

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE CONCEPCIÓN – REY BALDUINO DE BÉLGICA

**VIABILIDAD Y DISEÑO DE BIODIGESTOR TUBULAR PARA LA GESTIÓN
SOSTENIBLE DE RESIDUOS EN EL SECTOR EL ARENAL, CERRO NEGRO
REGIÓN DE ÑUBLE.**

Trabajo de Titulación para optar al Título
de Ingeniero en Mantenimiento
Industrial.

Alumno:
Jaime Cristóbal Godoy Acuña.

Profesor Guía:
Guillermo Felipe Larson Muñoz.

2024

*Dedicatoria: A mis padres y
hermana, que siempre estuvieron
a mi lado en todo mi proceso de
estudio, siempre me dieron lo
mejor y su amor incondicional
hasta en los días más difíciles.*

AGRADECIMIENTOS

Quiero comenzar expresando mi más sincero agradecimiento a mis compañeros de carrera, Christian Vidal, Jose Vásquez, Edgardo Gutiérrez y Pablo Quilodrán. Siempre estuvieron ahí para ayudarme en trabajos y formamos un grupo de amigos que nos apoyamos mutuamente a lo largo de nuestra trayectoria académica. Compartimos momentos especiales dentro y fuera del campus, los cuales permanecerán grabados siempre en mi corazón.

Asimismo, deseo expresar mi gratitud hacia los docentes de nuestra carrera. Demostraron gran paciencia, dedicación y esfuerzo, brindándonos una enseñanza de calidad y guiándonos para formarnos como profesionales competentes, a pesar de las adversidades que enfrentamos a lo largo de los años, especialmente la pandemia de COVID-19.

Por último, quiero agradecer a mi familia: mis padres, mi hermana. Durante un tiempo estuve separado de ellos, enfrentando nuevos desafíos y aprendiendo a valerme por mí mismo. A pesar de la distancia, nunca me dejaron solo; siempre estuvieron ahí para mí, brindándome su apoyo incondicional. Su constante presencia y ayuda fueron fundamentales para superar obstáculos y perseverar en mi carrera, hasta el día de hoy.

¡Gracias a todos!

RESUMEN

El proyecto se concentra en la investigación de la viabilidad y el diseño de biodigestores en especial de tipo tubular como una solución para la gestión de residuos orgánicos en el Sector El Arenal de Cerro Negro. Se reconoce la creciente urgencia de adoptar prácticas sostenibles frente al aumento de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y los desafíos asociados al cambio climático. En este contexto, los biodigestores representan una respuesta potencialmente efectiva al convertir los residuos orgánicos en recursos valiosos, incluyendo energía limpia y biofertilizantes.

Este enfoque cobra aún más importancia en un entorno rural como en el Sector El Arenal, donde la distancia a las áreas urbanas limita el acceso a servicios esenciales como energía y fertilizantes. La implementación de biodigestores no solo abordaría la gestión de residuos, sino que también establecería una fuente local y sostenible de energía y nutrientes para respaldar la producción agrícola en el predio a instalar.

Se espera que este proyecto contribuya significativamente al desarrollo sostenible de la comunidad, fomentando prácticas responsables y eficientes tanto en el ámbito ambiental como agrícola. Además, los resultados obtenidos pueden servir como un modelo replicable para otras comunidades rurales que enfrentan desafíos similares en la gestión de residuos y la provisión de servicios básicos.

ÍNDICE

Contenido

ÍNDICE DE FIGURAS	10
ÍNDICE DE TABLAS	12
SIGLA Y SIMBOLOGÍA.....	13
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS.....	2
OBJETIVO GENERAL:	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.1 ANTECEDENTES DEL PROYECTO.....	6
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	7
1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	7
1.4 BENEFICIOS DEL PROYECTO.....	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	9
2.1 PROCESO DE BIODIGESTIÓN	11
2.1.1 DIGESTIÓN AERÓBICA.....	11
2.1.2 DIGESTIÓN ANAERÓBICA	12
2.2 DISEÑOS DE BIODIGESTORES	14
2.2.1 BIODIGESTOR TIPO CHINO.....	14
2.2.2 BIODIGESTOR TIPO HINDÚ.....	15
2.2.3 BIODIGESTOR TIPO TUBULAR.....	15
2.2.4 BIODIGESTORES MIXTOS	16
2.2.5 BIODIGESTORES INDUSTRIALES.....	16
2.3 COMPONENTES DE UN BIODIGESTOR TUBULAR.....	17
2.3.1 REACTOR.....	18
2.3.2 MATERIAL DEL BIODIGESTOR	20
2.3.3 DIMENSIONES DE LA ZANJA.....	21
2.3.4 TUBERÍAS Y VÁLVULAS	21
2.3.5 RESERVORIO	22
2.4 NORMA OLORES SECTOR PORCINO.....	23

CAPÍTULO III: DISEÑO Y SOLUCIÓN.....	25
3.1 UBICACIONES GEOGRÁFICAS DEL PROYECTO.....	27
3.1.2 FOTOGRAFÍAS DE UBICACIÓN EXACTA DEL PREDIO	27
3.1.3 FOTOGRAFÍAS DEL PREDIO DONDE SE REQUIERE EL BIODIGESTOR	28
3.1.4 FOTOGRAFÍAS DE PORCINOS PRESENTES EN EL PREDIO	29
3.1.5 FOTOGRAFÍAS DE CULTIVOS PRESENTES EN EL PREDIO	30
3.2 BENEFICIOS Y CONTRAPARTES	31
3.3 CONSTRUCCIÓN DEL BIODIGESTOR	31
3.3.1 VOLUMEN DEL REACTOR	31
3.3.2 ZANJA.....	32
3.3.3 SALIDA DEL BIOGÁS.....	33
3.3.4 TUBOS DE ENTRADA Y SALIDA.....	33
3.4 CONSTRUCCIÓN CONDUCTOS DE GAS	34
3.4.1 TEES PARA EVACUACIÓN DE AGUA EN CAÑERÍAS	34
3.4.2 VÁLVULAS DE SEGURIDAD	34
CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	36
4.1 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE INSTALACIÓN DEL BIODIGESTOR TUBULAR EN CERRO NEGRO REGIÓN DE ÑUBLE	38
4.1.1 FICHA TÉCNICA DEL BIODIGESTOR.....	38
4.1.2 PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL BIODIGESTOR	38
4.1.3 DETALLE DE MATERIALES NECESARIOS PARA LA INSTALACIÓN DEL BIODIGESTOR.....	39
4.1.4 EVALUACIÓN ECONÓMICA IMPLEMENTANDO VALOR ACTUAL NETO	40
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	42
5.1 CONCLUSIONES	44
5.2 RECOMENDACIONES	45
BIBLIOGRAFÍA	46

ÍNDICE DE FIGURAS

1 Figura 2-1 Proceso digestión anaeróbica Fuente: revistaredbiolac.org	13
2 Figura 2-2 Ejemplo biodigestor tipo chino Fuente: Autoconsumo.minenergia.cl	14
3 Figura 2-2 Ejemplo biodigestor tipo hindú Fuente: Autoconsumo.minenergia.cl	15
4 Figura 2-3 Ejemplo biodigestor tubular Fuente: Autoconsumo.minenergia.cl	16
5 Figura 2-4 Ejemplo biodigestor mixto Fuente: Bioteccsur.cl	16
6 Figura 2-5 Ejemplo biodigestor industrial Fuente: aqualimpia.com	17
7 Figura 2-6 Carga diaria según el tipo de estiércol para modelos en ambientes trópico Fuente: sag.gob.cl	19
8 Figura 2-7 Guía para cambiar filtro de ácido sulfhídrico Fuente: aqualimpia.com	22
9 Figura 2-8 Ejemplo de reservorios verticales Fuente: rotoplas.com	23
10 Figura 3-1 Ubicación generalizada del predio Fuente: Google Maps.	27
11 Figura 3-2 Ubicación indicando coordenadas del predio Fuente: Google Maps.	27
12 Figura 3-3 Zona donde quedará instalado el biodigestor Fuente: Elaboración propia.	28
13 Figura 3-4 Zona donde se instalarán las respectivas cañerías Fuente: Elaboración propia.....	28
14 Figura 3-5 Zona límite donde las cañerías conectarán la cocina y calefón Fuente: Elaboración propia.	28
15 Figura 3-6 Porcinos lechones presentes en el predio Fuente: Elaboración propia.	29

