

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial

Trabajo de Investigación

**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**

Romario Sencia Choquenaira

Para optar el Grado Académico de
Bachiller en Ingeniería Industrial

Arequipa, 2020

Repositorio Institucional Continental
Trabajo de investigación



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

Resumen

Una parte de la población arequipeña que se dedica a la crianza de animales menores como cerdos y cuyes no tiene un manejo adecuado de las excretas producidos por estos animales lo cual conlleva a diversos problemas, principalmente de salud y contaminación, debido a la proliferación de moscas, gusanos y entre otros. Esta investigación plantea el tratamiento y aprovechamiento de este residuo orgánico mediante el diseño de un biodigestor para así producir biogás y biól. El biogás será fuente combustible para la cocina y calefactores de uso diario de la vivienda, mientras que el biól que es residuo del proceso de digestión servirá como fertilizante en sus huertos y chacras. De esta manera resolvemos los problemas de mal manejo de estos residuos orgánicos y contaminación con el tratamiento adecuado y aprovechamiento de los productos resultantes.

Palabras clave: Excretas, Proliferación, Salud, Tratamiento, Aprovechamiento, Tratamiento, Biodigestor, Biogás, Biól, Combustible, Fertilizante.

Abstract

A part of the Arequipa population that is dedicated to raising minor animals such as pigs and guinea pigs does not have adequate management of the excreta produced by these animals, which leads to various problems, mainly health and contamination, due to the proliferation of flies, worms and among others. This research proposes the treatment and use of this organic waste through the design of a biodigester in order to produce biogas and bio. Biogas will be a fuel source for the kitchen and heaters for daily use in the home, while the bio that is the residue of the digestion process will serve as fertilizer in your orchards and farms. In this way we solve the problems of mismanagement of these organic wastes and contamination with the appropriate treatment and use of the resulting products.

Keywords: Excreta, Proliferation, Health, Treatment, Utilization, Treatment, Biodigester, Biogas, Bio, Fuel, Fertilizer.

Contenido

Resumen	ii
Abstract	iii
Índice de figuras	vii
Índice de tablas	viii
Capítulo 1 - Planteamiento del Estudio	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Formulación del problema.....	3
1.2.1 Problema general.....	3
1.2.2 Problemas específicos	3
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo general	4
1.3.2 Objetivos secundarios	4
1.4 Justificación.....	4
1.4.1 Justificación social	4
1.4.2 Justificación teórica.....	5
1.4.3 Justificación Teórica – Práctica.....	5
Capítulo 2 - Antecedentes.....	6
2.1 Antecedentes del problema.....	6
2.2 Uso de bioenergía y biocombustibles en la actualidad.....	7
2.3 Biodigestores domésticos construidos en China	9
Capítulo 3 - La biomasa y la digestión anaeróbica	10
3.1 Definición de biomasa	10
3.2 Biogás	10

3.2.1	Diferencias entre el biogás producido por el biodigestor y combustibles actuales.11	
3.2.2	Uso del Biogás y su tratamiento.....	11
3.3	Digestión anaeróbica	12
3.3.1	Campos de aplicación de la digestión anaeróbica.....	14
3.4	El Biogás y Metano producido desde los excrementos de animales.....	15
Capítulo 4 -	Biodigestores	16
4.1	Definición	16
4.2	Tipo de biodigestores.....	17
4.2.1	Biodigestor hindú	17
4.2.2	Biodigestor tipo chino	19
4.2.3	Biodigestor taiwanés	21
Capítulo 5 -	Diseño de la planta de biogás.....	23
5.1	Biodigestor tubular de plástico	23
5.1.1	Criterios para la selección del biodigestor	23
5.1.2	Fase del flujo pistón del biodigestor	25
5.1.3	Agitación	25
5.1.4	Materiales	26
5.1.5	Geometría	27
5.1.6	Temperatura de operación.....	28
5.1.7	Producción de biogás	28
5.1.8	Cálculo del volumen del biodigestor.....	30
5.2	Dimensionamiento de la zanja.....	32
5.3	Presión de operación.....	33
5.4	Gasómetro.....	34

5.5	Tuberías de alimentación y descarga.....	35
5.6	Limpieza del biogás.....	36
5.6.1	Reducción del sulfuro de hidrogeno.....	36
5.6.2	Regulador de presión.....	37
5.7	Diseño de las líneas de captación y conducción (tubería).....	38
5.8	Presupuesto de obra.....	39
5.8.1	Presupuesto.....	39
5.8.2	Planilla de metrados.....	40
5.8.3	Lista de insumos.....	42
5.8.4	Análisis de costos unitarios.....	43
5.9	Planos de la planta de biogás.....	47
	Conclusiones.....	49
	Recomendaciones.....	50
	Referencias.....	51

Índice de figuras

Figura 1 Corrales al aire libre con vacas caminando sobre su excremento.....	1
Figura 2 Establos de vacas sin limpieza de sus excrementos	2
Figura 3 Fuente de la energía a nivel mundial en los años 1973 y 2012	7
Figura 4. Formas de conversión de la biomasa.	13
Figura 5. Esquema general de una planta de biogás	16
Figura 6. Esquema del biodigestor hindú.....	18
Figura 7. Cúpula flotante del biodigestor hindú.....	18
Figura 8. Esquema típico de biodigestor hindú.....	19
Figura 9. Construcción domo fijo en Vietnam.....	20
Figura 10. Esquema convencional de biodigestor chino.....	20
Figura 11. Biodigestor tipo tubular taiwanés (forma de balón).	21
Figura 12. Esquema biodigestor tubular de polietileno de bajo costo	22
Figura 13. Sección transversal de un biodigestor tubular	24
Figura 14. Esquema de digestión anaeróbica.	25
Figura 15. Esquema de un digestor de plástico con sistema de agitación por cuerda.....	26
Figura 16. Biodigestor de polietileno prefabrico	31
Figura 17. Sección del digestor	32
Figura 18. Fuerzas internas de una sección de pared delgada.....	33
Figura 19. Mecanismo para dotar de una presión constante al biodigestor.	35
Figura 20. Suministro de estiércol en la cámara de recepción	35
Figura 21. Diseño longitudinal del biodigestor.....	36
Figura 22. Regulador de presión usando agua y codos de 45°.....	37

Índice de tablas

Tabla 1. 3.2.1	Diferencias entre el biogás y combustibles actuales.....	11
Tabla 2.	Tipos de materiales para el biodigestor tubular	27
Tabla 3.	Resultados de volumen de digestor para estiércol de cerdo y vaca	31
Tabla 4.	Presión interna máxima de HDPE y PVC.....	34
Tabla 5.	Diámetro de diseño según material de tubería	38

Capítulo 1 - Planteamiento del Estudio

1.1 Planteamiento del problema

Los gobiernos locales, en contextos de desarrollo sostenible, ha intentado garantizar un equilibrio entre el cuidado del medio ambiente y crecimiento económico para el servicio de crianza de animales. Sin embargo, en los últimos años la crianza domestica de cuyes y animales menores por parte de familias de bajos recursos económicos no han tomado en consideración algún protocolo o tecnología para tratar la acumulación de los residuos orgánicos producto de las excretas de estos animales, lo que ha generado consecuencias negativas en la salud de las personas aledañas.

La siguiente figura muestra como las vacas caminan en su propio excremento, generando focos infecciosos de gran magnitud:



Figura 1 Corrales al aire libre con vacas caminando sobre su excremento

Fuente: www.istockphoto.com

En la siguiente figura se aprecia como las vacas duermen sobre sus excrementos:



Figura 2 Establos de vacas sin limpieza de sus excrementos

Fuente: <http://www.perulactea.com/>

En la ciudad de Arequipa, no se cuentan políticas y/o mecanismos normados para el tratamiento de estos residuos orgánicos producto de la crianza de animales menores, No obstante, los criadores aplican ciertos métodos para usar estos residuos orgánicos como abono natural, pero estos residuos orgánicos se dejan a la intemperie convirtiéndose en focos infecciosos donde se prolifera los gusanos, moscas y entre otros insectos que pueden transmitir enfermedades a la población local.

Es necesario realizar una investigación para el tratamiento de estos residuos orgánicos producidos a partir de las excretas de animales, ya que en la actualidad no se han implementado normas para el tratamiento de estos residuos orgánicos. Es por eso que resulta de gran importancia visibilizar, analizar y definir un método para el tratamiento de estos residuos orgánicos.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

En la actualidad los hogares de bajos recursos económicos de las zonas agrícolas de la ciudad de Arequipa tiene como parte de sus actividades la crianza de animales menores, como cuyes y cerdos, los cuales generan residuos orgánicos producto de sus excretas, y estos al no tratarse adecuadamente son acumulados al aire libre causando focos infecciosos que causan potenciales enfermedades para los habitantes.

¿Cómo mejorar el tratamiento y aprovechamiento de la materia orgánica generada por las excretas producto de la crianza de animales menores en hogares de bajos recursos económicos de las zonas agrícolas de la ciudad de Arequipa mediante el uso de biodigestores, y así no generar contaminación y fuentes infecciosas?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cómo tratar y aprovechar los residuos orgánicos de los animales mediante el diseño biodigestor compacto y accesible económicamente?
- ¿Cuál es la producción de biogás y biól en las cámaras del biodigestor?
- ¿Cómo aprovechar el biogás para auto sustentar un hogar con combustible y generar energía eléctrica?
- ¿Cuánto cuesta construir un biodigestor?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Diseñar una planta de tratamiento y 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.

1.3.2 Objetivos secundarios

- Determinar el medio para tratar y aprovechar los residuos orgánicos producto de las excretas de los animales criados en granjas.
- Determinar la cantidad de producción de biogás y biól para su aprovechamiento.
- Determinar la forma de aprovechar el biogás para usarlo en el hogar como combustible principalmente para la cocina y calefactores.
- Diseñar planos y presupuesto estimado para la planta de biogás usando biodigestores.

1.4 Justificación

1.4.1 Justificación social

Este proyecto es pertinente dentro del contexto de las acuciantes problemáticas rurales y sociales en Perú, ya que, en el Perú, un país en vías de desarrollo, tiene una gran cantidad de familias de bajos recursos económicos que tiene escasas energética. La devastación de bosques en países como el Perú se realiza sin ningún tipo de control ni conciencia sostenible. La gente pobre migra, habita y cultiva nuevas áreas de los bosques, reservas y parques nacionales.

1.4.2 Justificación teórica

En las zonas más alejadas y de difícil acceso al no poder suministrarse de combustibles gas GLP o GNV se opta por usar derivados de la tala de árboles para la industria y consumo doméstico, el cual de alguna manera es perjudicial para el medio ambiente.

Estos factores son los que más daño ocasionan al medio ambiente, situación que obliga a buscar otras fuentes de energía para reemplazar al GLP y a la leña por combustibles ecológicos, que a su vez generará una menor deforestación de los bosques.

Así mismo este estudio se puede normalizar y ejecutar en serie en cualquiera parte del Perú con cambios mínimos dado que en esta investigación se diseñaron planos y presupuesto estimado tomando en cuenta la situación y tecnologías actuales.

1.4.3 Justificación Teórica – Práctica

Esta propuesta de solución, ya se viene aplicando en algunos países de Latinoamérica, quienes cuentan con zonas rurales con pobreza y extrema pobreza, en cuyos casos, se ha logrado implementar con éxito. Tal es el caso de Bolivia, donde se vienen usando biodigestores familiares, los cuales elevan su calidad de vida, y les genera ahorro en cuanto a combustible.

Por si fuera poco, contribuye con el medio ambiente y el cuidado de los ecosistemas. Sabemos, que las personas suelen quemar leña y otras plantas para poder cocinar, sin embargo, con la presencia de biodigestores, esto ya no será necesario, frenando un poco la deforestación.

Capítulo 2 - Antecedentes

2.1 Antecedentes del problema

Según los datos del INEI del 2012, el 50% de los hogares rurales usan la leña para cocinar sus alimentos, en tanto que el 20% usa la leña junto a otros combustibles como el gas GLP, carbón y querosene. Para estas familias, la leña que puede provenir de residuos agrícolas o no, pero que son gratuitos y están en cantidades relativamente inacabables para estas familias, sin embargo, esta situación puede incrementar la deforestación en el país, y a su vez, que la combustión de la madera emite partículas y gases tóxicos que causan problemas respiratorios y afecciones en los ojos y demás perjuicios a la salud.

