto para soportar las cargas del biodigestor.

Para la determinación de capacidad de soporte admisible se obtiene a través de la siguiente ecuación.

$$q_{ult} = \frac{1}{2} N_c \left( \frac{c}{\gamma} \right)^{1.5} \left[ \frac{c}{\gamma} \right] \left( \frac{c}{\gamma} \right)^{1.5} \gamma D_f N_q$$

Donde:

$q_{ult}$  : Capacidad de soporte ultima (Ton/m<sup>2</sup>)

B : Ancho mínimo de la cimentación (m)

$c$  : Cohesión del material (Ton/m<sup>2</sup>)

$y_1$  : Peso volumétrico del suelo bajo del nivel de desplante (Ton/m<sup>3</sup>)

$y_2$  : Peso volumétrico del suelo por encima del nivel de desplante (Ton/m<sup>3</sup>)

$D_f$  : Profundidad de la cimentación (m)

$N_y$   $N_c$   $N_q$  : Factores de capacidad de carga.

**2.1.1.2 Mejoramiento de suelos** Para: Fernández Lavín y Chamorro Zurita (2023) usualmente, los procedimientos considerados para la optimización del geo material son:

- Compactación superficial con o sin sustitución, uso de maquinaria rotatoria impulsada por un tractor para densificar niveles superficiales mediante pasos sucesivos del equipo sobre el depósito hasta alcanzar la densidad objetivo.

- Compactación dinámica, uso de grúas para desplazar desde elevadas alturas masas conocidas que se compactan al suelo a causa del impacto hasta alcanzar un nivel de compactación preestablecido.

- Vibro compactación, densificación del suelo por medio de un vibrador eléctrico o hidráulico con frecuencia regulable que se encuentra suspendido en una grúa.

- Geo sintéticos, materiales sintéticos fabricados en base a diferentes polímeros para uso geotécnico usado como refuerzo dentro de la masa de suelo.

- Modificación química con mezclas profundas con introducido a través de perforaciones verticales con mezcladores giratorios para formar columnas estabilizadas de suelo con cal, cemento, betún u otro.

- Modificación química mediante mezclas en masa, consiste en combinar grandes cantidades de terreno con sustancias químicas con el fin de optimizar las características de los estratos superficiales.

- Precarga, significa poner una carga ya definida sobre un estrato compresible con el fin de consolidarlo y optimizar sus características mecánicas. Este método puede incorporar drenes verticales para agilizar el procedimiento.

- Columnas de grava, incorporación de material de relleno en el terreno, usualmente de diversos tamaños con una gradación determinada, con el objetivo de crear columnas densas que se vinculan estrechamente con el suelo alrededor.

- Inyecciones de compactación, se aplica una mezcla rígida de suelo-cemento-agua que densifica el terreno circundante mediante el movimiento.

- Inyecciones a presión, uso de chorros de alta velocidad y presión en perforaciones anteriores, donde un compuesto químico (resinas, lechadas o silicatos de sodio) se combina con el terreno para crear columnas o placas.

- Procedimientos de permeación, aplicación por gravedad de una lechada química de baja viscosidad con el objetivo de llenar los poros del terreno y potenciar su resistencia al corte.

- Drenes verticales, destinados a regular la sobrepresión de poro ocasionada por la influencia de una carga estática o dinámica en un estrato saturado. Es posible utilizar para agilizar el proceso de consolidación o reducir el potencial de licuación de un estrato suelto o suave.

**2.1.1.3 Relleno con material de compactación** Según MCA perforaciones (2023) dijo que fue un estudio que tuvo como objetivo identificar visualmente el ambiente original de los diferentes tipos de suelo en el área de estudio y determinar todas sus características. También se utilizan para obtener parámetros del suelo, que junto con los estudios de laboratorio ayudan en el cálculo de diversos factores como parámetros de deformación, permeabilidad, resistencia al corte, etc. Esto deberá realizarse antes del desarrollo del proyecto para obtener la información geotécnica topográfica necesaria y determinar los pasos a seguir según sus características y prevenir posibles deficiencias. Una vez que domines todas estas características, podrás empezar a desarrollar cualquier tipo de proyecto con la máxima seguridad, lo que lo hace imprescindible en la práctica.

Según Fernández Lavín y Chamarro Zurita (2023) los rellenos compactados representan una opción habitual para optimizar suelos de baja capacidad portante en construcciones. El proceso de formación de terraplenes se lleva a cabo en el terreno natural tras la extracción previa de material débil y compresible. Es esencial que el proceso de conformación sea supervisado meticulosamente, dado que el relleno es más resistente y menos compresible que el depósito natural y proporcionará un respaldo inmediato a los distintos sistemas de cimentación de una edificación.

## **2.1.2 Membrana**

**2.1.2.1 Materiales de fabricación.** La geomembrana es un elemento muy utilizado dentro de la Ingeniería civil, ambiental, agrícola. Sus usos pueden variar para los diferentes proyectos, pero en general es relacionada para la contención, protección o impermeabilización de los suelos. La geomembrana pertenece al grupo de geo sintético que se producen en láminas o filamentos de tela o fibras con una variación en su composición, espesor y resistencia. Fabricadas con laminas

Fabricadas generalmente con láminas poliméricas continuas que son relativamente delgadas pegadas entre si hasta lograr el espesor requerido, entre mayor sea el espesor aumentara su vida útil debido a su degradación. Para este punto se agregan aditivos de polímero para poder mejorar su resistencia por la degradación a la exposición de la luz solar siendo estos los materiales y proceso más común para su fabricación. Por otro lado, existe otra composición que suele ser a partir de la impregnación de geotextil con aerosoles de asfalto, elastómero o polímero o también como geos compuestos bituminosos multicapa. (Kelenchi y Okeke, 2019).

### Figura 1

Tipos de Geomembrana



Fuente: Kelechi y Okeke (2019)

**2.1.2.2 Propiedades técnicas.** Las propiedades de este geo sintético son que presenta un revestimiento o barrera de membrana sintética impermeable que se utiliza para controlar la infiltración de fluidos o gases.

Para la determinación de las propiedades técnicas de las geomembranas han sido métodos de prueba genéricos realizados por la ASTM. Entre sus principales propiedades técnicas:

- Propiedades físicas. Principales propiedades que presentan su espesor, lamina lisa, texturizada, altura aspereza.

- Densidad. Dada su composición y diseño buscando garantizar la impermeabilidad, durabilidad y resistencia de la membrana con ayuda de los polímeros de alta densidad.

- Propiedades mecánicas. Resistencia a tensión y elongación capaz de soportar fuerzas de tracción y capacidad de estirarse antes de romperse.

Estas propiedades conforman un punto crucial para su monitoreo de mantenimiento, previniendo su degradación y alargar su vida útil. (Palomares Montealegre & Mojica Prieto, 2021). Además, garantizan que la geomembrana resista a tensiones durante su instalación, soporte condiciones ambientales y cargas mecánicas en su tiempo de uso y vida útil, para el uso de biodigestores es necesario que esta geomembrana tenga un espesor mínimo de 0.5mm para poder soportar la carga de todo el sistema y del cubeto donde ira el biodigestor.

**2.1.2.3 Especificaciones según catálogos.** Para el uso de biodigestores se recomienda usar dos tipos de geomembrana, HDPE Geomembrana de polietileno de alta densidad o LLDPE Geomembrana de polietileno de baja densidad lineal.

Geomembrana HDPE

Espesor: 0.5mm y 2.5mm

Resistencia: Resistencia química, mecánica y radiación UV.

Presentación: Acabados lisos o texturizados.

Geomembrana LLDPE

Espesor: 0.5mm y 2.5mm

Resistencia: Resistencia química, mecánica y radiación UV.

Presentación: Acabados lisos o texturizados.

Las especificaciones entre ambos tipos de geomembrana son similares la desventaja de la LLDPE frente a la HDPE es que presenta una mayor flexibilidad y resistencia al agrietamiento por tensión, teniendo un costo mayor.

En Ecuador existen diversos proveedores y fabricantes de geomembranas FULLCONS destaca por su reconcomiendo en la industria de soluciones de construcción y reseñas positivas en sus productos, actualmente cuenta con distribución de geomembrana HDPE lisa, que cuenta con certificación GM13, está homologado por un estándar americano que garantiza la calidad y funcionamiento de geomembranas de polietileno de alta densidad HDPE. (Fullcons, 2024)

**2.1.2.4 Normativas de geomembranas.** Las normativas para el uso de geomembranas están regidas por estándares internacionales como ASTM y GRI.

**Principales Normativas ASTM:** (ASTM INTERNATIONAL, 2023)

**ASTM D5199** – Determinación del espesor nominal de geomembrana

Este estándar define el proceso del material y su uniformidad.

**ASTM D1505** – Determinación del material plástico.

Se utiliza para medir la densidad del material ya sea geomembrana HDPE O LLDPE.

**ASTM D6693** – Resistencia a la tracción.

Este método prueba la resistencia a la tensión y elongación del material. Es fundamental para determinar cómo se comporta la geomembrana ante cargas y deformaciones.

**ASTM D5641** – Pruebas de resistencia al impacto.

Verifica la capacidad de las geomembranas para resistir perforaciones causadas por impactos durante su manipulación o instalación. Evaluación del comportamiento de las geomembranas cuando interactúan con otros materiales, como suelos o geotextiles. Es relevante para aplicaciones en pendientes o estructuras de contención.

**ASTM D5397** – Prueba de resistencia al agrietamiento por tensión.

Evalúa la capacidad de la geomembrana de resistir grietas bajo tensiones a largo plazo, lo cual es crítico en instalaciones sometidas a altas tensiones.

**ASTM D756** – Pruebas de resistencia a bajas temperaturas

Determina cómo las geomembranas se comportan bajo condiciones de frío extremo, asegurando su flexibilidad y resistencia. (ASTM INTERNATIONAL, 2023)

**Principales Normativas GRI:** (GRI Standars, 2023)

**GRI GM13** – Normativa especializada en la geomembrana de polietileno de alta densidad HDPE.

**GRI GM 17** – Normativa especializada en la geomembrana de polietileno lineal de baja densidad LLDPE.

### **2.1.3 Biodigestores y biogenerador**

**2.1.3.1 Definición y tipo de biodigestores.** Un biodigestor es un tanque cerrado donde se genera gas metano y fertilizante orgánico a partir de la fermentación anaeróbica de materia orgánica. Provee las condiciones controladas necesarias para el proceso de biodigestión. Del proceso se obtienen como productos finales biogás (metano, bióxido de carbono, nitrógeno y ácido sulfhídrico), biosol (fertilizante sólido) y biol (fertilizante líquido).

El funcionamiento básico parte de agregar residuos orgánicos y agua a un contenedor hermético, donde comienza el proceso de fermentación anaeróbica. Luego se extrae el biogás para su almacenamiento, uso directo o como fertilizante. (Liderde, 2024)

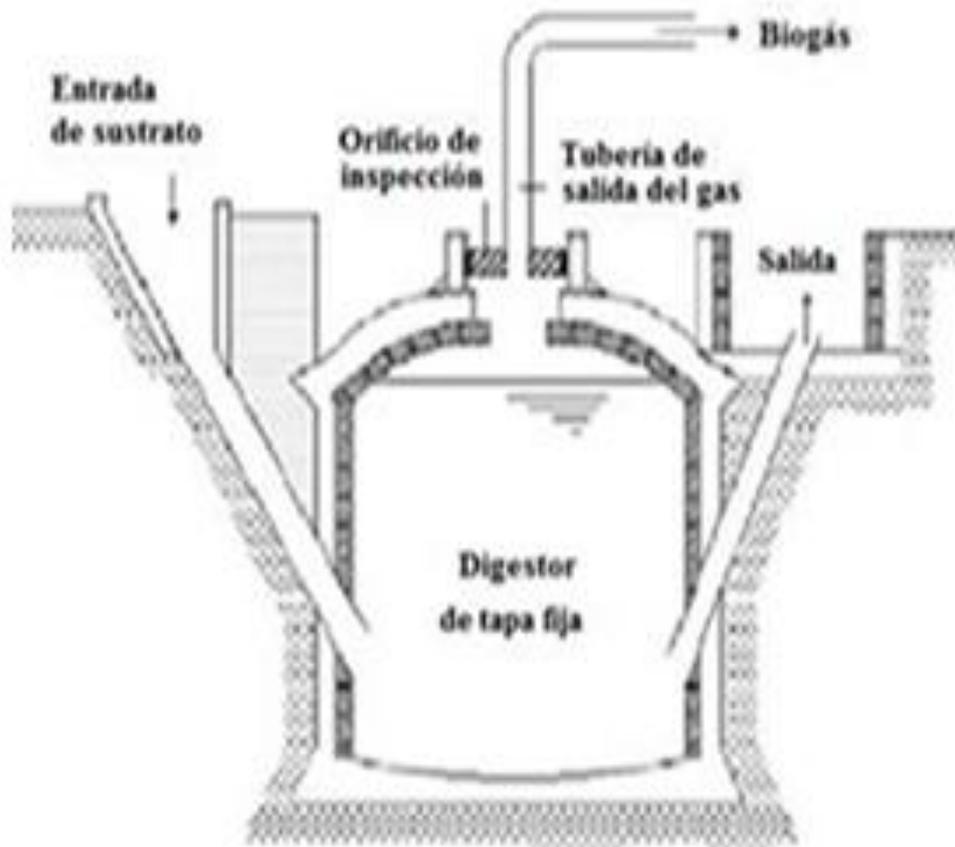
#### **2.1.3.2 Principio de funcionamiento del biodigestor.**

##### ***Modelo chino o de cúpula fija***

Fue desarrollado al ver el éxito del biodigestor hindú, el gobierno chino adaptó esta tecnología a sus propias necesidades, ya que China tenía un gran problema sanitario y vieron la forma de que con esta tecnología puedan deshacerse de los restos fecales. Poseen una vida útil estimada entre 15 y 20 años; y pueden llegar a alcanzar de 6 a 91 m<sup>3</sup> en aplicaciones domésticas y hasta 740 m<sup>3</sup> en aplicaciones industriales. (Nicho Alvarado y otros, 2021)

**Figura 2**

Biodigestor Modelo Chino o de Cúpula Fija



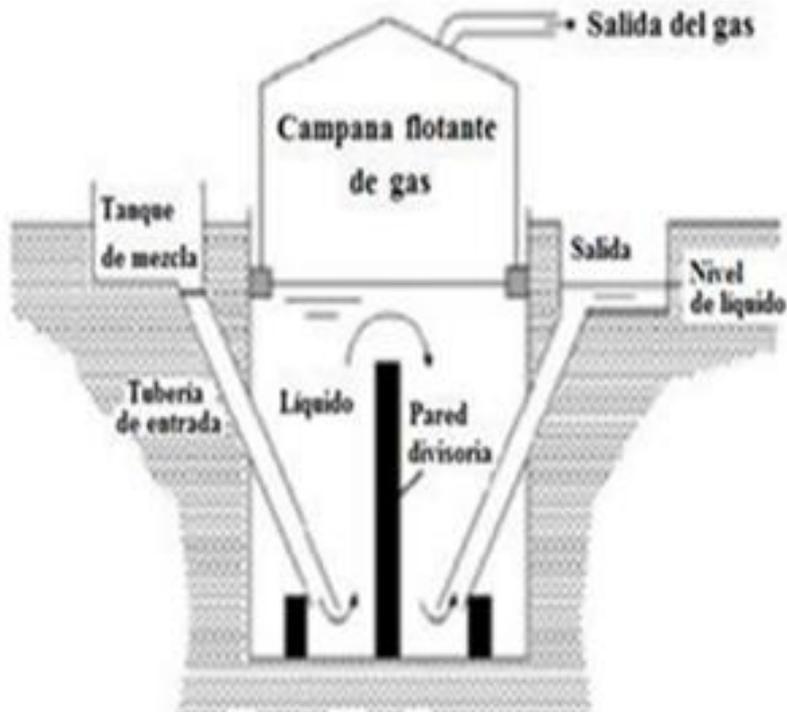
Fuente: Nicho Alvarado y otros (2021)

### ***Biodigestor de campana flotante o de tipo hindú***

El biodigestor hindú fue desarrollado en la India después de la segunda guerra mundial en los años 50, surgió por necesidad ya que los campesinos necesitaban combustible para los tractores y calefacción para sus hogares en época de invierno, luego cuando terminó la guerra se volvió a conseguir combustibles fósiles por lo que dejaron los biodigestores y volvieron a los hidrocarburos. Su productividad volumétrica es ligeramente superior (0,3-0,6 m<sup>3</sup> de biogás por m<sup>3</sup> de biodigestor al día) a la de los biodigestores de tipo chino, lo cual se debe a la forma uniforme en que fluye la materia orgánica dentro del biodigestor. (Nicho Alvarado y otros, 2021)

**Figura 3**

Biodigestor de Campana Flotante o de tipo Hindú



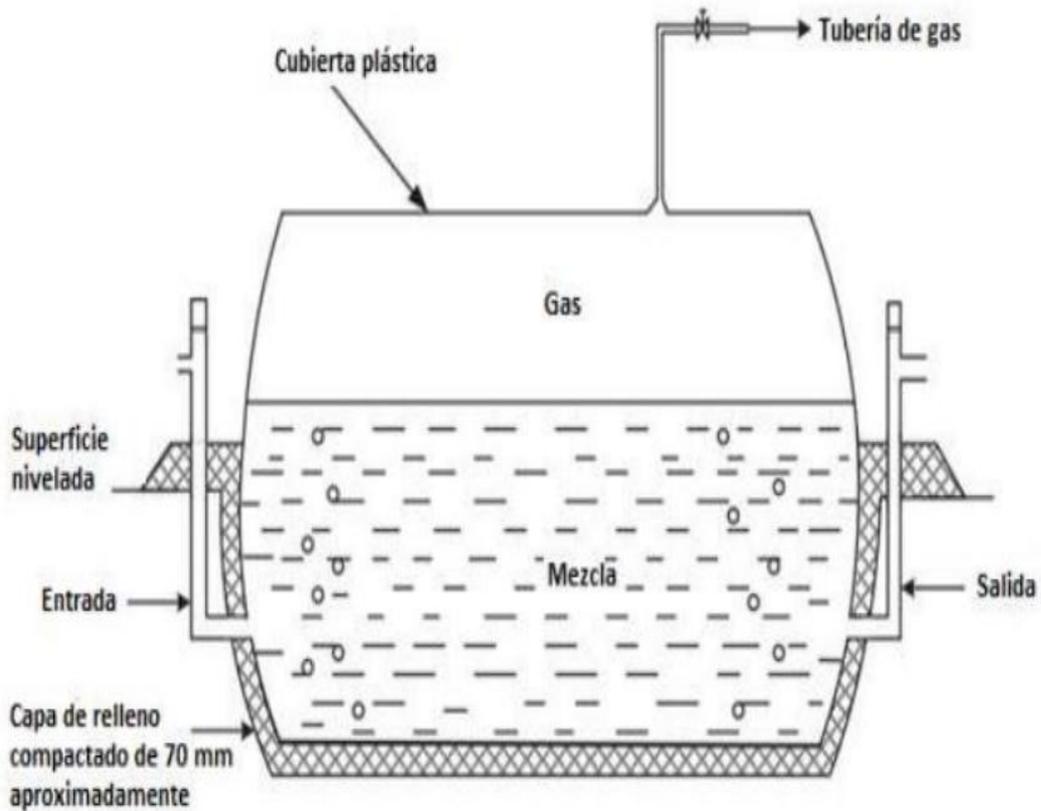
Fuente: Nicho Alvarado y otros (2021)

### ***Biodigestor tubular o de bolsa de polietileno***

Este tipo de biodigestor requiere de protección y posible aislamiento térmico contra condiciones climáticas extremas ya que afecta considerablemente la producción del biogás, lo cual incrementa los costos de instalación, pero aun así son considerados bajos a comparación de los biodigestores de tipo chino o hindú. Su vida útil se considera de entre 2 y 5 años. Los volúmenes máximos que pueden alcanzar oscilan entre los 5 y 20 m<sup>3</sup> por lo que su aplicación se ve limitada a escenarios con baja disponibilidad de sustratos y no admite residuos fibrosos. (Sencia Choquenaira, 2020)

**Figura 4**

Biodigestor Tubular o de Bolsa de Polietileno



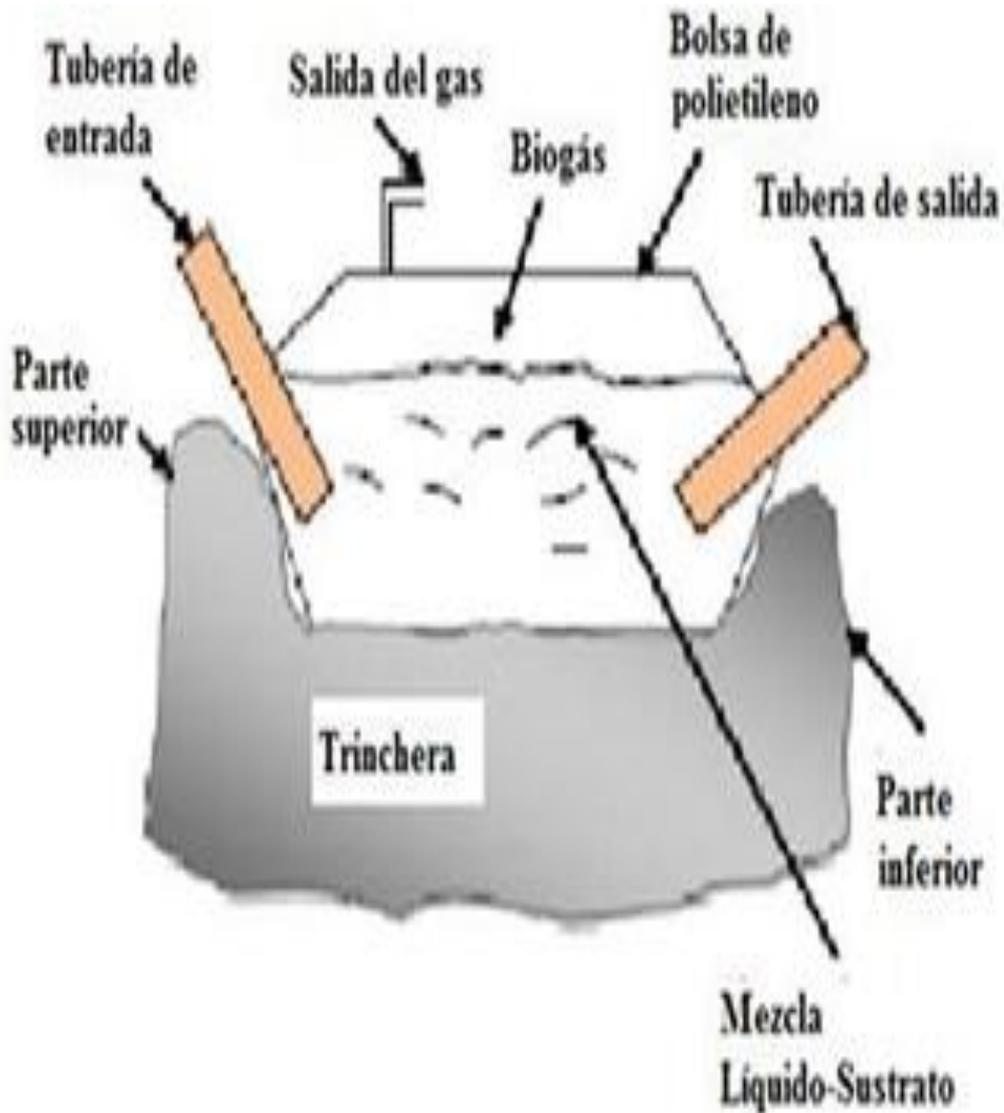
Fuente: Sencia Choquenaira (2020)

### ***Biodigestor de híbrido cubano***

Estos biodigestores poseen una tapa fija, que a diferencia de los de tipo chino, tiene una forma plana; como todos los demás poseen una entrada para alimentar el sustrato y una salida de digestato que a escala doméstica actúa como tanque de compensación. (Nicho Alvarado y otros, 2021)

**Figura 5**

Biodigestor de Híbrido Cubano



Fuente: Nicho Alvarado y otros (2021)

A escala doméstica sus volúmenes oscilan entre los 3 y 50 m<sup>3</sup> mientras que a escala industrial alcanzan volúmenes de hasta 763 m<sup>3</sup>, pudiéndose tratar los residuales generados por 10 cerdos por cada m<sup>3</sup> de reactor, a diferencia del reactor tipo “chino” donde solo se logra tratar los residuales de 3 cerdos por cada m<sup>3</sup> de reactor. La calidad del biogás reportado por diseño logra 60% de metano trabajando en régimen continuo.