16 Figura 3-7 Porcinos adultos presentes en el predio Fuente: Elaboración propia.	29
17 Figura 3-8 Porcino adulto faltante presente en el predio Fuente: Elaboración propia.	29
18 Figura 3-9 Plantaciones presentes en el predio, cerezos, manzanos, nogales Fuente: Elaboración propia.	30
19 Figura 3-10 Plantaciones de cebollas, sandías y zapallos Fuente: Elaboración propia.....	30
20 Figura 3-11 Plantaciones presentes en el predio, cebollín, lechugas y tomates Fuente: Elaboración propia.	30
21 Figura 3-12 Forma de la zanja y sus respectivos cortes en Lado (A) Y (B) Fuente: produccion-animal.com.....	32
22 Figura 3-13 Ejemplo de fabricación de nuestro pasamuros Fuente: biodigestores.es.....	33
23 Figura 3-14 Ejemplo, amarre de los tubos de entrada y salida del Biodigestor Fuente: biodigestores.es	34
24 Figura 3-15 Ejemplo de Tees a implementar en nuestras cañerías de gas Fuente: biodigestores.es	34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Componentes del biodigestor tubular Fuente: geniabioenergy.com ...	17
Tabla 2 Comparación y características del estiércol según el origen Fuente: geniabioenergy.com.....	18
Tabla 3 Tiempo de retención según temperatura Fuente: scielo.sld.cu	19
Tabla 4 Parámetros geométricos según el ancho del rollo PE tubular Fuente: filmamerica.cl.....	20
Tabla 5 Dimensiones de la zanja según el ancho del rollo Fuente: filmamerica.cl	21
Tabla 6 Explicación beneficios y contrapartes de la instalación del biodigestor tubular Fuente: geniabioenergy.com	31
Tabla 7 Materiales esenciales para la construcción de la zanja Fuente: Elaboración propia.....	32
Tabla 8 Ficha técnica de biodigestor tubular Fuente: Elaboración propia.	38
Tabla 9 Parámetros de operación biodigestor tubular Fuente: Elaboración propia.	38
Tabla 10 Detalle de los materiales y mano de obra aportados para el proyecto Fuente: Elaboración propia.	39
Tabla 11 Evaluación económica incluyendo VAN Fuente: Elaboración propia. .	40

SIGLA Y SIMBOLOGÍA

%	:	Porcentaje.
°C	:	Grados Celsius.
°K	:	Grados Kelvin.
°F	:	Grados Fahrenheit.
CH ₄	:	Gas Metano.
T°	:	Temperatura.
CO ₂	:	Dióxido de Carbono.
H ₂ S	:	Ácido Sulfúrico.
O ₂	:	Oxígeno.
Pa	:	Pascal.
MPa	:	Mega Pascal.
PSI	:	Pound per square inch.
Po	:	Presión atmosférica.
Pmm	:	Presión manométrica.
Kg	:	Kilogramos.
Lb	:	Libras.
NO	:	Óxido de Nitrógeno.
NO ₂	:	Dióxido de Nitrógeno.
m	:	Metros.
Inch	:	Pulgada.
SO ₂	:	Dióxido de Azufre.
L	:	Litros.
Q	:	Caudal.
$v^{\rightarrow}$	:	Velocidad.
V	:	Volumen.
ISO	:	Organización internacional de Normalización.
ppm	:	Partículas por millón.

AGV : Ácidos Grasos Volátiles.

OUE/m³ : Unidades de olor europeas en un metro cúbico de gas.

INTRODUCCIÓN

En el contexto de lo sucedido en la actualidad en la región de Ñuble especialmente en el sector de Cerro Negro, se enfrentan a desafíos significativos en términos de costos energéticos y preocupaciones ambientales, surge este proyecto con el propósito de implementar un sistema de biodigestión, enfocado específicamente en la cría de porcinos en Cerro Negro, comuna de Quillón, el objetivo central es evaluar la factibilidad del diseño y la construcción del biodigestor tubular en la zona.

La importación y distribución de gas han generado dificultades económicas en la región, afectando directamente a las comunidades rurales. Además, la acumulación de desechos orgánicos derivados de la cría de porcinos plantea una posible amenaza ambiental que exige soluciones sostenibles y respetuosas con el entorno.

Este proyecto se rige como respuesta a estas problemáticas, proponiendo la conversión de los desechos orgánicos de la cría porcina en una fuente de energía renovable a través de la biodigestión. No se limita a abordar los desafíos energéticos, sino que también busca generar conciencia ambiental en la comunidad y mejorar la calidad de vida de los habitantes en la zona.

A lo largo de este informe, exploraremos el planteamiento del problema, la descripción detallada del proyecto, los beneficios esperados y un marco teórico que respalda la elección estratégica del biodigestor tubular como una solución sostenible y amigable con el medio ambiente.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Implementar Sistema de biodigestión basándose en estudio de biodigestor tubular y la viabilidad de su diseño y construcción en la región de Ñuble, comuna Quillón.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar el proceso de biodigestión, incluyendo las variables clave que afectan la eficiencia del proceso y la calidad de los subproductos.
- Determinar los tipos y cantidades de residuos generados por la cría de porcinos.
- Diseñar un biodigestor tubular óptimo que maximice la producción de biogás, teniendo en cuenta la sostenibilidad y la rentabilidad a largo plazo.
- Desarrollar un plan de fertilización sostenible que utilice los subproductos del biodigestor como nutrientes en plantaciones aledañas.
- Implementar evaluación económica de su previa instalación.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES DEL PROYECTO

Los costos asociados con la importación y distribución de gas en la actualidad son considerablemente elevados. Esta situación ha llevado a que las empresas encargadas de la distribución de gas en Chile incrementen sus tarifas y establezcan restricciones en sus procesos comerciales. Esta medida, aunque beneficiosa desde el punto de vista económico para las empresas, ha generado efectos negativos directos en las comunidades rurales al limitar la accesibilidad y disponibilidad de servicios energéticos.

Por otra parte, a raíz de la creciente acumulación de desechos orgánicos generados por la cría de porcinos en Cerro Negro, específicamente en el sector El Arenal, se han encendido las alarmas respecto a la necesidad de crear conciencia ambiental. La liberación diaria de dióxido de carbono (CO₂) está en constante aumento, lo que contribuye de manera significativa al calentamiento global. Este fenómeno subraya la urgencia de adoptar prácticas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente para mitigar los impactos negativos en nuestro planeta.

Finalmente, la necesidad de proporcionar a las plantaciones los nutrientes esenciales (abono), como cebollines, tomates, cerezos, entre otros, resalta la importancia de implementar soluciones eficientes y sostenibles para garantizar una buena producción agrícola, además la distancia en la cual está situada el predio es lejana a las grandes ciudades que proveen este tipo de servicios y afecta de igual manera la producción de los vegetales.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

En respuesta a los elevados costos asociados con la importación y distribución de gas en la región, este proyecto surge como una alternativa sostenible y económicamente viable. La cría de porcinos genera desechos orgánicos que, de manera responsable, pueden convertirse en una fuente de energía renovable a través de la biodigestión.

Además de abordar la problemática energética, el proyecto busca crear conciencia ambiental en el sector y mitigar la emisión de dióxido de carbono.

La implementación del sistema no solo contribuirá a la sostenibilidad energética, sino que también proporcionará fertilizantes orgánicos para mejorar la productividad agrícola local.

La distancia a las grandes ciudades y la necesidad de nutrientes para las plantaciones resaltan la importancia de esta iniciativa para garantizar una producción agrícola sostenible en el sector. El proyecto no solo busca resolver desafíos energéticos y ambientales, sino también fomentar el desarrollo sostenible y mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto surge ante la necesidad de abordar los elevados costos y la dependencia externa en la distribución de gas en Cerro Negro. La cría de porcinos genera desechos orgánicos, y la implementación de un biodigestor tubular de flujo continuo busca convertir estos residuos en una fuente de Energía renovable de la cual se beneficiarán en el ámbito de calefacción y sobre todo la calidad de vida en el recinto

1.4 BENEFICIOS DEL PROYECTO

- Sostenibilidad Energética en donde se aprovechará un desecho derrochado para la producción de gas.
- Impacto Ambiental, se logrará reducir emisiones de CO₂ mediante la captura de gases de descomposición.
- Mejorar la calidad de vida de los habitantes, aportando calefacción y oportunidad de cocción de alimento.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 PROCESO DE BIODIGESTIÓN

El correcto manejo de los residuos orgánicos se logra a través de diferentes tratamientos que implican un reciclaje de estas materias orgánicas, transformándolas en productos con valor agregado. El reciclaje de materia orgánica ha recibido un fuerte impulso con el alto costo de los fertilizantes químicos, con la búsqueda de alternativas no tradicionales de energía, así como también, la necesidad de vías de descontaminación y eliminación de residuos. La población microbiana juega un importante papel en las transformaciones de estos residuos orgánicos, especialmente si se considera que disponen de un amplio rango de respuestas frente a la molécula de oxígeno, componente universal de las células. Esto permite establecer bioprocesos en función de la presencia o ausencia de oxígeno, con el objeto de tratar adecuadamente diversos residuos orgánicos.