En otro aspecto, en nuestra región existen muchos hogares dedicados a la crianza de animales como vacas, caballos, pollos, conejos, cuyes y entre otros para la producción de carnes y lácteos, con mayor frecuencia en zonas rurales que en zonas urbanas. Es en las zonas rurales donde se producen más cantidad de excretas de animales que podrían ser aprovechadas energéticamente mediante el biogás y fertilizantes orgánicos en lugar de ser fuentes de contaminación para las personas y el medio ambiente. Debemos tener en cuenta que el excremento de ganados son una de las fuentes principales de emisión de gases que generan el efecto invernadero, tal es el caso del gas metano, que actualmente viene siendo tendencia debido a los grandes cambios meteorológicos en el mundo entero. Además, el gas producto de las excretas, apropiadamente aprovechado como biogás contribuye en la reducción de emisión de dióxido de carbono al reemplazar la combustión de combustibles fósiles.

2.2 Uso de bioenergía y biocombustibles en la actualidad

Desde la antigüedad el humano ha usado Biomasa como fuente para alimentos, energía y construcción, convirtiéndose en la principal fuente de energía para la industria por bastante tiempo, sin embargo, con la aparición de combustibles fósiles como principal fuente ahora, el uso de la biomasa fue disminuyendo paulatinamente, Esta situación se aprecia en la siguiente figura en donde se indica que el petróleo es la principal fuente primaria de energía en el mundo con la tercera parte, triplicando el de la biomasa en el 2012, esto según la Agencia Internacional de la Energía (IEA):

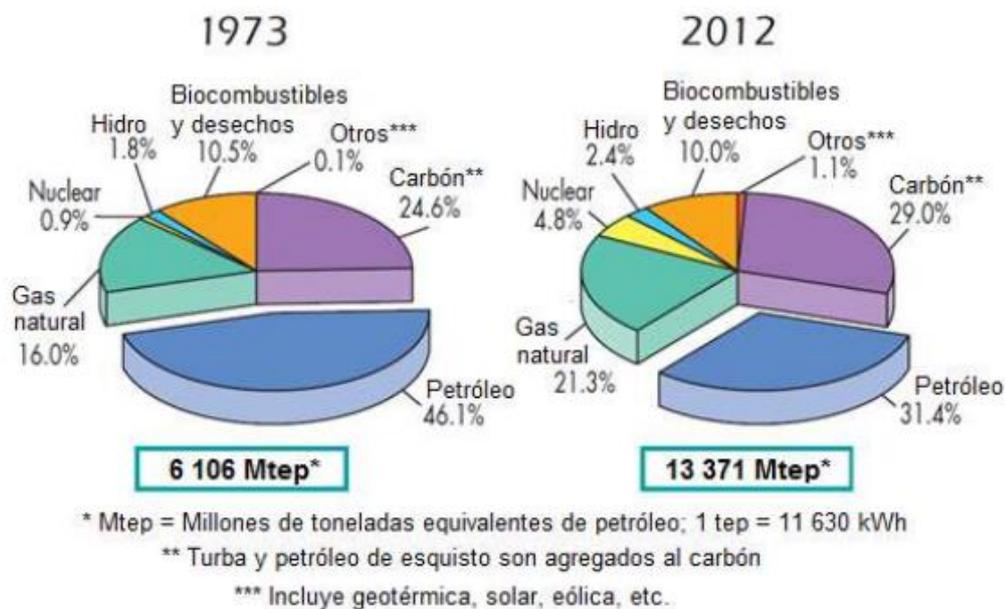


Figura 3 Fuente de la energía a nivel mundial en los años 1973 y 2012

Fuente: Agencia Internacional de la Energía, 2014

Pese a ello, últimamente el uso de la biomasa está tomando mayor importancia como alternativa para reemplazar a los combustibles fósiles, por ejemplo, en la investigación de Vassilev Et. Al. del 2012 dice que en el 2050 el 35% y entre el 50% del consumo mundial de energía va a ser producto de la Biomasa, por las siguientes razones:

1. Por los problemas ambientales que cada vez son más graves debido al calentamiento global causado por la combustión de combustibles fósiles que emanan gases que contribuyen al efecto invernadero.
2. La inmensa demanda de energía en el mundo requiere cantidades exorbitantes de combustible, como es el caso del petróleo que no puede sostener la necesidad por la disminución de las reservas en el mundo, lo que causa latencia en su precio, es así que en el futuro se buscará el reemplazo de este combustible.

En el mundo se están realizando muchas investigaciones para optimizar el uso de la biomasa como fuente de energía y reemplazar el uso de combustible fósiles. La biomasa usada como fuente de energía resulta en bioenergía, que se puede agrupar en tres categorías, como principal característica por el tipo de biomasa usado:

1. La Biomasa Natural: materia producida de forma natural, por ejemplo, ramas que hayan caídas en un bosque.
2. La Biomasa Residual: materia producida por la actividad ganadera y agrícola, industrias alimentarias, residuos generados por las industrias madereras, etc.
3. Cultivos Energéticos: Son los cultivos de plantas que tienen un crecimiento acelerado y son destinados a la obtención de energía o para obtener materias primas para su combustión.

En este proyecto de investigación usaremos la biomasa residual y el tratamiento mediante un biodigestor domésticos para producir energía ecológica.

2.3 Biodigestores domésticos construidos en China

Existen una gran variedad de tipos y modelos de biodigestores, podemos disminuir las opciones por su capacidad, uso e inversión, el tipo más adecuado y detallado en los siguientes capítulos es el biodigestor domestico tipo chino.

Este tipo de biodigestor es especialmente usado en países de vías de desarrollo debido a su practicidad y facilidad de construcción. Por ejemplo, solo en china, en los años 2010 y 2011 se construyeron alrededor de 3 millones de biodigestores y unas 150 mil plantas de Biogás, a su vez de idéntica manera se hizo en, en Asia, países como Nepal, Vietman, Pakistan, en países de África y Centroamérica como Costa Rica, y también como en Sudamérica, aunque en menor cantidad

Según lo descrito podemos concluir que el uso de la bioenergía y biocombustibles en los últimos años está incrementando, solo en China se instalaron 3 millones de biodigestores, situación que no se compara en el Perú, donde su uso aún está poco masificado, es por eso que esta investigación trata de ser un complemento proporcionando datos técnicos y planos detallados para su construcción y así incentivar el uso de biodigestores en todas las granjas de Arequipa y el Perú.

Capítulo 3 - La biomasa y la digestión anaeróbica

3.1 Definición de biomasa

La biomasa es “Material orgánico no fosilizado y biodegradable originario de plantas, animales y microorganismos”.

En ese sentido podemos tener los siguientes ejemplos de biomasa: residuos que vienen de árboles y maderas, de actividades ganaderas, actividades agrícolas, residuos domésticos e industriales, entre otros.

3.2 Biogás

Es un gas combustible producto de la degradación (digestión anaeróbica) y tiene como compuesto principal el CH_4 (metano) y CO_2 (dióxido de carbono) y otros compuestos secundarios como H_2 (hidrógeno) y H_2S (sulfuro de hidrógeno). El contenido del gas metano en el biogás suele ir desde el 55% y llegar hasta el 80% dependiendo de los compuestos orgánicos de la biomasa.

Debemos tener en cuenta que la composición del biogás depende en gran medida del tipo de materia prima utilizada y de parámetros operaciones como la temperatura.

En el siguiente apartado describiremos algunas características y diferencias de los gases generados por bienestar y combustibles actuales.

3.2.1 Diferencias entre el biogás producido por el biodigestor y combustibles actuales.

El biogás es llamado gas pobre o de baja energía debido a su contenido de metano y su parecido al gas natural. Por ejemplo, el gas natural tiene un poder calorífico que varía entre 8.20 - 11.10 kWh / Nm³ en tanto que el biogás puede variar entre 4.50 y 7.00 kWh / Nm³.

Descripción	Biogás	Natural	Propano	Metano	Hidrógeno
Poder calorífico (en kWh/m ³)	7.00	10.00	26.00	10.00	3.00
Densidad (en kg/m ³ N)	1.082	0.701	2.009	0.72	0.09
Densidad relacionada al aire	0.813	0.541	1.508	0.546	0.069
% de gas en el aire	6 – 12	5 – 15	2 – 10	5 – 15	4 – 80
Temperatura de encendido(°C)	687	650	470	650	585
Velocidad de encendido en (m/s)	0.31	0.39	0.42	0.47	0.43
Requerimiento de aire teórico en (m ³ /m ³)	6.6	9.5	23.9	9.5	2.4

Tabla 1. 3.2.1 Diferencias entre el biogás y combustibles actuales

Fuente: Ministerio de Energía y Minas de Chile.

3.2.2 Uso del Biogás y su tratamiento

En el biogás se encuentran tanto el metano como otros gases, por ejemplo el ácido sulfúrico, sulfuro de hidrogeno, monóxido de carbono, vapor de agua y otros; entonces debemos realizar una limpieza, purificación o refinamiento de acuerdo al uso que se le va a dar.

El uso que se le puede dar al Biogás puede el que se le da a cualquier otro gas convencional. Por ejemplo, tenemos los siguientes usos:

- **Combustión directa:** Este es el uso más simple que se le puede dar para obtener energía térmica, por ejemplo, para cocinar alimentos, calefacción, iluminación y entre otros. Este uso a pequeñas escalas es perfecto para zonas rurales.
- **En motores o turbinas:** Uno de los usos que se le puede dar al Biogás es en las turbinas de gas para generar electricidad, las cuales pueden tener una eficiencia cercana a los motores convencionales que se encienden por chispa, además que estos motores requieren bajo mantenimiento.
- **Combustible para vehículos:** El Biogás es muy similar en muchas de sus características al gas Natural, por lo que suscita mucho interés su uso en el sector del automovilismo. El Biogás tiene un mejor funcionamiento en vehículos con motores de alta relación de compresión, como por ejemplo los motores a Diesel porque su alto octanaje, pero tiene una lenta velocidad de encendido. (Environment Facility, 2011).

3.3 Digestión anaeróbica

La digestión anaeróbica es el proceso mediante el cual microorganismos descomponen la materia biodegradable para producir dióxido de carbono y metano en su mayor parte.

Las tecnologías actuales para este proceso se pueden dividir en fases de conversión termoquímicas, bioquímicas y físico-químicas. La digestión anaeróbica está en el proceso de conversión bioquímico, con la acción de microorganismos.

La siguiente figura muestra esta clasificación, el proceso termoquímico es el más usado.