**Tabla 1**

Componentes del biogás.

Componente	Concentración
<b>Metano (CH<sub>4</sub>)</b>	50-75 %(vol)
<b>Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)</b>	25-45 %(vol)
<b>Vapor de agua (H<sub>2</sub>O)</b>	2-7 %(vol)
<b>Ácido sulfídico (H<sub>2</sub>S)</b>	20-20.000 ppm
<b>NITRÓGENO (N<sub>2</sub>)</b>	< 2 %(vol)
<b>OXÍGENO (O<sub>2</sub>)</b>	< 2 %(vol)
<b>HIDRÓGENO (H<sub>2</sub>)</b>	< 1 %(vol)

Fuente: Nicho Alvarado y otros (2021)

### **2.1.3.3 Diseño y componentes del biodigestor.**

**Reactor:** El reactor es el aparato principal donde se lleva a cabo el proceso bioquímico de descomposición de la materia. El terreno del reactor está inclinado de manera que se pueda extraer la arena, el material inorgánico sedimentable y la parte pesada del afluente del tanque. Los digestores actuales cuentan con tapas, fijaciones o flotadores, cuyo propósito es evitar la difusión de olores, mantener la temperatura, prevenir la entrada de oxígeno y recolectar el gas generado.

Existen diferentes materiales que pueden ser fabricados, desde una piscina revestida de HDPE, concreto, hasta acero inoxidable.

**Ingreso del afluente:** usualmente, el afluente se inserta por la parte alta del digestor y el sobrenadante se extrae por el lado opuesto.

**Salida del efluente:** podrían existir entre tres y cinco tubos de sobrenadante situados en diferentes niveles, o un solo tubo con válvulas situadas en diferentes niveles, para su extracción. Normalmente, se selecciona el nivel que produzca un efluente de mejor calidad (con la menor cantidad de sólidos posible).

**2.1.3.3.1 Sistemas de extracción de lodos.** El sistema de extracción de lodos del digestor, está diseñado con una estructura de hormigón, funciona mediante un principio de compensación, asegurando que la cantidad de lodo que entra sea igual a la que sale. La estructura del digestor incluye un pozo o cámara en la parte inferior, donde los lodos se acumulan tras el proceso de digestión anaeróbica. En lugar de utilizar bombas, se emplea un sistema de descarga que permite un flujo constante y uniforme, sin interrupciones. Este sistema está compuesto por una serie de canales y conductos ubicados estratégicamente para facilitar la evacuación del lodo, manteniendo un equilibrio constante entre la entrada y la salida del material. La estructura de hormigón proporciona la resistencia necesaria para soportar las condiciones del proceso, como el peso de los lodos y las presiones internas, mientras que su diseño asegura una descarga eficiente sin la necesidad de dispositivos mecánicos adicionales. Este enfoque optimiza la operación del digestor, garantizando un funcionamiento estable y eficiente del sistema. (Spahr y otros, 2019)

**2.1.3.4 Producción de biogás.** Según Taipe Castro (2019) indica que la mezcla de estiércol con agua en el interior del biodigestor, en ausencia de aire, producirá biogás. Esta producción no es constante, y es un proceso que dura, más o menos, el tiempo de retención estimado según la temperatura de trabajo. De esta forma, un kilo de estiércol irá produciendo biogás de poco a poco a lo largo del tiempo de retención al que esté sometido. (pp. 36-37)

Para la producción estimada de biogás utilizamos el método de sólidos totales y sólidos volátiles:

Sólidos totales (ST): El estiércol varía de 13% al 20% = 17%

$ST = \text{carga diaria} (0.17/VL) = (7 \text{ kg/día}) \times (0.17/0.784 \text{ m}^3) = 1.518 \text{ Kg/m}^3/\text{día}$

Sólidos volátiles (SV). - Su valor corresponde aproximadamente y de forma general al 77% del sólido total introducido por día.

Sólidos volátiles (SV): El estiércol vacuno = 77%

$SV = ST (0.77) = 1.518 \times 0.77 = 1.169 \text{ kg/m}^3/\text{día}$

**Tabla 2**

Factor producción de biogás

Ganado	Factor de producción	Factor general
<b>Cerdo</b>	Cerdo 0.25 – 0.50	0.39
<b>Bovino</b>	Bovino 0.25 – 0.30	0.27

Fuente: Feuchter (2024)

Factor de producción de biogás: En vacunos = 0.27

Producción esperada de biogás:

$Q \text{ biogás (m}^3/\text{día)} = 0.27 * SV$

$Q \text{ biogás (m}^3/\text{día)} = 0.27 (1.169 \text{ kg/m}^3/\text{día}) = 0.3156 \text{ m}^3/\text{día} = 315.6 \text{ l/día}$

Según Martí (2008), en una cocina casera, el uso de biogás oscila entre 120 y 130 l/h, mientras que en lámparas de gas, el uso oscila entre 90 y 120 l/h. Así pues, el biogás proyectado puede llegar a ser útil durante 2 horas 40 minutos en la cocina, y 3 horas 30 minutos en lámparas de gas.

**2.1.3.5 Beneficios ambientales.** Hay una gran diversidad de aplicaciones, pero al ser un producto derivado de la biomasa, se convierte en una fuente de energía renovable. Existen varios beneficios provenientes del proceso de transformación de desechos orgánicos en biomasa, entre los que sobresalen ser una opción alterna a la actividad agrícola, una alternativa más favorable que la derivada de la degradación aeróbica; cuando los desechos orgánicos son sometidos a una degradación aeróbica, se producen compuestos de escaso poder energético, gran parte de la energía se desperdicia y se libera a la atmósfera. El consumo energético de un proceso aeróbico es veinte veces superior al de un proceso anaeróbico. Otra de las ventajas notables es la disminución de la presión en los rellenos sanitarios. Se disminuyen los gastos asociados a la eliminación de desechos orgánicos y se adquieren subproductos con un valor añadido. Además, el proceso de tratamiento anaeróbico de los desechos orgánicos ayuda a salvaguardar las aguas subterráneas, disminuyendo la posibilidad de lixiviación de nitratos; además, evita la emisión de olores desagradables. Se aprecian ventajas sociales, económicas y ecológicas. (Spahr y otros, 2019)

**2.1.3.5.1 Eficiencia energética.** Esta eficiencia medida de la digestión anaeróbica permite la transformación de materia orgánica en biogás, el cual está compuesto principalmente por metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Este biogás puede ser utilizado como fuente de energía, optimizando el aprovechamiento de los residuos. Reduciendo la dependencia de fuentes de energía convencionales. (Muños Menéndez y otros, 2020)

**2.1.3.5.2 Reducción de Desechos Contaminantes.** La implementación de un biodigestor en el contexto de una granja porcina permite el tratamiento eficiente de los desechos orgánicos generados, particularmente el estiércol y otros residuos biodegradables. Este sistema contribuye significativamente a la reducción del volumen de desechos que, en ausencia de un tratamiento adecuado, serían liberados en el medio ambiente sin control. Al tiempo que se

promueve una alternativa sostenible para el aprovechamiento energético y la reducción del impacto ambiental de la actividad agropecuaria.

**2.1.3.5.3 Protección de Aguas subterráneas.** Favorece significativamente la lixiviación de nitratos y otros contaminantes derivados del estiércol porcino, evitando su infiltración en las aguas subterráneas. Al degradar la materia orgánica en un sistema cerrado, se minimiza el riesgo de contaminación y se promueve una gestión más sostenible de los residuos generados en la granja. (Gilbert y otros, 2020)

**2.1.3.5.4 Beneficios Socioeconómicos.** La implementación del sistema en las granjas porcinas está estrechamente relacionada con el desarrollo del sector generando oportunidades económicas para las comunidades, impulsando el sector agropecuario.

## **2.1.4 Cubetos**

**2.1.4.1 Definición y propósito de los cubetos.** Un cubeto es una estructura especialmente diseñada para contener y soportar equipos, líquidos u otros materiales, cumpliendo funciones tanto de soporte estructural como de contención y seguridad. El objetivo principal es asegurar una base estable y segura que distribuya uniformemente las cargas sobre el terreno, reduciendo la posibilidad de fallas estructurales o asentamientos diferenciados. Además de los sistemas de impermeabilización y barreras protectoras, se utilizan cubos para evitar fugas o filtros que puedan comprometer el medio ambiente o las instalaciones circulantes.

Son contruidos con hormigón armado, acero u otros materiales capaces de soportar tanto las cargas estáticas del biodigestor como las dinámicas como la presión interna de gases o el peso variable del contenido.

Estos evitan infiltraciones de líquidos al suelo y facilitan la retención de desperdicios.

Su tamaño debe ajustarse al diseño del biodigestor, considerando factores como el peso total, el área de contacto y las condiciones del terreno.

**2.1.4.2 Diseño estructural.** El diseño estructural de los cubetos para biodigestores requiere una base de concreto con una luz adecuada para distribuir la carga, reforzada con mallas o barras de hierro para soportar fuerzas de flexión, y paredes suficientemente gruesas y reforzadas para contener presiones internas y externas, asegurando juntas impermeables en la unidad base-pared. Se toman en consideración cargas permanentes, vivas, presiones del suelo y accidentales; se verifican mediante análisis estructural para asegurar estabilidad y resistencia. Todo ello tomado en consideración; se verifican mediante análisis estructural para garantizar la estabilidad y resistencia. Junto con accesorios de mantenimiento, impermeabilización, también se incorporan sistemas, además se utilizan sistemas de drenaje y reciclaje adaptándose a las normativas locales y a las condiciones singulares del terreno incorporado, adaptándose a la normativa local y a las condiciones singulares del terreno.

**2.1.4.3 Materiales de Construcción.** Los materiales de construcción para el cubeto están diseñados para garantizar la resistencia, durabilidad y funcionalidad del biodigestor, estos serán compuestos principalmente por hormigón armado. Recomendación incorpora aditivos plastificantes para mejorar su trabajabilidad a la hora de verterlo, además integrar selladores hidrofóbicos para reducir la permeabilidad del hormigón y evitar el contacto prolongado de la estructura con los líquidos lixiviados, previniendo filtración hacia el terreno.

El refuerzo estructural compuesto de acero de grado 60 ( $F_y = 420\text{MPa}$ ). Compuesto por mallas de refuerzo en su base y laterales. Estarán conformadas por barras de acero colocadas en ambas direcciones con un diámetro de 10mm recomendando una separación de 15cm.

## 2.1.5 Propiedades estáticas y dinámica de fluidos.

### 2.1.5.1 Presión.

La presión es medida a través de la siguiente ecuación.

$$P = F/A$$

Está sujeta a la normativa S.I, se define la fuerza ejercida como un pascal o también fuerza de newton.

$$1\text{pascal} = 1\text{N}/\text{m}^2$$

En un biodigestor anaerobio como prototipo presentado en este trabajo de titulación estas variables son analizadas a través de recolección de datos, estos elementos determinaran la eficiencia de producción del biogás a través de la descomposición de la materia. En la siguiente tabla se ilustra los parámetros óptimos para su funcionamiento considerando una temperatura ambiente.

**Tabla 3**

Rango óptimo de parámetros del biodigestor.

Parámetro	Rango Óptimo
pH	6.8 – 7.5
Temperatura (°C)	30 – 35
Tiempo de Retención (días)	10 – 25
Relación C/N	20 – 30
Relación agua / sólidos	6 – 10
Presión de diseño (kgf/cm <sup>2</sup> )	14.0614

Fuente: Gómez-Camperos y otros (2021)

Cabe destacar que este proceso se denomina una fermentación mesófila, entre los 20° y 35° para la materia orgánica, lo cual es óptimo para que el biol obtenido pueda ser usado como fertilizante.

**2.1.5.2 Densidad.** La densidad es parte fundamental dentro del diseño y funcionamiento del biodigestor, ya que afecta en la dinámica de fluidos dentro de todo el sistema. En este caso se refiere a la densidad del sustrato obtenida de la mezcla del agua y los desechos porcinos, esta influye en la sedimentación de los sólidos y la producción del biogás. La densidad en el contexto del biodigestor está determinada por la siguiente ecuación:

$$\rho_{gas} = \frac{P * M(g) * T}{Z * R}$$

Donde:

- $\rho_{gas}$  = Densidad del gas (lb/ft<sup>3</sup> )
- P = Presión del gas (Psia)
- M (g) = Peso molecular del gas (lb/lb. Mol)
- Z = Factor de compresibilidad
- R= Constante universal de los gases 10,73 (Psia\*ft<sup>3</sup> /lb.mol°R)
- T = Temperatura del gas (°R)

(Youtube, 2023)

**2.1.5.3 Compresibilidad.** En términos generales la compresibilidad en sólidos, líquidos y gases representa un numero positivo, este se define como la capacidad de reducir su volumen bajo una presión externa, en el diseño del biodigestor la compresibilidad se define en la etapa de acumulación del biogás, compuesto por metano CH<sub>4</sub> y dióxido de carbono CO<sub>2</sub> es un fluido altamente compresible, lo que permite almacenarlo en el biodigestor bajo presiones moderadas antes de ser trasladado al tanque de almacenamiento, la compresión del gas permite activar la válvula una vez se encuentre a su límite, facilitando el traslado del biogás de manera segura.

$$\beta_T = -\frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial p} \right)_T \quad (\text{Otero Pérez y Sandberg, 2019})$$

**2.1.5.4 Principio de Pascal.** El principio de pascal aplicado en proceso del biodigestor se acopla cuando el biogás comienza a producirse después de descomponerse la materia orgánica a través de la digestión anaeróbica. Se parte considerando que este fluido está en reposo y no sufre alteración, por lo tanto.

$$a_x = a_y = a_z = 0$$

Por tanto, esto implica que no hay variación de presión en las direcciones x y y, esta presión solo varía en dirección z.

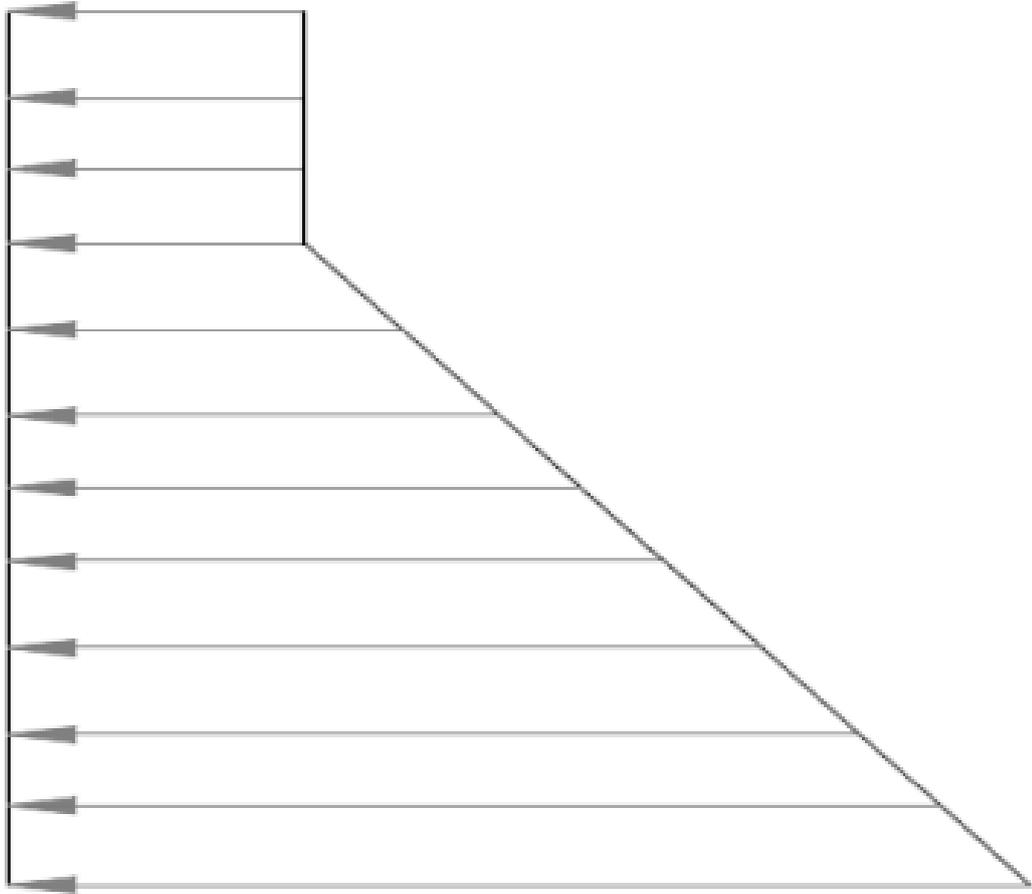
**2.1.5.5 Ecuación de continuidad.** La ecuación de la continuidad es una expresión matemática que describe la conservación de la masa en el flujo de un fluido (líquido o gas). Es una de las leyes fundamentales de la mecánica de fluidos y se deriva directamente del principio de conservación de la masa.

En su forma general, la ecuación de continuidad establece que la cantidad de masa que entra en un sistema es igual a la cantidad de masa que sale, más cualquier cambio de masa dentro del sistema. Para un fluido incompresible, la ecuación toma una forma simplificada, es importante mencionar los fluidos compresibles, como el aire. En estos casos, la densidad del fluido puede cambiar, lo que introduce una variable adicional en la ecuación de continuidad. (Briceño, 2019)

**2.1.5.6 Presión hidrostática.** La presión hidrostática del fluido dentro del biodigestor es la misma hacia todas direcciones de forma horizontal, ya que el fluido es un fluido en reposo, en sentido vertical presión irá incrementando dado que el fluido soportara más presión mientras más cerca este del fondo.

**Figura 6**

Distribución de presiones



Elaborado por: Carrión y Loaiza (2025)

La presión del fluido aumenta de forma vertical conforme el fluido este cerca del fondo, el gas ejercerá más presión sobre el fluido.

Ecuación.

$$P = \rho gh + P_0$$

Donde

P: presión hidrostática

$\rho$ : densidad del fluido (Kg/m<sup>3</sup>)

g: aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

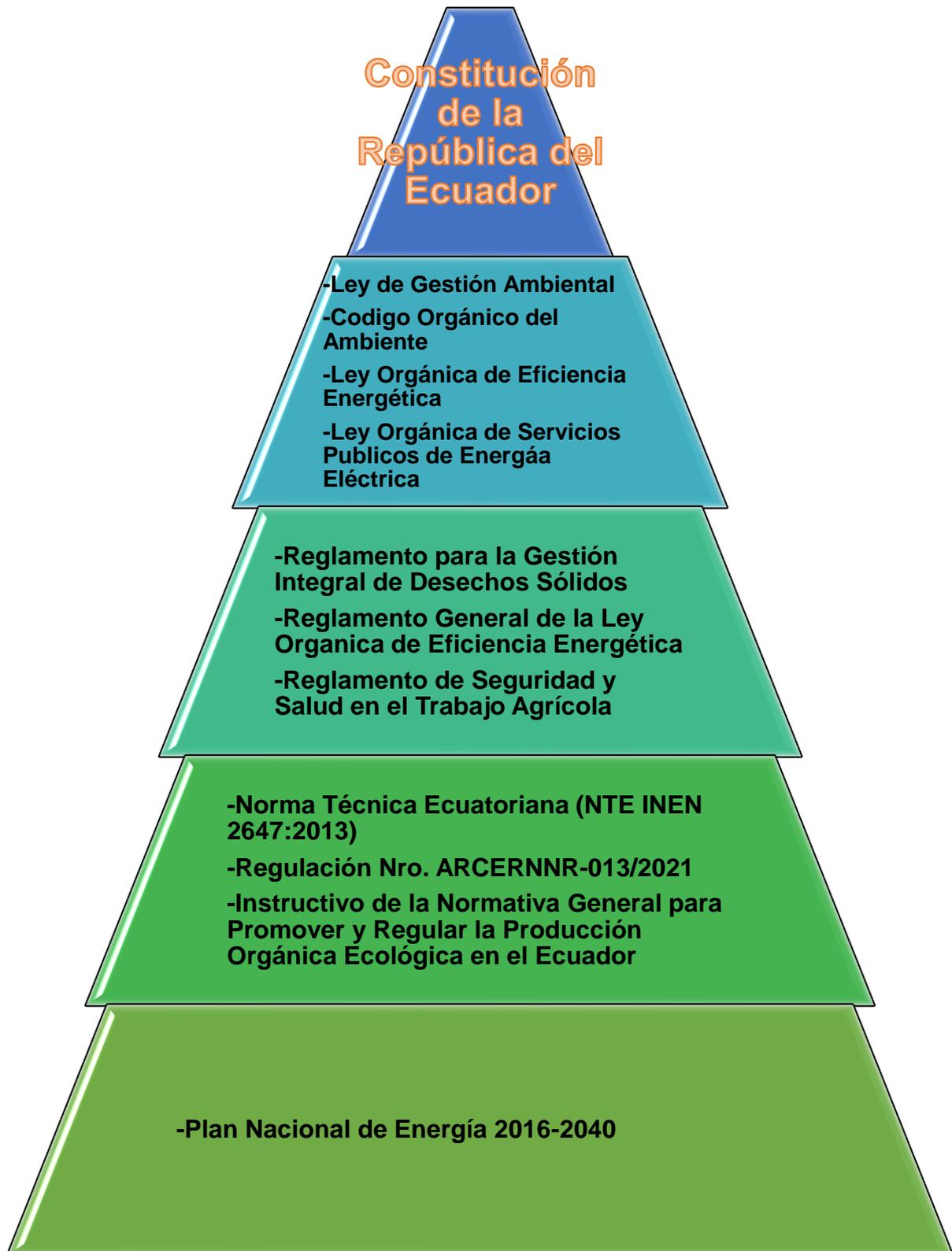
h: altura del fluido (m)

$P_0$ : presión ejercida por el gas dentro del biodigestor sobre el fluido (Pa)

## 2.2 Marco Legal:

Figura 7

Pirámide de Kelsen



Elaborado por: Carrión y Loaiza (2025)

La Pirámide de Kelsen es un modelo teórico propuesto por el jurista Hans Kelsen para representar la jerarquía normativa dentro de un sistema jurídico. En la base de la pirámide se encuentran las normas de menor rango, como los reglamentos y disposiciones administrativas, mientras que en la cúspide se ubican las normas constitucionales, que rigen todo el sistema legal.

El manejo de residuos orgánicos y la implementación de biodigestores están regulados por varias normativas que buscan garantizar un manejo adecuado de los desechos y promover el uso de tecnologías sostenibles.

- Ley de Gestión Ambiental (Ley No. 37): Esta ley establece los principios de la política ambiental en Ecuador, incluyendo la gestión adecuada de los residuos sólidos y la promoción de tecnologías limpias, como los biodigestores, en actividades productivas. Además, se busca garantizar la sostenibilidad ambiental y reducir los impactos negativos sobre el medio ambiente.

- Artículo 290 Código Orgánico del Ambiente - Responsabilidad por daño ambiental: Este artículo señala que quienes causen daño ambiental están obligados a repararlo. La implementación de biodigestores contribuye a prevenir posibles daños ambientales derivados de la gestión inadecuada de residuos porcinos.

- Artículo 235 Código Orgánico del Ambiente - Gestión integral de residuos peligrosos y especiales: Establece que la Autoridad Ambiental Nacional regulará la gestión de residuos peligrosos y especiales, asegurando su manejo adecuado para proteger la salud humana y el ambiente. Aunque el estiércol porcino no siempre se clasifica como residuo peligroso, su manejo inadecuado puede generar impactos ambientales significativos, por lo que su tratamiento mediante biodigestores es recomendable.

- Artículo 233 Código Orgánico del Ambiente - Responsabilidad extendida del productor: Indica que los productores son responsables de la gestión ambiental de sus productos durante todo su ciclo de vida, incluyendo la etapa post-consumo. En el contexto porcino, esto implica una gestión adecuada de los desechos generados, donde los biodigestores juegan un papel clave.

- Artículo 226 Código Orgánico del Ambiente - Principio de jerarquización: Este artículo establece que la gestión de residuos y desechos debe seguir un orden de prioridad: prevención, minimización, aprovechamiento, tratamiento y disposición final. La implementación de biodigestores en granjas porcinas se alinea con este principio al promover el aprovechamiento de residuos orgánicos.