2.1.1 DIGESTIÓN AERÓBICA

La digestión aeróbica es un proceso en el cual microorganismos como bacterias y protozoos descomponen materia orgánica en presencia de oxígeno, convirtiéndola en productos finales inofensivos y materia celular. Aunque inicialmente tuvo escasa aceptación debido a la falta de comprensión de sus principios y a los mayores costos operativos, ofrece ventajas como una disposición de lodos simplificada en comparación con la digestión anaeróbica. Este proceso implica la aireación prolongada de lodos en un tanque descubierto, con oxidación directa de la materia orgánica y autooxidación de la materia celular. La digestión aeróbica tiene ventajas como facilidad de operación, menor inversión de capital y ausencia de olores molestos, pero presenta desafíos como altos costos operativos y dificultades en la separación de lodos.

2.1.2 DIGESTIÓN ANAERÓBICA

La digestión anaeróbica es un proceso biológico que implica la conversión de materiales orgánicos, como residuos vegetales y animales, en biogás mediante la acción de bacterias anaeróbicas. Este biogás está compuesto principalmente por dióxido de carbono y metano. La eficiencia del proceso es alta, ya que más del 90% de la energía disponible se transforma en metano, con solo un 10% dedicado al crecimiento bacteriano. Los microorganismos metanogénicos desempeñan un papel clave en este proceso. Aunque la digestión anaeróbica tiene el potencial de convertir diversos residuos en subproductos útiles, el biogás generado puede estar contaminado, lo que puede complicar su manejo y aprovechamiento.

2.1.2.1 ETAPAS DE LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA

- Etapa hidrolítica-acetogénica: las cadenas largas de la materia orgánica se descomponen en otras más cortas (ácidos orgánicos, alcoholes y nuevas células).
- Etapa acetogénica: se metabolizan alcoholes, ácidos grasos volátiles y algunos compuestos aromáticos en ácido acético, dióxido de carbono, CO₂ y di hidrógeno H₂ (deshidrogenación y acetogénesis).
- Etapa metanogénica: las bacterias metanogénicas digieren el dihidrógeno y el ácido acético para transformarlos en metano. Las tasas de crecimiento de las bacterias metanogénicas son cinco veces menores de las de las fases anteriores, así que son ellas las que limitarán el proceso de degradación anaerobia. También condicionan el cálculo del tiempo de retención y la temperatura de trabajo del reactor.

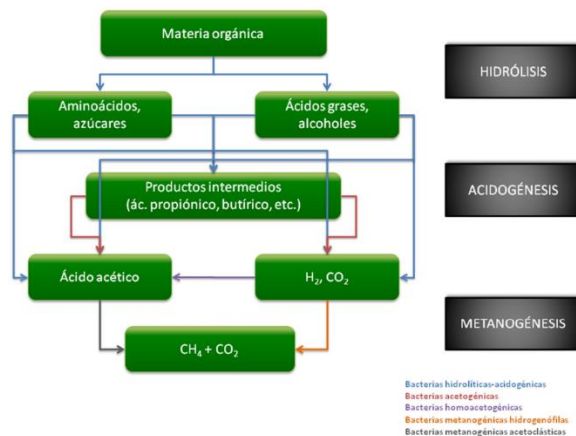
El proceso anaerobio es en general lento: se necesitan varias semanas, hasta dos a tres meses, antes de conseguir una producción estable de biogás. Las materias orgánicas que se pueden digerir de forma anaerobia son varias: excrementos (sea en forma de estiércol o no), residuos vegetales, aguas residuales agroindustriales, etc.

Aunque la mayoría de los sustratos orgánicos será adecuada, no se recomienda utilizar residuos leñosos. Las bacterias no pueden crecer en cualquier condición

ambiental; por su lento crecimiento y alta sensibilidad a variaciones de parámetros, son las bacterias metanogénicas que determinan los rangos adecuados.

A continuación, se describen los parámetros del entorno que afectan el desarrollo de las bacterias:

- PH y alcalinidad: el pH debe ser estable entre los valores 6.5 y 7.5, que son los valores aceptables por las bacterias metanogénicas. El pH se puede mantener si existe un equilibrio entre las diferentes formas de carbono inorgánico.
- Temperatura: El rango de temperaturas posibles cubre los 15 °C hasta los 70 °C, pero las 9 mayores eficiencias se obtienen en los rangos mesofílico (30-40 °C) y termofílico (50- 70 °C).



1 Figura 2-1 Proceso digestión anaeróbica Fuente: revistaredbiolac.org.

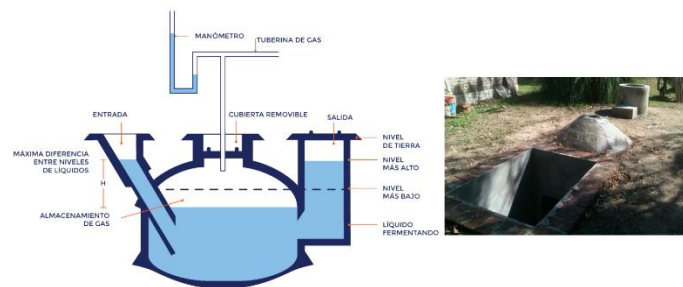
2.2 DISEÑOS DE BIODIGESTORES

En el mundo existen varios tipos de biodigestores diferentes. El desarrollo de esta tecnología ya tiene una historia larga en Asia, donde entonces se diseñaron la mayoría de los modelos. A continuación, se mencionan los más conocidos de ellos:

- Tipo chino o cúpula fija
- Tipo hindú o cúpula flotante
- Tipo Taiwán o tubular
- Biodigestores mixtos
- Biodigestores industriales

2.2.1 BIODIGESTOR TIPO CHINO

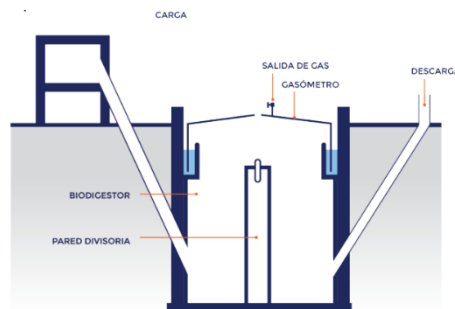
El digestor tipo chino es un biodigestor de trabajo discontinuo que se carga una o dos veces al año, proporcionando un excelente bioabono debido a su largo tiempo de retención. Normalmente, se carga durante la siembra de cultivos para aprovechar el fertilizante. Este biodigestor, construido con ladrillos y cemento, tiene una cúpula fija para almacenar el biogás generado, alcanzando presiones de hasta 100 cm de columna de agua. A pesar de su utilidad, estos digestores son considerados poco eficientes, generando entre 0.15 y 0.20 volúmenes de gas por día por volumen de biodigestor. Una desventaja adicional es la variación significativa de la presión del gas a lo largo del tiempo, lo que dificulta su regulación y afecta el funcionamiento de los artefactos conectados.



2 Figura 2-2 Ejemplo biodigestor tipo chino Fuente: Autoconsumo.minenergia.cl

2.2.2 BIODIGESTOR TIPO HINDÚ

Los biodigestores continuos son sistemas que se cargan y descargan diariamente, contruidos de manera enterrada y vertical, similar a un pozo. La carga se realiza por gravedad una vez al día, con el gasómetro integrado al sistema, almacenando el gas en una campana en la parte superior del pozo. Esto mantiene una presión constante de alrededor de 30 cm de columna de agua, asegurando una operación eficiente de los equipos alimentados por el gas. Este tipo de biodigestor muestra una eficiencia de producción de biogás, generando entre 0.5 y 1.0 volúmenes de gas por volumen de digestor por día.



3 Figura 2-2 Ejemplo biodigestor tipo hindú Fuente: Autoconsumo.minenergia.cl

2.2.3 BIODIGESTOR TIPO TUBULAR

Se trata de un biodigestor de régimen continuo que consiste en un tubo de membrana colocado en una pendiente, con extremos sellados a caños de PVC o integrados a cámaras de carga y descarga. Se recomienda enterrarlo en un pozo para mantener su forma, utilizando materiales como geomembrana de 1000 micrones o PVC. La construcción es fácil y económica, pero presenta desafíos como posibles pérdidas de gas en las uniones y la dificultad para controlar la temperatura, que puede resolverse mediante un invernadero. La principal desventaja es la incapacidad de mantener una presión constante en la salida del gas, lo cual afecta el funcionamiento intermitente de los quemadores, aunque se puede solucionar incorporando un gasómetro para mantener la presión.



4 Figura 2-3 Ejemplo biodigestor tubular Fuente: Autoconsumo.minenergia.cl

2.2.4 BIODIGESTORES MIXTOS

El sistema de biodigestores subterráneos consiste en un reactor enterrado cubierto con geomembrana y una cúpula de PVC que almacena el biogás. La cúpula tiene dos membranas, una captura el biogás, y la otra, conectada a un compresor de aire, mantiene la presión constante al bombear aire entre las membranas. Este diseño protege el sistema contra condiciones climáticas adversas y asegura una presión constante en el interior del biodigestor. El compresor se activa para compensar la disminución de presión cuando se utiliza el biogás, crucial para el correcto funcionamiento de dispositivos que emplean este recurso, especialmente en la generación de electricidad.