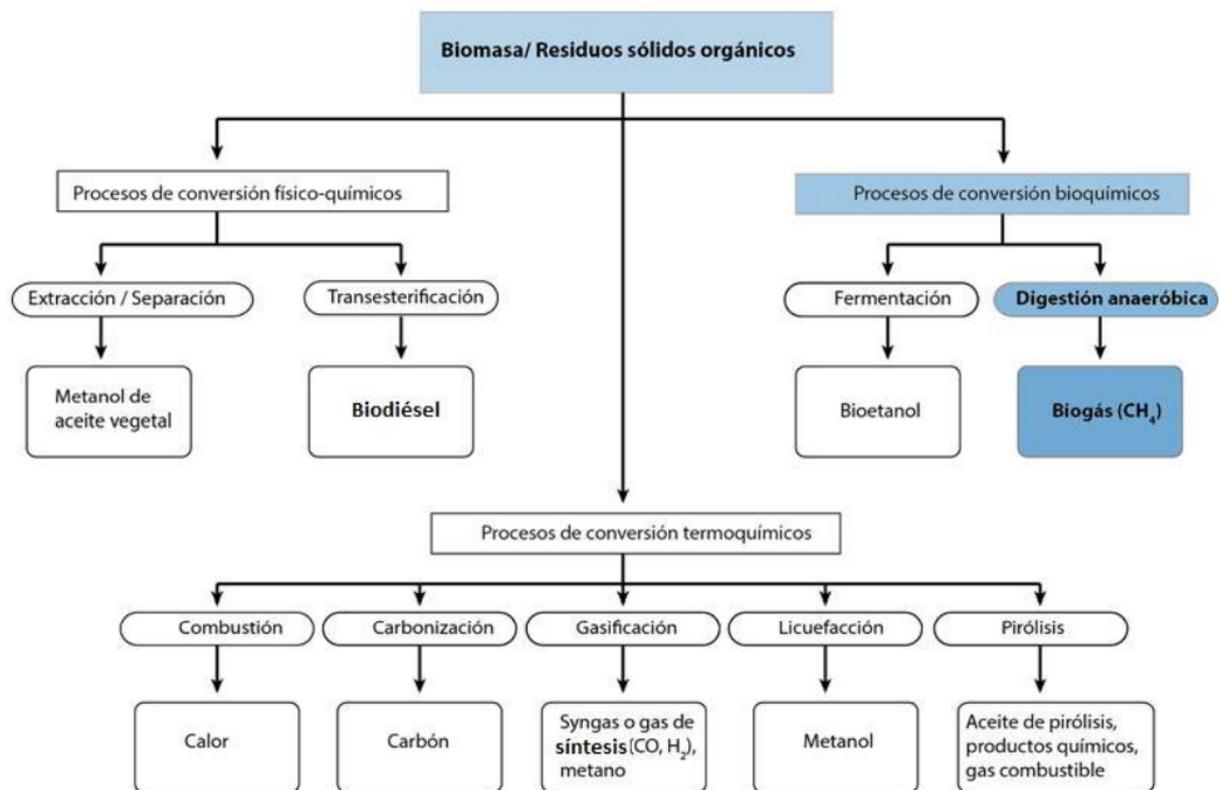


Figura 4. Formas de conversión de la biomasa.

Fuente: Appels, 2011.

Fue Volta quien descubrió en 1776 la fermentación anaeróbica, él observó la formación de gas combustible de los pantanos y aguas estancadas, todas estas situaciones tenían presente grandes cantidades de materia orgánica que se encontraban en descomposición.

La información que se tiene sobre la primera planta para producir gas a partir de la descomposición de materia orgánica es en la India en el año 1859, a partir desde entonces se ha venido construyendo pequeñas plantas para el uso doméstico tratando así el estiércol de sus animales, logrando de esta manera cocinar sus alimentos y a su vez usar los residuos como fertilizante.

En la actualidad, el tema de la digestión anaeróbica está teniendo una considerable atención y su aplicación viene creciendo a pasos agigantados, esto debido a que un proceso de producción que es amigable con el medio ambiente, a ello le sumamos que son tecnologías de bajo costo.

3.3.1 Campos de aplicación de la digestión anaeróbica

Podemos definir a la biomasa como un conjunto de materia orgánica que puede provenir de desechos agrícolas, o animales. Cualquiera fuera la fuente de la biomasa se puede usar para la digestión anaeróbica, pero debe contener proteínas, carbohidratos, grasas y celulosa como componentes principales, a continuación, se presenta algunas características que deberían tener en cuenta:

- El contenido de materia orgánica debe tener los compuestos apropiados para el tipo de fermentación elegido.
- La materia orgánica debe estar libre de patógenos, o de lo contrario deberían inhabilitarse estos antes de la fermentación.
- El contenido de basura u otras sustancias nocivas deben ser relativamente bajos para realizar un proceso de fermentación óptimo.
- El residuo final de la fermentación tiene que ser adecuado para su uso posterior como fertilizante o abono natural.

La aplicación de la digestión anaeróbica se puede clasificar en función al tipo de materia orgánica presente, podemos definir cuatro grupos principales:

- Tratamiento de aguas servida
- Tratamiento de basuras (rellenos sanitarios)
- Tratamiento de lodos de depuradoras
- Tratamiento de desechos agropecuarios y agrícolas

3.4 El Biogás y Metano producido desde los excrementos de animales

Los excrementos de los animales de granja deben ser tratados por técnicas correctas que disminuyan los riesgos a la salud y el medio ambiente.

Los gases generados como el metano pueden ser perjudicial para el medio ambiente (efecto invernadero), así como también los excrementos pueden generar contaminación al agua y el suelo por la concentración de amoníaco, sales y nitratos.

El uso de la digestión anaeróbica desde el excremento animal es una técnica de tratamiento que está ganando mucha popularidad en los últimos años, ya que es una forma de cuidar el medio ambiente y reusar los residuos generados por la actividad agropecuaria.

Este tratamiento adecuado hace que no se liberen compuestos que producen olores desagradables. Además, se realiza una recuperación del metano producido por la descomposición del excremento, a su vez se produce biol que contiene nitrógeno, fosforo y potasio que se puede usar como abono natural.

Capítulo 4 - Biodigestores

4.1 Definición

Un biodigestor también llamado digester de residuos orgánicos o simplemente digester radica en una cámara herméticamente cerrada (denominado reactor o fermentador anaeróbico) donde se depositan los residuos orgánicos. El cual experimentara el proceso de degradación o digestión. La cámara de digestión puede tomar diversas formas y de diferentes materiales, desde plástico hasta concreto reforzado.

En general una planta de biogás cuenta con un suministro de materia orgánica, biodigestor, tanque de descarga y la zona de salida de gas, como se parecía en la siguiente figura:

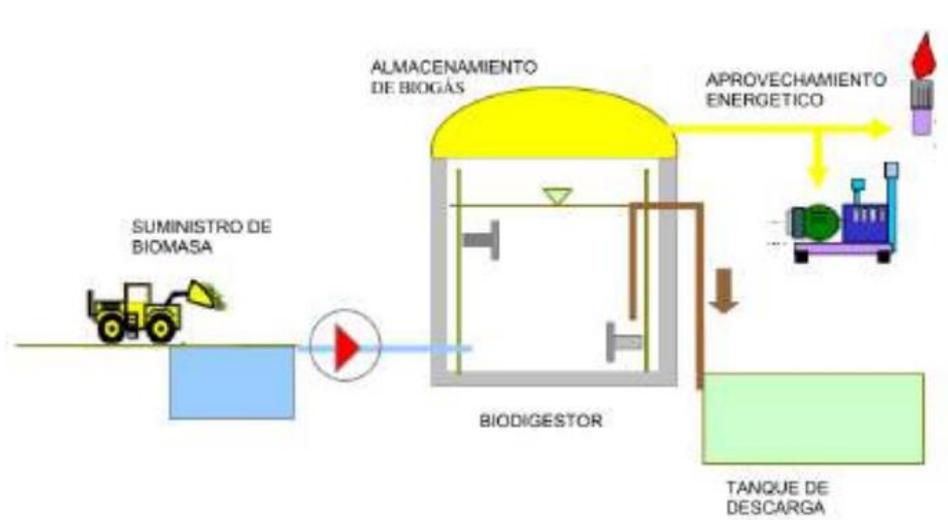


Figura 5. Esquema general de una planta de biogás

Fuente: Moncayo Romero, 2013

Según Kaiser (2002), fue Imhoff en 1920 en Alemania quien implemento el primer Biodigestor, y desde entonces se a probado muchas variantes para su construcción buscando optimizar la producción de biogás con la menor inversión posible.

4.2 Tipo de biodigestores

La variedad de biodigestores en la actualidad es muy variada, podrían clasificarse por: tipo de operación, volumen de almacenamiento, cantidad de tanques de digestión, y entre otros.

Para esta investigación ampliaremos sobre biodigestores domésticos dado que está definido dentro de los alcances de la investigación.

Los biodigestores domésticos tienen dimensiones más pequeñas y su producción es relativamente más baja, generalmente usados en las zonas rurales, y usados para el tratamiento de estiércol de producto animal. Pero también podrían ser usados para residuos de origen humano y agrícola.

Estos biodigestores domésticos son especialmente adecuados para las zonas rurales porque no requieren conocimientos técnicos para su construcción, operación y mantenimiento, a su vez que no se requiere de un suministro constante y además se realiza por gravedad.

4.2.1 Biodigestor hindú

Denominado también biodigestor de cúpula o tipo domo móvil, debido a que la cámara de producción de gas no es fija y esta desplaza hacia arriba a medida que el gas se acumula en el interior.

El Biodigestor hindú se compone de dos partes principales, que son el digestor y el gasómetro, el primero se suele construir en mampostería de ladrillo y el segundo con láminas de acero.

El suministro de sustrato se realiza una vez al día y no es necesario colocar una válvula de control de ya que en el interior no se generan presiones excesivas. La siguiente figura muestra un esquema del biodigestor hindú, donde se aprecia la entrada, la cámara de digestión, la cúpula flotante y la cámara de descarga.

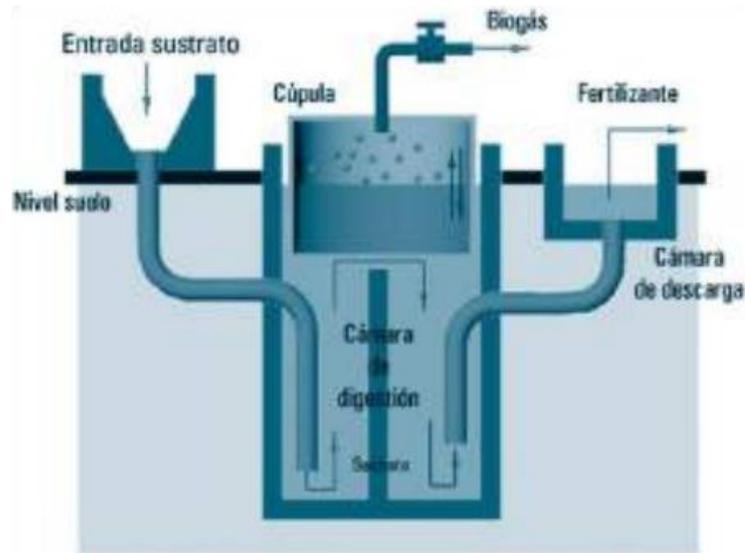


Figura 6. Esquema del biodigestor hindú

Fuente: Pizarro (2005)

En la siguiente figura se muestra la cúpula flotante del biodigestor hindú, construido con láminas de acero.



Figura 7. Cúpula flotante del biodigestor hindú

Fuente: extraída de internet

En la siguiente figura se aprecia otro esquema de este biodigestor, aquí se ve claramente el domo flotante que sube a medida que se produce el biogás:

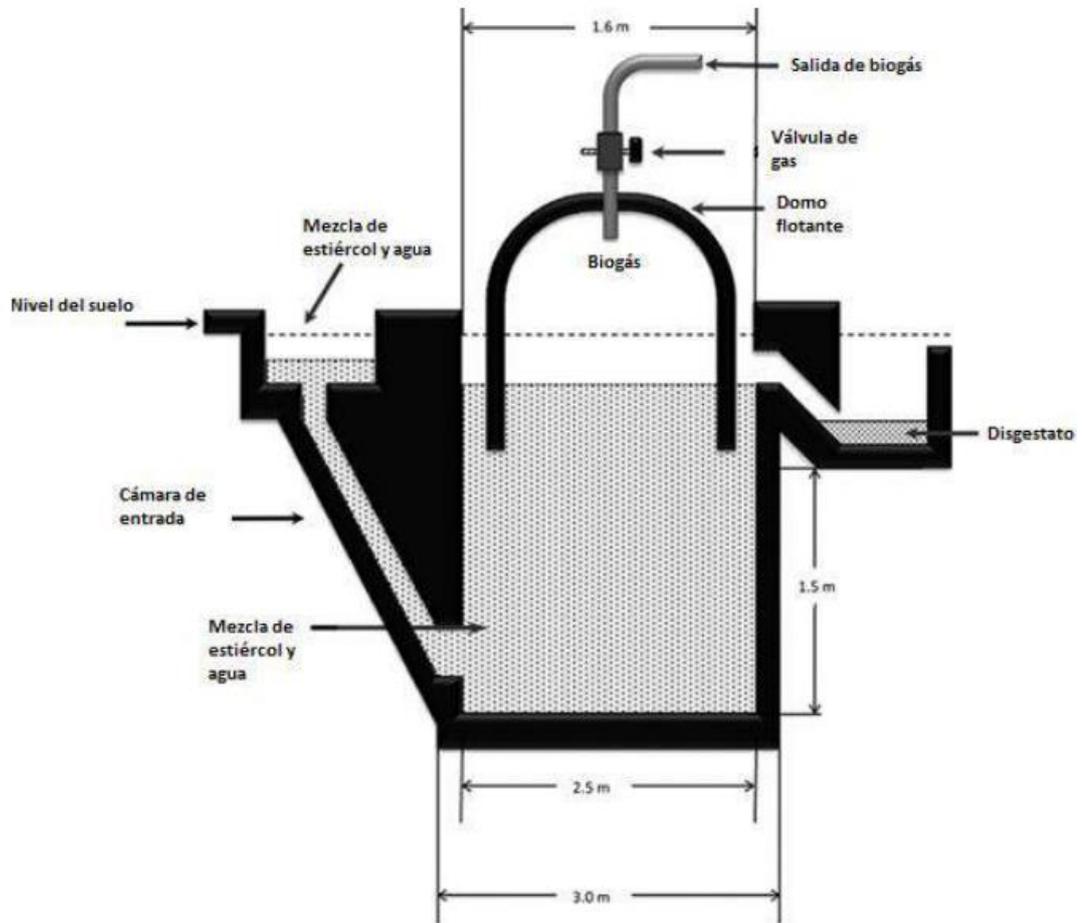


Figura 8. Esquema típico de biodigestor hindú

Fuente: Abbasi (2013).