- Artículo 245 del Código Orgánico del Ambiente - Producción más limpia y consumo sustentable: Todas las entidades y personas, según corresponda, deben incorporar medidas para prevenir la contaminación, optimizar el uso de materias primas y fomentar energías renovables. Además, se deben minimizar cargas contaminantes, promover mejoras en procesos productivos, facilitar el acceso a información y tecnología para una producción más limpia, y aprovechar los desechos de manera sustentable.

- Reglamento para la Gestión Integral de Desechos Sólidos: Este reglamento establece las directrices para la gestión de desechos sólidos en el Ecuador, abarcando tanto residuos urbanos como rurales. En el contexto de las granjas porcinas, se promueve el uso de biodigestores para el manejo de estiércol, asegurando un tratamiento adecuado de los desechos.

La producción y uso de biogás en Ecuador está regulado por normativas que aseguran la eficiencia y seguridad en la generación y utilización de este tipo de energía.

- Ley Orgánica de Eficiencia Energética (Artículo 1) Objeto y Ámbito: Esta ley establece el marco legal para promover el uso eficiente, racional y sostenible de la energía en todas sus formas, incluyendo el biogás, con el objetivo de incrementar la seguridad energética del país.

- Reglamento General de la Ley Orgánica de Eficiencia Energética (Artículo 2) Disposiciones Generales: Este reglamento complementa la ley mencionada, detallando las resoluciones y normativas en materia de eficiencia energética que deben ser observadas por las entidades públicas y privadas involucradas en la producción y uso de energía, incluyendo la derivada del biogás.

- Instructivo de la Normativa General para Promover y Regular la Producción Orgánica Ecológica en el Ecuador (Artículo 2) Uso de Biotecnología: Este instructivo regula, bajo normas de bioseguridad, el uso y desarrollo de biotecnología en la producción agropecuaria, lo que incluye la implementación de biodigestores para la producción de biogás a partir de residuos orgánicos.

- Regulación Nro. ARCERNNR-013/2021 (Aplicación a Generación Distribuida): Esta regulación se aplica a consumidores regulados que instalen y operen sistemas de generación distribuida para autoabastecimiento, sincronizados a la red de distribución. Aunque no se menciona específicamente el biogás, las disposiciones pueden ser aplicables a sistemas que utilicen biogás como fuente de energía.

- Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 2647:2013): Esta norma específica establece los requisitos para la instalación y operación de sistemas de biogás, asegurando su eficiencia y seguridad. Además, regula las condiciones que deben cumplir las instalaciones que utilizan biogás para la generación de electricidad.

El Ecuador ha desarrollado un marco legal que promueve el uso de energías renovables, como la generada a partir de biogás, dentro de su política energética nacional.

- Ley Orgánica de Servicios Públicos de Energía Eléctrica (2015): Promueve el desarrollo de proyectos de energía renovable en el país, incluyendo aquellos basados en biogás. Esta ley establece incentivos para la generación de energía limpia y busca diversificar la matriz energética nacional.

- Plan Nacional de Energía 2016-2040: Este plan define la política energética del Ecuador, destacando la importancia de integrar energías renovables en la matriz energética del país. El biogás, como fuente de energía renovable, es una opción prioritaria en este marco.

El uso de biodigestores en granjas porcinas también está sujeto a regulaciones ambientales y agropecuarias que buscan minimizar el impacto ambiental y garantizar la salud pública.

- Código Orgánico del Ambiente (2017): Este código regula las actividades que puedan causar impactos ambientales, incluyendo el manejo de residuos agropecuarios. Los biodigestores están alineados con los principios de sostenibilidad promovidos por este código, que incentiva el uso de tecnologías limpias y el aprovechamiento de residuos orgánicos.

- Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo Agrícola: Establece normas de seguridad para las actividades agrícolas, incluyendo la operación de biodigestores y biogeneradores, asegurando un ambiente de trabajo seguro para los operadores de estas tecnologías.

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Enfoque de la investigación: (cuantitativo, cualitativo o mixto)

El método cualitativo es un enfoque de investigación que se emplea para investigar y entender fenómenos sociales y humanos complejos, tales como vivencias, conductas y sentimientos. Su estudio se fundamenta en el análisis interpretativo desde la perspectiva del investigador, utilizando diversas técnicas de recopilación de datos no estructuradas, como las entrevistas a los participantes. (Rosales, 2023)

La investigación cuantitativa es un método que se centra en la recopilación y el análisis de datos numéricos, permitiendo su medición y evaluación de manera objetiva. Se distingue por emplear estrategias y técnicas que facilitan la obtención estructurada de información en forma de cifras, estadísticas y métricas. (Dupuis, 2020)

El enfoque de la investigación para este proyecto es mixto, ya que combina elementos cuantitativos y cualitativos para abordar los objetivos planteados de manera integral. Por un lado, el análisis de las propiedades de los residuos, así como la evaluación de la eficiencia técnica y económica del biodigestor, requiere la recolección y análisis de datos numéricos, como volúmenes de biogás producido, características geotécnicas del sitio, costos y beneficios económicos, lo cual es propio del enfoque cuantitativo. Por otro lado, el diseño de un plan de construcción y operación del biodigestor puede involucrar aspectos cualitativos, como el análisis de prácticas operativas en granjas porcinas y la consideración de factores sociales o culturales que influyan en la implementación del sistema. Este enfoque permite combinar la precisión y objetividad del análisis técnico con la flexibilidad y profundidad necesarias para adaptar el biodigestor a las condiciones específicas del entorno, asegurando una solución técnicamente viable y operativamente adecuada.

### **3.2 Alcance de la investigación: (Exploratorio, descriptivo o correlacional)**

El alcance del proyecto se basa en una técnica correlacional, específicamente en la relación que existe en la eficiencia del biodigestor contando con un diseño estructural adecuado a las condiciones donde se lo implementara, eficiencia evaluada en termino de producción de biogás. Este alcance permitirá establecer como las propiedades de los desechos influyen en rendimiento del sistema, proporcionando una base para la optimización de biodigestores dedicados a la industria porcina, lo que contribuirá por otro lado al desarrollo de tecnologías para su optimización.

En el alcance exploratorio, la investigación es aplicada en fenómenos que no se han investigado previamente y se tiene el interés de examinar sus características.... Por tanto, se debe arrancar explorando el fenómeno para poder tener un primer acercamiento en la comprensión de sus características. (Ramos Galarza, 2020)

El alcance de la investigación es descriptivo con elementos exploratorios, ya que busca caracterizar y analizar con detalle las variables involucradas en el diseño y operación de un biodigestor adaptable a las condiciones de granjas porcinas. En su carácter descriptivo, diseñar la estructura del sistema considerando las características geotécnicas del sitio, y evaluar la eficiencia técnica y económica del biodigestor propuesto, generando información clara y precisa que permita su implementación práctica. Por otro lado, incorpora un componente exploratorio al analizar con un enfoque novedoso, el potencial de los residuos porcinos para la producción de biogás en este contexto particular, sentando las bases para futuras investigaciones o desarrollos tecnológicos en este campo. Este alcance permite abordar el proyecto de manera integral, generando conocimiento que no solo describe las condiciones actuales, sino que también explora soluciones innovadoras adaptadas al entorno específico.

### 3.3 Técnica e instrumentos para obtener los datos

La técnica de investigación ha sido por medio de observación y grupos focales, basándose en los principales beneficiados del proyecto que son las granjas dedicadas a la industria porcina, específicamente en la parte alta de El Oro, obteniendo datos de todas las granjas existentes en el sector, así como su capacidad de producción basando en los animales (cerdos) que cuentan hasta la fecha diciembre 2024. Un total de 113 beneficiados registrados, tomando en cuenta que existen diversas familias que también se dedican a la industria porcina que aún no han sido registrados.

### 3.4 Población y muestra

La población determinada para este proyecto está compuesta por un total de **113 beneficiarios**, este grupo contempla los sectores Damas, El Tamarindo, Fátima, La Florida, Las Orquídeas, Las Palmas, Naranjos, Panupalli, San José, Saracay, que conforman el sector dedicado a la industria porcina de la parte alta de El Oro. identificados mediante un análisis cuantitativo realizado previamente. Análisis planteado gracias a la Asociación de Ganaderos de El Oro, por lo que ha facilitado una nómina de todas las granjas registradas hasta el momento de realización de este proyecto. Este grupo corresponde a los principales actores involucrados y beneficiados por la implementación del biodigestor, considerando tanto a los productores porcinos como a los usuarios finales del biogás y biofertilizantes generados.

Se ha realizado una encuesta a una población específica, sectores: Fátima, La Florida, Las Orquídeas, Las Palmas, donde se encuentran distribuidas 29 granjas. El cuestionario incluyó una pregunta.

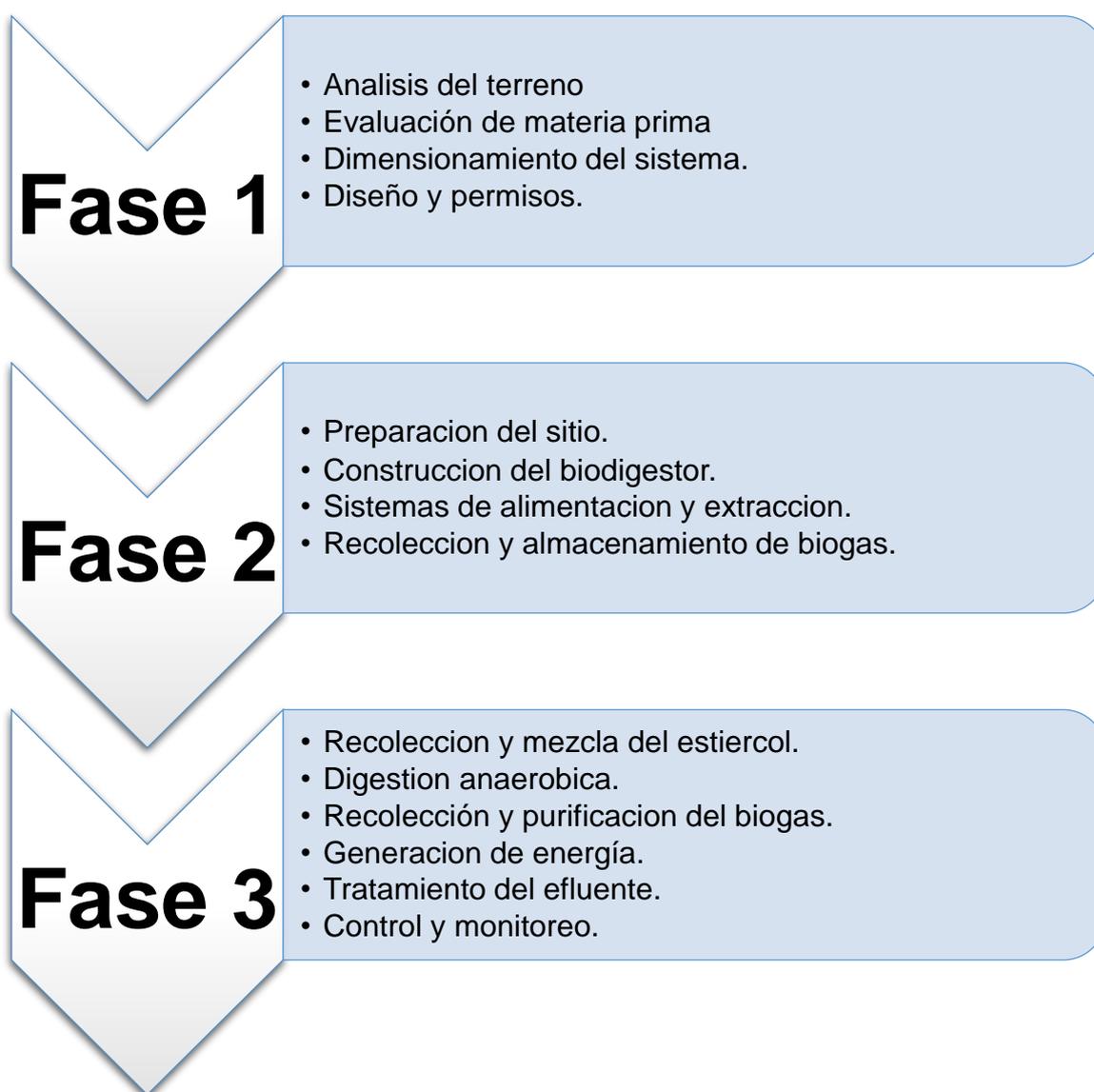
¿Actualmente su granja cuenta con un sistema de biodigestor para la gestionar los desechos porcinos?

La consulta permitió identificar el nivel de implementación de biodigestores en la zona y evaluar el interés de los productores en adoptar este sistema. Actualmente ninguna granja de los sectores donde se realizó la encuesta cuenta con un sistema de biodigestor.

### 3.5 Metodología Constructiva

Figura 8

Metodología constructiva



Elaborado por: Carrión y Loaiza (2025)

### **3.5.1 Terreno.**

La selección del lugar donde se implementará el sistema es crucial, a criterio la selección deberá ser próxima a los espacios donde se encuentra los cerdos, con el fin de minimizar el traslado de los residuos. La estabilidad y capacidad de soporte del suelo, la disponibilidad de espacio suficiente para el biodigestor y sus estructuras auxiliares, el acceso para transporte y mantenimiento, así como la ausencia de riesgos ambientales.

### **3.5.2 Preparación del terreno.**

Esta etapa garantizará la correcta instalación y funcionalidad del terreno, este proceso incluye limpieza y nivelación del área, en general la excavación deberá ser  $\frac{3}{4}$  partes de la altura del biodigestor, en este caso la altura de la excavación.

### **3.5.3 Topografía y Nivelación.**

Durante la fase de pre-dimensionamiento la evaluación de la topografía y nivelación es fundamental para poder garantizar la funcionalidad y el drenaje del sistema, deberá tener una ligera pendiente entre el 2% y 5%, y no mayor al 10%, con el fin de garantizar la homogeneidad de los desechos dentro del biodigestor. Por otro lado, esto permitirá drenar líquidos en caso de derrame o lluvia, y así evitar la acumulación de agua en la estructura.

Si el terreno presenta irregularidades significativas, será necesario considerar trabajos de nivelación previa, los cuales podrían incluir movimientos de tierra, rellenos o compactación. Estos procesos deben ajustarse a las características del biodigestor y su estructura de soporte, garantizando una base uniforme y resistente.

### 3.5.4 Cubetos

**3.5.4.1 Diseño y dimensionamiento.** El diseño del cubeto de basa en una losa de cimentación con acero reforzada la cual ha sido diseñada considerando la carga soportada se toma en cuenta que el biodigestor a su máxima capacidad estaría a un 40 – 50% de su volumen, teniendo en cuenta esto, el biodigestor tendrá un diámetro o altura de 2.2m, se recomienda una vertida alrededor de 0.8m. Estimamos la carga a soportar sabiendo el volumen del líquido.

$$V = \pi 1.1^2 (0.8m)$$

$$V = 3.04m^3$$

Convertidos en litros: 3040 litros, el equivalente a 3040kg o 3.04tn.

El cubeto contara con las siguientes dimensiones: ancho 2.3m, altura 1.5m, largo 8.1m. El espesor del hormigón establecido es de 8cm, considerando los requerimientos estructurales y las condiciones operativas a las que estará expuesto el cubeto con el hormigón, este espesor garantizará el equilibrio entre resistencia, funcionalidad y economía para le estructura. Dada que la altura máxima del fluido es de 1.5m, se espera una presión hidrostática uniforme, calculada con la siguiente formula.

$$P = p . g . h$$

Donde:

$p = 1000\text{kg}/\text{m}^3$  (densidad del líquido aproximado)

$g = 9.81 \text{ m}/\text{s}^2$  (aceleración gravitatoria)

$h = 1.5\text{m}$  (altura máxima del líquido)

Dando como resultado una presión aproximada de 14.7kPa, el espesor de diseño de 8cm puede resistir sin riesgo a fisuras.

### ***Encofrado***

Para el encofrado se podrá hacer con dos opciones a elegir: Mediante madera contrachapada reforzada, con un espesor entre 15, 18mm de grosor, o refuerzos metálicos, soportados con marcos de acero o perfiles metálicos que garantizan la rigidez del encofrado evitando así pandeos durante el vertido del hormigón.

### ***Hormigón***

Se ha escogido un hormigón estructural para la construcción de los muros y la losa de cimentación de esta estructura, con una resistencia específica a la compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup> (21 MPa). Este material se emplea ampliamente en componentes estructurales debido a su correcta capacidad de soporte, capacidad de trabajo y longevidad en entornos expuestos a humedad y sustancias corrosivas.

Para garantizar la efectividad que tendrá este hormigón se debe de seguir especificaciones como el vibrado de este en el encofrado para mejorar la compactación y eliminar burbujas de aire, un curado de al menos 7 días para garantizar la resistencia y evitar posibles fisuras en el futuro también tener la dosificación adecuada de cemento, agua y agregados gruesos/finos. Con estas consideraciones se establece como una alternativa confiable y eficiente para la construcción de los muros junto con el fundido de la losa de cimentación, asegurando estabilidad estructural sumado a un desempeño óptimo del sistema en el tiempo.

### ***Acero de refuerzo***

Para garantizar la resistencia estructural y la estabilidad del sistema, se diseñó una losa de cimentación reforzada con acero de 12 mm de diámetro, dispuesto a una separación de 25 cm en ambas direcciones, con un esfuerzo de fluencia mínimo de 4200kg/cm<sup>2</sup>(420MPa) de acuerdo con normativas

internacionales como ACI y ASTM. A615. Este refuerzo es fundamental para absorber los esfuerzos de tracción en la losa, mejorar su capacidad de carga y minimizar la aparición de fisuras.

Se implementarán procedimientos constructivos específicos que aseguren su óptimo desempeño. Inicialmente, es necesario mantener una separación de 25cm en ambas direcciones para mantener la uniformidad en la distribución de las cargas. Además, se realizará un amarre de refuerzo con alambre en todas las intersecciones de las barras y por último se hará un vibrado adecuado de la losa de cimentación para evitar la formación de vacíos alrededor de las varillas de acero.

### ***3.5.5 Procedimiento de función del biodigestor.***

El biodigestor diseñado para la gestión y aprovechamiento de los residuos de la industria porcina opera bajo un sistema integrado que consta de varias etapas interdependientes: recolección de materia prima, pretratamiento, digestión anaeróbica, recolección de biogás, almacenamiento y distribución, y tratamiento del efluente final. A continuación, se detalla cada etapa del funcionamiento:

### ***3.5.6 Recolección y Deposito del Estiércol.***

La primera etapa del sistema consiste en la recolección de los desechos generados por los cerdos. Este estiércol se transporta desde las instalaciones porcinas hasta un depósito primario. Este depósito actúa como una etapa de pretratamiento físico, donde:

- Separación de sólidos gruesos y agua: El estiércol se mezcla con agua para obtener una suspensión homogénea que facilite el procesamiento. Un sistema de rejillas o tamices puede separar partículas sólidas más grandes, como restos de comida no digeridos.

- Control de cargas y alimentación: Se calcula la cantidad de estiércol necesario para garantizar la capacidad óptima del biodigestor, evitando sobrecargas.

### **3.5.7 Entrada del biodigestor.**

Una vez homogeneizada la mezcla, esta se introduce en el biodigestor mediante tuberías o conductos de alimentación. El biodigestor es una cámara cerrada que opera bajo condiciones anaeróbicas, es decir, en ausencia de oxígeno, lo que permite que microorganismos específicos degraden la materia orgánica.

### **3.5.8 Digestión Anaerobia.**

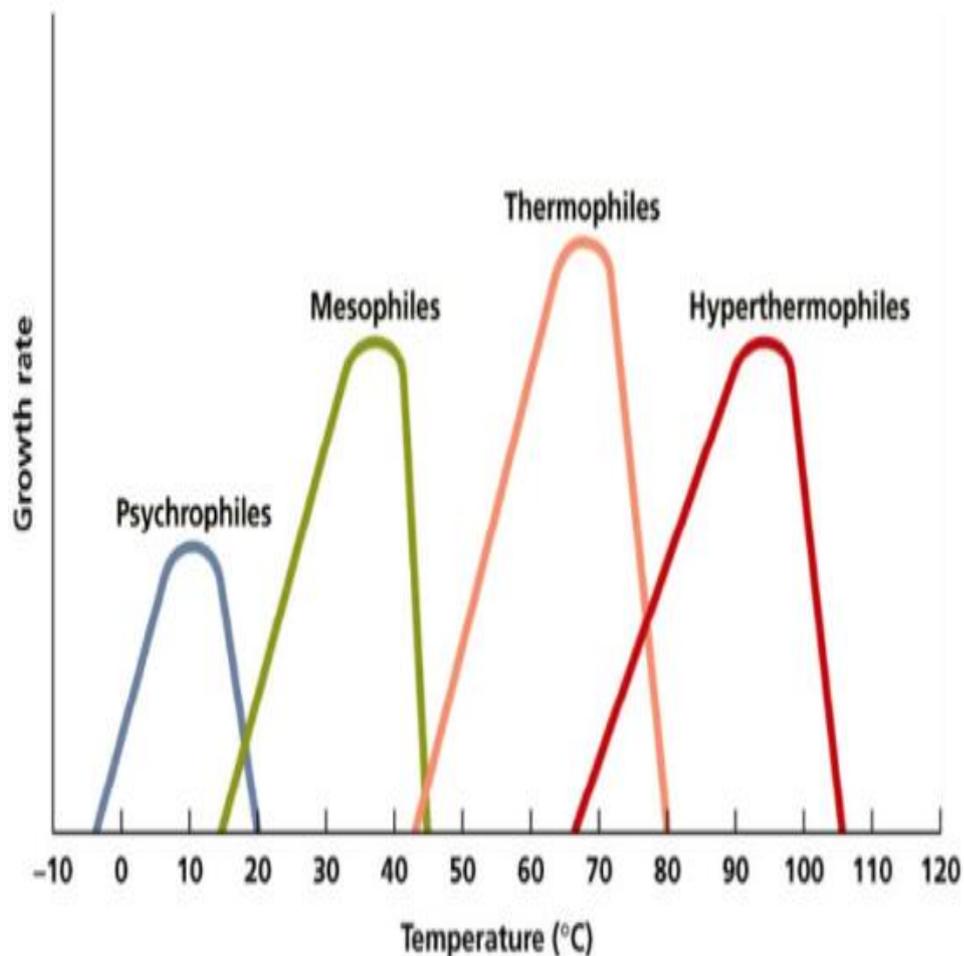
Dentro del biodigestor, la materia orgánica es sometida a un proceso de digestión anaeróbica que ocurre en tres fases principales:

- Hidrólisis: Los polímeros orgánicos complejos (como carbohidratos, lípidos y proteínas) se descomponen en moléculas más simples (azúcares, ácidos grasos y aminoácidos).
- Acidogénesis: Los compuestos simples se convierten en ácidos orgánicos, dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) y otros subproductos.
- Metanogénesis: En esta etapa, microorganismos metanogénicos transforman los ácidos orgánicos en metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), generando el biogás.

La temperatura del biodigestor se mantiene dentro de un rango óptimo (mesofílico o termofílico, dependiendo del diseño) mediante un sistema de aislamiento térmico o calefacción.

**Figura 9**

Rangos de temperatura y tiempo de fermentación anaeróbica.



Fuente: Sanchez Hernández y otros (2024)

**3.5.8.1 Digestión Mesófila.** La digestión mesofílica en un biodigestor es un proceso biológico anaeróbico donde microorganismos descomponen la materia orgánica en ausencia de oxígeno, operando en un rango de temperatura entre 20°C y 50°C. Este proceso es común en biodigestores convencionales, ya que las bacterias anaeróbicas mesofílicas, que prosperan en este rango térmico, son eficientes en la degradación de residuos orgánicos. (Ferrarez, 2020)

**3.5.8.2 Digestión Termófila.** La digestión termofílica en un biodigestor es un proceso biológico anaeróbico donde microorganismos descomponen la materia orgánica en ausencia de oxígeno, operando a temperaturas superiores a 50°C. Este proceso es menos común que la digestión mesofílica debido a los mayores costos energéticos asociados al mantenimiento de temperaturas elevadas. (Morales, 2020)

### ***3.5.9 Recolección del Biogás.***

El biogás producido se acumula en la parte superior del biodigestor. Este gas está compuesto principalmente de metano (CH<sub>4</sub>), que es el componente energético clave, y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Para recoger y canalizar el biogás, se emplean:

- Tuberías herméticas: Conducen el biogás desde el biodigestor hacia un tanque de almacenamiento.
- Sistemas de control de presión: válvulas de seguridad y medidores de presión evitan fugas o sobrepresiones en el sistema.
- Desulfuración del biogás: Opcionalmente, se puede integrar un filtro de desulfuración para eliminar compuestos de azufre (H<sub>2</sub>S) que podrían dañar los equipos y reducir la calidad del biogás.