5 Figura 2-4 Ejemplo biodigestor mixto Fuente: Bioteccsur.cl

2.2.5 BIODIGESTORES INDUSTRIALES

Este tipo de biodigestores poseen volúmenes mayores a 5 m³. Generalmente, se encuentran asociados al tratamiento de algún efluente o residuo generado en la producción, o que son consecuencia de las actividades humanas, por ejemplo, las plantas de tratamiento de efluentes cloacales. Estos reactores suelen tener diferentes diseños y conformaciones. Pero en general son reactores cilíndricos, con gasógenos de membrana incorporados o acoplados. Suelen tener agitación mecánica.

En la siguiente figura se ejemplifican algunos biodigestores industriales. En la figura del medio a la derecha se observa el regulador de presión y el compresor del gasógeno de doble membrana. La última foto es de un biodigestor de 50 m³, que posee un gasógeno de membrana en la parte superior en forma de donut, que se utiliza para tratar residuos de leche en mal estado.



6 Figura 2-5 Ejemplo biodigestor industrial Fuente: aqualimpia.com

2.3 COMPONENTES DE UN BIODIGESTOR TUBULAR

En la Tabla N° 1 se presentan los componentes del biodigestor taiwanés. Además de estos componentes, se debe construir una zanja y recubrir su fondo para ayudar a la buena acomodación del reactor y aislarlo térmicamente y de la humedad.

Componente	Opcional?	Definición y/o uso
Reactor	No	Es sencillamente una "bolsa" de plástico, donde se desarrollará el proceso de digestión, que suele ser PE o geomembrana de PVC; ésta es más sólida y por tanto más cara que el PE.
Invernadero	Si	En regiones frías (sierra alta, altiplano) es imprescindible ponerlo para aumentar la temperatura del reactor y garantizar que su interior no hele. Además el invernadero, o carpa solar, protege el plástico del reactor de los dañinos rayos solares UV. Se sujeta el plástico a tapiales mediante palos y ligas.
Tuberías	No	De PVC, conducen el gas del reactor a la cocina o a la instalación que usa el gas.
Válvulas	No	En varios sitios de las tuberías se ponen válvulas. La más importante es la válvula de seguridad, que garantiza una presión más o menos constante en el reactor, impidiendo así que se dañe si el biogás no es utilizado durante un cierto tiempo, y que impide que aire entre al biodigestor.
Reservorio	No	Almacena el biogás producido. Se encuentra cerca de la cocina (o de cualquier instalación que hace uso del biogás) y se debe poner de tal manera que sea fácil darle presión.
Cocina	Si	Si el biogás es utilizado para cocinar, hay que instalar una cocina, que puede ser de metal (en general una cocina a gas de bombona adaptada al biogás) o de arcilla con un quemador metálico.
Manómetro	Si	Puede ser construido artesanalmente, sirve a controlar la producción de biogás.

Tabla 1 Componentes del biodigestor tubular Fuente: geniabioenergy.com

2.3.1 REACTOR

2.3.1.1 ESTIMACIÓN DE CARGA DIARIA DISPONIBLE

Se pueden utilizar varios tipos de materia orgánica para cargar el biodigestor, pero en ningún caso residuos leñosos o con cáscaras duras, o residuos que tienen una larga duración de descomposición. Cada tipo de estiércol tiene diferentes propiedades:

- El estiércol de cerdo y de humano son los que producen más biogás, pero como no son herbívoros, el biol que producen es muy ácido, y en el caso humano tiene patógenos (coliformes), lo que limita su uso.
- El estiércol de vaca es el más equilibrado, con todas las bacterias necesarias al proceso de digestión; además es el animal que produce las cantidades más grandes, lo que da más facilidad para hacer la recogida.

Origen del estiércol	kg de estiércol fresco diario producido por cada 100 kg de peso del animal	Características cualitativas
Cerdo	4	Produce mucho biogás Biol muy ácido Digestión demora más que para el estiércol de vaca (9)
Vacuno	8	Estiércol equilibrado Cada animal produce mucho estiércol: más fácil recogerlo Proporción de CH ₄ en el biogás: 45-55% (10)

Tabla 2 Comparación y características del estiércol según el origen Fuente: geniabioenergy.com

Para realizar la mezcla que se va a cargar en el biodigestor, es también necesario disponer de cantidades suficientes de agua. Efectivamente, en el caso de biodigestores tubulares, se debe mezclar el estiércol con el agua en proporciones volúmicas 1:4 (es decir: 1 parte de estiércol y 4 partes de agua), a la excepción notable del estiércol de vacuno para lo cual basta una mezcla 1:3. Una buena dilución del estiércol asegura que el funcionamiento del biodigestor sea bien de flujo continuo, evitando que se atasque por acumulación de materia sólida.

El agua utilizada no debe contener cloro, ya que mataría las bacterias útiles para el proceso; así, si el agua es potable, se debe dejar descubierta unas horas hasta que se evapore el cloro.

Tipo de animal	Carga diaria	Detalle de carga
 2-3 vacas	 +   	20 Kg Estiércol + 60 Lt Agua (1:3)
 6-7 chanchos	 +    	16 Kg Estiércol + 64 Lt Agua (1:4)
 Varios animales	 +    	16 Kg Estiércol + 64 Lt Agua (1:4)

7 Figura 2-6 Carga diaria según el tipo de estiércol para modelos en ambientes trópico Fuente: sag.gob.cl

2.3.1.2 TIEMPO DE RETENCIÓN

En el diseño del biodigestor se busca acercar lo más posible el tiempo de retención, o sea el tiempo que pasa el estiércol en el reactor antes de salir digerido en estado de biol, de esta duración. Entonces está directamente relacionado con la actividad de las bacterias (cuanta más actividad bacteriológica, más rápida será la degradación de las materias orgánicas y por tanto menor el tiempo de retención). Como la actividad de las bacterias crece con la temperatura ambiente, el tiempo de retención es inversamente correlacionado a ella, como se nota en la Tabla N°3, La temperatura ambiente depende naturalmente de la región de ubicación del biodigestor.

Región característica	Temperatura (°C)	Tiempo de retención (días)
Trópico	30	20
Valle	20	30
Altiplano / sierra alta	10	60

Tabla 3 Tiempo de retención según temperatura Fuente: scielo.sld.cu

2.3.2 MATERIAL DEL BIODIGESTOR

Como ya fue mencionado, el reactor es hecho de plástico tubular, que puede ser el polietileno o la geomembrana de PVC. Cualquier tipo sea elegido, el plástico tubular no se puede encontrar en cualquier mercado, sobre todo la geomembrana de PVC (más sólida y más cara que el PE).

En el caso del PE tubular, se debe pedir de 300 micrones (μm) de grosor, aunque se fabrica en 200 μm para el uso en carpas solares. Además, se debe pedir un color “negro humo” y no transparente, porque se ha notado una mejor resistencia a los rayos solares. Este material se vende en rollos de 50 m, con anchos de rollo fijos, que varían en general entre 1, 1.25, 1.50, 1.75 y 2 m. El ancho de rollo equivale a la mitad de la circunferencia total del plástico y va a determinar el diámetro y radio del biodigestor.

Ancho de rollo (m)	Circunferencia (m)	Radio (m)	Diámetro (m)	Sección eficaz (m^2)	Longitud del biodigestor (m)
1	2	0.32	0.64	0.32	$V_T/0.32$
1.25	2.5	0.40	0.80	0.50	$V_T/0.50$
1.50	3	0.48	0.95	0.72	$V_T/0.72$
1.75	3.5	0.56	1.11	0.97	$V_T/0.97$
2	4	0.64	1.27	1.27	$V_T/1.27$

Tabla 4 Parámetros geométricos según el ancho del rollo PE tubular Fuente: filmamerica.cl

Para determinar las cifras de la Tabla N°4, se utilizaron los siguientes criterios, los cuales son:

$$C = 2A_R$$

$$C = 2\pi r \text{ entonces } r = \frac{C}{2\pi}$$

$$d = 2r$$

$$S = \pi r^2$$

$$V_T = S \cdot L = \pi r^2 L$$

Donde (C) es la circunferencia de la manga de plástico, (A_R) es el ancho de rollo, (r) el radio de la manga, (d) su diámetro, (S) su sección eficaz, (L) la longitud del reactor y (VT) su volumen total.

2.3.3 DIMENSIONES DE LA ZANJA

Por razones de estabilidad, se recomienda excavar una zanja en forma de chaflán (forma trapezoidal con paredes inclinadas en forma de "V"); esta forma constituye un buen compromiso entre la aproximación de la forma del biodigestor y la estabilidad de la zanja.