4.2.2 Biodigestor tipo chino

Este biodigestor tiene la característica de tener el domo fijo, en 1960 fue construido en China por primera vez. Principalmente se trata de construir una cámara en mampostería de ladrillo que está enterrada, que cuenta con un canal de entrada y una de salida. La cámara de recolección fija tiene forma de domo, pero está construido en mampostería de ladrillo que se encuentra parcialmente enterrado, así también tiene el mismo modo de construcción la cámara de entrada y la cámara de descarga.

La siguiente figura muestra el preciso momento de la construcción de domo fijo en mampostería de ladrillo:



Figura 9. Construcción domo fijo en Vietnam

Fuente: SNV y HIVOS (2012)

La siguiente figura muestra el esquema típico de un biodigestor chino con las partes principales que lo componen:

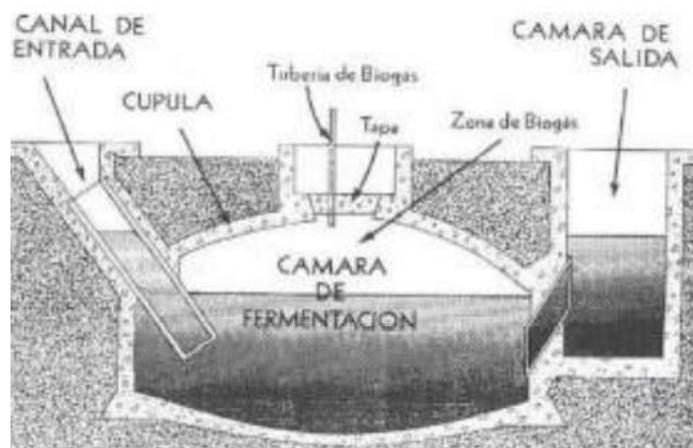


Figura 10. Esquema convencional de biodigestor chino

Fuente: SNV y HIVOS (2012)

Por los materiales usados este es un biodigestor relativamente costoso, pero a cambio de eso ofrece una prolongada vida útil que esta alrededor de los 20 años.

4.2.3 Biodigestor taiwanés

Este biodigestor consiste en tener una forma tubular generalmente de alguna variante del plástico. Fue construido en 1960 en Taiwán y también es muy popular en China.

El biodigestor taiwanés suele tener un volumen de 2.2 a 13.5 m³, siendo los de 6.00 m³ los más usados.

Según Mazumdar (1982) este tipo de biodigestor de costo relativamente bajo fue creado el taiwanés por Chung Po usando tela de neopreno.

La siguiente figura muestra un esquema tubular de este tipo de biodigestor:

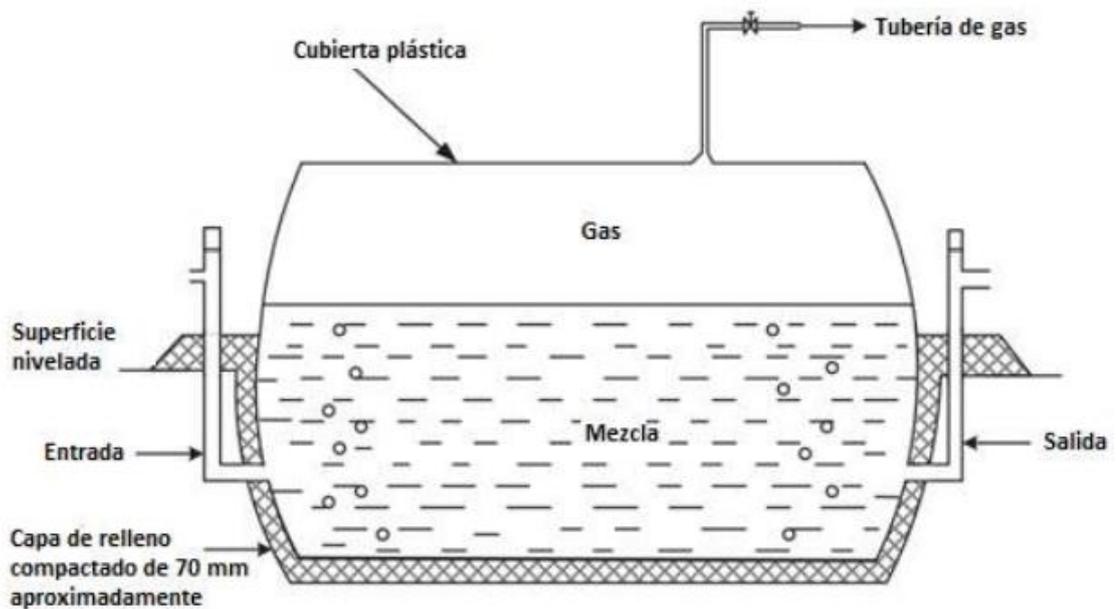


Figura 11. Biodigestor tipo tubular taiwanés (forma de balón).

Fuente: Mazumdar, 1982

Posteriormente Thomas Preston desarrolló un biodigestor tubular de polietileno de bajo costo, y probado en Taiwán en 1985, resultando exitoso.

La siguiente figura muestra la simplicidad de este tipo de biodigestor, la entrada y salida son tubería y la cámara de digestión y almacenamiento de gas es de polietileno:

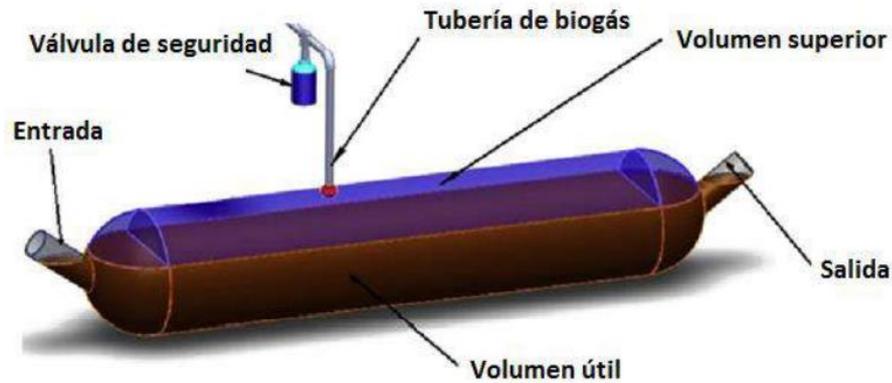


Figura 12. Esquema biodigestor tubular de polietileno de bajo costo

Fuente: Calderón y Velo (2011.)

El gas producido por este biodigestor puede ser almacenado por un gasómetro del mismo material (plástico).

La principal desventaja de este tipo de biodigestores es su tiempo de vida útil relativamente bajo, que puede ser de 5 a 8 años, ello debido al tiempo de vida del plástico y su pared delgada.

Capítulo 5 - Diseño de la planta de biogás

5.1 Biodigestor tubular de plástico

5.1.1 Criterios para la selección del biodigestor

Dado que se requiere una solución práctica, económica y de fácil construcción y operación es que se considera la mejor solución la construcción un biodigestor de plástico.

Para esta investigación se seleccionó el modelo Taiwanés debido a las siguientes características:

- Fácil instalación
- Fácil manejo
- Bajo costo

Otras características por la que se elige este tipo de biodigestor son las siguientes:

- Se puede trasladar a otro lugar después de un tiempo de funcionamiento.
- Puede ser instalado por dos personas en uno o dos días.
- Los problemas técnicos pueden solucionarse fácilmente.
- En este biodigestor la distancia entre la entrada del sustrato y la salida de desechos es relativamente larga lo que favorece a que el sustrato se degradado completamente por las bacterias.

Un problema considerable es que en los biodigestores se suele formar una capa superficial de residuos fibrosos que al hacerse más gruesa y compacta hace más difícil la salida del biogás. Este problema es menor en los biodigestor tubulares, porque al ser muy amplios tiene una mayor relación superficie volumen, como se muestra en la siguiente figura:

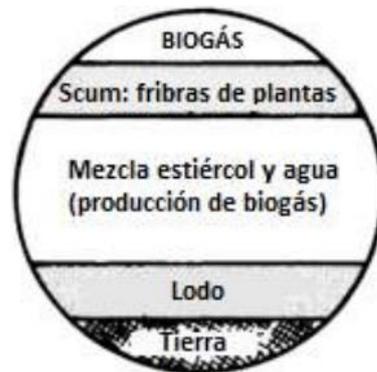


Figura 13. Sección transversal de un biodigestor tubular

Fuente: Arnott M. (1985)

El biodigestor será enterrado parcialmente para darle estabilidad, facilidad de limpiar, reparar y además no necesita mantenimiento con frecuencia. Por otra parte debido a la cierta profundidad que tiene, este puede ser alimentado por gravedad.

El biodigestor de plástico tiene además una ventaja importante en cuanto a la generación de calor, ya que el polietileno actúa como un invernadero y permitirá una temperatura de funcionamiento mayor a la del medio ambiente.

Con respecto al costo el biodigestor planteado en esta investigación es relativamente bajo. Garfí en 2014 estimó que el costo de un biodigestor tubular de polietileno es 700 USD y representa el 35% del costo de un biodigestor de domo fijo. Pero esta situación no se ve favorecida por el tiempo de vida útil de un biodigestor de plástico que tiene un tiempo de vida de 5 a 8 años, mientras que es de 20 años los biodigestores chinos. En otras palabras, el costo dependerá del mantenimiento que se les dé.

5.1.2 Fase del flujo pistón del biodigestor

Existen dos etapas de digestión anaeróbica, la de dos etapas tiene ventajas sobre las de una etapa, ya que el proceso de acidogénesis y metanogénesis se realizan independientemente. La siguiente figura muestra las dos fases:

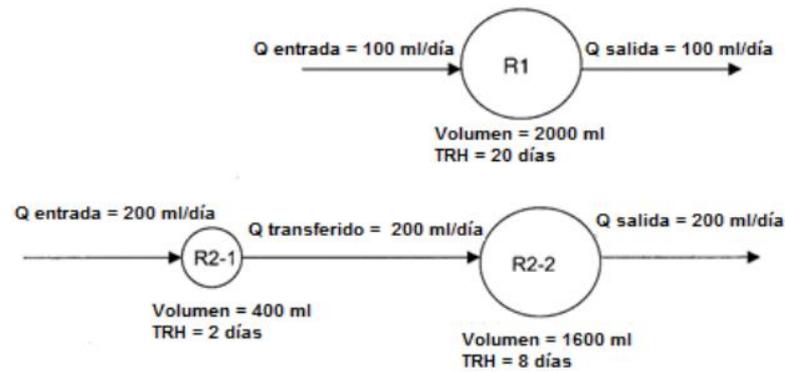


Figura 14. Esquema de digestión anaeróbica.