### ***3.5.10 Almacenamiento del biogás.***

El biogás se transfiere a un tanque de almacenamiento, que puede ser un recipiente flexible o rígido dependiendo de las necesidades del sistema. Este tanque cumple varias funciones:

- Almacenamiento temporal: Permite acumular el biogás antes de su uso, regulando la oferta y la demanda.

- **Distribución controlada:** El tanque está equipado con válvulas de salida que permiten controlar el flujo del gas hacia los equipos consumidores, como el biogenerador.

### ***3.5.11 Distribución y Uso del biogás***

Desde el tanque de almacenamiento, el biogás se distribuye hacia un biogenerador, que es un equipo diseñado para convertir la energía química del metano en energía eléctrica y/o térmica. El biogenerador opera de la siguiente manera:

- **Entrada de biogás:** El gas es conducido a través de tuberías hacia el motor del biogenerador.
- **Combustión interna:** En el motor, el metano se mezcla con oxígeno y se quema, generando energía térmica.
- **Generación eléctrica:** La energía térmica se convierte en energía mecánica, y finalmente en electricidad mediante un generador eléctrico acoplado.

### ***3.5.12 Tratamiento del Efluente.***

El residuo sólido y líquido que queda después de la digestión anaeróbica se denomina digestato. Este subproducto se extrae a través de una salida de efluentes del biodigestor y puede ser utilizado de diversas maneras:

- **Fertilizante orgánico:** El digestato sólido se seca y se utiliza como fertilizante rico en nutrientes.
- **Acondicionador de suelos:** El digestato líquido se aplica directamente a los cultivos, mejorando las propiedades del suelo.

### **3.5.13 Control y Monitoreo.**

Para garantizar el funcionamiento eficiente del biodigestor, se implementa un sistema de monitoreo que mide parámetros clave como:

- Temperatura interna del biodigestor, pH
- Presión del biogás acumulado, flujo de gas.

## CAPÍTULO IV

### PROPUESTA O INFORME

#### 4.1 Presentación y análisis de resultados

##### 4.1.1 Excavación:

Para la excavación del terreno se deben tomar en cuenta diversos factores dado que estos influirán directamente con la estabilidad y el funcionamiento adecuado del sistema, estos factores serían el tipo de terreno, el volumen de los sistemas de digestión y la estructura que se va a emplear para soportar estos sistemas.

Con la finalidad de tener un sistema integral y colocar una estructura que soporte las cargas que genera este mecanismo se plantea una excavación de las siguientes dimensiones:

$$V = l(a)(p)$$

V= Volumen de excavación.

l= El largo de la excavación que sería 8.26m

a= Ancho de excavación que sería 9.38m

p= Profundidad de la excavación que sería 1.80m

Dados estos valores tendríamos un volumen de excavación de  $139.46m^3$ , a esto debemos sumarle la excavación para los sistemas de extracción del efluente que tienen una dimensión de:

l=2.16m

a=2.16m

$p = 1.08m$

El volumen de un sistema de extracción es de  $5.038m^3$ , dado que existe un sistema de extracción para cada biodigestor y que todos tienen las mismas dimensiones se incrementa este valor por 3 otorgándonos un volumen de excavación para estos sistemas de extracción de  $15.114m^3$ .

El volumen total de la excavación sería la suma de todos los cálculos dados entregando un total de  $154.58m^3$ .

#### **4.1.2 Estructura:**

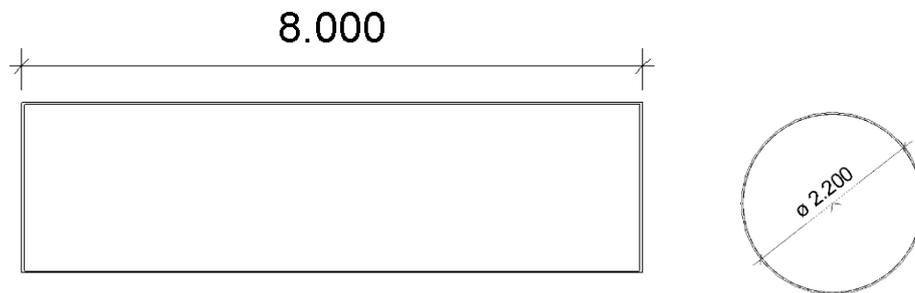
**4.1.2.1 Cimentación** Una vez realizada la excavación y la adecuada nivelación del terreno donde se colocará el sistema, se implementará una geomembrana en la base de la estructura para que no de ningún tipo de contaminación directa con el suelo en caso de existir alguna filtración o derrame del efluente de los biodigestores.

La estructura deberá soportar el peso de los sistemas de digestión cargados de la materia prima. Para plantear la estructura de hormigón armado, primero debemos conocer el volumen de los biodigestores y referir la carga que van a generar mediante el tiempo de su uso.

Se cuenta con biodigestores prefabricados de tipo tubular con las siguientes medidas:

**Figura 10**

Dimensión biodigestor



Elaborado por: Carrión y Loaiza (2025)

El volumen total de cada biodigestor sería:

$$V = \pi r^2 l$$

r= radio 1.1m (que es el diámetro de 2.2m dividido entre 2)

l= longitud 8m

El volumen de cada biodigestor resulta en  $30.41m^3$ , tomando en cuenta este volumen para calcular las cargas que generarían estos sistemas que no deben ser llenados a más de su 40% de capacidad con materia prima para tener un correcto funcionamiento, entonces:

$$30.41m^3(0.40) = 12.164m^3$$

Entonces, la carga generada por cada sistema de digestión la calcularíamos tomando como referencia este volumen de llenado y la densidad de la materia prima mezclada con agua que es alrededor de  $1000kg/m^3$ , por lo tanto:

$$W = \rho \times V \times g$$

W= peso

$\rho$ = densidad ( $1000kg/m^3$ )

V= volumen ( $12.16m^3$ )

$g = \text{gravedad } (9.81m/s^2)$

$$W = 119289,6N = 12.164tn$$

De manera que se tendría una carga de 12.164tn por cada biodigestor, el diseño plantea un total de 3 biodigestores, por ende, se tendría una carga total de:

$$12.164tn(3) = 36.5tn$$

El volumen restante de cada biodigestor ( $18.246m^3$ ) será el espacio ocupado por biogás, tomando en cuenta una máxima producción y llenado de biogás:

$$W = \rho \times V \times g$$

$W = \text{peso biogás}$

$\rho = \text{densidad biogás } (1.2kg/m^3)$  la densidad varía entre 1.08 y  $1.50kg/m^3$ , tomamos como referencia 1.2 para un mayoreo de cargas.

$g = \text{gravedad } (9.81m/s^2)$

$V = \text{volumen que ocupara el biogás } (18.246m^3)$

$$W = 214,79N = 0.022tn$$

Este peso 0.022tn será en cada biodigestor, entonces:

$$0.022tn(3) = 0.066tn$$

Por lo tanto, para referenciar la carga que ejercerá cada módulo en la losa de cimentación, se suma ambos pesos en un solo módulo:

$$12.164tn + 0.022tn = 12.186tn$$

El área que abarcara cada biodigestor es:

$$A = l \times a$$

A= área

l= largo (8m)

a= ancho (2.2m)

$$A = 17.6m^2$$

Se relaciona el peso total de cada biodigestor para el área que este ocupará, dando como resultado la carga por  $m^2$  que se tendría en la losa de cimentación:

$$q = W/A$$

q= Carga por  $m^2$

W= Peso total del biodigestor (12.186tn)

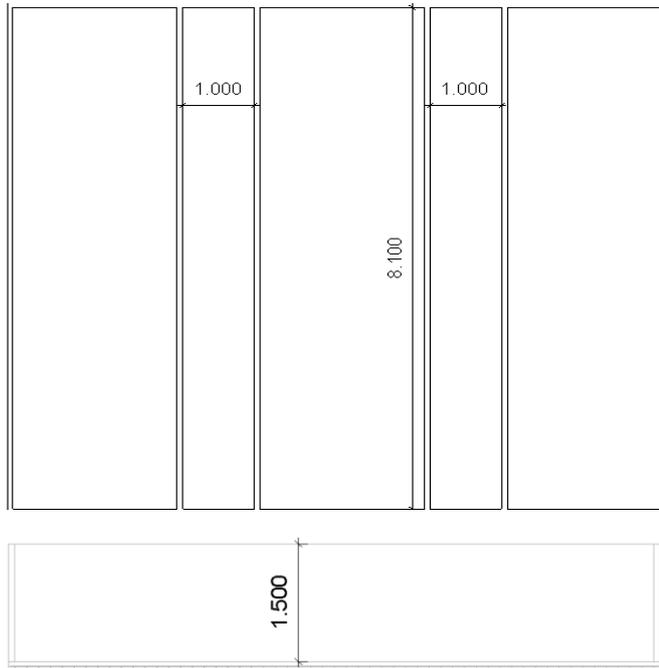
A= área que ocupa el biodigestor ( $17.6m^2$ )

$$q = 0.69tn/m^2$$

También se debe tomar en cuenta la carga del relleno entre biodigestores, planteando un relleno de un ancho de 1m entre cada muro de los biodigestores, teniendo las siguientes medidas en los rellenos que serán iguales en ambos lados:

**Figura 11**

Acotación de rellenos



Nota: Teniendo: Largo: 8.1m; Ancho: 1m; Altura: 1.5m

Elaborado por: Carrión y Loaiza (2025)

Con estos datos se puede calcular el volumen que tendrá este relleno dado que podría ser la mayor carga que soportará la losa de cimentación

$$V = 8.1m(1m)(1.5m) = 12.15m^3$$

Con este volumen se procede a calcular el peso total que cada relleno que ejercerá sobre la losa, para ello se toma en cuenta la densidad de los tipos de terreno compactado. Por lo general, es deseable tener un suelo con una BD baja ( $<1,5 \text{ g/cm}^3$ ) para un movimiento óptimo del aire y el agua a través del suelo.

Tomando en cuenta este dato tenemos que la densidad del suelo será de  $1,5 \text{ g/cm}^3$ , para poder trabajar con las cargas planteadas en el proyecto se hace la conversión a  $\text{kg/m}^3$  dando como resultado  $1500 \text{ kg/m}^3$ , con esto se procede al cálculo del peso del suelo compactado.

$$W = \rho \times V \times g$$

W= peso

$\rho$ = densidad ( $1500\text{kg}/\text{m}^3$ )

V= volumen ( $12.15\text{m}^3$ )

g= gravedad ( $9.81\text{m}/\text{s}^2$ )

$$W = 178787,25\text{N} = 18.225\text{tn}$$

De manera que se tendría una carga de 18.225tn por cada parte de suelo compactado que será el espaciamiento entre cada biodigestor, el diseño plantea un total de 2 espaciamiento entre cada módulo por ende se tendría una carga de suelo total de:

$$18.225\text{tn}(2) = 36.450\text{tn}$$

El área que abarcará cada espaciamiento es:

$$A = l \times a$$

A= área

l= largo (8.1m)

a= ancho (1m)

$$A = 8.1\text{m}^2$$

Se relaciona el peso total de espaciamiento para el área que este ocupará y así se obtiene la carga por  $\text{m}^2$  que tendría losa de cimentación:

$$q = W/A$$

q= Carga por  $\text{m}^2$

W= Peso del suelo compactado (18.225tn)

A= área que ocupa el espaciamiento (8.1m<sup>2</sup>)

$$q = 2.25tn/m^2$$

Siendo esta carga de suelo la mayor carga por m<sup>2</sup> que deberá soportar nuestra losa de cimentación, por lo tanto, se trabaja con esta carga para su respectivo análisis.

**4.1.2.2 Diseño de la losa:** Primero se debe analizar el plano y revisar que lado es mayor, la losa se armara en el sentido más corto, en este caso es 8.26m.

Para el predimensionamiento de la altura:

$$h = \frac{L}{20} \text{ a } \frac{L}{30}$$

Para este caso utilizaremos lo siguiente:

$$h = \frac{8.26m}{30} = 0.275m \cong 0.30m$$

Se establece el espesor de 0.30m o 30cm para la altura de la losa de cimentación.

Peso propio de la losa:

$$pp = \gamma h \cdot h_{losa}$$

yh= Peso específico del hormigón 2400 kg/m<sup>3</sup>  $\cong$  2.4tn/m<sup>3</sup>

hlosa= 0.25m

$$pp = 0.30m(2400kg/m^3) = 720kg/m^2$$

Carga muerta de la losa:

**Tabla 4**

Cargas por metro cuadrado

pp	$720kg/m^2$
suelo	$2250kg/m^2$

Elaborado por: Carrión y Loaiza (2025)

La suma total de la carga muerta es de  $2970kg/m^2$  .

Se procede a calcular la carga ultima de la losa:

$$W_u = 1,3(CM) + 1,7(CV)$$

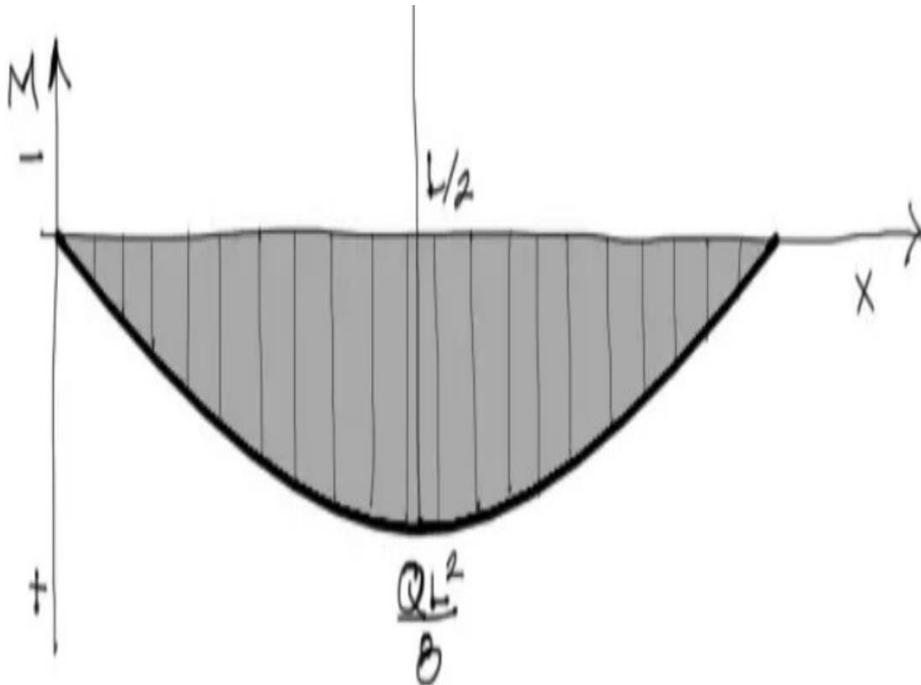
Se asume un CV (Carga Viva) de 0 dado que será un paso ocasional de alguna persona por encima del suelo compactado para hacer algún control en los sistemas de tratamiento.

$$W_u = 1,3(2970kg/m^2) + 1,7(0) = 3861kg/m^2$$

Cálculos del momento flector, para este caso para una losa apoyada en el suelo como la que se plantea en este proyecto, se puede modelar como una losa simplemente apoyada:

**Figura 12**

Momento Flector



Fuente: Pardo (2023)

Siendo el  $q$  nuestro  $W_u$  calculado y el  $L$  nuestra luz menor como antes lo especificamos.

$$M_u = \frac{W_u \cdot L^2}{8} = \frac{(3861 \text{ kg/m}^2)(8.26 \text{ m}^2)^2}{8} = 32928.35 \text{ kgm}^2$$

#### 4.1.2.3 Cálculo del refuerzo:

Profundidad útil ( $d$ ):

Este se obtiene restando el recubrimiento y la mitad del diámetro de la barra a la altura de la losa. Para esto se asume un acero de 12mm de espesor.

El recubrimiento se asume de 7cm dado que será una losa de cimentación y las especificaciones dicen que los recubrimientos mínimos inferiores para zapatas son de 7cm.

$$d = h_{\text{losa}} - \text{recubrimiento inferior} - \frac{\text{diámetro de la barra}}{2}$$

$$d = 30\text{cm} - 7\text{cm} - \frac{1.2\text{cm}}{2} = 22.4\text{cm}$$

### Área de acero por metro de ancho (As)

$$\phi = 0.9$$

$$M_u = 32928.35\text{kgm}^2 \approx 323.2\text{kN}$$

$$f_y = 4200\text{kg/cm}^2$$

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y d} = \frac{323.2\text{kN} \times 10^6}{0.9(4200\text{kg/cm}^2)(224\text{mm})} = 381.71\text{mm}^2/\text{m}$$

Para barras de 12mm (As= 113mm<sup>2</sup> por barra), por lo tanto:

$$s = \frac{113\text{mm}^2(1000\text{mm})}{381.71\text{mm}^2} = 296.03\text{mm} = 29\text{cm} \approx 25\text{cm}$$

Comparando con la cuantía mínima:

$$\rho_{\text{min}} = 0.0018$$

Entonces:

$$A_s = \rho_{\text{min}}(1000\text{mm})d = 0.0018(1000\text{mm})(224\text{mm}) = 403.2\text{mm}^2/\text{m}$$

$$s = \frac{113\text{mm}^2(1000\text{mm})}{403.2\text{mm}^2} = 280.25\text{mm} = 28\text{cm} \approx 25\text{cm}$$

Por lo tanto:

El espesor de nuestra losa será de 30cm.

Con varillas de 12mmφ25cm.

Recubrimiento inferior de 7cm.

Recubrimientos laterales de 4cm.

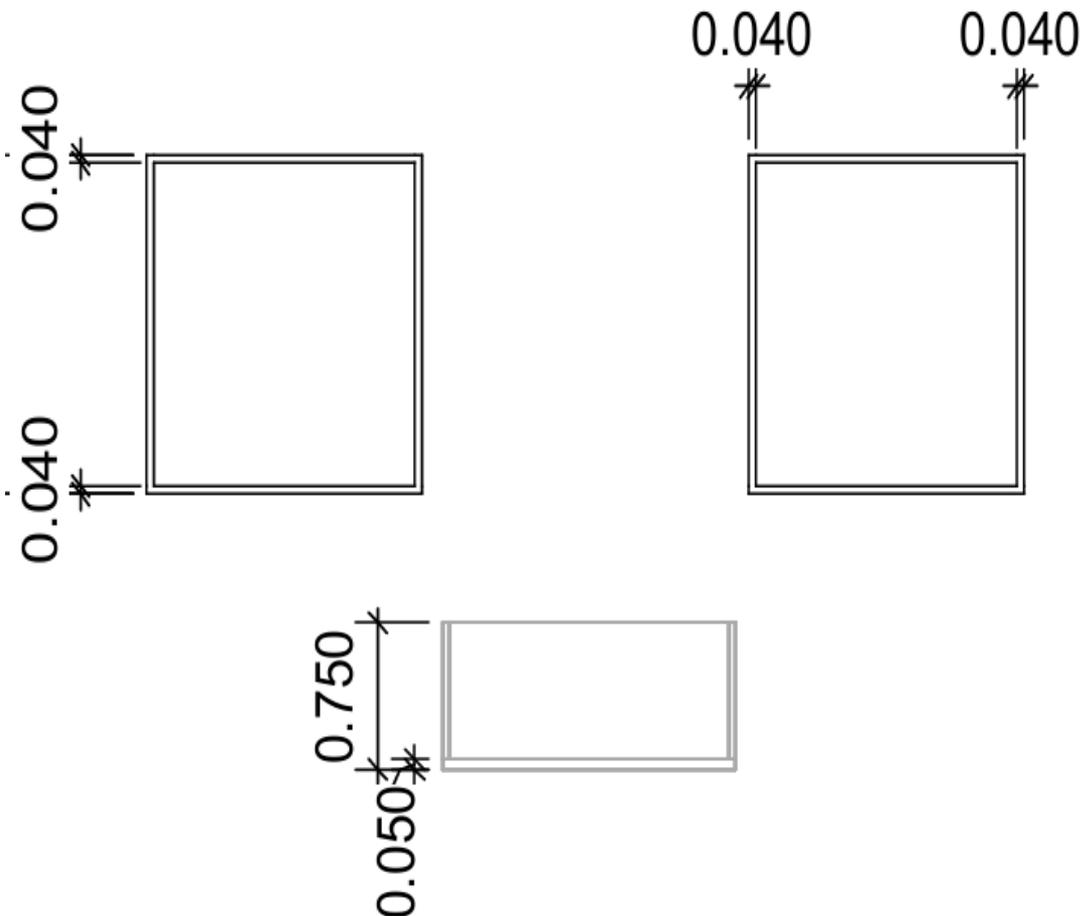
### 4.1.3 Sistema de Alimentación

Para el sistema de alimentación previo a la entrada de la materia prima al biodigestor, se plantean estructuras pequeñas de hormigón tipo cajas, las cuales servirán para colocar la mezcla de la materia con agua y, a través de una tubería de PVC inclinada pasar directamente hasta el sistema de tratamiento anaeróbico.

Se plantea una estructura pequeña dado que será un paso breve que tendrá en ella la mezcla, quedando las siguientes acotaciones:

Figura 13

Dimensiones: sistema de alimentación



Elaborado por: Carrión y Loaiza (2025)

Muros pequeños de 4 cm por cada lado y una altura de 0.7m por muro, teniendo un total de 12 muros dado que se construirá un sistema de alimentación para cada biodigestor dando un volumen total de hormigón de  $0.517m^3$ .

**Figura 14**

Volumen de hormigón sistema de alimentación

Muros	
Tipo	Volumen

Muro e=0.04m

Muro e=0.04m	0.044 m <sup>3</sup>
Muro e=0.04m	0.043 m <sup>3</sup>
Muro e=0.04m	0.043 m <sup>3</sup>
Muro e=0.04m	0.042 m <sup>3</sup>
Muro e=0.04m	0.044 m <sup>3</sup>
Muro e=0.04m	0.043 m <sup>3</sup>
Muro e=0.04m	0.043 m <sup>3</sup>
Muro e=0.04m	0.042 m <sup>3</sup>
Muro e=0.04m	0.044 m <sup>3</sup>
Muro e=0.04m	0.043 m <sup>3</sup>
Muro e=0.04m	0.043 m <sup>3</sup>
Muro e=0.04m	0.042 m <sup>3</sup>

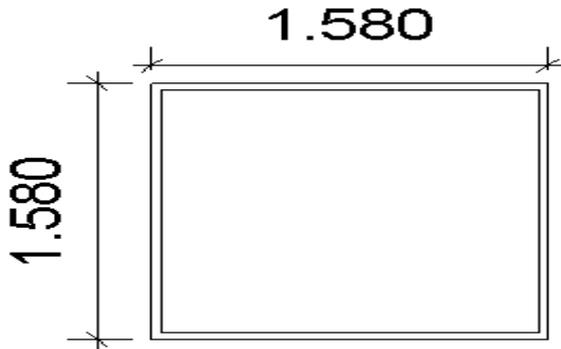
Muro e=0.04m: 0.517 m<sup>3</sup>  
12

Elaborado por: Carrión y Loaiza (2025)

La base de estos sistemas también será de hormigón, pero en este caso su espesor será un poco mayor al de los muros; este espesor será de 0.05m y las medidas que tendrá en largo y ancho serán de:

**Figura 15**

Dimensión suelo sistema de alimentación



Elaborado por: Carrión y Loaiza (2025)

Dado que esta base tendrá un espesor de 0.05m y un área de  $2.496m^2$ , entonces se tendría un volumen total de hormigón para estas 3 bases de  $0.374m^3$ .