No es relevante calcular las dimensiones óptimas de la zanja para cada ancho de rollo, entonces se da directamente el resultado aquí:

A _R (m)	1	1.25	1.50	1.75	2
a (m)	0.3	0.4	0.5	0.6	7
b (m)	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
p (m)	0.6	0.7	0.8	0.9	1

Tabla 5 Dimensiones de la zanja según el ancho del rollo Fuente: filmamerica.cl

2.3.4 TUBERÍAS Y VÁLVULAS

2.3.4.1 TUBOS DE ENTRADA Y SALIDA

Los tubos de entrada y salida del biodigestor son tuberías de 6" de desagüe y 1 (m) de longitud cada uno, normalmente en PVC. El amarre entre ellas y el PE tubular se hace con ligas (hechas de neumáticos) de 3 cm de ancho.

2.3.4.2 CONDUCCIÓN DE BIOGÁS

Para la conducción de biogás se emplea tubería de riego de ½", en PVC, PED o politubo. La cantidad depende de la distancia entre el reactor y el reservorio y entre este y la cocina.

Además, se utilizan codos y "tees" de plástico (PVC); la "tee" es una conexión en forma de la letra T. Se recomienda que las llaves sean de bola, ya que las otras están pensadas para conducciones de riego y no serán totalmente herméticamente cerradas para el biogás.

2.3.4.3 VÁLVULA DE SEGURIDAD

La válvula de seguridad es un elemento importante que garantiza una presión constante en el biodigestor y proporciona una salida de emergencia al biogás, evitando así al biodigestor de explotar, o al menos de dañarse, en el caso de que se encuentre demasiado lleno.

2.3.4.4 FILTRO DE ÁCIDO SULFÚDRICO

Una pequeña proporción del biogás está constituida por ácido sulfhídrico H_2S , que es un gas tóxico y corrosivo (daña los elementos metálicos como el quemador de la cocina). Para quitarle al biogás este ácido se suele colocar en un trozo de la tubería, compuestos de fierro: virutas de fierro, llana de acero (estropajo de acero, "bombril") o óxido férrico Fe_2O_3 (que reacciona con el H_2S para formar sulfuro de fierro Fe_2S_3 y agua H_2O).

Si detectamos olor desagradable en el biogás, semejante al de huevo podrido, puede ser que se haya agotado la capacidad del material filtrante dentro del filtro de sulfhídrico. La frecuencia de renovación del filtro va a depender de las características del biogás y de la cantidad que se produzca, pero oscila entre 2 a 6 meses. A continuación, se presenta una guía rápida de cómo cambiar el material del filtro:

PASOS PARA CAMBIAR EL FILTRO:

COLOCARSE GUAANTES Y LENTES PROTECTORES (EL LÍQUIDO Y POLVO QUE PUEDA HABER EN EL FILTRO ES NOCIVO PARA LA SALUD SI SE INGERE O ENTRA EN CONTACTO CON LOS OJOS O HERIDAS EXPUESTAS EN LA PIEL).



1. Cierre la válvula de paso que se encuentra entre la válvula de alivio y el filtro de biogás



2. Girando la tuerca-unión, abrir el cartucho.



3. Retirar el material filtrante con cuidado y liberar el líquido excedente en el suelo o en una maceta.



4. Colocar dentro del cartucho material filtrante nuevo. Este puede ser cualquier tipo de fierro oxidado, como rebaba de tornos, fibra, tornillería, etc.



5. Cerrar el filtro asegurándolo y girando como se muestra en la imagen.



6. Ahora ya puede abrir la válvula de paso.

8 Figura 2-7 Guía para cambiar filtro de ácido sulfhídrico Fuente: aqualimpia.com

2.3.5 RESERVORIO

El tanque de reservorio de biogás tiene dos papeles:

- Almacenar el biogás.
- Aumentar la presión en caso de que esta descienda, así facilitando el uso del biogás.

La función del tanque horizontal rotoplas es almacenamiento y abastecimiento de gas mediante un sistema de tuberías para hacerla llegar al calefón de la vivienda y se ha sido diseñado con un recubrimiento antibacteriano, que garantiza la calidad del gas sin alterar el olor, además, están fabricados en una sola pieza lo que disminuye el riesgo de fisuras o fugas de gas.



9 Figura 2-8 Ejemplo de reservorios verticales Fuente: rotoplas.com

2.4 NORMA OLORES SECTOR PORCINO

El lunes 6 de febrero de 2023 entró en vigencia la primera norma ambiental chilena que regulará la emisión de olores del sector porcino nacional. El Decreto Supremo N°9/2022 "Norma de emisión de contaminantes en Planteles porcinos que, en función de sus olores, generan molestia y constituyen un riesgo a la calidad de vida de la población"

El punto de partida de la regulación es establecer exigencias que se enfocan en alcanzar pisos tecnológicos por tamaño de los planteles, considerando la diversidad de tamaños de los planteles existentes en Chile.

Planteles pequeños (entre 750 a 25.000 animales): Deben reducir su Tasa de emisión de olor en la laguna de purines en un 70%.

Planteles medianos (entre 25.000 a 50.000 animales): Deben reducir su tasa de emisión de olor en la laguna de purines en un 75 % y un 60 % en el área de compostaje. Planteles grandes (mayor a 50.000 animales): Deben cumplir con un límite de emisión de olor, expresado como tasa de emisión de olor, que permita cumplir un impacto odorante máximo de 8 ouE/m³ P95 en el receptor.

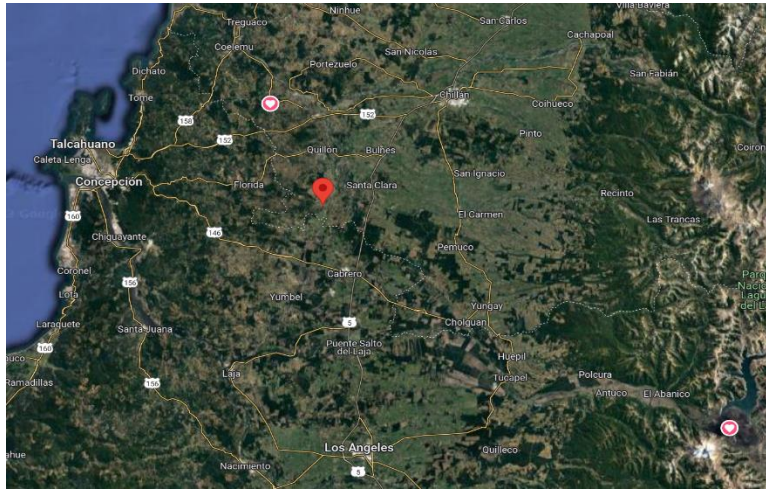
Planteles nuevos: Deben cumplir es un límite de emisión de olor, expresado como Tasa de emisión de olor, que permita cumplir un impacto odorante máximo de 8 ouE/m³ P98 en planteles grandes, y 10 ouE/m³ P98 en planteles medianos y pequeños, en el receptor.

CAPÍTULO III: DISEÑO Y SOLUCIÓN

3.1 UBICACIONES GEOGRÁFICAS DEL PROYECTO.

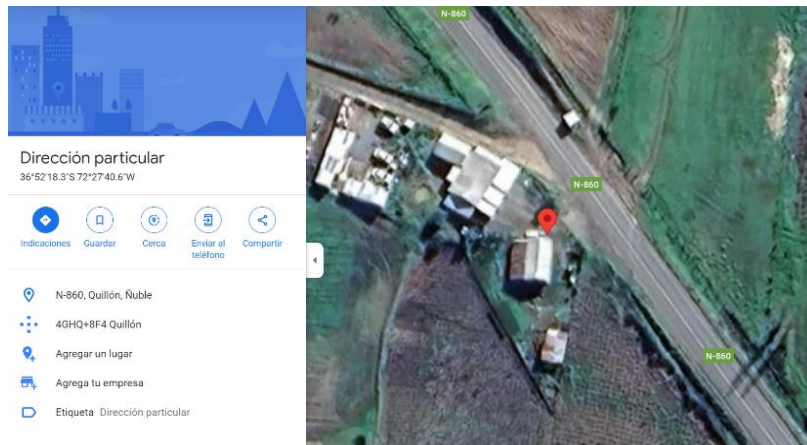
3.1.2 FOTOGRAFÍAS DE UBICACIÓN EXACTA DEL PREDIO

A continuación, se presentará la zona Geográfica representada en el mapa donde quedará instalado nuestro biodigestor Tubular.



10 Figura 3-1 Ubicación generalizada del predio Fuente: Google Maps.

Por consiguiente, se muestra la ubicación geográfica precisa utilizando las coordenadas disponibles en el sitio, asegurando así una presentación precisa y exacta de su ubicación.



11 Figura 3-2 Ubicación indicando coordenadas del predio Fuente: Google Maps.

3.1.3 FOTOGRAFÍAS DEL PREDIO DONDE SE REQUIERE EL BIODIGESTOR

A continuación, se muestran las imágenes que reflejan la propuesta de ubicación para el biodigestor tubular. Esta decisión se tomó considerando su proximidad a los porcinos y la conveniencia del transporte de gas a través de las cañerías hasta la cocina y el calefón, que representan el tramo final del proceso, la línea azul representada en las imágenes demuestra las ubicaciones del biodigestor y las cañerías que se le sumarán a su construcción.



