

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR PLÁSTICO DE FLUJO CONTINUO, A PARTIR DE DESECHOS ORGÁNICOS PARA LA HACIENDA SAN ANTONIO DEL IASA II, PERTENECIENTE A LA ESPE”.

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

CAPT. MILTON VINICIO SÁNCHEZ MENA

CAPT. GERMÁN ALEXANDER PAZMIÑO GARZÓN

DIRECTOR: ING. ROBERTO GUTIERREZ

CODIRECTOR: ING. ERNESTO SORIA

Sangolquí, 2007-03-22

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR PLÁSTICO DE FLUJO CONTINUO, A PARTIR DE DESECHOS ORGÁNICOS PARA LA HACIENDA SAN ANTONIO DEL IASA II, PERTENECIENTE A LA ESPE”** fue realizado en su totalidad por los señores CAPT. SANCHEZ MENA MLTON VINICIO y CAPT. PAZMIÑO GARZÓN GERMÁN ALEXANDER como requerimiento parcial a la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Ing. Roberto Gutiérrez
DIRECTOR

Ing. Ernesto Soria
CODIRECTOR

Santo Domingo, 2007-03-22

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR PLÁSTICO DE FLUJO CONTINUO, A PARTIR DE DESECHOS ORGÁNICOS PARA LA HACIENDA SAN ANTONIO DEL IASA II, PERTENECIENTE A LA ESPE.”

ELABORADO POR:

Capt. Milton V. Sanchez M.
CC: 0501797609

Capt. Germán A. Pazmiño G.
CC: 1708223191

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

ING. JUAN DÍAZ T.
COORDINADOR DE LA CARRERA

Sangolquí, 2007-03-22

DEDICATORIA

Le agradezco a mi Dios por darme vida y permitirme haber llegado a cumplir una meta más en mi vida.

A mis queridos padres por todo el sacrificio brindado, la confianza y el amor que me dieron para emprender nuevos retos en mi vida.

A mi amada esposa y a mis hijos que fueron mi inspiración, mi sustento de cada día brindándome su apoyo incondicional, su comprensión y sobre todo su inmenso amor y cariño que me permitieron culminar con éxito esta tarea emprendida.

A mi hermana, por impulsarme a ser mejor cada día y darme la fuerza necesaria para alcanzar las metas propuestas.

A mis tíos, sobrinos, primos y amigos que colaboraron de una o otra manera para culminar con éxito este proyecto.

Alexander Pazmiño G.

DEDICATORIA

A mi esposa, Salomé que día a día supo comprender y apoyar mis estudios, brindándome su amor como fuente de inspiración para seguir adelante.

A mis hijos: David, Doménica y Dayana, bendiciones de Dios, que dan sentido a todo esfuerzo y sacrificio.

A mi madre, Marthi, que me enseñó que la vida es de personas valientes y generosas.

A mi hermana Verónica, por su apoyo y cariño, aunque nos separe un océano, siempre estuvo conmigo.

Aunque ya no estén presentes, mis viejos, por ser esa luz, que desde el infinito guía mi vida.

A mi institución la Fuerza Terrestre, que a través de la Escuela Politécnica del Ejército, me da las herramientas para servir al país de mejor manera.

Milton V. Sánchez M.

AGRADECIMIENTO

Los autores presentan su más sincera gratitud a la Escuela Politécnica del Ejército, por habernos dado la oportunidad de crecer y alimentar nuestros conocimientos, formándonos como líderes y profesionales deseosos de formar parte activa en el desarrollo del Ecuador.

Al Sr. Mayo. Byron Sierra, Director del departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, a los coordinadores, profesores y laboratoristas y personal administrativo por habernos brindado las facilidades para que este proyecto llegue a culminarse con éxito.

Al Sr. Crnl. Patricio Jaramillo, Administrador de la Hacienda San Antonio (Sede Santo Domingo de los Colorados), y al personal que colaboró con este proyecto, por habernos brindado el apoyo económico y técnico para su implementación.

Un especial agradecimiento y reconocimiento al Señor Ing. Roberto Gutiérrez Director de tesis y al Señor Ing. Ernesto Soria Codirector, por su valioso apoyo que ha permitido culminar con éxito el presente proyecto.

PROYECTO DE TESIS

CAPITULO 1.

GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

La generación de energías no convencionales se ha constituido en el principal objetivo mundial que busca mejorar y conservar el medio ambiente, gracias a esto en la actualidad se están implementando biodigestores productores de biogás en base a desechos orgánicos a un bajo costo y de fácil construcción.

De acuerdo con investigaciones realizadas las primeras menciones sobre biogás se remontan al año 1.600 considerándose como un gas proveniente de la descomposición de la materia orgánica.

En 1890 se construye el primer biodigestor en la India y en 1896 en Exeter, Inglaterra, se conoce de los primeros digestores que producían gas por medio de los lodos cloacales fermentados que permitieron el funcionamiento de las lámparas de alumbrado público.

Terminada la segunda guerra mundial creció de manera asombrosa el uso del biogás, difundiéndose especialmente en Europa con la creación de fábricas productoras de biogás el mismo que sirvió de combustible para tractores y automóviles, difundiéndose el uso de los tanques Imhoff para el tratamiento de aguas cloacales colectivas,

comienza la difusión de los biodigestores a nivel rural en Europa, China e India países líderes en la utilización de energía obtenida a través de la biomasa.