**Figura 16**

Volumen de hormigón losa inferior del sistema primario

Suelos sistemas	
Tipo	Volumen

Losa inferior Sistema Primario

Losa inferior Sistema Primario	0.125 m <sup>3</sup>
Losa inferior Sistema Primario	0.125 m <sup>3</sup>
Losa inferior Sistema Primario	0.125 m <sup>3</sup>

Losa inferior Sistema Primario: 3

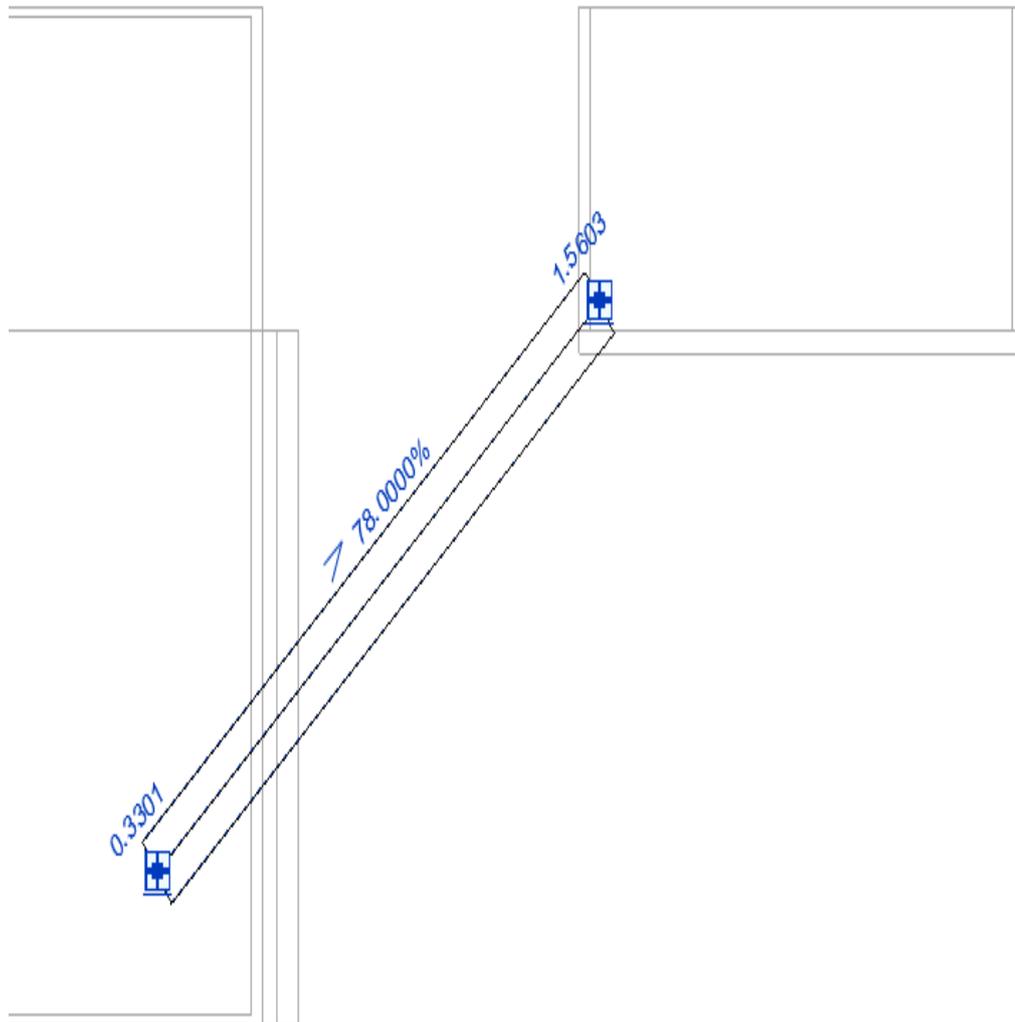
0.374 m<sup>3</sup>

Elaborado por: Carrión y Loaiza (2025)

Para la caída directa de la mezcla de materia prima con agua se tiene una tubería de PVC de 6 plg, con una pendiente de 78% y una longitud de 2m. Quedando como se muestra en la siguiente gráfica:

**Figura 17**

Alzado sistema de alimentación



Elaborado por: Carrión y Loaiza (2025)

Dado que se tiene 3 sistemas de alimentación se tendría una longitud total de la tubería de PVC de 6plg para esta parte de 6m.

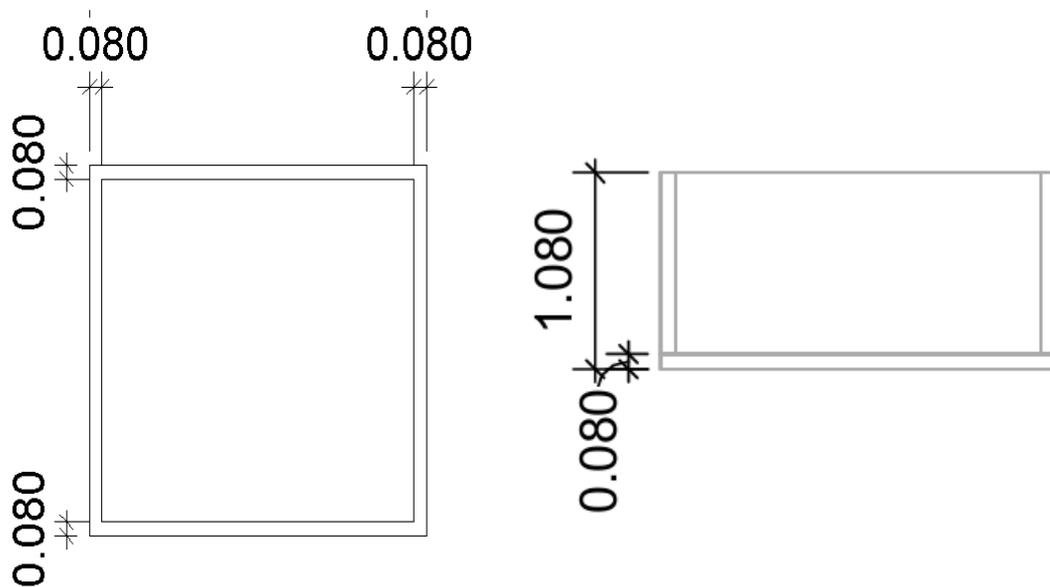
#### 4.1.4 Sistema de extracción del efluente:

Para el sistema de extracción de la materia prima ya tratada en el biodigestor, se plantean estructuras un poco más grandes que el sistema de alimentación, dado que aquí el efluente irá permaneciendo más tiempo hasta ser retirado por completo. Estas también serán de hormigón tipo cajas las cuales servirán para almacenar los restos de la materia tratada; serán transportadas desde los biodigestores a través de una tubería de PVC inclinada unida a otra tubería PVC a través de un codo de 36° y así lograr una caída hasta estos sistemas de extracción.

Las medidas serán las siguientes:

**Figura 18**

Dimensiones sistema de extracción



Elaborado por: Carrión y Loaiza (2025)

Muros 8 cm por cada lado y una altura de 1m por muro, teniendo un total de 12 muros dado que se construirá un sistema de extracción para cada biodigestor dándonos un volumen total de hormigón de  $1.997m^3$ .

**Figura 19**

Volúmenes de hormigón sistema de extracción

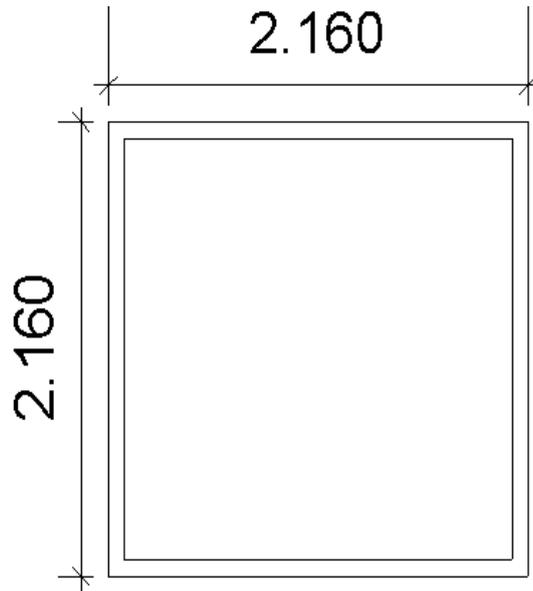
Muro e=0.08m	0.173 m <sup>3</sup>
Muro e=0.08m	0.173 m <sup>3</sup>
Muro e=0.08m	0.160 m <sup>3</sup>
Muro e=0.08m	0.160 m <sup>3</sup>
Muro e=0.08m	0.173 m <sup>3</sup>
Muro e=0.08m	0.173 m <sup>3</sup>
Muro e=0.08m	0.160 m <sup>3</sup>
Muro e=0.08m	0.160 m <sup>3</sup>
Muro e=0.08m	0.173 m <sup>3</sup>
Muro e=0.08m	0.173 m <sup>3</sup>
Muro e=0.08m	0.160 m <sup>3</sup>
Muro e=0.08m	0.160 m <sup>3</sup>

Elaborado por: Carrión y Loaiza (2025)

Para la base de estos sistemas también será de hormigón, pero en este caso su espesor será un poco mayor al de los sistemas de alimentación; este espesor será de 0.08m y las medidas que tendrá en largo y ancho serán de:

**Figura 20**

Dimensión suelo sistema de extracción



Elaborado por: Carrión y Loaiza (2025)

Dado que esta base tendrá un espesor de 0.08m y un área de  $4.665m^2$ , entonces se tendría un volumen total de hormigón para estas 3 bases de  $1.12m^3$ .

**Figura 21**

Volumen losa inferior sistema de extracción secundario.

**Losa inferior Sistema Secundario**

Losa inferior Sistema Secundario	0.373 m <sup>3</sup>
Losa inferior Sistema Secundario	0.373 m <sup>3</sup>
Losa inferior Sistema Secundario	0.373 m <sup>3</sup>

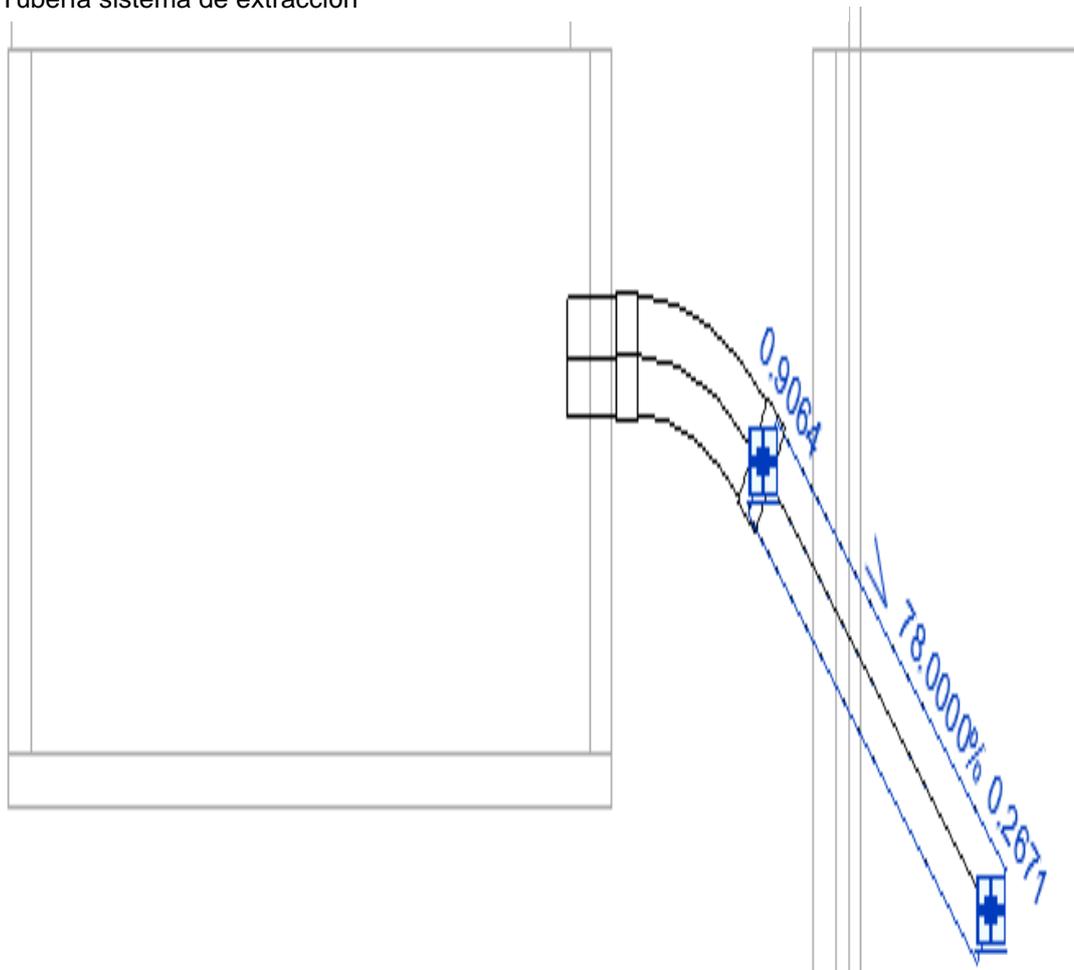
**Losa inferior Sistema Secundario** 1.120 m<sup>3</sup>

Elaborado por: Carrión y Loaiza (2025)

Para el paso directo del efluente se cuenta con una tubería de PVC de 6plg, con una pendiente de 78% y una longitud de 1.04m unida a otra tubería en horizontal de 0.2m a través de una unión tipo codo de 36°. Quedando como se muestra en la siguiente gráfica:

**Figura 22**

Tubería sistema de extracción



Elaborado por: Carrión y Loaiza (2025)

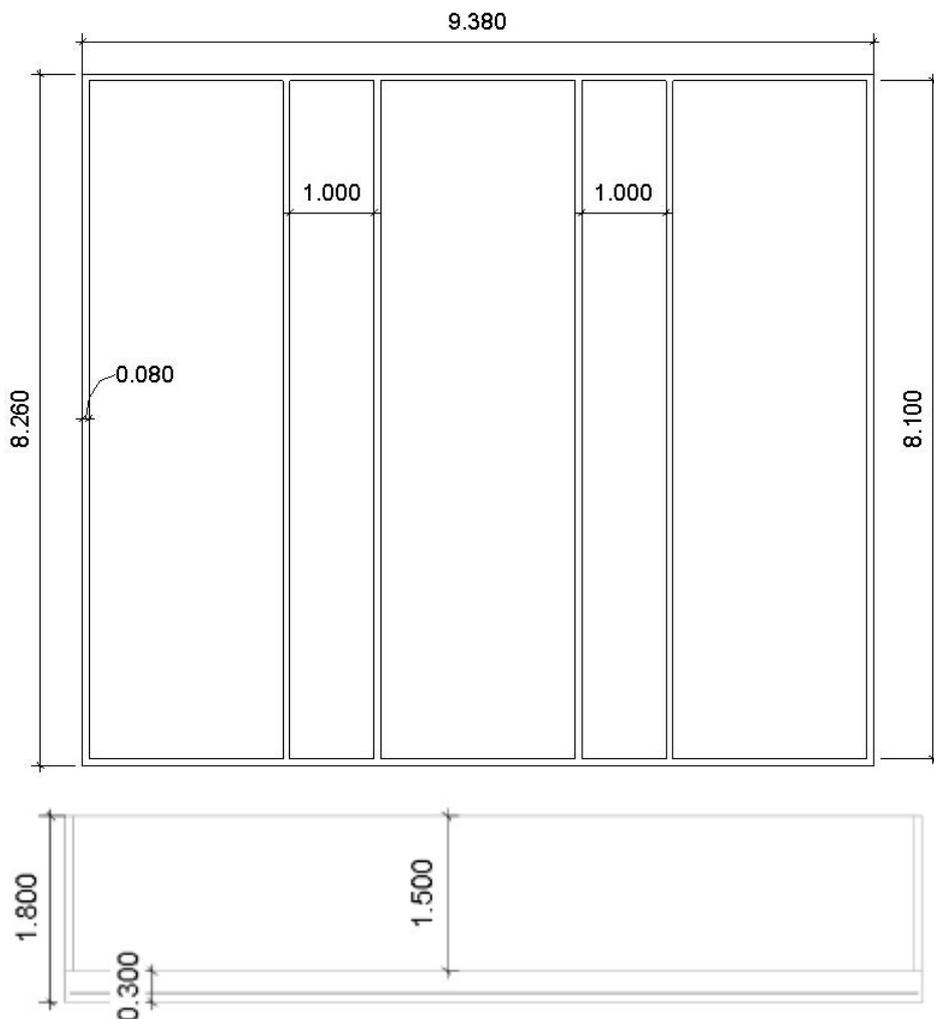
Dado que se tiene 3 sistemas de extracción se obtendría una longitud total de la tubería de PVC de 6plg para esta parte de 3.72m y 3 uniones tipo codo de 36°.

#### 4.1.5 Muros contenedores para biodigestor

Los muros que contendrán nuestros biodigestores para que no tengan contacto lateral directo con el suelo serán de hormigón con un espesor igual al de los sistemas de extracción de 8cm, los cuales tendrán las siguientes medidas:

**Figura 23**

Acotación de muros contenedores



Elaborado por: Carrión y Loaiza (2025)

Dejando un volumen general de esta parte de la construcción de  $8.084m^3$ .

Figura 24

Volumen de hormigón

Muro  $e=0.08\text{m}$

Muro $e=0.08\text{m}$	$0.972\text{ m}^3$
Muro $e=0.08\text{m}$	$1.126\text{ m}^3$
Muro $e=0.08\text{m}$	$0.972\text{ m}^3$
Muro $e=0.08\text{m}$	$1.126\text{ m}^3$

Elaborado por: Carrión y Loaiza (2025)

Como el espesor es el mismo en los muros de los sistemas de extracción y de estos muros contenedores de los biodigestores, haremos una cuantificación general de estos para tener una métrica ajustada del mismo tipo de muro.

**Figura 25**

Cuantificación muro 0.08m

Muros	
Tipo	Volumen

Muro e=0.08m

Muro e=0.08m	0.972 m <sup>3</sup>
Muro e=0.08m	1.126 m <sup>3</sup>
Muro e=0.08m	0.972 m <sup>3</sup>
Muro e=0.08m	1.126 m <sup>3</sup>
Muro e=0.08m	0.173 m <sup>3</sup>
Muro e=0.08m	0.173 m <sup>3</sup>
Muro e=0.08m	0.160 m <sup>3</sup>
Muro e=0.08m	0.160 m <sup>3</sup>
Muro e=0.08m	0.173 m <sup>3</sup>
Muro e=0.08m	0.173 m <sup>3</sup>
Muro e=0.08m	0.160 m <sup>3</sup>
Muro e=0.08m	0.160 m <sup>3</sup>
Muro e=0.08m	0.173 m <sup>3</sup>
Muro e=0.08m	0.173 m <sup>3</sup>
Muro e=0.08m	0.160 m <sup>3</sup>
Muro e=0.08m	0.160 m <sup>3</sup>

Muro e=0.08m: 20                      10.080 m<sup>3</sup>

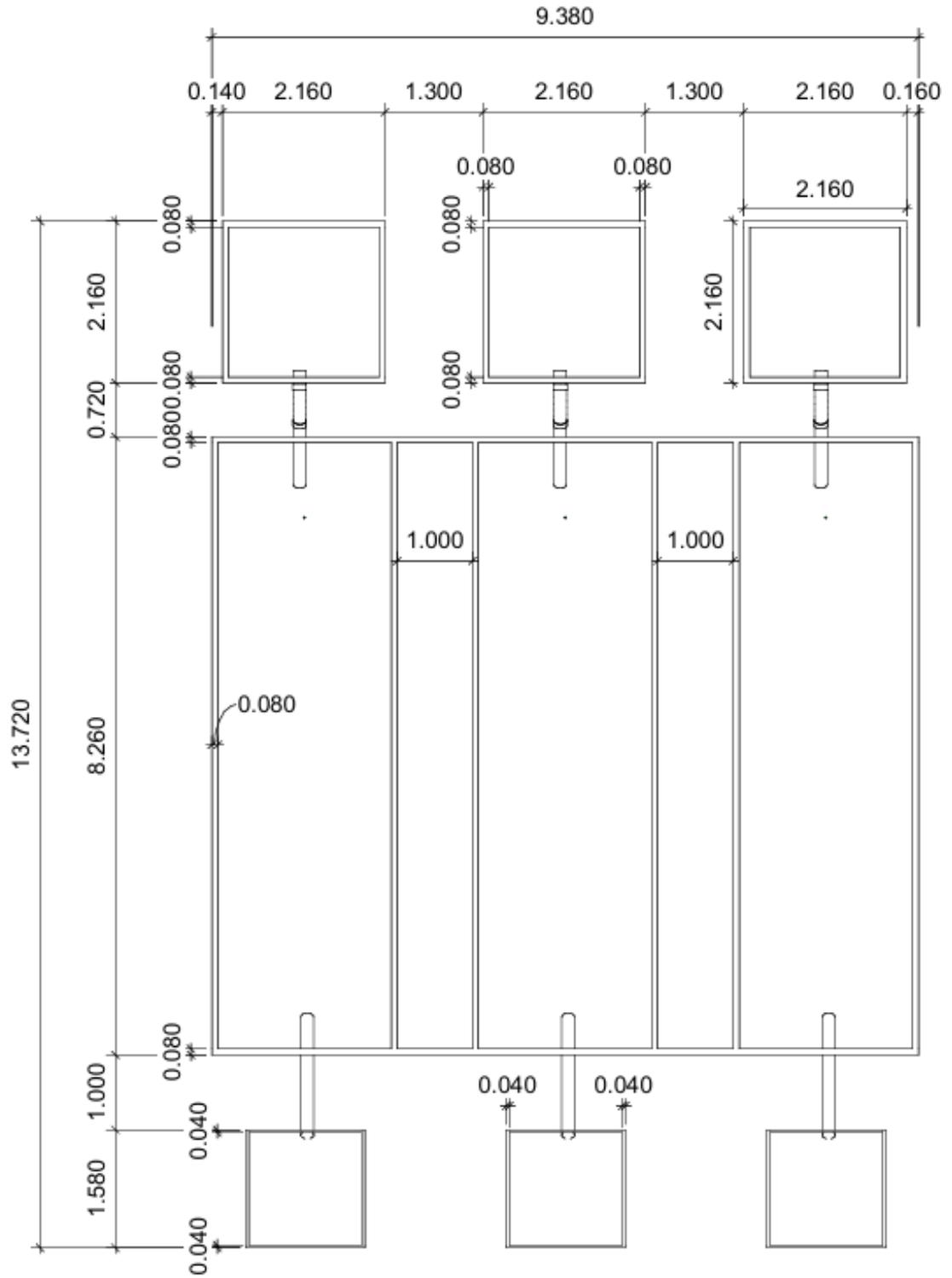
Total general: 20                      10.080 m<sup>3</sup>

Elaborado por: Carrión y Loaiza (2025)

Quedando como planos generales acotados de todos estos sistemas lo siguiente:

**Figura 26**

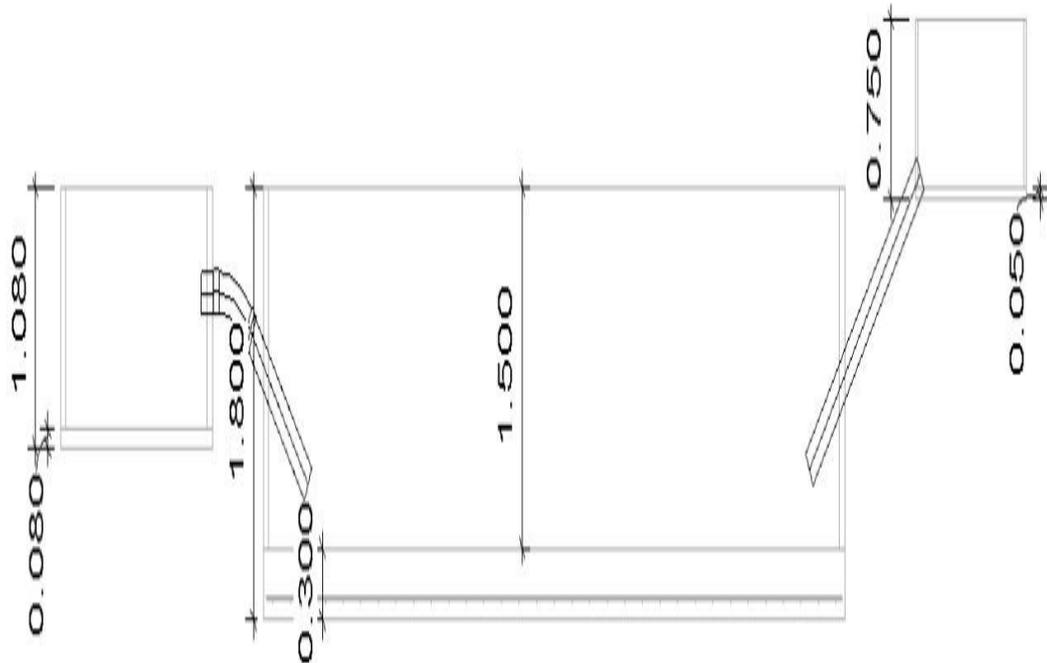
Vista en planta



Elaborado por: Carrión y Loaiza (2025)