Fuente: Demirer y Chen (2005)

En este proyecto de investigación consideramos un digestor de una fase ya que la cantidad de bacterias monogénicas en el estiércol es relativamente alta y hace difícil la fase entre metanogénesis y acidogénesis, además que no se tienen referencias de plantas de biogás en dos fases.

5.1.3 Agitación

La agitación tiene como principal función la reducción de la capa superficial (scum) que impide la salida del gas.

Una solución para implementar la agitación en un biodigestor horizontal de plástico es mediante una cuerda y varios objetos sólidos en el interior para agitar el líquido interior, tal cual se presenta en la siguiente figura:

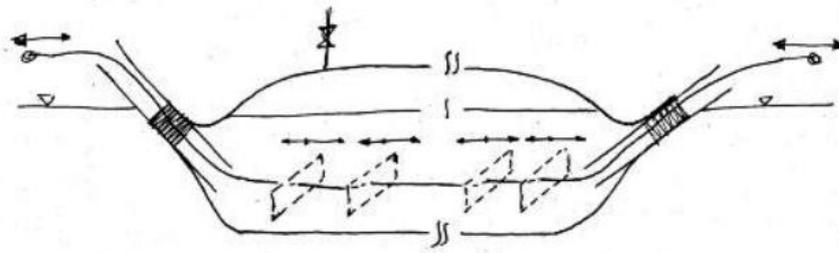


Figura 15. Esquema de un digestor de plástico con sistema de agitación por cuerda.

Fuente: Poggio (2007)

Según Kounnavongsa en 2009 indica que realizar la agitación no genera ventajas considerables en cuanto a la producción de biogás en biodigestores tubulares, tampoco afecta el pH del efluente. Sin embargo, aumentar las veces que se realiza el mezclado incrementa el tiempo del proceso y este alcance una producción más constante y estable durante el día.

En esta investigación no incluiremos un sistema de agitación porque para que esta sea beneficiosa se tendría que agitar manualmente varias veces al día y por largos periodos de tiempo, lo que demandaría una gran cantidad de esfuerzo físico, se asume que las personas tienen otras actividades económicas y resultaría no rentable contratar a un personal que se encargue de la agitación.

5.1.4 Materiales

Para la construcción del biodigestor modelo taiwanés, este se podría hacer de cualquier material, generalmente se suelen hacer de film de polietileno o geomembrana de PVC.

La siguiente tabla muestra la comparación de tres tipos de materiales para el biodigestor tubular:

Material	Ventajas	Desventajas
High Density PolyEthylene (HDPE)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Excelente resistencia a agentes químicos. ▪ Resistente a la radiación solar UV. ▪ Relativamente barata 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Son rígidas, poca maniobrabilidad. ▪ Tiene baja deformación elástica. ▪ Podría tener fallas por stress.
Low Density PolyEthylene (LLDPE)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mediana resistencia a agentes químicos. ▪ Resiste mejor a la tensión multiaxial. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Baja resistencia a la radiación UV que el HDPE. ▪ Menor resistencia química que el HDPE.
PVC	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Son más flexibles y de mayor trabajabilidad. ▪ Experimentan una relativa gran elongación antes de su falla (mayor al 250%). ▪ No es susceptible a daños por stress cracking ambiental. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Baja resistencia a la radiación UV y el ozono. ▪ Pobre resistencia a la intemperie. ▪ Disminuyen su rendimiento en temperaturas bajas y elevadas.

Tabla 2. Tipos de materiales para el biodigestor tubular

Fuente: Premier Polyfilm Ltd.

Para esta investigación se considera el uso de geomembrana de HDPE debido a sus ventajas y durabilidad de más de 8 años.

5.1.5 Geometría

La proporción del largo entre diámetro suele estar comprendido desde 3:1 a 3:10 en los biodigestores tubulares, y algunos autores indican que la relación óptima es 5:1, el cual será tomado para esta investigación.

A su vez la instalación de un biodigestor tubular horizontal debe tener una inclinación o pendiente.

Según Arnott en 1985, él recomienda que la pendiente no debe exceder los 3 grados. Una inclinación mayor causaría que la mezcla fluya muy rápido sin darle tiempo para su adecuado proceso de descomposición.

Para el presente trabajo consideraré una pendiente de 3°.

5.1.6 Temperatura de operación

Este es el parámetro es el más importante para la digestión anaeróbica. Las fluctuaciones de temperatura pueden afectar la estabilidad de este proceso.

No existe ninguna relación que pueda proyectar la producción de biogás en relación con la temperatura. Pero se asume como diseño que la producción de biogás se incrementa al doble por cada incremento de 10 °C cuando la temperatura esta entre 15 °C a 35 °C.}

Para elevar la producción debemos aumentar la temperatura del agua y estiércol y minimizar las variaciones de temperatura durante el día. Hoy en día existen diferentes tecnologías como fluidos calentados por colectores solares, que pueden incrementar el costo del proyecto. Por ende, al tratarse de un proyecto domestico usaremos un calentador solar mediante un invernadero de madera y recubierto con film de polietileno (plástico).

5.1.7 Producción de biogás

En la práctica es muy difícil obtener exactamente la producción de biogás a partir de un determinado tipo de material por la gran variación de nutrientes, pero podemos usar valores promedios que oscilan entre 0.30 m³/kg y 0.50 m³/kg de solidos volátiles.

Por lo mencionado en los capítulos anteriores, la producción de biogás depende de la cantidad de los SV (sólidos volátiles). El volumen de gas obtenido puede calcularse con la siguiente ecuación:

$$\frac{m^3 \text{ biogás}}{\text{día}} = \frac{\text{kg estiércol fresco}}{\text{día}} * \%MS * \%MV (\text{de MS}) * \text{Rendimiento de gas} \left(\frac{m^3 \text{ biogás}}{\text{kg SV}} \right)$$

El valor de producción varía de acuerdo a la materia prima por sus diferentes composiciones, por lo que en esta investigación se trabajarán con valores típicos para vacunos y cerdos, las cuales servirán para determinar la masa de estiércol necesarios por día.

En esta investigación elegimos un valor para %ST (% de Sólidos Totales) de 8% de mezcla con agua como mínimo. Este valor es sugerido por algunos autores para biodigestores tipo taiwanés sin agitación.

En esta investigación, para el estiércol de vacunos usamos los valores promedios de 12% de sólidos volátiles y 15% de ST, a su vez, asumimos el valor de la densidad del estiércol como 0.95 kg/l.

Y para el estiércol de cerdos usaremos los valores típicos de 12% de sólidos volátiles y 15% de ST, a su vez, asumimos el valor de la densidad del estiércol como 1.00 kg/l

Para calcular C_0 usamos la siguiente expresión:

$$C_0 = \frac{\% SV (\text{de ST})}{10 * \% ST_{\text{deseado}}}$$

%ST de mezcla con agua será de 7% y 8% para cerdo y vacuno respectivamente.

La Carga Orgánica Volumétrica (COV) se puede determinar a partir de la siguiente ecuación:

$$COV_2 = COV_1 * e^{0.1(T_2 - T_1)} = 1.29 * e^{0.1(27 - 22.5)} \approx 2$$

En experimentos llevados a cabo en investigaciones han determinado que un COV de 2 kg SV/m³ VL digestor/día con una temperatura parecida a la ciudad de Arequipa se puede producir 0.30 m³/kg de sólidos volátiles, a partir de estos valores se puede determinar un T.R.H. de 30 días, que quiere decir que un biodigestor taiwanés puede obtener 36 litros de biogás por 1.0 kg de material orgánico, este biogás tendrá como mínimo el 60% de metano sin importar el tipo de estiércol.

Para este proyecto se asume COV de 1.5, temperatura de 25°C y producción de 0.40 m³ biogás/m³ por día para el caso de estiércol de cerdos.

Análogamente se asume una COV de 2.0 y una producción de 0.3 m³ biogás/m³ VL.día para estiércol de vacunos.

5.1.8 Cálculo del volumen del biodigestor

Para calcular el volumen de biodigestor debemos tener como dato principal la demanda energética diaria del hogar, es decir cuanto gas se usa para la cocina, colección o iluminación. El volumen líquido del biodigestor se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$V_L = \frac{\text{kg SV} / \text{día}}{\text{COV}(\text{kg SV} / \text{m}^3 \text{ biodigestor.día})}$$

Donde:

$$\text{kg SV} / \text{día} = \text{kg ST} / \text{día} * \% \text{SV (sobre la MS)}$$

$$\text{kg MS} / \text{día} = \text{kg sustrato fresco} / \text{día} * \% \text{MS (sobre sustrato fresco)}$$

$$V_L = Q_a * TRH$$

Según Arnott en 1985 se necesitara un biodigestor de 3m³ para un hogar promedio que usa el gas para cocinar, una familia más grande puede necesitar hasta 5 m³de capacidad.

La siguiente tabla muestra los datos y resultados obtenidos:

Materia prima	Estiércol de cerdo (25 % ST, 18.75 % SV y $\rho = 1 \text{ kg/l}$)	Estiércol de vaca (15 % ST, 12 % SV y $\rho = 0.95 \text{ kg/l}$)
% ST mezcla estiércol con agua	7.00	8.00
Agua / kg estiércol (litros)	2.70	1.00
co (g SV/l mezcla)	52.5	60
COV (kg SV/m ³ VL . día)	1.50	2.00
TRH (días)	35	30
Rendimiento de gas (m ³ biogás/ kg SV)	0.40	0.30
Kg SV para cubrir demanda	7.9	10.5
kg estiércol fresco y litros de agua	42 kg y 113.4 L	87.5 kg y 87.5 L
Volumen diario (Qa) (l)	155.4	179.6
Volumen líquido de biodigestor = Qa * TRH (m ³)	5.44	5.39

Tabla 3. Resultados de volumen de digestor para estiércol de cerdo y vaca

Fuente: Propia

Hay que notar que los volúmenes para ambos casos son parecidos. Algunos autores recomiendan que el volumen liquido ocupe el 75-90% del biodigestor y la otra parte restante para la parte gaseosa (biogás). La siguiente figura muestra un esquema de biodigestor tubular.

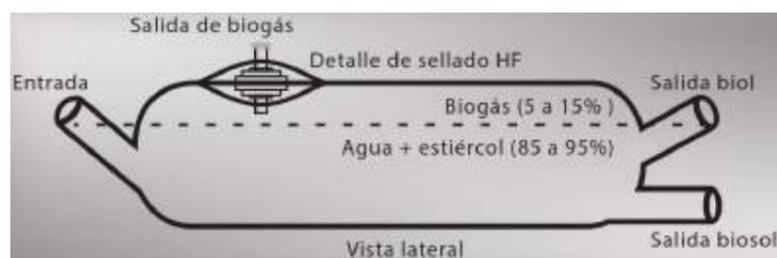


Figura 16. Biodigestor de polietileno prefabricado

Fuente: CIDELSA (2013)

En esta investigación se asumen un biodigestor de 6m³.

Y la producción de gas será Rendimiento de gas (m³ biogás/ kg SV)* Kg SV para cubrir demanda, el cual en su promedio es 3.22 m³/día de biogás.

5.2 Dimensionamiento de la zanja

Dado que el biodigestor tiene una sección circular y estará semienterrado, debemos realizar una excavación en forma circular, pero en la práctica es muy difícil lograr esto, en especial en zonas rurales, por lo que la sección enterrada suele ser una trapezoidal.

Al enterrar el biodigestor en una sección trapezoidal este puede deformarse y variar su volumen, probablemente disminuyendo la producción de biogás, es por eso que se debe tener especial cuidado al seleccionar el diámetro del biodigestor.