12 Figura 3-3 Zona donde quedará instalado el biodigestor Fuente: Elaboración propia.



13 Figura 3-4 Zona donde se instalarán las respectivas cañerías Fuente: Elaboración propia.



14 Figura 3-5 Zona límite donde las cañerías conectarán la cocina y calefón Fuente: Elaboración propia.

3.1.4 FOTOGRAFÍAS DE PORCINOS PRESENTES EN EL PREDIO

Se realizó un conteo de todos los porcinos presentes en el predio, siendo un total de 10 porcinos lechones de 4 meses y 6 adultos de 1 año o más. Estos animales generan aproximadamente 60 kg de estiércol entre heces y orina por día, generando una cantidad semanal considerable. Actualmente, el desecho es acumulado a orillas del terreno a espera de su fermentación para luego ser reutilizado como abono, cuya práctica requiere de un tiempo mucho más extenso que el tiempo en que lo realiza el proceso de biodigestión, además, proporcionará beneficios significativos. Entre estos beneficios se incluyen el ahorro de costos de calefacción, la reducción de emisiones de CO₂ y una mejor gestión de los residuos orgánicos en el lugar.



15 Figura 3-6 Porcinos lechones presentes en el predio Fuente: Elaboración propia.



16 Figura 3-7 Porcinos adultos presentes en el predio Fuente: Elaboración propia.



17 Figura 3-8 Porcino adulto faltante presente en el predio Fuente: Elaboración propia.

3.1.5 FOTOGRAFÍAS DE CULTIVOS PRESENTES EN EL PREDIO

Los cultivos Agrícolas presentes en el lugar en la actualidad no están abastecidos con abono, el traslado de los mismos desde sucursales hasta el predio consta de varios km, de unos 70 km aproximadamente, lo que ocasiona un alto costo para su uso, con la instalación del biodigestor le estaríamos entregando solución a esta problemática, además de enriquecerse con calefacción en el hogar también nos estará entregando fertilizantes tratados para poder aplicarlos, por ahora se encuentran cerezos, cebollas, lechugas, tomates, nogales, zapallos, sandías entre otras, de igual manera constantemente están cambiando lo que se cultiva por lo cual es esencial tener este tipo de abastecimiento cíclico.



18 Figura 3-9 Plantaciones presentes en el predio, cerezos, manzanos, nogales Fuente: Elaboración propia.



19 Figura 3-10 Plantaciones de cebollas, sandías y zapallos Fuente: Elaboración propia.



20 Figura 3-11 Plantaciones presentes en el predio, cebollín, lechugas y tomates Fuente: Elaboración propia.

3.2 BENEFICIOS Y CONTRAPARTES

Se realizó un análisis de beneficios que puede traer la instalación del equipo, y a su vez, un análisis de contrapartes, ya que, se encuentran ámbitos importantes que se deben de tomar en cuenta a la hora de tener el equipo en funcionamiento.

A continuación, se representan en la siguiente Tabla:

Beneficios	Contrapartes
Bioabono para los cultivos	Carga de trabajo: manejo diario
Biogás que permitirá cocinar y otras aplicaciones si necesarias (iluminación, calefacción, generación de electricidad)	Antes de tener por la primera vez biol y biogás, hay que esperar hasta 2 o 3 meses que se inicie la producción, cargando cada día.
Menos o ningún humo en la cocina por reemplazamiento de todo o parte de la leña o bosta para cocinar	Mano de obra a proporcionar para la instalación
Mejor limpieza por la recoja del estiércol	Material local a aportar para la instalación
Más ahorros: no compra de gas si compraba antes, no compra de fertilizante químico si compraba antes	Compra de materiales para la instalación
Más ingresos: crecimiento más rápido de los cultivos, venta del excedente de biol	Instalación frágil: cuidar de los animales, de los niños, etc.
Mejoras sociales	Mantenimiento: válvula de seguridad, agua condensada en las tuberías, reservorio, cambio del filtro de hierro

Tabla 6 Explicación, beneficios y contrapartes de la instalación del biodigestor tubular Fuente: *geniabioenergy.com*

3.3 CONSTRUCCIÓN DEL BIODIGESTOR

3.3.1 VOLUMEN DEL REACTOR

Es el volumen líquido (V_L) del reactor, o sea, el volumen del líquido presente en el reactor, que determina el volumen total del reactor. Este parámetro depende del tiempo de retención y de la carga diaria (expresada en L o m^3):

$$V_L = \text{carga diaria} \cdot \text{tiempo de retención}$$

El biogás producido durante el proceso de digestión se acumula lógicamente en la parte superior del biodigestor, donde va a formar una campana de biogás. Se suele considerar un volumen gaseoso (V_G) (volumen de la campana de gas) de un tercero del volumen líquido.

$$V_G = \frac{V_L}{3}$$

Entonces el volumen total (V_T) vale: $V_T = V_L + V_G = \frac{4}{3} \cdot V_L \cong 1.33 \cdot V_L$

3.3.2 ZANJA

El biodigestor será instalado en el punto mencionado con anterioridad, situado entre la cocina y el lugar donde duerme el ganado para facilitar la recogida de estiércol fresco cada mañana y las tuberías necesarias a la conducción del biogás; la cual estará situada a 30 m de la cocina. La zanja del biodigestor quedará cercada de esta forma para evitar acercamientos de Animales y personas que transiten por el lugar.

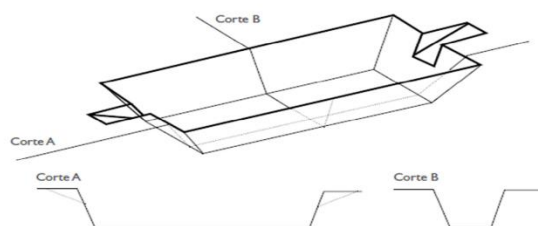
También se deberán cavar canales para los tubos de entrada y salida, inclinados de 45° relativamente a las paredes transversales. Una vez excavada, se quitarán las raíces o piedras que asomen a la zanja, para evitar que dañen al biodigestor.

Además, se forrarán las cuatro paredes de la zanja con telas de viejos sacos o con viejos plásticos de carpas solares, de manera que el Plástico no se dañará al rozarse con las paredes cuando el reactor se esté colocando. El fondo se forrará o rellenará con las mismas telas viejas o plásticos, arena fina de río o paja, para que el biodigestor se acomode bien, sin arrugas, cuando se realice la primera carga.

Recordatorio del material y de las herramientas necesarias para la Fase de Fabricación construcción de la Zanja:

Material	Uso
Paja o arena	Para el fondo de la zanja
Sacos o plásticos viejos	Para las paredes de la zanja
Lana de acero (bombril, estropajo, virutas)	Para el filtro a H ₂ S
Alambre de amarre y estacas	Para fijar las tuberías de entrada y salida

Tabla 7 Materiales esenciales para la construcción de la zanja Fuente: Elaboración propia.

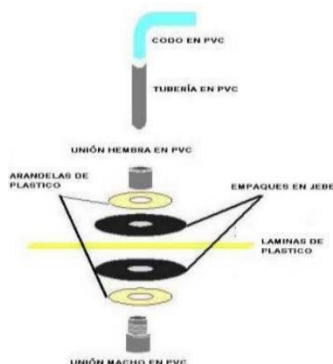


21 Figura 3-12 Forma de la zanja y sus respectivos cortes en Lado (A) Y (B) Fuente: produccion-animal.com

3.3.3 SALIDA DEL BIOGÁS.

Para hacer la salida de biogás se necesita un "Pasamuros" (flange). En el caso de que no lo podamos conseguir, se puede fabricar: para ello se necesitan un macho y una hembra de rosca de ½", dos discos rígidos de plástico, dos discos de plástico blando (de neumáticos) de diámetro superior a los discos rígidos y también con un agujero central. Se ensamblará de la siguiente manera, formando un sándwich: macho – disco rígido – disco blando – doble capa de plástico – disco blando – disco rígido – hembra.

Finalmente se corta una pieza de tubería de PVC de ½" y de 1 o 1.5 m de largo, se hacen rosca los dos extremos y con teflón en la unión se enrosca a la salida de biogás.

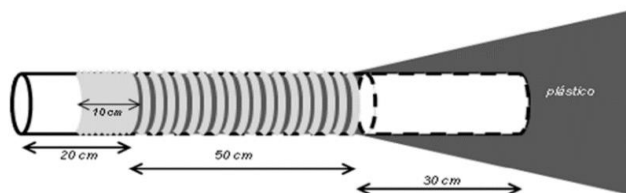


22 Figura 3-13 Ejemplo de fabricación de nuestro pasamuros Fuente: biodigestores.es

3.3.4 TUBOS DE ENTRADA Y SALIDA

El tubo se coloca en un extremo de la manga de doble capa de plástico, dejando a la vista 20 cm de tubo (entonces están 80 cm al interior).