**Figura 27**

Alzado



Elaborado por: Carrión y Loaiza (2025)

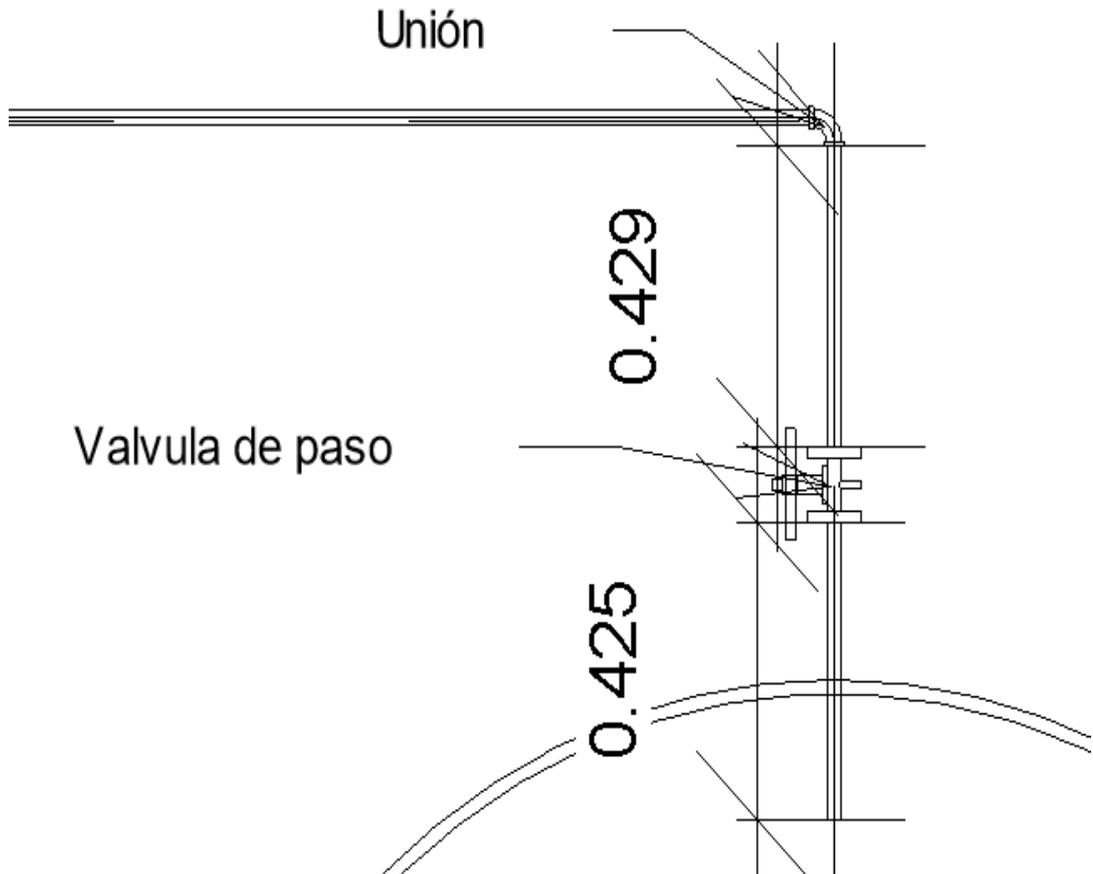
#### **4.1.6 Transporte y almacenamiento de biogás:**

Para el transporte de biogás hasta el tanque de almacenamiento se utilizará tubería de PVC de  $\frac{1}{2}$  pulgada, adicional a esto, se usarán válvulas de cierre de paso de este biogás, una trampa de presión, un filtro de ácido sulfhídrico y además las uniones para las tuberías que serán de 2 tipos: uniones en codo de  $90^\circ$  y uniones en T tipo estándar.

Para la primera parte de la salida desde el biodigestor que usara lo siguiente:

**Figura 28**

Salida de biogás hacia tanque de almacenamiento



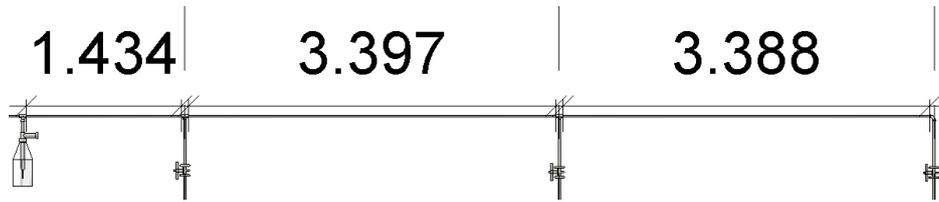
Elaborado por: Carrión y Loaiza (2025)

Será una primera longitud de tubería de 0.425, seguido por la válvula de paso, luego tubería de 0.429m que irá conectada a una unión más adelante, dicha unión será codo o T. La longitud de la tubería para esta parte será 0.854m. Tendría las mismas longitudes en los otros biodigestores, así que se multiplica este valor por 3; por lo tanto, tendremos una longitud de 2.562m de tubería para esta primera parte.

Todo esto se unirá mediante el mismo tipo de tubería de PVC para pasar hasta la trampa de presión teniendo lo siguiente.

**Figura 29**

Longitud tubería



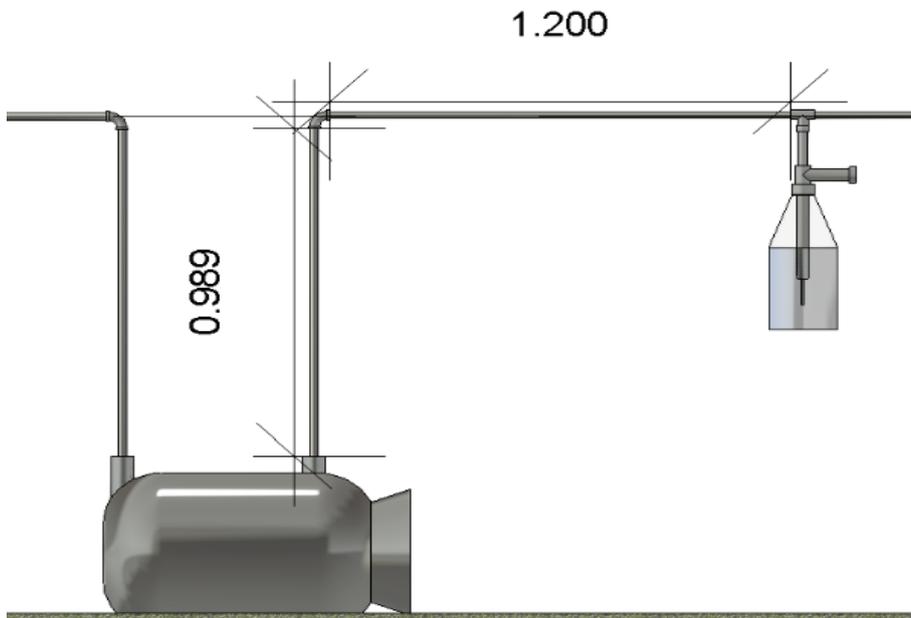
Elaborado por: Carrión y Loaiza (2025)

La longitud total de tubería para esta sección hasta la trampa de presión será de 8.219m; también se cuenta con una unión en codo y 3 uniones tipo.

Luego de la trampa de presión pasa al filtro de ácido sulfhídrico con las siguientes longitudes de tuberías.

**Figura 30**

Trampa de presión y filtro de ácido sulfhídrico



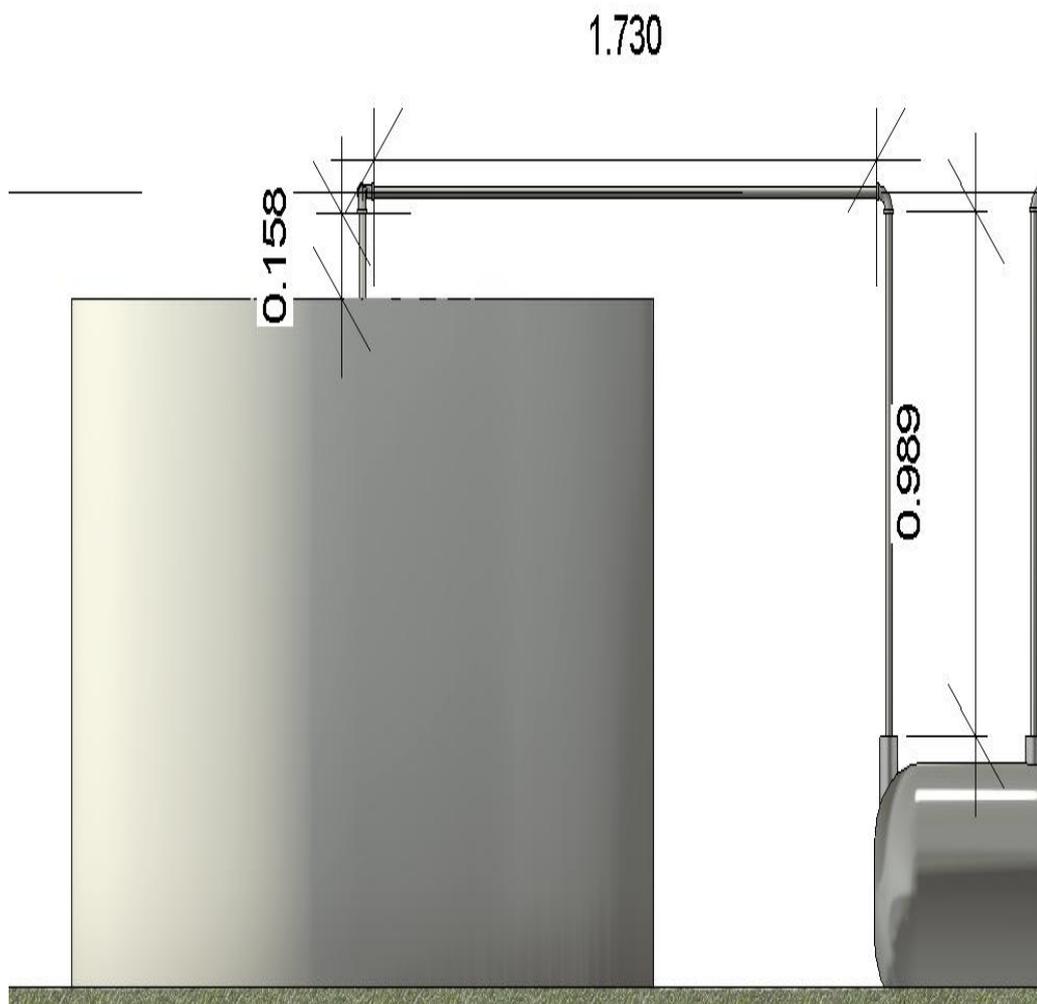
Elaborado por: Carrión y Loaiza (2025)

La longitud total de tubería para esta sección hasta el filtro de ácido sulfhídrico será de 2.189m y también se cuenta con una unión en codo.

Después de que el biogás pase por el filtro de ácido sulfhídrico, irá directamente hasta el tanque de almacenamiento, quedando las siguientes medidas de tuberías:

**Figura 31**

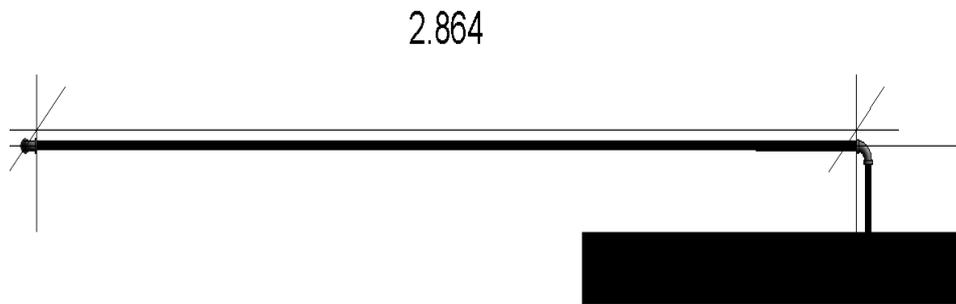
Tanque de almacenamiento



Elaborado por: Carrión y Loaiza (2025)

**Figura 32**

Longitud total tubería



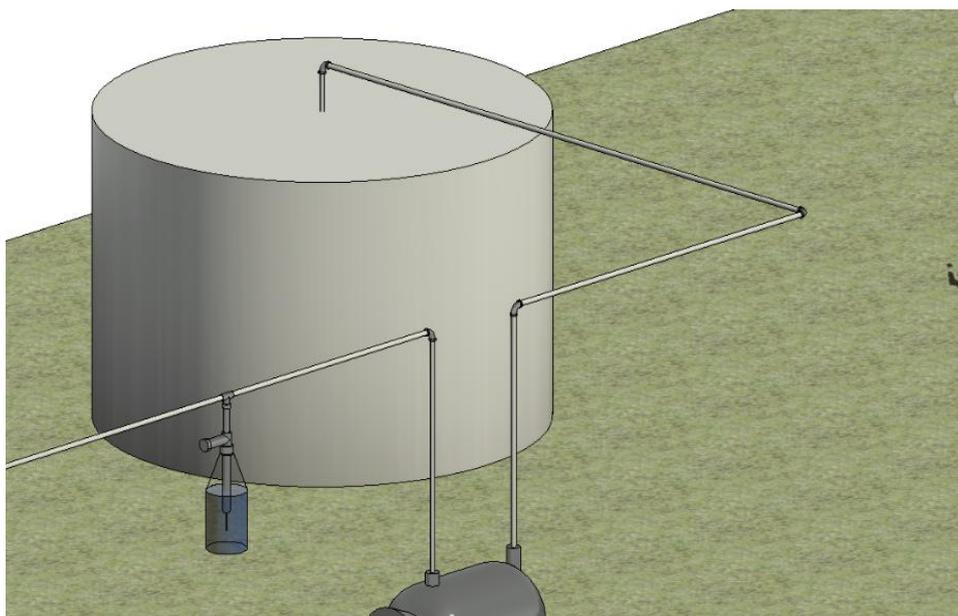
Elaborado por: Carrión y Loaiza (2025)

La longitud total de tubería para esta sección hasta el tanque de almacenamiento será de 5.741m y también se cuenta con 3 uniones en codo.

Para un mejor entendimiento de cómo sería esta parte, se ha colocado una vista en 3 dimensiones.

**Figura 33**

Vista 3D tanque de almacenamiento

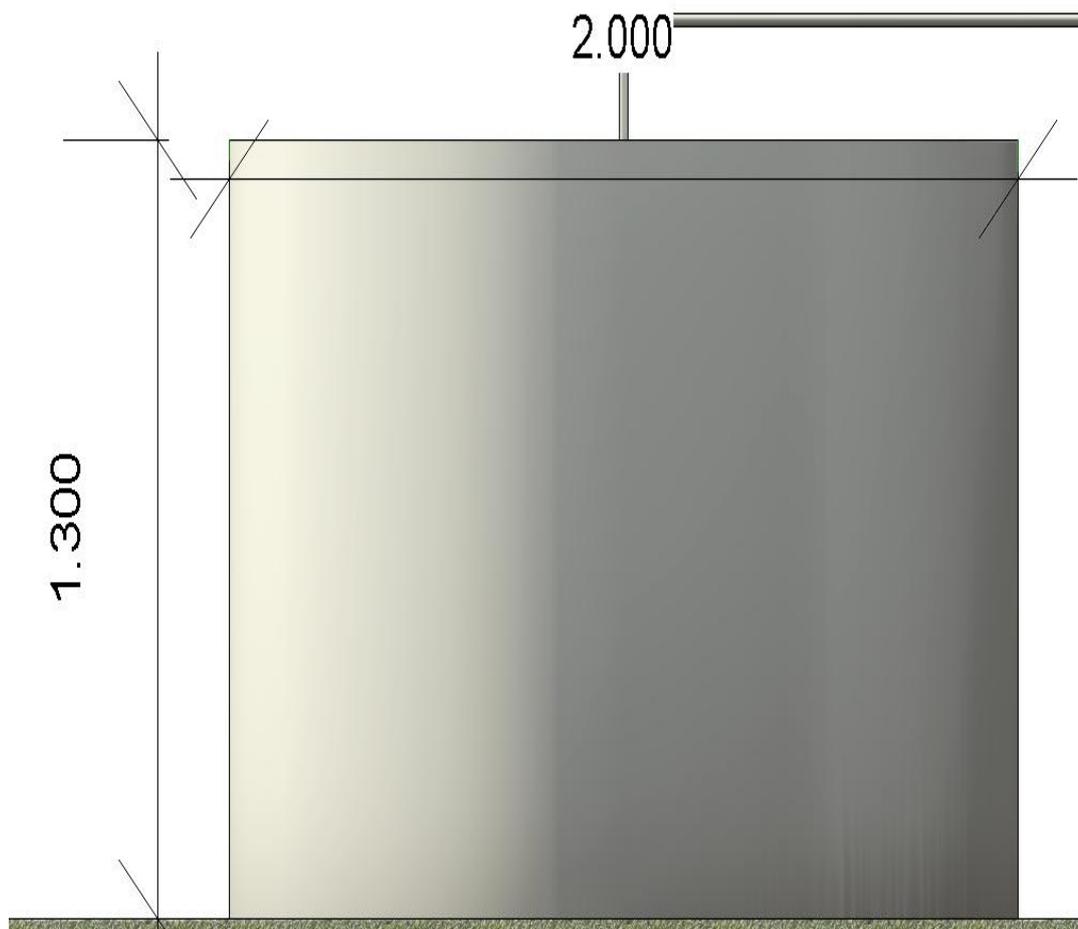


Elaborado por: Carrión y Loaiza (2025)

El tanque de almacenamiento de biogás es un cilindro de 1.3m de altura y 2m de diámetro.

**Figura 34**

Dimensiones tanque de almacenamiento



Elaborado por: Carrión y Loaiza (2025)

**Figura 35**

Cuantificación sistema general de biogás

Tubería PVC		Tabla de planificación de uniones d...			Valvulas y Trampa		
Tipo	Longitud (m)	Familia	Tipo	Recuento	Familia	Tipo	Recuento
Tubería Gas 1/2 plg		Codos 15mm 90°			25 mmx50 mm		
Tubería Gas 1/2 plg	0.425	M_Bend - PVC - Sch 40 - DWV	Codos 15mm 90°	1	M_Pressur e Relief Valve - 25-250 mm	25 mmx50 mm	1
Tubería Gas 1/2 plg	0.430	M_Bend - PVC - Sch 40 - DWV	Codos 15mm 90°	1	25 mmx50 mm: 1 1		
Tubería Gas 1/2 plg	0.446	M_Bend - PVC - Sch 40 - DWV	Codos 15mm 90°	1	Medidor de presión de Gas		
Tubería Gas 1/2 plg	3.397	M_Bend - PVC - Sch 40 - DWV	Codos 15mm 90°	1	M_Pressur e Gauge	Medidor de presión de Gas	1
Tubería Gas 1/2 plg	2.869	M_Bend - PVC - Sch 40 - DWV	Codos 15mm 90°	1	Medidor de presión de Gas: 1 1		
Tubería Gas 1/2 plg	0.170	M_Bend - PVC - Sch 40 - DWV	Codos 15mm 90°	1	Valvula de Paso 15mm		
Tubería Gas 1/2 plg	3.388	M_Bend - PVC - Sch 40 - DWV	Codos 15mm 90°	1	M_Plug Valve - Lever Handle - 15-100 mm	Valvula de Paso 15mm	1
Tubería Gas 1/2 plg	1.200	M_Bend - PVC - Sch 40 - DWV	Codos 15mm 90°	1	M_Plug Valve - Lever Handle - 15-100 mm		
Tubería Gas 1/2 plg	1.434	Codos 15mm 90°: 5		5	M_Plug Valve - Lever Handle - 15-100 mm	Valvula de Paso 15mm	1
Tubería Gas 1/2 plg	0.446	Standard			Valvula de Paso 15mm: 3 3		
Tubería Gas 1/2 plg	0.434	M_Tee - PVC - Sch 40	Standard	1	Total general: 5 5		
Tubería Gas 1/2 plg	0.429	M_Tee - PVC - Sch 40	Standard	1			
Tubería Gas 1/2 plg	0.989	M_Tee - PVC - Sch 40	Standard	1			
Tubería Gas 1/2 plg	0.987	M_Tee - PVC - Sch 40	Standard	1			
Tubería Gas 1/2 plg	1.730	Standard: 3		3			
Tubería Gas 1/2 plg	1.290						
Tubería Gas 1/2 plg:	20.063	Equipos Mecanicos					
16		Tipo		Recuento			
Total general: 16	20.063	Filtro Acido Sulfidrico		1			

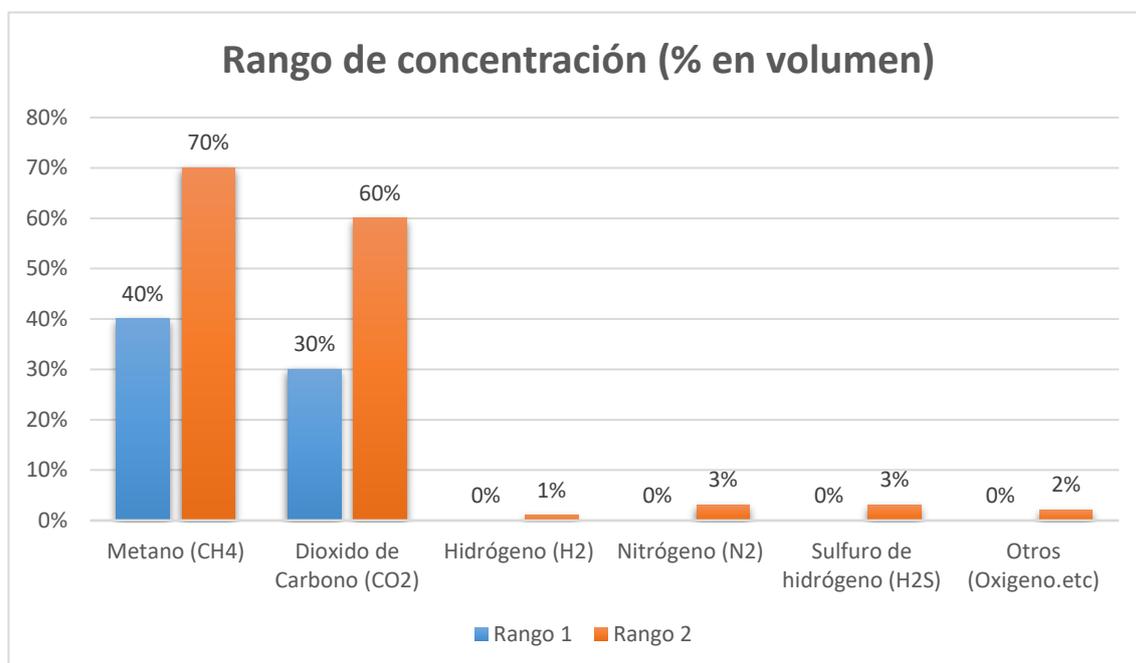
Elaborado por: Carrión y Loaiza (2025)

#### 4.1.7 Componentes del biogás.

La composición del biogás varía según la biomasa utilizada; la biomasa porcina ha sido diversamente estudiada. Estos informes han proporcionado valores estandarizados sobre la composición típica del biogás, como su concentración de Metano (CH<sub>4</sub>), Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), Hidrógeno (H<sub>2</sub>), Nitrógeno (N<sub>2</sub>), Sulfuro de Hidrógeno (H<sub>2</sub>S), y compuestos orgánicos volátiles.

**Figura 36**

Rango de Concentración Componentes del Biogás



Elaborado por: Carrión y Loaiza (2025)

Estos valores representados son ampliamente aceptados en la literatura técnica y han sido validados en diversos estudios experimentales aplicados en biodigestores implementados en la industria porcina. La corroboración de estos datos se encuentra en la bibliografía del proyecto.