En esta investigación después de numeras pruebas se ha seleccionado un biodigestor de 4m de circunferencia y de 6.3m de longitud, con un volumen de 8m³

La parte enterrada tendrá la siguiente sección (esta parte será ocupada por la parte liquida):

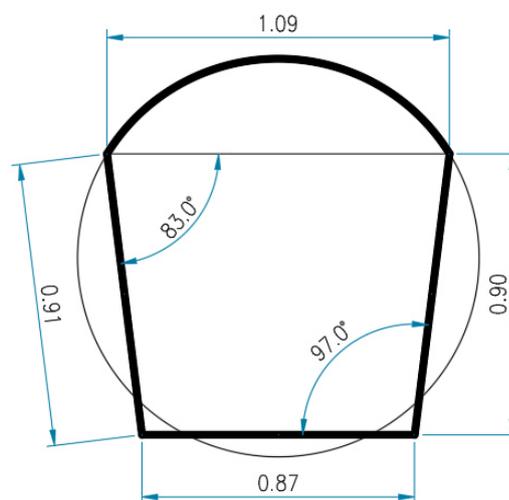


Figura 17. Sección del digestor

Fuente: Propia

La sección trapezoidal tiene un área de 0.88 m², multiplicado por la longitud de 6.30m se obtiene un volumen 5.54 m³, que es equivalente al volumen del líquido calculado en la sección anterior. La parte restante será para almacenar el biogás y tendrá un volumen de 1.45m³.

5.3 Presión de operación

El objetivo en esta sección es determinar la presión máxima de operación, para lo cual usamos la siguiente ecuación:

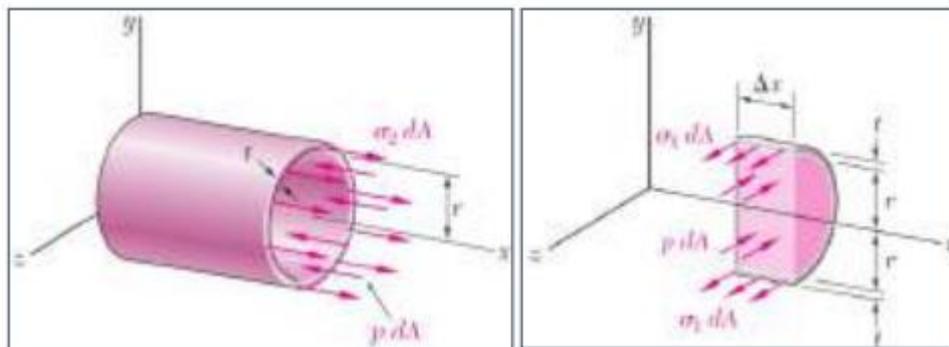


Figura 18. Fuerzas internas de una sección de pared delgada

Fuente: Beer (2010)

$$\sigma = p \cdot r / t \quad \text{o} \quad p = \sigma \cdot t / r$$

Donde:

σ : Esfuerzo tangencial

p : Presión manométrica

r : Radio

t : Espesor

Es así que obtenemos las presiones máximas de operación:

Tipo de geomembrana	Espesor membrana (t) (mm)	Presión interna máxima (p) (Kpa):
HDPE	0.75	12.9
Resistencia a la fluencia: σ₁ = 12 Mpa	1	17.1
	1.25	21.4
	1.5	25.7
PVC	0.5	10.9
Resistencia a la fluencia: σ₁ = 15 Mpa	0.75	16.1
	1	21.4
	1.25	26.8
	1.5	32.1

Tabla 4. Presión interna máxima de HDPE y PVC

Fuente: Propia

La presión máxima de operación no debe exceder los 12.9KPa, para lo cual se colocarán válvulas de alivio adecuadas.

5.4 Gasómetro

La producción de gas es continua y esta se consume en circunstancias normales de un hogar, pero se vuelve discontinua en las horas que no son usadas, el intervalo más crítico es durante la noche, el gasómetro se encargará de acumular el gas durante este intervalo crítico definido como 10 horas (desde las 8:30pm hasta las 6:30am del día siguiente).

Para calcular en volumen del gasómetro multiplicamos la producción horaria por 10 horas, GasDia = 3.22 m³/día, GasHora = GasDia/24 = 0.1342m³/h, entonces Gas10h = GasDia*10horas = 1.34m³, por lo tanto, el autor determina usar un gasómetro de 2.00 m³ por posibles incrementos y seguridad.

Generalmente el diseño del gasómetro es idéntico al del biodigestor, en este caso también será del mismo material que del biodigestor diseñado anteriormente.

Debido a que los equipos que consumirán el gas (cocina, calefactores, etc.) requieren una presión aproximada de 7 a 20 cm de columna de agua, es que se debe dotar de un mecanismo que le brinde una presión constante, una solución económica planteada en esta investigación es proporcionar un peso que aplaste la bolsa de gas del gasómetro. La siguiente figura muestra un mecanismo para dotar de presión de una manera convencional:



Figura 19. Mecanismo para dotar de una presión constante al biodigestor.

Fuente: Villanueva y Cotrina (2013)

5.5 Tuberías de alimentación y descarga

Generalmente se suele usar depósitos de entrada y salida de mampostería de ladrillo recubierto concreto. Ver la siguiente figura:



Figura 20. Suministro de estiércol en la cámara de recepción

Fuente: Villanueva y Cotrina (2013)

La poza de entrada será construida con ladrillo y mortero de concreto y tendrá una dimensión de 0.50m x 0.50m x 0.50m. La tubería de entrada será de 4” y así también la de la salida, se supone que la mezcla esta diluida.

EL pozo de descarga o almacenamiento dependerá del uso que se le dé al biól, si se tiene cultivos cerca podría usarse diariamente y la dimensión de esta poza seria la misma que la de la entrada. En esta investigación se supone una poza de descarga de 2m x 0.50m x 0.50m, el doble de la de salida, como se muestra en la siguiente figura:

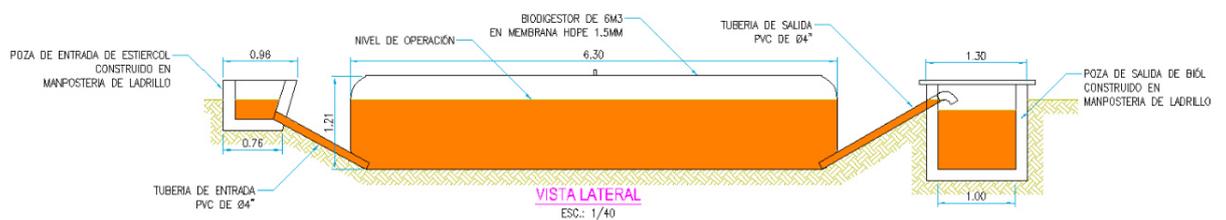


Figura 21. Diseño longitudinal del biodigestor.

Fuente: Elaboración propia

5.6 Limpieza del biogás

Mientras que menor sea el contenido de ácido sulfúrico y mercaptanos en el gas, menos será el desgaste de los componentes del biodigestor, la purificación del gas consiste en lo siguiente:

5.6.1 Reducción del sulfuro de hidrogeno

Dentro del biodigestor se produce sulfuro de hidrogeno en solución acuosa, además sabemos que el sulfuro de hidrogeno (H₂S) es invisible y tiene olor a huevos podridos, por lo que, si el gas no tiene olor, significa que no tiene sulfuro de hidrogeno, pero el motivo principal para retirar este compuesto es que en la combustión causa corrosión en las partes metálicas.

De los di frentes métodos que existen para remover este compuesto, en esta investigación se plantea usar oxido férrico, por ejemplo, se puede usar o esponja metálica oxidada. Esta esponja debe colocarse dentro la tubería, es así que el óxido férrico hace reacción con el sulfuro de hidrogeno para dar como resultado sulfuro de hierro (que no es gaseoso) y agua.

Se supone cambiar a esponja oxidada cada 15 días.

5.6.2 Regulador de presión

La reducción de presión del gas se puede lograr fácilmente mediante tramas de agua tipo T, esto porque la presión es igual a la altura de columna de agua que sirve como un regular de presión al desbordarse el agua, tal como se muestra en la siguiente figura:

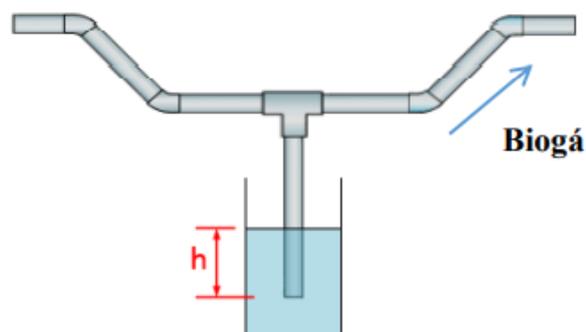


Figura 22. Regulador de presión usando agua y codos de 45°

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera la presión que se desea ajustando la altura de agua, cuando la presión es mayor que la columna de agua, el gas saldrá formando burbujas de aire. Un recipiente con 25cm de agua suele ser suficiente para la mayoría de plantas de biogás.

5.7 Diseño de las líneas de captación y conducción (tubería)

El gas producido por la digestión anaeróbica contiene sulfuro de hidrogeno y las tuberías que se instalaran no pueden ser de acero, pero sí de fierro galvanizado y PVC.

Las tuberías de PVC no son metálicas y son las más utilizadas, sin embargo, en los últimos años están siendo utilizando las tuberías HDPE además de su uso extendido en la minería e industria general. La siguiente tabla no dan el diseño de la tubería.

Longitud (m):	Tubería de fierro galvanizado			Tubería de PVC / HDPE		
	20	60	100	20	60	100
Caudal (m3/h)						
0.1	Ø 1/2"	Ø 1/2"	Ø 1/2"	Ø 1/2"	Ø 1/2"	Ø 1/2"
0.2	Ø 1/2"	Ø 1/2"	Ø 1/2"	Ø 1/2"	Ø 1/2"	Ø 1/2"
0.3	Ø 1/2"	Ø 1/2"	Ø 1/2"	Ø 1/2"	Ø 1/2"	Ø 1/2"
0.4	Ø 1/2"	Ø 1/2"	Ø 1/2"	Ø 1/2"	Ø 1/2"	Ø 1/2"
0.5	Ø 1/2"	Ø 1/2"	Ø 3/4"	Ø 1/2"	Ø 1/2"	Ø 3/4"
1.0	Ø 3/4"	Ø 3/4"	Ø 3/4"	Ø 1/2"	Ø 3/4"	Ø 3/4"
1.5	Ø 3/4"	Ø 3/4"	Ø 1"	Ø 1/2"	Ø 3/4"	Ø 3/4"
2.0	Ø 3/4"	Ø 1"	Ø 1"	Ø 3/4"	Ø 3/4"	Ø 1"

Tabla 5. Diámetro de diseño según material de tubería

Fuente: Kossmann y Ponitz

En esta investigación se propone usar tuberías PVC de Ø 3/4" dado que en la mayoría de tramos estará enterrado.