Hecho esto, se miden 50 cm a partir del origen del plástico y a partir de este punto se amarra con la liga de neumático; al final quedarán entonces dentro del biodigestor 30 cm sin amarrar. Para amarrar sólidamente, cada vuelta tiene que pasar por encima de la anterior y la liga debe estar bien tensa; una vez terminados los 50 cm de plástico, se continúa amarrando por encima 10 cm más.



23 Figura 3-14 Ejemplo amarrede los tubos de entrada y salida del Biodigestor Fuente: biodigestores.es

3.4 CONSTRUCCIÓN CONDUCTOS DE GAS

3.4.1 TEES PARA EVACUACIÓN DE AGUA EN CAÑERÍAS

Una parte del agua presente al interior del biodigestor se irá evaporando y condensando en las tuberías de gas. A veces es inevitable tener “puntos bajos” en las tuberías; en estos puntos se deberá colocar una tee con la tercera salida tapada por un tapón de rosca, para poder sacar el agua condensada que se acumulará en los puntos bajos. Si no se hace, el agua podría taponar las tuberías y así impedir que el gas llegue a la cocina.



24 Figura 3-15 Ejemplo de Tees a implementar en nuestras cañerías de gas Fuente: biodigestores.es

3.4.2 VÁLVULAS DE SEGURIDAD

La válvula de seguridad será instalada cerca del biodigestor, para que se pueda revisar fácilmente cuando se hace la carga diaria. En el caso que no se consuma el biogás, este podrá escapar por la válvula, evitando así dañar el plástico del biodigestor por una presión demasiado fuerte, pero sin permitir que, entre aire dentro del reactor, ya que mataría el proceso de digestión anaeróbica.

Tras la válvula de seguridad se recomienda insertar una llave de paso con el objetivo de aislar el conjunto formado por el biodigestor y la válvula del resto de la conducción para posibles reparaciones o modificaciones.

CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN ECONÓMICA

4.1 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE INSTALACIÓN DEL BIODIGESTOR TUBULAR EN CERRO NEGRO REGIÓN DE ÑUBLE

4.1.1 FICHA TÉCNICA DEL BIODIGESTOR

A continuación, presentamos la ficha técnica de nuestro biodigestor tubular. Los datos de esta ficha se recopilaron a partir del estudio realizado y los cálculos efectuados, que nos han ayudado a determinar parámetros importantes a considerar al instalar nuestro dispositivo. Estos incluyen la capacidad máxima del estanque acumulador, el tipo de biodigestor, la presión permitida por el gasómetro, el tiempo de funcionamiento del biodigestor y, lo más relevante, la cantidad de gas entregada, expresada en m³/día.

FICHA TÉCNICA DE BIODIGESTOR TUBULAR	
Sustrato Diario	16.3kg
Escala	1:03
Estanque Acumulador	75 L
Diseño del Biodigestor	Continuo
Biodigestor	Tipo Hindú
Estanque de Biólodo	70 L
Gasómetro	2.56 m ³
Biogás	1.02 m ³ /día
Tiempo de funcionamiento	3 Hrs

Tabla 8 Ficha técnica de biodigestor tubular Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL BIODIGESTOR

Por consiguiente, se proporciona información sobre los parámetros de funcionamiento del dispositivo, que incluye un análisis de criticidad. El objetivo de este análisis es garantizar un funcionamiento óptimo y prolongar la vida útil tanto del dispositivo como de sus componentes.

PARAMETROS DE OPERACIÓN BIODIGESTOR TUBULAR		
ÍTEM	DISEÑO	CRITICIDAD
Biodigestor Tipo Hindú	2000 L	< 2000 L
Estanque Acumulación	100 L	< 100 L
Estanque Biólodo	100 L	< 100 L
Tipo de Carga	Continuo	Forma irregular o discontinua
Gasómetro	2.56 m ³	2.56 m ³
Presión de Trabajo	1.04 kg/cm ²	3 kg/cm ²
Temperatura de Trabajo	18°C	0-10°C

Tabla 9 Parámetros de operación biodigestor tubular Fuente: Elaboración propia.

4.1.3 DETALLE DE MATERIALES NECESARIOS PARA LA INSTALACIÓN DEL BIODIGESTOR

Posteriormente, se lleva a cabo un estudio económico de los insumos necesarios para el proyecto, donde se destacan los materiales a utilizar en la fabricación de nuestro biodigestor, cabe destacar que se tuvo en cuenta las cantidades de los materiales por separado, ya que nos facilitarían la información a la hora de adquirir nuestros insumos. Este análisis incluye información detallada sobre los tipos de cañerías y sus dimensiones que se utilizarán, además, se contabilizó el costo de la mano de obra necesaria para ensamblar nuestro dispositivo, donde se estima un total de 2 días de trabajo, por consiguiente, en la sumatoria de su totalidad llegamos a una cifra total de \$1,695,990.

DETALLE DE TODOS LOS MATERIALES APORTADOS PARA PROYECTO BIODIGESTOR TUBULAR							
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANT.	Valor unitario	\$ VALOR TOTAL		
1	Geomembrana 1000 mc	c/u	2	\$ 254.700	\$ 509.400		
2	Estanque Acumulación 100 lts	c/u	1	\$ 287.960	\$ 287.960		
3	Reservorio	c/u	1	\$ 235.680	\$ 235.680		
4	Estanque biolodo	c/u	1	\$ 45.780	\$ 45.780		
5	Valvula de bola	c/u	3	\$ 5.290	\$ 15.870		
6	Tubo PVC 6"	c/u	1	\$ 38.980	\$ 38.980		
7	Coplas	c/u	6	\$ 1.350	\$ 8.100		
8	Codo 45°	c/u	6	\$ 2.780	\$ 16.680		
9	Salidas Estanque	c/u	4	\$ 8.690	\$ 34.760		
10	Tubería PVC 1/2"	c/u	10	\$ 3.590	\$ 35.900		
11	Terminal HE	c/u	3	\$ 1.290	\$ 3.870		
12	Codo 90°	c/u	4	\$ 1.360	\$ 5.440		
13	Manometro	c/u	1	\$ 7.810	\$ 7.810		
14	Valvula de Alivio	c/u	1	\$ 9.760	\$ 9.760		
TOTAL MATERIALES					\$ 1.255.990		
DETALLE DE MANO DE OBRA							
			3				
ITEM	M.O.en maestranza	N° Personas	dias	H.extras	\$/ Día	\$/HORA extr	\$ VALOR TOTAL
1	Supervisor de Obra	1	2		75000		150.000
2	Ayudante	3	2		35000		210.000
3	Gasfiter	1	2		40000		80.000
TOTAL DE MANO DE OBRA							440.000

Tabla 10 Detalle de los materiales y mano de obra aportados para el proyecto Fuente: Elaboración propia.

4.1.4 EVALUACIÓN ECONÓMICA IMPLEMENTANDO VALOR ACTUAL NETO

Por último, se procede a realizar una evaluación económica empleando el valor actual neto (VAN). Para ello se consideraron los costos anuales de consumo de gas en el hogar estimados en \$806,000 pesos chilenos al año, esta cifra se obtiene calculando los galones mensuales que actualmente se están consumiendo, los cuales se estiman entre 2 a 3 galones, además se tienen en cuenta los costos totales de la instalación de nuestro dispositivo, calculados en \$1,695,990 según el análisis de materiales y mano de obra previamente realizados.

Para calcular el periodo de recuperación de la inversión es necesario tomar en cuenta los gastos anuales de suministro calorífico que se están obteniendo actualmente, supongamos que con la implementación del biodigestor tubular se logra reducir un 50% de consumo calorífico al año, esta acción representaría un ahorro de \$780,000 pesos chilenos. Con base en los datos previamente proporcionados, el periodo de recuperación se puede calcular de la siguiente forma:

- Periodo de recuperación: costo instalación / ahorro anual
- Periodo de recuperación: 1,695,990 / 780,000
- Periodo de recuperación: 2,17 = 2 años

Los resultados nos entregan un VAN positivo y un flujo de caja favorable, lo que indica la viabilidad económica del proyecto y su capacidad para generar beneficios a largo plazo para el hogar.