#### 4.1.8 Obtención Biogás.

Para los resultados de la obtención del biogás se ha tomado como muestra la disponibilidad de materia orgánica de un cerdo de 50kg, del cual se ha obtenido una disponibilidad de 2.25kg de estiércol al día, el cual equivale a una producción de biogás  $0.135m^3$  al día. Cabe destacar que ha sido alimentado según su etapa de crecimiento, alrededor de 5% de su peso corporal 2.5kg de balanceado.

**Tabla 5**

Producción de biogás

	Disponibilidad	Producción		
		Peso humedo	m3/dia/año	
Cerdo (50kg)	2.25Kg/dia	0.06m3/kg	0.135m3/dia	49.3m3/año

Elaborado por: Carrión y Loaiza (2025)

El valor de peso húmedo representa la eficiencia de producción de biogás por cada kg de materia orgánica, este valor ha sido estudiado y estandarizado.

#### 4.1.9 Generación de energía.

Dentro de esta propuesta, se contemplan dos opciones principales para la conversión del biogás en electricidad: el uso de un generador a gas diseñado específicamente para operar con gases combustibles como el metano y la adaptación de un generador de gasolina mediante un kit de conversión para su funcionamiento con biogás.

**4.1.9.1 Generador a gas.** El generador a gas presenta la opción principal para el funcionamiento del sistema propuesto; diseñados para utilizar combustibles gaseosos como el biogás, cuentan con sistemas de combustión optimizados para la mezcla de metano y aire, lo que asegura un rendimiento eficiente sin la necesidad de modificaciones adicionales.

**Figura 37**

Generador a gas SKU:PGD9000.



Fuente: Pintulac (2025)

**4.1.9.2 Adaptación generador a gasolina.** Como alternativa, se plantea la posibilidad de adaptar un generador de gasolina convencional para su funcionamiento con biogás. Esta conversión se realiza mediante un kit de conversión a gas (específico para la marca y modelo del generador), el cual sustituye el sistema de alimentación de gasolina por un regulador de gas que permite la inyección controlada del biogás al carburador.

**Figura 38**

Kit de Conversión a GLP



Fuente: Bison generator (2025)

**4.1.9.3 Eficiencia Energética.** La eficiencia energética a partir de biogás depende principalmente de la calidad del biogás. Entre más alta sea la concentración de metano obtenido a partir de la materia orgánica, más alta será su capacidad calórica; por ende su eficiencia energética será mayor.

**Tabla 6**

Eficiencia Energética.

Biogás	Concentración	Eficiencia
1m3	60%	2.4kW-hora

Fuente: Venegas y otros (2019)

Nota: Esta concentración de metano en el biogás se torna un poco compleja de conseguir, ya que principalmente son las variaciones de temperatura las que permitirán alcanzar esta concentración. Si hay fluctuaciones de temperatura en el biodigestor, la actividad microbiana se vuelve inestable, afectando principalmente su concentración de metano.

### Figura 39

#### Consumo concurrente de luz de una granja

##### 1. Información Servicio Eléctrico y Alumbrado Público

Número de medidor	1710115209									
Tipo consumo	estimado	Días facturados		31						
Fecha desde	17-11-2024	Fecha hasta		17-12-2024						

Descripción	Fecha Hasta	Lectura Actual	Lectura Anterior	Diferencia Consumo	Consumo Subtotal	Consumo Int. Transfer.	Consumo Total	Unidad Medida	Monto (\$)
Energía activa total	17-12-2024	31099.00	30441.00	0.00	658.00	0.00	658.00	KWH	66.29

Nota: Granja familiar ubicada en el sector Fátima - Piñas - El Oro.

Fuente: CNEL (2024)

La figura 37 representa el consumo mensual de una granja dedicada a la industria porcina, ubicada en este sector, cuenta con alrededor de 200 cabezas de cerdo, cabe destacar que este establecimiento cuenta únicamente con los equipos necesarios para poder sustentar las necesidades de la granja.

$$\text{Consumo} = \frac{658kWh}{2.4kWh}$$

$$\text{Consumo} = 274.166$$

Dejando como resultado un requerimiento de 274.166 m<sup>3</sup> de biogás a una concentración del 60% para poder solventar este consumo energético mensual.

**4.1.9.4 Evaluación de eficiencia.** Para la evaluación de eficiencia energética dependerá de la potencia del generador y voltaje al que se trabaje (110v o 220v), la cantidad de corriente (amperios) que se necesitará será diferente. Considerando la siguiente formula:

$$\text{Vatios (W)} = \text{Voltios (V)} \times \text{Amperios (A)}$$

$$\text{Amperios (A)} = \frac{\text{Vatios (W)}}{\text{Voltios (V)}}$$

- Energía generada por metro cubico de biogás: 2.4kW-h = 2400W

Generador a 110V.

$$\text{Amperios (A)} = \frac{2400W}{110V} = 21.8A$$

Generador a 220V.

$$\text{Amperios (A)} = \frac{2400W}{220V} = 10.9A$$

La energía generada por cada metro cubico de biogás es la misma, la diferencia radica en la corriente (amperios) que necesita para operar cada equipo.

## 4.2 Presupuesto

Para la elaboración del presupuesto se ha llevado a cabo un análisis detallado de costos, considerando materiales, equipos y servicios necesarios para su construcción y funcionamiento. En este proceso, se ha contado con la cotización de proveedores especializados, como la empresa Fullcons S.A., encargada del suministro de geomembrana, y Biodigestores Biomatek, proveedor de biodigestores y componentes esenciales para el sistema.

### 4.2.1 Geomembrana

Se ha seleccionado la geomembrana lisa nominal HDPE de 1.00 mm debido a que ofrece un equilibrio óptimo entre resistencia mecánica, flexibilidad y durabilidad, adaptándose a las condiciones operativas del biodigestor. En comparación con la opción de 0.75 mm, la geomembrana de 1.00 mm proporciona una mayor resistencia a la tracción y al punzonamiento, reduciendo el riesgo de perforaciones o fisuras durante su instalación y operación. Por otro lado, aunque la opción de 1.50 mm ofrece una resistencia superior, su mayor rigidez dificulta el proceso de instalación y aumenta los costos del material sin representar una mejora significativa en el desempeño del sistema. Por estas razones, la elección de la geomembrana de 1.00 mm garantiza una solución eficiente y económicamente viable.

Figura 40

Especificaciones Geomembrana HDPE

Infografía de especificaciones técnicas y precios para Geomembrana HDPE Lisa Nominal. El gráfico muestra un título principal, una tabla de especificaciones técnicas, una sección de precios para el material de 1,00 mm (valor m² y valor m² con descuento) y una declaración de que todos los valores incluyen IVA.

Especificaciones técnicas	
Tamaño del Rollo - 0,75mm	7 m x 200 m / 7 m x 285 m
Tamaño del Rollo - 1,00mm	7 m x 150 m / 7 m x 215 m
Tamaño del Rollo - 1,50mm	7 m x 150 m / 7 m x 140 m

PRECIO M2 - 1,00mm	
Valor m <sup>2</sup>	<del>\$ 3,96</del>
Valor m <sup>2</sup> con descuento	\$ 2,78

Todos los valores incluyen IVA

Fuente: Fullcons (2024)

## 4.2.2 Biodigestor

Se ha seleccionado un sistema compuesto por tres módulos de biodigestores de 20 m<sup>3</sup>, cada uno con dimensiones de 8 metros de largo y 2.2 metros de ancho, con el propósito de aumentar la capacidad de tratamiento de residuos y maximizar la producción de biogás y biol. Esta elección se basa en la necesidad de procesar un mayor volumen de estiércol generado en la granja, garantizando una gestión eficiente y sostenible de los desechos orgánicos.

Cada módulo del sistema de 20 m<sup>3</sup>, según la información proporcionada por Biomatek, tiene la capacidad de procesar 180 litros de estiércol al día, lo que implica que, con tres módulos, el sistema podrá manejar 540 litros diarios, asegurando un adecuado procesamiento de los residuos generados por la cantidad de cerdos presentes en la granja.

**Tabla 7**

Dimensionamiento Biodigestor.

### TABLA DE DIMENSIONAMIENTO

							
Modelo	Estiércol (L/día)	Cabezas semi estabulado	Biogás producido		Biol producido		COSTOS
			Producción (m <sup>3</sup> /d) <sup>*</sup>	Equiv. en Gas Lp (Lb/mes)	(L/día)	(ha/año)	
Sistema de polietileno	45	5	1.8	47	135	5.1	\$899,00
Sistema 8 m <sup>3</sup>	65	7	2.5	68	195	7.0	\$1.800,00
Sistema 10 m <sup>3</sup>	90	9	3.3	94	207	9.3	\$2.400,00
Sistema 12 m <sup>3</sup>	130	13	4.9	136	390	14.0	\$2.600,00
Sistema 20 m <sup>3</sup>	180	18	6.6	189	540	18.7	\$2.870,00

Fuente: BiomaTek (2025)

Desde el punto de vista económico, la inversión en tres módulos del sistema de 20 m<sup>3</sup> representa una estrategia eficiente, con un costo total de \$8,610.00. En el presupuesto referencial se ha contemplado \$3000.00 por costos de transporte e instalación.

### 4.2.3 Presupuesto Referencial.

**Figura 41**

Presupuesto Referencial

<b>PRESUPUESTO REFERENCIAL</b>
--------------------------------

**PROYECTO:** DISEÑO DE BIODIGESTOR PARA APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE LA INDUSTRIA PORCINA

**UBICACIÓN:** Guayaquil

**FECHA:** 15/02/2025

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
	<b>MOVIMIENTOS DE TIERRA</b>				
1	EXCAVACIÓN A MAQUINA	m3	139,86	5,00	\$ 699,30
2	RELLENO	m3	24,30	4,50	\$ 109,35
	<b>ESTRUCTURA</b>				
3	ACERO DE REFUERZO	Kg	628,00	1,20	\$ 753,60
4	HORMIGÓN SIMPLE	m3	21,31	120,00	\$ 2.557,20
	<b>INSTALACIONES GENERALES</b>				
5	TUBERIA PVC 6PLG	m	9,70	8,00	\$ 77,60
6	TUBERIA PVC 1/2PLG	m	18,80	2,00	\$ 37,60
7	UNIONES CODOS 15mm 90°	U	5,00	1,50	\$ 7,50
8	UNIONES CODOS 150mm 36°	U	3,00	2,50	\$ 7,50
9	UNIONES EN T 15mm ESTANDAR	U	3,00	2,00	\$ 6,00
10	BIODIGESTORES	U	3,00	3.000,00	\$ 9.000,00
11	VALVULA DE PASO BIOGAS	U	3,00	25,00	\$ 75,00
21	TRAMPA DE PRESION BIOGAS	U	1,00	150,00	\$ 150,00
22	FILTRO ACIDO SULFURICO	U	1,00	80	\$ 80,00
23	TANQUE DE ALMACENAMIENTO BIOGAS	U	1,00	500,00	\$ 500,00
24	GENERADOR	U	1,00	2.500,00	\$ 2.500,00
25	GEOMALLA	m2	154,00	2,78	\$ 428,12
			<b>TOTAL</b>		16988,77

Elaborado por: Carrión y Loaiza (2025)

## CONCLUSIONES

- El análisis de los componentes del biogás generado a partir de la materia orgánica porcina evidencia que su composición varía dentro de rangos ampliamente fundamentados por diversos estudios. Sin embargo, para que el biogás sea de calidad y apto para su uso en biogeneradores, es crucial alcanzar una concentración de metano cercana al 60 %, lo que permitiría generar aproximadamente 2.4 kWh por metro cúbico de biogás. La presencia de CO<sub>2</sub> en concentraciones del 25-45 % puede reducir el poder energético del biogás, por lo que es recomendable implementar estrategias de optimización del proceso de digestión anaerobia, como la regulación de la relación C/N, control del pH y la temperatura, además de técnicas de purificación para mejorar su calidad y eficiencia energética.
- El análisis de eficiencia energética a partir del consumo energético de la granja que se usó de ejemplo en el proyecto refleja un análisis positivo en términos de aprovechamiento del biogás como fuente de energía renovable. Si bien se determinó que la disponibilidad de materia orgánica un cerdo de 50kg puede generar aproximadamente 0.324kWh, en este caso si se implementara el sistema planteado podría solventar alrededor del 15% de consumo energético, lo cual refleja que a en una producción a mayor escala representa una alternativa viable para reducir la dependencia de fuentes energéticas convencionales.
- El diseño estructural del sistema que incorporará los biodigestores tomó en cuenta las cargas que ejercerá, garantizando su estabilidad y resistencia frente a elementos como el peso propio de la losa, el peso de los materiales empleados y las cargas por metro cuadrado que soportará. Las estimaciones estructurales con un reparto justo de las cargas corroboraron la eficacia del diseño y garantizaron la integridad del sistema durante toda su vida útil, previniendo posibles fallas estructurales y derrames de materia prima.

## RECOMENDACIONES

Para optimizar el proceso de biodigestión y mejorar la producción de biogás, es fundamental mantener un equilibrio adecuado en la relación carbono/nitrógeno (C/N), lo cual puede lograrse incorporando residuos agrícolas o materiales ricos en carbono junto con el estiércol porcino. Asimismo, se recomienda controlar el pH del biodigestor dentro del rango de 6.5 a 7.5 para evitar la inhibición de las bacterias metanogénicas y mantener una temperatura estable acorde al tipo de digestión utilizada (mesófila o termófila), con el fin de asegurar una producción eficiente y constante de metano.

En cuanto a la eficiencia y la mejora del rendimiento energético, aunque los resultados no son favorables para cubrir todo su consumo. Representa un porcentaje favorable a la hora de poder ahorrar recursos, además, al tratarse de una tecnología escalable, es posible mejorar su rendimiento a medida que se aumenta la capacidad. Este tipo de sistemas puede ser parte de una estrategia más amplia de gestión de residuos y sostenibilidad, no solo en términos de energía, sino también en la reducción de emisiones de gases contaminantes, lo que hace que el biodigestor sea una herramienta valiosa en la transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM INTERNATIONAL. (2023). Retrieved 19 de Diciembre de 2024, from ASTM INTERNATIONAL: <https://www.astm.org/>
- Asto Garcia, O. K. (2020). *Comportamiento Estructural de Losas Macizas de Concreto Reforzadas con Varillas de Basalto*. Retrieved 19 de Diciembre de 2024, from Repositorio Universidad San Ignacio de Loyola: <https://repositorio.usil.edu.pe/server/api/core/bitstreams/b5c5fe99-809e-4f59-b59f-76444f948bfc/content>
- BiomaTek. (2025). *BiomaTek*. Retrieved 11 de Diciembre de 2024, from <https://www.biomatek.com>
- BISON Generador. (2025). *BISON Generador*. Retrieved 25 de Febrero de 2025, from <https://www.bisongenerator.com/generator>
- Briceño, G. (2019). *Ecuación de continuidad*. Retrieved 20 de dic de 2024, from Euston: <https://www.euston96.com/ecuacion-de-continuidad/>
- Carvalho, A. M., y Casas Cirión, L. E. (2022). Compostaje y biodigestores como solución al problema de los residuos orgánicos en el medio rural. *Ciencia Latina*. Retrieved 16 de Dic de 2024, from <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/2641>
- Chalco Chávez, P. L., y Olivos García, C. F. (2019). *ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL DISEÑO DE*. Retrieved 19 de Diciembre de 2024, from Repositorio Académico USMP: <https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/5488/chalco-olivos%20%28abierto%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- CNEL. (dic de 2024). *CNEL*. Retrieved 17 de dic de 2024, from <https://www.cnelep.gob.ec/>
- Dupuis, A. (1 de Marzo de 2020). Investigación cuantitativa. *Técnicas de investigación*. Retrieved 23 de Febrero de 2025, from <https://tecnicasdeinvestigacion.com/investigacion-cuantitativa/>
- Fernández Lavín, A., y Chamorro Zurita, C. (Marzo de 2023). Propuesta de actualización de la Norma Ecuatoriana de la Construcción: Geotecnia y Cimentaciones. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*. Retrieved 19 de Diciembre de 2024, from <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/riie/article/view/2964/2383>
- Ferrarez, A. H. (2020). Construcción de biodigestores anaeróbicos demostrativos con materiales de bajo costo. *RedBioLAC*. Retrieved 23

de Febrero de 2025, from [https://cetra.org.br/wp-content/uploads/2021/04/RedBioLAC-2020.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://cetra.org.br/wp-content/uploads/2021/04/RedBioLAC-2020.pdf?utm_source=chatgpt.com)

Feuchter, F. (16 de Octubre de 2024). Producción de biogás con un biorreactor en una granja porcina. *Universidad Autónoma Chapingo (México)*.

Retrieved 23 de feb de 2025, from <https://www.interempresas.net/porcino/Articulos/570411-Produccion-de-biogas-con-un-biorreactor-en-una-granja-porcina.html>

Fullcons. (2024). Retrieved 19 de Diciembre de 2024, from Fullcons: <https://fullcons.com.ec/>

Gilbert, J., Ricci-Jürgensen, M., y Ramola, A. (2020). LOS BENEFICIOS DEL COMPOSTAJE Y LA DIGESTION ANAERÓBICA CUANDO SE APLICA AL SUELO. *International Solid Waste Association*. Retrieved 24 de Febrero de 2025, from <https://www.iswalac.org/descarga/Copia-de-REPORT-2-Beneficios-del-compost-y-la-digesti%C3%B3n-anaerobica-cuando-se%20aplica-al%20suelo-SPANISH.pdf>

Gomez Camperos, Regino Urbanez, y Jaramillo. (2021). Desarrollo de un sistema de monitoreo para las variables de temperatura, presión y pH en un biodigestor anaeróbico. *Revista Ingeniero*. Retrieved 16 de dic de 2024, from <https://portal.amelica.org/ameli/journal/814/8144200011/html/>

GRI Standars. (2023). Retrieved 19 de Diciembre de 2024, from GRI Standars: <https://www.globalreporting.org/how-to-use-the-gri-standards/gri-standards-spanish-translations/>

Kelenchi, U. P., y Okeke, O. C. (Noviembre de 2019). *Geotextiles and Geomembranes: Properties, Production and Engineering Applications*. Federal University of Techology: [https://www.researchgate.net/profile/Kelechi-Paulinus-Ukor/publication/364609372\\_GEOTEXTILES\\_AND\\_GEOMEMBRANES\\_PROPERTIES\\_PRODUCTION\\_AND\\_ENGINEERING\\_APPLICATIONS/inks/648c479eb9ed6874a5b33609/GEOTEXTILES-AND-GEOMEMBRANES-PROPERTIES-PRODUCTION-AND-ENGINEER](https://www.researchgate.net/profile/Kelechi-Paulinus-Ukor/publication/364609372_GEOTEXTILES_AND_GEOMEMBRANES_PROPERTIES_PRODUCTION_AND_ENGINEERING_APPLICATIONS/inks/648c479eb9ed6874a5b33609/GEOTEXTILES-AND-GEOMEMBRANES-PROPERTIES-PRODUCTION-AND-ENGINEER)

Liderde. (9 de Febrero de 2024). *Biodigestor*. Mercedes Castro: <https://www.lifeder.com/biodigestor/>

Morales, C. (2020). Evaluación de la estabilidad de un digestor anaerobio termófilo. *Revista de la Sociedad Química del Perú*. Retrieved 23 de Febrero de 2025, from [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2020000200152&script=sci\\_abstract](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2020000200152&script=sci_abstract)

- Moreno Izquierdo, V., y Sevillano, G. (Junio de 2020). *Suelos Ecuador / Suelos de la Costa*. Retrieved 19 de Diciembre de 2024, from ResearchGate: [https://www.researchgate.net/publication/361614460\\_Suelos\\_Ecuador\\_Suelos\\_de\\_la\\_Costa](https://www.researchgate.net/publication/361614460_Suelos_Ecuador_Suelos_de_la_Costa)
- Muños Menéndez , M. B., Contreras Moya, A. M., Santos Herrero, R. F., Rosa Dominguez, E. R., y Cárdenas Ferrer, T. M. (06 de Noviembre de 2020). El proceso de digestión anaeróbica para el tratamiento de residuos sólidos. Métodos y resultados. *Polo del Conocimiento*. Retrieved 24 de Febrero de 2025, from <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7659350.pdf>
- Nicho Alvarado, O. J., Namay Villanueva, L., Chimoy Gomez, J. G., y Cárdenas Durand, A. G. (25 de jun de 2021). *Biodigestores y Metanogenesis*. Retrieved 19 de dic de 2024, from Repositorio Universidad Nacional Jose Faustino Sánchez Carrión: [https://www.academia.edu/62682187/BIODIGESTORES\\_y\\_METANOGENESIS](https://www.academia.edu/62682187/BIODIGESTORES_y_METANOGENESIS)
- Otero Pérez, J. J., y Sandberg, R. (Noviembre de 2019). *Compresibilidad y efectos de inercia variable en la transferencia de calor en chorros turbulentos*. Retrieved 20 de Diciembre de 2024, from Arxiv Fisica: <https://arxiv.org/pdf/1911.11923>
- Palomares Montealegre, J. P., y Mojica Prieto, V. P. (2021). IMPLEMENTACIÓN DE GEOSINTÉTICOS EN LA INGENIERÍA DE PAVIMENTOS. *Universidad Catolica de Colombia*. Bogotá, Colombia. <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/432d70aa-0ae6-4b06-a587-cd2c99d226be/content>
- Pardo, M. (2023). *Explicación de fisuras en vigas de concreto reforzado*. Retrieved 25 de Febrero de 2025, from Marcelo Pardo Ingeniería: <https://marcelopardo.com/explicacion-fisuras-en-vigas-concreto-reforzado/>
- perforaciones, M. (2023). *Perforaciones Geotecnicas*. Retrieved 15 de Diciembre de 2024, from MCA Perforaciones: <https://mcaperforaciones.com>
- PINTULAC. (2025). *PINTULAC*. Retrieved 25 de Febrero de 2025, from <https://www.pintulac.com.ec/generador-dual-9000w-gasolina-glp-concendido-electrico-porten.html?srsItd=AfmBOooZi0sQzZpkp-lqrSSWoNpxO5eRFKl8FcPk-0JAD1Mh0ovPUQS8>
- Ramos Galarza, C. A. (2020). Los alcances de una investigación. *Dailnet*. Retrieved 23 de Febrero de 2025, from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7746475>

- Rosales, M. (02 de Marzo de 2023). Enfoque cualitativo: Definición y Características. *Web y Empresas*. Retrieved 23 de Febrero de 2025, from <https://www.webyempresas.com/enfoque-cualitativo-definicion-y-caracteristicas/>
- Sanchez Hernández , W. A., Arévalo Toscano, J., y Sánchez Hernández, L. (2 de Julio de 2024). Análisis de la producción de biogás a partir de desechos agrícolas mediante la super-visión de las variables de temperatura, presión y pH en un Biodigestor Anaeróbico en la zona rural de Ocaña. *Revista Ingenio*. Retrieved 23 de Febrero de 2025, from <https://revistas.ufps.edu.co/index.php/ingenio/article/download/4212/5796?inline=1>
- Sencia Choquenaira, R. (2020). Diseño de un biodigestor para el aprovechamiento de la materia orgánica generada por hogares de bajos recursos económicos que crían animales menores ubicados en la zona agrícola de la ciudad de Arequipa en el año 2020. *Universidad Continental*. Retrieved 16 de Febrero de 2025, from [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8679/4/IV\\_FIN\\_108\\_TI\\_Sencia\\_Choquenaira\\_2020.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8679/4/IV_FIN_108_TI_Sencia_Choquenaira_2020.pdf?utm_source=chatgpt.com)
- Spahr, D. A., Carrizo, J. F., Patiño, M. B., Manera, M. E., y Rubiolo, G. S. (2019). *Relevamiento, evaluación y optimización de biodigestores*. Retrieved 19 de Diciembre de 2024, from Repositorio Institucional de la UNLP: <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/95534>
- Taípe Castro, J. A. (2019). *Diseño de un biodigestor para mejorar la obtención de biogás y biol*. Retrieved 19 de Diciembre de 2024, from Repositorio Universidad Nacional del Centro del Peru: <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/5492>
- Vargas Quintero, J., y Mancera Rodríguez, G. (2020). *DISEÑO DE LOSA DE FUNDACIÓN PARA TALADRO DE PERFORACIÓN NABORS*. Retrieved 2024 de 12 de 19, from <https://repositorio.uan.edu.co>: <https://repositorio.uan.edu.co/server/api/core/bitstreams/ea8236b3-cca7-438c-b954-74f106d1c365/content>
- Venegas Venegas, J. A., Raj Aryal, D., y Pinto Ruíz, R. (2019). Biogás, la energía renovable para el desarrollo de granjas porcícolas en el estado de Chiapas. *SciELO Analytics*. Retrieved 15 de Diciembre de 2023, from [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2448-66552019000100169&script=sci\\_arttext&utm\\_source=chatgpt.com](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2448-66552019000100169&script=sci_arttext&utm_source=chatgpt.com)
- Youtube. (2023). Ecuación general de la hidrostática. Aplicación a un fluido incompresible | 14/49 | UPV. *Universidad Politécnica de València - UPV*.