5.8 Presupuesto de obra

5.8.1 Presupuesto

PRESUPUESTO

Nombre 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

Cliente UNIVERSIDAD CONTINENTAL

Lugar AREQUIPA

Fecha viernes, 19 de Junio de 2020

Item	Descripción	Unidad	Metrado	Precio (S/.)	Parcial (S/.)	Total (S/.)
01	Seguridad y Salud					2,227.00
01.01	Seguridad y salud durante el trabajo					1,126.00
01.01.01	Equipos de seguridad individual para construcción	und	6.00	156.00	936.00	
01.01.02	Señalización temporal	glb	1.00	190.00	190.00	
01.02	Protección y prevención contra el COVID-19					1,101.00
01.02.01	Limpieza y desinfección en obra	dia	30.00	32.30	969.00	
01.02.02	Kit de protección, limpieza y desinfección personal	und	6.00	22.00	132.00	
02	Construcción de la planta de biogas					3,805.57
02.01	Trazo y replanteos					25.49
02.01.01	Trazo, nivelación y replanteo	m2	33.99	0.75	25.49	
02.02	Movimiento de tierras					1,012.57
02.02.01	Excavación manual	m3	23.02	25.35	583.56	
02.02.02	Perfilado y compactado manual	m2	95.30	0.64	60.99	
02.02.03	Eliminación de desmonte	m3	29.92	12.30	368.02	
02.03	Poza de entrada de estiercol					244.07
02.03.01	Muro tipo sogá con ladrillo mecanizado	m2	2.06	82.06	169.04	
02.03.02	Tarrajeo con cemento y arena	m2	4.12	18.21	75.03	
02.04	Poza de salida de biól					645.72
02.04.01	Muro tipo sogá con ladrillo mecanizado	m2	5.45	82.06	447.23	
02.04.02	Tarrajeo con cemento y arena	m2	10.90	18.21	198.49	
02.05	Biodigestor					1,023.92
02.05.01	Membrana HDPE 1.5mm incluye instalación	m2	28.00	20.00	560.00	
02.05.02	Accesorios de operacion de biodigestor	glb	1.00	463.92	463.92	
02.06	Gasómetro					186.60
02.05.01	Membrana HDPE 1.5mm incluye instalación	m2	9.33	20.00	186.60	
02.07	Tubería de conducción de biogas					667.20
02.07.01	Tubería PVC de Ø3/4"	m	54.68	10.20	557.74	
02.07.02	Accesorios de PVC	glb	1.00	109.46	109.46	
Costo Directo						6,032.57
Gastos Generales (20%)						1,206.51
Utilidad (10%)						603.26
Sub Total						7,842.34
IGV (18%)						1,411.62
Presupuesto Total						9,253.96

5.8.2 Planilla de metrados

Item	Descripción	Veces	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Total	Unidad
01	Seguridad y Salud							
01.01	Seguridad y salud durante el trabajo							
01.01.01	Equipos de seguridad individual para construcción						6.00	und
	<i>Operarios</i>	2.00				2.00		
	<i>Peones</i>	4.00				4.00		
01.01.02	Señalización temporal						1.00	glb
	<i>Señalización temporal</i>	1.00				1.00		
01.02	Protección y prevención contra el COVID-19							
01.02.01	Limpieza y desinfección en obra						30.00	dia
	<i>Dias de ejecución de la obra</i>	30.00				30.00		
01.02.02	Kit de protección, limpieza y desinfección personal						6.00	und
	<i>Operarios</i>	2.00				2.00		
	<i>Peones</i>	4.00				4.00		
02	Construcción de la planta de biogas							
02.01	Trazo y replanteos							
02.01.01	Trazo, nivelación y replanteo						33.99	m2
	<i>Biodigestor</i>	1.00	6.30	1.09		6.87		
	<i>Tuberías de 4"</i>	2.00	1.15	0.50		1.15		
	<i>Poza de entrada</i>	1.00	0.95	0.80		0.76		
	<i>Poza de salida</i>	1.00	1.45	0.80		1.16		
	<i>Gasometro</i>	1.00	2.00	1.09		2.18		
	<i>Tubería de 3/4"</i>	1.00	43.74	0.50		21.87		
02.02	Movimiento de tierras							
02.02.01	Excavación manual						23.02	m3
	<i>Biodigestor</i>	1.00	6.30	1.09	0.91	6.25		
	<i>Tuberías de 4"</i>	2.00	1.15	0.50	0.90	1.04		
	<i>Poza de entrada</i>	1.00	0.95	0.80	0.40	0.30		
	<i>Poza de salida</i>	1.00	1.45	0.80	1.05	1.22		
	<i>Gasometro</i>	1.00	2.00	1.09	0.50	1.09		
	<i>Tubería de 3/4"</i>	1.00	43.74	0.50	0.60	13.12		
02.02.02	Perfilado y compactado manual						95.30	m2
	<i>Biodigestor</i>	3.00	6.30	1.09		20.60		
	<i>Tuberías de 4"</i>	2.00	1.15	0.50		1.15		
	<i>Poza de entrada</i>	3.00	0.95	0.80		2.28		
	<i>Poza de salida</i>	3.00	1.45	0.80		3.48		
	<i>Gasometro</i>	1.00	2.00	1.09		2.18		
	<i>Tubería de 3/4"</i>	3.00	43.74	0.50		65.61		
02.02.03	Eliminación de desmonte						29.92	m3
	<i>Productor del corte</i>	1.30	23.02			29.92		
02.03	Poza de entrada de estiercol							
02.03.01	Muro tipo sogá con ladrillo mecanizado						2.06	m2
	<i>Poza de entrada</i>	1.00	2.67		0.65	1.74		
	<i>Base</i>							
	<i>Poza de entrada</i>	1.00	0.65	0.50		0.33		

02.03.02	Tarrajeo con cemento y arena						4.12	m2
	<i>Poza de entrada</i>	2.00	2.67		0.65	3.47		
	<i>Base</i>							
	<i>Poza de entrada</i>	2.00	0.65	0.50		0.65		
02.04	Poza de salida de biól							
02.04.01	Muro tipo sogá con ladrillo mecanizado						5.45	m2
	<i>Poza de salida</i>	1.00	3.90		1.25	4.88		
	<i>Base</i>							
	<i>Poza de salida</i>	1.00	1.15	0.50		0.58		
02.04.02	Tarrajeo con cemento y arena						10.90	m2
	<i>Poza de salida</i>	2.00	3.90		1.25	9.75		
	<i>Base</i>							
	<i>Poza de salida</i>	2.00	1.15	0.50		1.15		
02.05	Biodigestor							
02.05.01	Membrana HDPE 1.5mm incluye instalación						28.00	m2
	<i>Membrana HDPE 1.5mm incluye instalación</i>	1.00	7.00	4.00		28.00		
02.05.02	Accesorios de operacion de biodigestor						1.00	glb
	<i>Accesorios</i>	1.00				1.00		
02.06	Gasómetro							
02.05.01	Membrana HDPE 1.5mm incluye instalación						9.33	m2
	<i>Membrana HDPE 1.5mm incluye instalación</i>	1/3	28.00			9.33		
02.07	Tubería de conducción de biogas							
02.07.01	Tubería PVC de Ø3/4"						54.68	m
	<i>Tubería de 3/4"</i>	1.25	43.74			54.68		
02.07.02	Accesorios de PVC						1.00	glb
	<i>Accesorios</i>	1.00				1.00		

5.8.3 Lista de insumos

LISTA DE INSUMOS

Nombre	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
Cliente	UNIVERSIDAD CONTINENTAL
Lugar	AREQUIPA
Fecha	viernes, 19 de Junio de 2020

<i>Tipo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Precio (S/.)</i>	<i>Parcial (S/.)</i>
Mano de obra					
	Operario	hh	64.71	9.62	622.48
	Peon	hh	278.65	7.69	2,142.79
					2,765.27
Materiales					
	Alcohol en gel	und	6.00	12.00	72.00
	Arena fina	m3	0.25	55.00	13.67
	Arena gruesa	m3	0.14	60.00	8.11
	Casco	und	6.00	35.00	210.00
	Cemento portland tipo IP 42.5kg	bls	3.38	21.50	72.62
	Chaleco de seguridad	und	6.00	45.00	270.00
	Cinta plastica amarilla	rl	2.00	50.00	100.00
	Cinta teflon	rl	2.91	1.50	4.37
	Clavo para madera con cabeza de 3"	kg	0.09	4.00	0.34
	Codo PVC SAP Ø3/4"	pza	10.00	2.00	20.00
	Cordel nylon x 100M	rl	0.09	20.00	1.70
	Guante de cuero	par	12.00	8.00	96.00
	Ladrillo mecanizado 9x12x24cm	und	315.42	1.50	473.13
	Malla plástica color naranja	rl	2.00	45.00	90.00
	Mascarilla de tela N95	und	6.00	10.00	60.00
	Pegamento transparente oatey extra reforzado	gln	0.44	120.00	52.49
	Reductor de sulfuro de hidrógeno casero	und	2.00	30.00	60.00
	Regla de aluminio	pza	0.23	70.00	15.78
	Regulador de presión casero	und	2.00	25.00	50.00
	Tee PVC SAP Ø3/4"	pza	5.00	2.50	12.50
	Tubería PVC Ø4" x 3M	pza	1.00	35.00	35.00
	Tubería PVC SAP C/Rosca Ø3/4" x 5m	pza	11.48	15.00	172.24
	Union PVC SAP Ø3/4"	pza	10.94	1.50	16.41
	Valvula esférica Ø3/4"	und	3.00	55.00	165.00
	Wincha de 50m	und	0.07	75.00	5.10
	Yeso de 28kg	bls	0.17	8.00	1.36
	Zapato de seguridad	par	6.00	60.00	360.00
					2,437.82
Herramientas manuales					
	Herramientas manuales	%Mo	-	-	77.78
					77.78
Equipos					
	Nivel de ingeniero	hm	0.68	7.50	5.10
					5.10
Sub Contratos					
	Geomembrana HDPE 1.5mm incluye instalacion	m2	37.33	20.00	746.60
					746.60

5.8.4 Análisis de costos unitarios

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS

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

Nombre: ROMARIO SENCIA
 Lugar: AREQUIPA
 Fecha: viernes, 19 de Junio de 2020

01.01.01	Equipos de seguridad individual para construcción			Rendimiento:	1 und/Día
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Materiales					
Casco	und	-	1.0000	35.00	35.00
Guante de cuero	par	-	2.0000	8.00	16.00
Zapato de seguridad	par	-	1.0000	60.00	60.00
Chaleco de seguridad	und	-	1.0000	45.00	45.00
					156.00
				Precio unitario:	156.00

01.01.02	Señalización temporal			Rendimiento:	1 glb/Día
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Materiales					
Cinta plastica amarilla	rll	-	2.0000	50.00	100.00
Malla plástica color naranja	rll	-	2.0000	45.00	90.00
					190.00
				Precio unitario:	190.00

01.02.01	Limpieza y desinfección en obra			Rendimiento:	2 día/Día
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de obra					
Peon	hh	1.00	4.0000	7.69	30.76
					30.76
Herramienta manual					
Herramientas manuales	%Mo	-	5.0000	-	1.54
					1.54
				Precio unitario:	32.30

01.02.02	Kit de protección, limpieza y desinfección personal			Rendimiento:	1 und/Día
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Materiales					
Mascarilla de tela N95	und	-	1.0000	10.00	10.00
Alcohol en gel	und	-	1.0000	12.00	12.00
					22.00
				Precio unitario:	22.00