INSTALACIÓN	\$	1.695.990								
GASTO ANUAL	\$	806.000								
AHORRO ANUA	\$	780.000								

CON PROYECTO	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
INSTALACIÓN	\$ -1.695.990									
GASTO ANUAL	\$ -806.000	\$ -806.000	\$ -806.000	\$ -806.000	\$ -806.000	\$ -806.000	\$ -806.000	\$ -806.000	\$ -806.000	\$ -806.000
AHORRO ANUAL	\$ 780.000	\$ 780.000	\$ 780.000	\$ 780.000	\$ 780.000	\$ 780.000	\$ 780.000	\$ 780.000	\$ 780.000	\$ 780.000
	\$ -1.721.990	\$ -26.000	\$ -26.000	\$ -26.000	\$ -26.000	\$ -26.000	\$ -26.000	\$ -26.000	\$ -26.000	\$ -26.000

SIN PROYECTO	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
GASTO ANUAL	\$ -806.000	\$ -806.000	\$ -806.000	\$ -806.000	\$ -806.000	\$ -806.000	\$ -806.000	\$ -806.000	\$ -806.000	\$ -806.000

ANÁLISIS VAN	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
CON PROYECTO	\$ -1.721.990	\$ -26.000	\$ -26.000	\$ -26.000	\$ -26.000	\$ -26.000	\$ -26.000	\$ -26.000	\$ -26.000	\$ -26.000
SIN PROYECTO	\$ -806.000	\$ -806.000	\$ -806.000	\$ -806.000	\$ -806.000	\$ -806.000	\$ -806.000	\$ -806.000	\$ -806.000	\$ -806.000
DIFERENCIA	\$ -915.990	\$ 780.000	\$ 780.000	\$ 780.000	\$ 780.000	\$ 780.000	\$ 780.000	\$ 780.000	\$ 780.000	\$ 780.000
VAN	\$5.708.419,51									

Tabla 11 Evaluación económica incluyendo VAN Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El estudio ha demostrado que la implementación de un biodigestor tubular en el predio del sector el Arenal, sería altamente beneficioso. Este proyecto cumple con los requisitos básicos necesarios para su instalación, tales como el clima favorable, la cantidad de residuos generados por la cría de porcinos y la ubicación óptima para la instalación de las cañerías y válvulas necesarias para el transporte del biogás al hogar.
- Por otra parte, la ubicación propuesta para el biodigestor ofrece beneficios adicionales al estar cercana a las plantaciones aledañas. Esto facilitaría el transporte más efectivo del fertilizante producido por el biodigestor hacia estas plantaciones, lo que representa una ventaja significativa en términos de eficiencia y optimización de recursos.
- Considerando el esfuerzo necesario para retirar las heces del establo, transportarlas a otro lugar, esperar su fermentación y luego reutilizarlas, la fabricación de este dispositivo ahorraría una cantidad significativa de tiempo y trabajo. Esto se debe a que la descomposición de los desechos y la creación del biogás se llevarían a cabo de manera totalmente autónoma en su interior, reduciendo notablemente la labor requerida.
- Desde la perspectiva económica, los resultados del estudio muestran que el proyecto arroja un valor actual neto (VAN) positivo y un flujo de caja favorable. Esto implica que la inversión inicial se recuperaría y se generarían ganancias adicionales en un corto tiempo. Esta situación contribuiría significativamente a la reducción de costos, tanto en el suministro de gas para uso doméstico como en la adquisición de fertilizantes necesarios para las plantaciones.
- Por último, al optar por esta práctica sostenible, estaríamos contribuyendo a reducir la huella de carbono generada actualmente por los excrementos de los porcinos en el lugar.

5.2 RECOMENDACIONES

- Para la implementación de una zanja en la base del biodigestor, se recomienda aprovechar la pendiente en dirección al establo. Esto permitirá que, al llegar al estanque de biofertilizante, desde ahí se forme un canal adecuado para facilitar el transporte del biofertilizante a las plantaciones cercanas.
- Cuando el biogás llegue al calefón, es necesario ajustar el sistema del quemador para garantizar que la conexión de las cañerías de biogás se realice correctamente, especialmente si el biodigestor ya está cargado.
- Al instalar el biodigestor en una zona cercana al estiércol y los cultivos automatizará gran parte del proceso de gestión de desechos, lo que significará menos trabajo manual y más eficiencia en gestionar los 60 kg de estiércol que entregan aproximadamente los porcinos. Esto permitirá ahorrar tiempo y recursos en comparación con los métodos tradicionales de manejo de desechos.
- Si detectamos olor desagradable en el biogás, semejante al de huevo podrido, puede ser que se haya agotado la capacidad del material filtrante dentro del filtro de ácido sulfhídrico, ya que se le realiza un mantenimiento de 2 a 6 meses dependiendo de la suciedad que se presente en la transportación del biogás.
- El agua que se utilice al mezclar el estiércol no debe contener cloro, ya que mataría las bacterias útiles para el proceso, si el agua es potable, se debe dejar descubierta unas horas hasta que se evapore el cloro.
- Se recomienda fabricar una pequeña cerca alrededor del biodigestor, así en el caso de que se escape un animal no se tenga riesgos de caídas y destruya el biodigestor.
- Se debe de tener en cuenta el PH que exista dentro del biodigestor diariamente, las variaciones permisibles para que no ocurra una inhibición del proceso de biodigestión es de 6,8 a 7,6 para evitar la acidificación del biofertilizante.

BIBLIOGRAFÍA

1. Digestores y Biogás; manual para el diseño, construcción, instalación y operación de digestores anaeróbicos para la producción de Biogás (Libro)
2. Biogás; Energía y biofertilización Manual de producción y utilización (Libro)
3. Gestión Ambiental, Tratamiento de Residuos y Energía (Libro)
4. Revista RedBioLAC. (s. f.).
<http://www.revistaredbiolac.org/index.php/revistaredbiolac>
5. (S/f). Researchgate.net. https://www.researchgate.net/figure/Figura-9-Esquema-de-dimensiones-de-una-zanja-para-biodigestores-tubulares_fig2_337064154
6. Tipos de biodigestores. (s/f). Autogeneración
https://autoconsumo.minenergia.cl/?page_id=524
7. Fuentes, A. (2021, 25 octubre). Cúpulas gasométricas Ecomembrane para depósitos de almacenamiento de biogás procedente de la digestión anaerobia de fangos o residuos orgánicos. Iberospec.
<https://iberospec.com/marcas/ecomembrane/cupulas-gasometricas-ecomembrane-para-depositos-de-almacenamiento-de-biogas-procedente-de-la-digestion-anaerobia-de-fangos-o-residuos-organicos/>
8. ChemEngineering. (s. f.).
<https://www.mdpi.com/journal/chemengineering>
9. (S/f-d). Rotoplas.com. <https://rotoplas.com/>
- 10.(S/f-b). Inia.cl.
<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/8463/NR33212.pdf?sequence=9&isAllowed=y>
- 11.Del Congreso Nacional, B. (s. f.). Biblioteca del Congreso Nacional.
www.bcn.cl/leychile. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?i=1099847>

12. Biogás y biodigestores: Tipos, ventajas y beneficios | Genia Bioenergy.
(s/f). <https://geniabioenergy.com/biogas-y-biodigestores-tipos-ventajas-y-beneficios/>
13. Aportes del sector porcino chileno en la transición energética y el ejemplo de la aviación en el uso de biogás como combustible. (2023, mayo 22). Chile Origen Consciente - Del campo al futuro.
<https://chileorigenconsciente.cl/aportes-del-sector-porcino-chileno-en-la-transicion-energetica-y-el-ejemplo-de-la-aviacion-en-el-uso-de-biogas-como-combustible/>
14. (S/f-c). Gob.cl.
https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/MANEJO_PURINES_PORCINOS.pdf
15. de Bajo Costo, L. I. R. en E. D. se B. en la R. de I. del T. P. S. B. F., La Paz-Bolivia, R. en, Días, L., & de la Cooperación Técnica Alemana-GTZ., 27 y. 28 de Marzo de 2007 Este Taller Fue Organizado en el Marco del Componente de Acceso de Servicios Energéticos del Programa de Desarrollo Agropecuario Sostenible-Proagro. (s/f). BIODIGESTOR DE POLIETILENO: CONSTRUCCIÓN & DISEÑO. Com.ar.
<https://www.produccion-animal.com.ar/Biodigestores/11-polietileno.pdf>
16. Norma Olores Sector Porcinos. (s/f). Olores.
<https://olores.mma.gob.cl/norma-olores-sector-porcinos/>
17. <https://www.google.cl/maps/@-36.8717737,-72.4612942,19.08z?entry=ttu>
18. Biodigestores. (2022, diciembre 27). Biodigestor casero. Biodigestores; Biodigestores.es. <https://biodigestores.es/biodigestor-casero/>
19. (S/f). Gob.cl.
https://sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2017/12/21/guia_py_e_impactos_por_olor_171221.pdf
20. Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, P., & Schertenleib y Christian Zurbrügg (EAWAG/SANDEC), R. (s/f). Reactor de biogas. Sswm.info; seecon international gmbh. <https://sswm.info/es/gass-perspective->

es/tecnologias-de/tecnologias-de-saneamiento/recoleccion-y-
almacenamiento/reactor-de-biogas

21. Campos Cuní, B. (2011). Metodología para determinar los parámetros de diseño y construcción de biodigestores para el sector cooperativo y campesino. Revista ciencias técnicas agropecuarias, 20(2), 37-41.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542011000200007
22. Biodigestores. (s/f). Biodigestores - plantas de biogas - generadores - energía. Recuperado el 9 de junio de 2024, de
<https://www.aqualimpia.com/biodigestores/>
23. Plástico de invernadero. (s/f). Filmamerica.cl.
<https://www.filmamerica.cl/>