Retrieved 20 de dic de 2024, from <https://www.youtube.com/watch?v=-1SwWuppGog>

## ANEXOS

### Anexo 1 Cuantificación 1

Muros		Muros	
Tipo	Volumen	Tipo	Volumen
<b>Muro e=0.04m</b>		Muro e=0.08m	0.972 m <sup>3</sup>
Muro e=0.04m	0.044 m <sup>3</sup>	Muro e=0.08m	0.972 m <sup>3</sup>
Muro e=0.04m	0.043 m <sup>3</sup>	Muro e=0.08m	0.972 m <sup>3</sup>
Muro e=0.04m	0.043 m <sup>3</sup>	Muro e=0.08m	1.126 m <sup>3</sup>
Muro e=0.04m	0.042 m <sup>3</sup>	Muro e=0.08m	0.173 m <sup>3</sup>
Muro e=0.04m	0.044 m <sup>3</sup>	Muro e=0.08m	0.173 m <sup>3</sup>
Muro e=0.04m	0.043 m <sup>3</sup>	Muro e=0.08m	0.160 m <sup>3</sup>
Muro e=0.04m	0.043 m <sup>3</sup>	Muro e=0.08m	0.160 m <sup>3</sup>
Muro e=0.04m	0.042 m <sup>3</sup>	Muro e=0.08m	0.173 m <sup>3</sup>
Muro e=0.04m	0.044 m <sup>3</sup>	Muro e=0.08m	0.173 m <sup>3</sup>
Muro e=0.04m	0.043 m <sup>3</sup>	Muro e=0.08m	0.160 m <sup>3</sup>
Muro e=0.04m	0.043 m <sup>3</sup>	Muro e=0.08m	0.160 m <sup>3</sup>
Muro e=0.04m	0.042 m <sup>3</sup>	Muro e=0.08m	0.173 m <sup>3</sup>
Muro e=0.04m: 12	0.517 m <sup>3</sup>	Muro e=0.08m	0.173 m <sup>3</sup>
<b>Muro e=0.08m</b>		Muro e=0.08m	0.160 m <sup>3</sup>
Muro e=0.08m	0.972 m <sup>3</sup>	Muro e=0.08m	0.160 m <sup>3</sup>
Muro e=0.08m	1.126 m <sup>3</sup>	Muro e=0.08m: 20	10.080 m <sup>3</sup>
Muro e=0.08m	0.972 m <sup>3</sup>	Total general: 32	10.597 m <sup>3</sup>
Muro e=0.08m	0.972 m <sup>3</sup>		
Suelos sistemas			
Tipo	Volumen		
<b>Losa inferior Sistema Primario</b>			
Losa inferior Sistema Primario	0.125 m <sup>3</sup>		
Losa inferior Sistema Primario	0.125 m <sup>3</sup>		
Losa inferior Sistema Primario	0.125 m <sup>3</sup>		
Losa inferior Sistema Primario: 3	0.374 m <sup>3</sup>		
<b>Losa inferior Sistema Secundario</b>			
Losa inferior Sistema Secundario	0.373 m <sup>3</sup>		
Losa inferior Sistema Secundario	0.373 m <sup>3</sup>		
Losa inferior Sistema Secundario	0.373 m <sup>3</sup>		
Losa inferior Sistema Secundario: 3	1.120 m <sup>3</sup>		
Total general: 6	1.494 m <sup>3</sup>		
DISEÑO Y EVALUACIÓN DE BIODIGESTOR PARA APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE LA INDUSTRIA PORCINA Y GENERACION DE ENERGIA			
		UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE	
		<b>Cuantificación1</b> Scale	
		PROYECTO DE TITULACION FECHA: 14/02/2025 DIBUJADO POR: LOAIZA-CARRION REVISADO: KEVIN MENDOZA	

## Anexo 4 Cuantificación 2

Losa de Cimentación		
Tipo	Área	Volumen
Cimentación e=0.30m	77.479 m <sup>2</sup>	23.244 m <sup>3</sup>

Acero de Refuerzo				
Tipo	Volumen de refuerzo	Diámetro de barra	Cantidad	Longitud de barra

Ø12 @ 25 cm

Ø12 @ 25 cm	0.035 m <sup>3</sup>	12 mm	33	9.30 m
Ø12 @ 25 cm	0.035 m <sup>3</sup>	12 mm	38	8.18 m

Ø12 @ 25 cm: 2 0.070 m<sup>3</sup>

DISEÑO Y EVALUACIÓN DE  
BIODIGESTOR PARA  
APROVECHAMIENTO DE  
RESIDUOS DE LA INDUSTRIA  
PORCINA Y GENERACION DE  
ENERGIA



UNIVERSIDAD LAICA VICENTE  
ROCAFUERTE

### Cuantificación2

Scale

PROYECTO DE TITULACION

FECHA: 14/02/2025

DIBUJADO POR: LOAIZA-CARRION

REVISADO: KEVIN MENDOZA

## Anexo 7 Cuantificación 3

Tubería PVC		Tabla de planificación de uniones de tubería		
Tipo	Longitud (m)	Familia	Tipo	Recuento
<b>Tubería carga y descarga 6plg</b>		<b>Codos 15mm 90°</b>		
Tubería carga y descarga 6plg	2.002	M_Bend - PVC - Sch 40 - DWV	Codos 15mm 90°	1
Tubería carga y descarga 6plg	2.002	M_Bend - PVC - Sch 40 - DWV	Codos 15mm 90°	1
Tubería carga y descarga 6plg	2.002	M_Bend - PVC - Sch 40 - DWV	Codos 15mm 90°	1
Tubería carga y descarga 6plg	1.039	M_Bend - PVC - Sch 40 - DWV	Codos 15mm 90°	1
Tubería carga y descarga 6plg	0.176	M_Bend - PVC - Sch 40 - DWV	Codos 15mm 90°	1
Tubería carga y descarga 6plg	1.040	M_Bend - PVC - Sch 40 - DWV	Codos 15mm 90°	1
Tubería carga y descarga 6plg	0.176	M_Bend - PVC - Sch 40 - DWV	Codos 15mm 90°	1
Tubería carga y descarga 6plg	1.040	M_Bend - PVC - Sch 40 - DWV	Codos 15mm 90°	1
Tubería carga y descarga 6plg	0.176	M_Bend - PVC - Sch 40 - DWV	Codos 15mm 90°	1
Tubería carga y descarga 6plg: 9	9.652	Codos 15mm 90°: 5		
<b>Tubería Gas 1/2 plg</b>		<b>Codos 150mm 36°</b>		
Tubería Gas 1/2 plg	0.425	M_Bend Long Sweep - PVC - Sch 40 - DWV	Codos 150mm 36°	1
Tubería Gas 1/2 plg	0.430	M_Bend Long Sweep - PVC - Sch 40 - DWV	Codos 150mm 36°	1
Tubería Gas 1/2 plg	0.446	M_Bend Long Sweep - PVC - Sch 40 - DWV	Codos 150mm 36°	1
Tubería Gas 1/2 plg	3.397	M_Bend Long Sweep - PVC - Sch 40 - DWV	Codos 150mm 36°	1
Tubería Gas 1/2 plg	2.869	M_Bend Long Sweep - PVC - Sch 40 - DWV	Codos 150mm 36°	1
Tubería Gas 1/2 plg	0.170	M_Bend Long Sweep - PVC - Sch 40 - DWV	Codos 150mm 36°	1
Tubería Gas 1/2 plg	3.388	M_Bend Long Sweep - PVC - Sch 40 - DWV	Codos 150mm 36°	1
Tubería Gas 1/2 plg	1.200	Codos 150mm 36°: 3		
Tubería Gas 1/2 plg	1.434	Standard		
Tubería Gas 1/2 plg	0.446	M_Tee - PVC - Sch 40	Standard	1
Tubería Gas 1/2 plg	0.434	M_Tee - PVC - Sch 40	Standard	1
Tubería Gas 1/2 plg	0.429	M_Tee - PVC - Sch 40	Standard	1
Tubería Gas 1/2 plg	0.989	Standard: 3		
Tubería Gas 1/2 plg	0.987	Standard: 3		
Tubería Gas 1/2 plg	1.730	Standard: 3		
Tubería Gas 1/2 plg	1.290	Standard: 3		
Tubería Gas 1/2 plg: 16	20.063	Standard: 3		
<b>Total general: 25</b>	<b>29.715</b>			

DISEÑO Y EVALUACIÓN DE BIODIGESTOR PARA APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE LA INDUSTRIA PORCINA Y GENERACION DE ENERGIA	 UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE	<b>Cuantificación3</b> Scale
		PROYECTO DE TITULACION
		FECHA: 14/02/2025
		DIBUJADO POR: LOAIZA-CARRION REVISADO: KEVIN MENDOZA

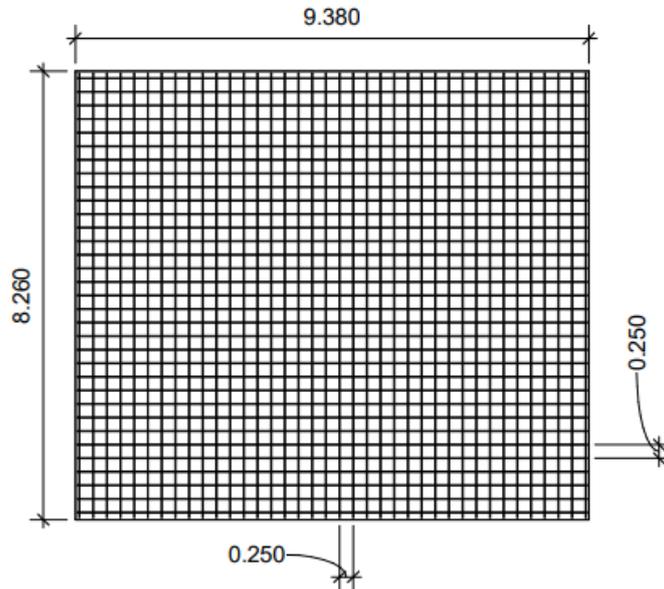
## Anexo 10 Cuantificación 4

Valvulas y Trampa			Equipos Electricos		
Familia	Tipo	Recuento	Familia	Tipo	Recuento
25 mmx50 mm			M_Gas Emergency Power Generator		
M_Pressur e Relief Valve - 25-250 mm	25 mmx50 mm	1	Generador de Energía		1
25 mmx50 mm: 1		1	Equipos Mecanicos		
Medidor de presión de Gas			Tipo		
M_Pressur e Gauge	Medidor de presión de Gas	1	Recuento		
Medidor de presión de Gas: 1		1	Filtro Acido Sulfidrico		
Valvula de Paso 15mm			1		
M_Plug Valve - Lever Handle - 15-100 mm	Valvula de Paso 15mm	1			
M_Plug Valve - Lever Handle - 15-100 mm	Valvula de Paso 15mm	1			
M_Plug Valve - Lever Handle - 15-100 mm	Valvula de Paso 15mm	1			
Valvula de Paso 15mm: 3		3			
Total general: 5		5			

DISEÑO Y EVALUACIÓN DE BIODIGESTOR PARA APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE LA INDUSTRIA PORCINA Y GENERACION DE ENERGIA	 UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE	<b>Cuantificación4</b> <small>Scale</small>
		PROYECTO DE TITULACION
		FECHA: 14/02/2025
		DIBUJADO POR: LOAIZA-CARRION
		REVISADO: KEVIN MENDOZA

## Anexo 11 Cimentación



1 Cimentacion Vista en Planta  
1 : 100



2 Cimentacion Alzado  
1 : 100

DISEÑO Y EVALUACIÓN DE  
BIODIGESTOR PARA  
APROVECHAMIENTO DE  
RESIDUOS DE LA INDUSTRIA  
PORCINA Y GENERACION DE  
ENERGIA



UNIVERSIDAD LAICA VICENTE  
ROCAFUERTE

### CIMENTACIÓN

Scale 1 : 100

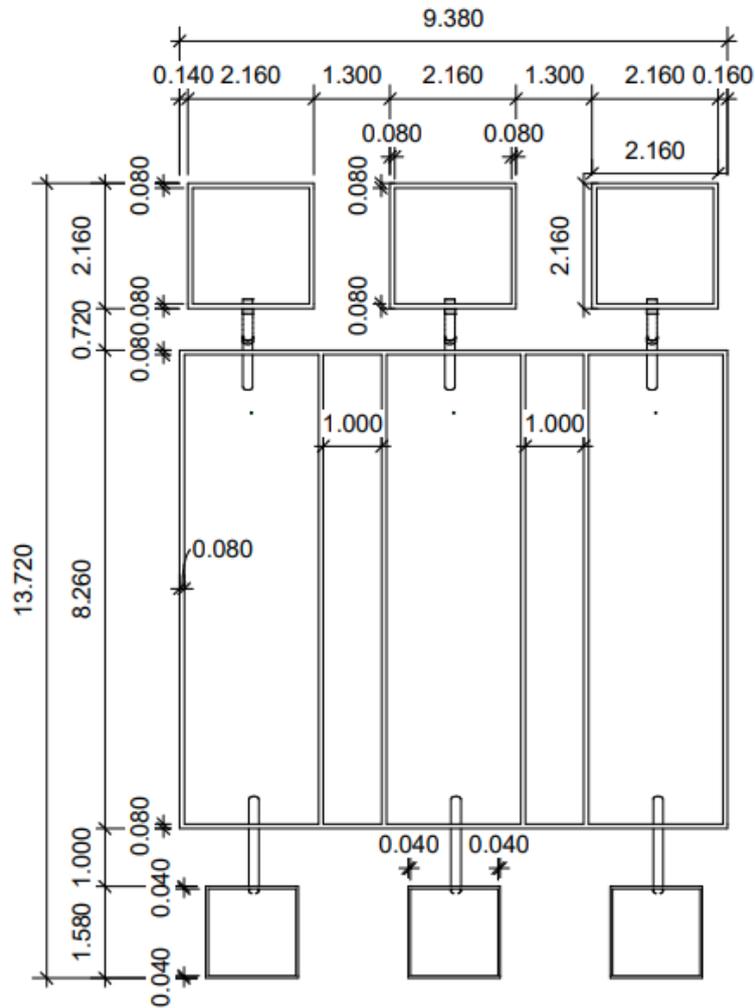
PROYECTO DE TITULACION

FECHA: 14/02/2025

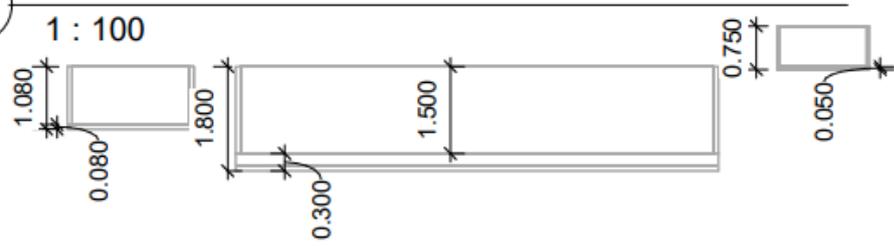
DIBUJADO POR: LOAIZA-CARRION

REVISADO: KEVIN MENDOZA

## Anexo 14 Muros



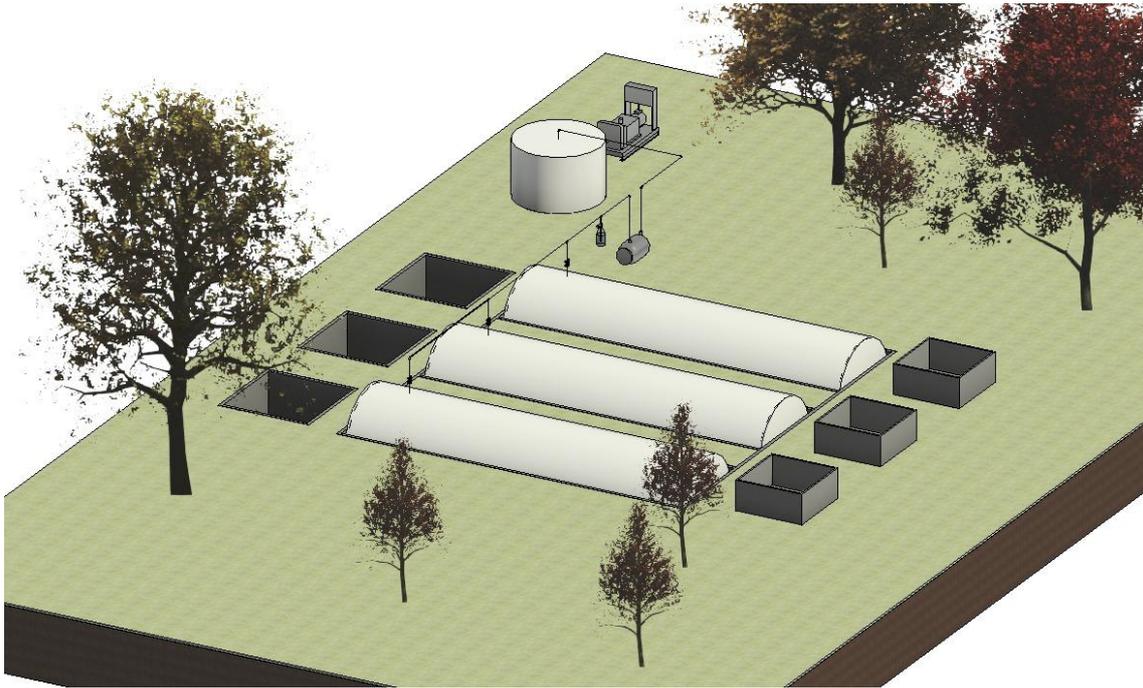
1 Nivel 1  
1 : 100



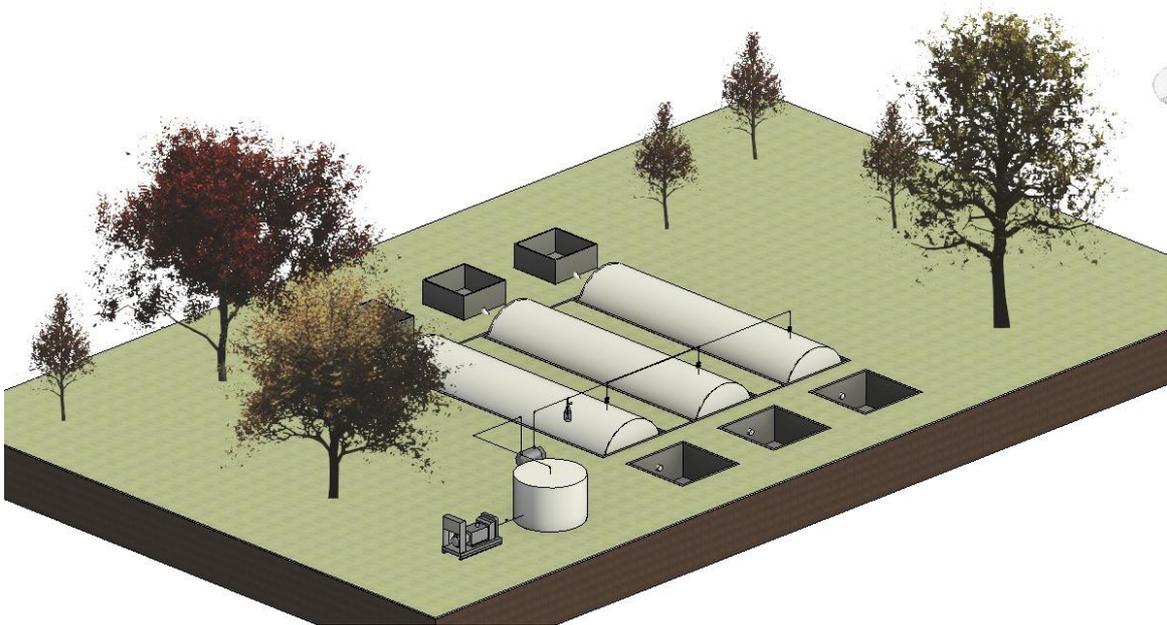
2 Alzado Muros  
1 : 100

DISEÑO Y EVALUACIÓN DE BIODIGESTOR PARA APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE LA INDUSTRIA PORCINA Y GENERACION DE ENERGIA	 UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE	<b>MUROS</b> Scale 1 : 100
		PROYECTO DE TITULACION
		FECHA: 14/02/2025
		DIBUJADO POR: LOAIZA-CARRION
		REVISADO: KEVIN MENDOZA

**Anexo 16 Vista Frontal 3D**



**Anexo 17 Vista Posterior 3D**



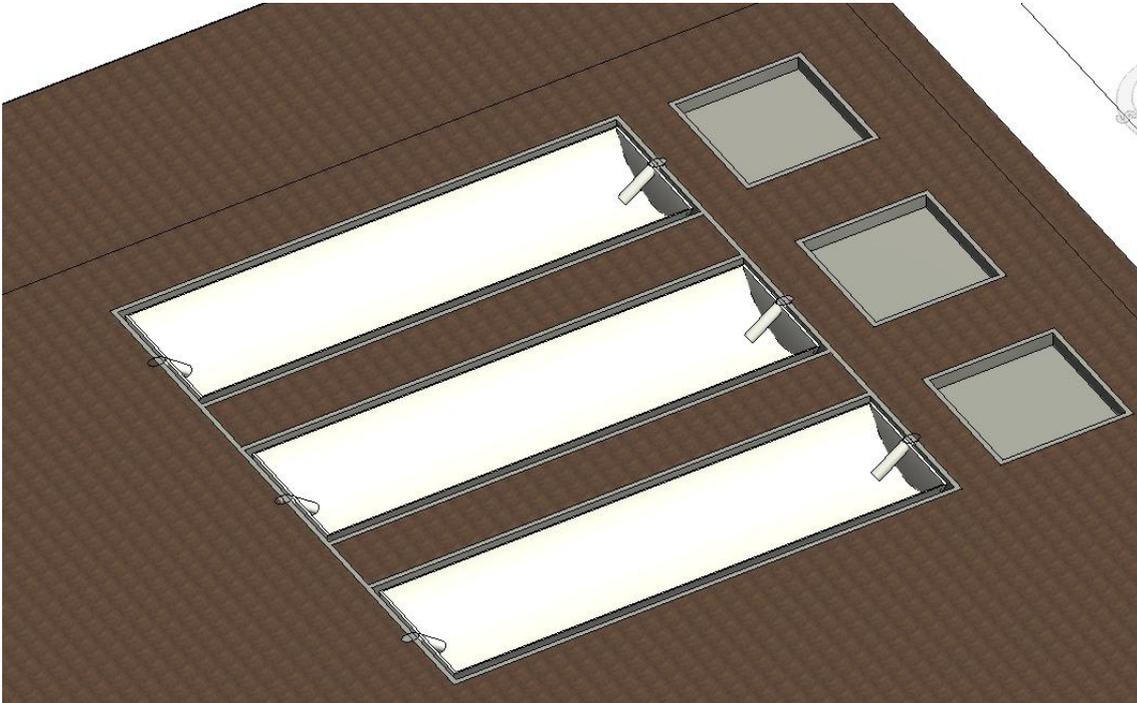
### Anexo 18 Corte Longitudinal Modelo 3D



### Anexo 19 Corte Longitudinal Modelo 3D Sin Suelo



## Anexo 20 Vista Isométrica del Sistema de Biodigestores



## Anexo 21 Recorrido del Modelo 3D en Youtube



Nota: Se puede acceder al video recorrido mediante el siguiente link

<https://www.youtube.com/watch?v=qG9tD1p8HXc>