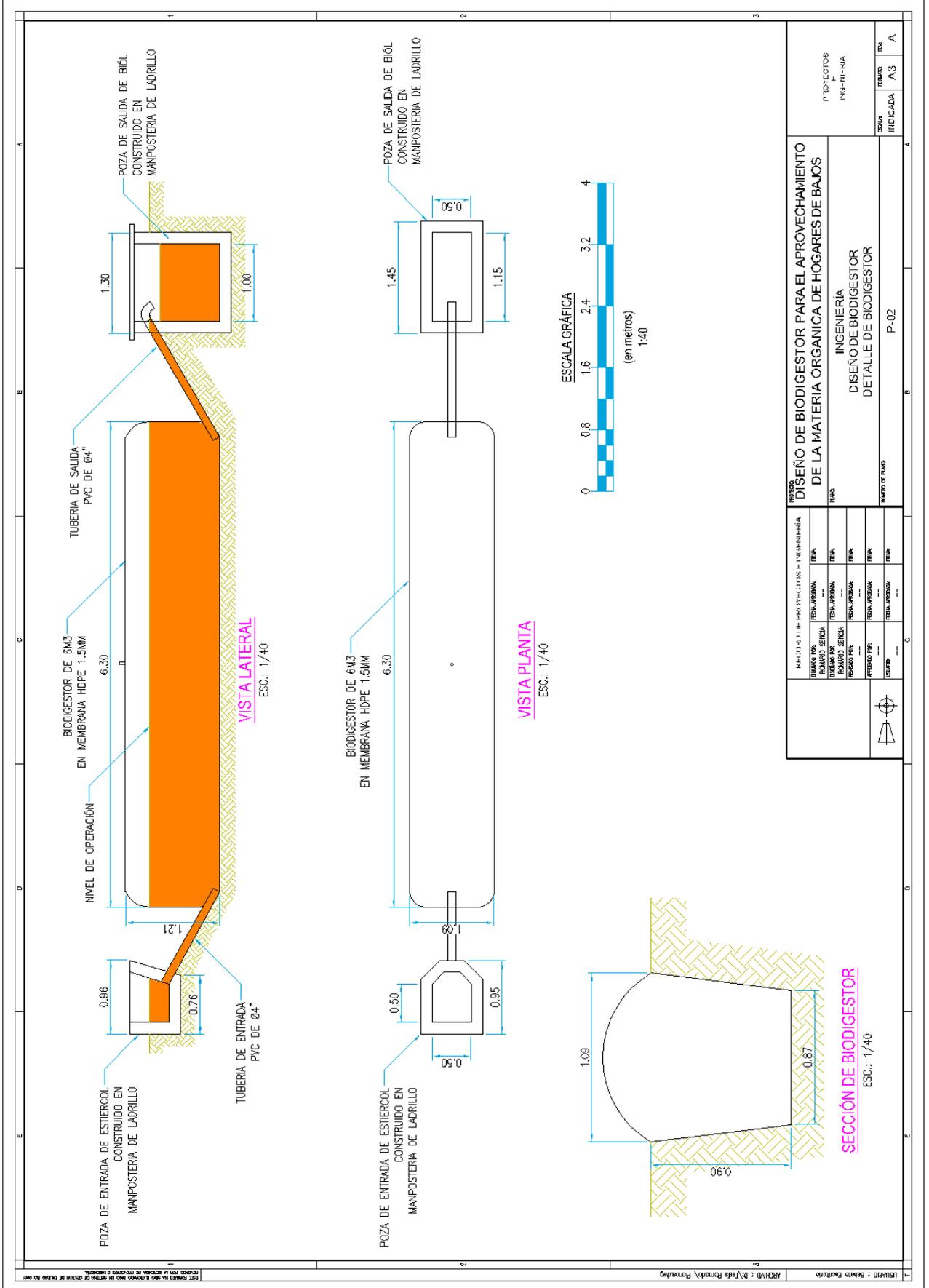
02.01.01	Trazo, nivelación y replanteo			Rendimiento:	400 m2/Día
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de obra					
Peon	hh	1.00	0.0200	7.69	0.15
Operario	hh	1.00	0.0200	9.62	0.19
					0.34
Materiales					
Yeso de 28kg	bls	-	0.0050	8.00	0.04
Clavo para madera con cabeza de 3"	kg	-	0.0031	4.00	0.01
Cordel nylon x 100M	rll	-	0.0025	20.00	0.05
Wincha de 50m	und	-	0.0020	75.00	0.15
					0.25
Herramienta manual					
Herramientas manuales	%Mo	-	3.0000	-	0.01
					0.01
Equipos					
Nivel de ingeniero	hm	1.00	0.0200	7.50	0.15
					0.15
				Precio unitario:	0.75

02.02.01 Excavación manual				Rendimiento:	2.5 m3/Día	
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cuadrilla</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio S/.</i>	<i>Parcial S/.</i>	
Mano de obra						
Peon	hh	1.00	3.2000	7.69	24.61	
					24.61	
Herramienta manual						
Herramientas manuales	%Mo	-	3.0000	-	0.74	
					0.74	
				Precio unitario:		25.35
02.02.02 Perfilado y compactado manual				Rendimiento:	100 m2/Día	
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cuadrilla</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio S/.</i>	<i>Parcial S/.</i>	
Mano de obra						
Peon	hh	1.00	0.0800	7.69	0.62	
					0.62	
Herramienta manual						
Herramientas manuales	%Mo	-	3.0000	-	0.02	
					0.02	
				Precio unitario:		0.64
02.02.03 Eliminación de desmote				Rendimiento:	5 m3/Día	
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cuadrilla</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio S/.</i>	<i>Parcial S/.</i>	
Mano de obra						
Peon	hh	1.00	1.6000	7.69	12.30	
					12.30	
				Precio unitario:		12.30
02.03.01 Muro tipo sogá con ladrillo mecanizado				Rendimiento:	8 m2/Día	
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cuadrilla</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio S/.</i>	<i>Parcial S/.</i>	
Mano de obra						
Operario	hh	1.00	1.0000	9.62	9.62	
Peon	hh	0.50	0.5000	7.69	3.85	
					13.47	
Materiales						
Arena gruesa	m3	-	0.0180	60.00	1.08	
Cemento portland tipo IP 42.5kg	bls	-	0.1585	21.50	3.41	
Ladrillo mecanizado 9x12x24cm	und	-	42.0000	1.50	63.00	
Regla de aluminio	pza	-	0.0100	70.00	0.70	
					68.19	
Herramienta manual						
Herramientas manuales	%Mo	-	3.0000	-	0.40	
					0.40	
				Precio unitario:		82.06
02.03.02 Tarrajeo con cemento y arena				Rendimiento:	8 m2/Día	
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cuadrilla</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio S/.</i>	<i>Parcial S/.</i>	
Mano de obra						
Operario	hh	1.00	1.0000	9.62	9.62	
Peon	hh	0.50	0.5000	7.69	3.85	
					13.47	
Materiales						
Arena fina	m3	-	0.0165	55.00	0.91	
Cemento portland tipo IP 42.5kg	bls	-	0.1457	21.50	3.13	
Regla de aluminio	pza	-	0.0100	70.00	0.70	
					4.74	
				Precio unitario:		18.21

02.04.01	Muro tipo sogá con ladrillo mecanizado			Rendimiento:	8 m2/Día	
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cuadrilla</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio S/.</i>	<i>Parcial S/.</i>	
Mano de obra						
Operario	hh	1.00	1.0000	9.62	9.62	
Peon	hh	0.50	0.5000	7.69	3.85	
					13.47	
Materiales						
Arena gruesa	m3	-	0.0180	60.00	1.08	
Cemento portland tipo IP 42.5kg	bls	-	0.1585	21.50	3.41	
Ladrillo mecanizado 9x12x24cm	und	-	42.0000	1.50	63.00	
Regla de aluminio	pza	-	0.0100	70.00	0.70	
					68.19	
Herramienta manual						
Herramientas manuales	%Mo	-	3.0000	-	0.40	
					0.40	
					Precio unitario: 82.06	
02.04.02	Tarrajeo con cemento y arena			Rendimiento:	8 m2/Día	
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cuadrilla</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio S/.</i>	<i>Parcial S/.</i>	
Mano de obra						
Operario	hh	1.00	1.0000	9.62	9.62	
Peon	hh	0.50	0.5000	7.69	3.85	
					13.47	
Materiales						
Arena fina	m3	-	0.0165	55.00	0.91	
Cemento portland tipo IP 42.5kg	bls	-	0.1457	21.50	3.13	
Regla de aluminio	pza	-	0.0100	70.00	0.70	
					4.74	
					Precio unitario: 18.21	
02.05.01	Membrana HDPE 1.5mm incluye instalación			Rendimiento:	1 m2/Día	
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cuadrilla</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio S/.</i>	<i>Parcial S/.</i>	
Sub contratps						
Geomembrana HDPE 1.5mm incluye instalacion	m2	-	1.0000	20.00	20.00	
					20.00	
					Precio unitario: 20.00	
02.05.02	Accesorios de operacion de biodigestor			Rendimiento:	0.5 glb/Día	
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cuadrilla</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio S/.</i>	<i>Parcial S/.</i>	
Mano de obra						
Operario	hh	1.00	16.0000	9.62	153.92	
					153.92	
Materiales						
Valvula esférica Ø3/4"	und	-	3.0000	55.00	165.00	
Regulador de presión casero	und	-	2.0000	25.00	50.00	
Tubería PVC Ø4" x 3M	pza	-	1.0000	35.00	35.00	
Reductor de sulfuro de hidrógeno casero	und	-	2.0000	30.00	60.00	
					310.00	
					Precio unitario: 463.92	
02.05.01	Membrana HDPE 1.5mm incluye instalación			Rendimiento:	1 m2/Día	
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cuadrilla</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio S/.</i>	<i>Parcial S/.</i>	
Sub contratps						
Geomembrana HDPE 1.5mm incluye instalacion	m2	-	1.0000	20.00	20.00	
					20.00	
					Precio unitario: 20.00	

02.07.01 Tubería PVC de Ø3/4"				Rendimiento:	25 m/Día	
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de obra						
Operario	hh	1.00	0.3200	9.62	3.08	
Peon	hh	1.00	0.3200	7.69	2.46	
					5.54	
Materiales						
Pegamento transparente oatey extra reforzado	gln	-	0.0080	120.00	0.96	
Cinta teflon	rlf	-	0.0500	1.50	0.08	
Tubería PVC SAP C/Rosca Ø3/4" x 5m	pza	-	0.2100	15.00	3.15	
Union PVC SAP Ø3/4"	pza	-	0.2000	1.50	0.30	
					4.49	
Herramienta manual						
Herramientas manuales	%Mo	-	3.0000	-	0.17	
					0.17	
					Precio unitario:	10.20

02.07.02 Accesorios de PVC				Rendimiento:	1 glb/Día	
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de obra						
Operario	hh	1.00	8.0000	9.62	76.96	
					76.96	
Materiales						
Codo PVC SAP Ø3/4"	pza	-	10.0000	2.00	20.00	
Tee PVC SAP Ø3/4"	pza	-	5.0000	2.50	12.50	
					32.50	
					Precio unitario:	109.46



PROYECTO		INGENIERIA		INDICACION		FECHA		REV.	
DISEÑO DE BIODIGESTOR PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA MATERIA ORGANICA DE HOGARES DE BAJOS		INGENIERIA		A3		P-02		A	
DISEÑO DE BIODIGESTOR		DETALLE DE BIODIGESTOR		P-02					
AUTOR		DISEÑADOR		REVISOR		APROBADO		FECHA	

Conclusiones

1. El problema de los residuos orgánicos producto de las excretas de animales en la población arequipeña debe ser tratada para minimizar riesgos en la salud de los pobladores.
2. El tratamiento de estos residuos orgánicos permite además aprovechar el gas resultante, biogás, para usarlo como combustible natural para cocina y calefactores de la vivienda.
3. El biodigestor diseñado tiene un rendimiento de 0.4 m³ de biogás por 1.0 kg de estiércol, para cubrir la demanda diaria de un hogar se necesitan 7.69 kg de estiércol, el cual generará 3.22 m³/día de biogás.
4. La elaboración de planos y presupuesto hacen posible la construcción de este biodigestor doméstico, el cual se realizó teniendo en cuenta los costos actuales del mercado.

Recomendaciones

1. Descrito los problemas que genera la acumulación de residuos orgánicos al aire libre producto de las excretas de animales, es recomendable la construcción de un biodigestor para mitigar este problema y a su aprovechar el biogás y biól generado.
2. Los materiales planteados para el diseño fueron relativamente los más resistentes, por el clima en Arequipa, otros estudios pueden definir otros materiales con PVC en lugar HDPE para las membranas del digestor, el cual es mucho más económico.
3. Los planos y presupuesto elaborado hacen posible su construcción, pero se recomienda que estos sean impulsados mediante proyectos de los gobiernos locales.
4. El diseño realizado en esta investigación, que específicamente fue hecho para la región de Arequipa puede ser base para el diseño en otras zonas del Perú.

Referencias

- [1] Abbassi-Guendouz, A., Brockmann, D., Trably, E., Dumas, C., Delgenes, J.-P., Steyer, J.-P., y otros. "Total solids content drives high solid anaerobic digestion via mass transfer limitation", (2012).
- [2] Agencia Andaluza de la Energía. Consejería de economía, innovación y ciencia. "Estudio básica biogás", Junta de Andalucía. (2011).
- [3] Al Seadi, T., Rutz, D., Prassl, H., Kottner, M., Finsterwalder, T., Volk, S., "Biogas handbook". University of Southern Denmark Esbjerg, Niels Bohrs, (2008).
- [4] Arnott, "The biogas/biofertilizer business handbook (Third Edition)". Peace Corps, M. (1985).
- [5] Appels, L., Lauwers, J., Degreve, J., Helsen, L., Lievens, B., Willems, K., "Anaerobic digestion in global bio-energy production: Potential and research challenges. Renewable and Sustainable Energy Reviews", (2011).
- [6] Winston Arrieta-Palacios, "Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado", Piura, junio de 2016.
- [7] Botero, R. y Preston, T. R. "Manual de instalación de un biodigestor a bajo costo. Cali, Colombia. 1986.
- [8] Marti Herrero, Jaime. "Biodigestores familiares: guía de diseño y manual de instalación". Bolivia. 2008.