Esta forma de aprovechamiento se vio interrumpida por el descubrimiento de los combustibles fósiles cuyo desarrollo originó un poder económico muy grande que desplazó a estos tipos de energía a segundo plano pero es en la década de los 70 donde toma gran importancia su investigación en todo el mundo por sus características no contaminantes, costos y fácil obtención.

En la actualidad existen muchos países generadores de este tipo de tecnología y entre los más importantes tenemos: China, India, Holanda, Francia, Gran Bretaña, Suiza, Italia, EE.UU., Filipinas y Alemania.

En nuestro país es necesario desarrollar métodos eficientes y de bajo costo para la producción de energía, el uso de biogás obtenido a partir del estiércol animal permite generar energía, obtener abono natural y reducir la contaminación que generan los desechos orgánicos en los sistemas agropecuarios.

En el campo de la tecnología del biogás las investigaciones tienden a optimizar todos los procesos desde la planificación hasta la operación y mantenimiento.

Actualmente en el Ecuador, las Energías No Convencionales, no son aplicadas en su máximo potencial, debido al desconocimiento y la falta de políticas estatales de capacitación de los usuarios, motivo por el cual los diferentes trabajos realizados en este campo no han tenido el verdadero valor científico y práctico.

El uso de las energías alternativas, resulta altamente económico ya que se emplea materia prima cuyo valor es mínimo y existe gran disponibilidad.

En el Ecuador especialmente en el campo de la Biomasa, no ha existido una investigación seria y de gran interés que permita desarrollar proyectos de esta naturaleza que ayudaría a reducir el impacto que producen los combustibles fósiles.

La obtención de biogás y biol (Abono orgánico), en el campo de la Biomasa, mediante el procesamiento de los desechos orgánicos, surge como una oportunidad para intensificar la generación de este tipo de proyectos.

El IASA II dispone de un biodigestor de flujo continuo que no satisface los requerimientos en cuanto a la producción de bioabono y no es aprovechado el biogás de ninguna manera, constituyéndose en un desperdicio de energía desde el punto de vista de la ingeniería mecánica.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente el IASA II dispone de ganado vacuno, porcino, aves y que para la eliminación de excretas supone un grave problema ambiental que podría ser evitado al procesarlas de una manera adecuada generando al mismo tiempo energía útil cuyo uso los beneficiaría.

Debido al desarrollo científico en el aprovechamiento de las energías no convencionales se plantea la necesidad de usar la energía de la biomasa a favor de los procesos agrícolas y pecuarios que se desarrollan en la Hacienda San Antonio.

Actualmente existe un biodigestor que no presta los beneficios para los cuales fue creado y cuya capacidad no es suficiente para procesar los desechos orgánicos que se producen diariamente.

Debido a este problema que se ha presentado, se hace necesario crear un nuevo biodigestor que entregará la energía necesaria para cumplir con los objetivos específicos planteados en este proyecto.

Se determinará la tecnología necesaria para transformar la energía proveniente de la combustión del biogás para calentamiento y desplazamiento del biol a tanques de almacenamiento.

Este proyecto está orientado a la utilización de desechos orgánicos (estiércol de ganado bovino), que serán sometidos a biodegradación y aceleración de su tasa de descomposición, manteniendo el control de las variables implícitas en el proceso.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 GENERAL

Diseñar y construir un Biodigestor plástico de flujo continuo, a partir de desechos orgánicos para la Hacienda San Antonio del IASA II, perteneciente a la ESPE.

1.3.2 ESPECÍFICOS

- Diseñar un modelo eficiente para la extracción de gas y producción de biol.
- Construir un biodigestor plástico de flujo continuo que permita extraer la máxima cantidad de gas y biol de acuerdo al diseño planteado.
- Realizar el protocolo de pruebas de funcionamiento del sistema.
- Diseño de la tubería de transporte de biogás.
- Determinar la capacidad de producción de gas una vez realizado el protocolo de pruebas. Tanto para la cocina que sirve para calentar el alimento sustituto para los terneros, como para el accionamiento de la bomba de succión que permita llevar el biol, desde el recolector hacia los tanques reservorios que permiten la distribución de este producto.
- Diseñar una estructura para protección del biodigestor.

1.4 ALCANCE

Para el desarrollo de este proyecto se considerará dos fases esenciales:

- Estudio teórico
- Diseño y construcción

Para la primera fase que es el estudio teórico, se iniciará con la obtención y procesamiento de datos y la posterior aplicación de un modelo estequiométrico, cinético y matemático que permita definir las dimensiones de este biodigestor, cantidad de desechos orgánicos necesarios para la operación, manejo de productos obtenidos del proceso y utilización de los mismos.

Una vez determinado el presente estudio se procederá al diseño y construcción de un biodigestor óptimo que permita cubrir las necesidades de la Hacienda San Antonio, en cuanto al calentamiento del sustituto de leche de los terneros por medio de una cocina adaptada para el uso de biogás, generación de electricidad mediante el uso de un motor de combustión interna adaptado para funcionar con biogás.

1.5 JUSTIFICACIÓN

En el futuro las Energías no Convencionales serán de gran importancia no solo para el Ecuador, sino a nivel mundial, debido a que en poco tiempo se irán agotando los recursos naturales no renovables, para lo cual debemos estar preparados para reemplazarlos utilizando nuevas fuentes de energía aun no explotadas cuyo potencial rebasa las expectativas actuales del hombre.

El IASA II se ha visto en la necesidad de mejorar e implementar un nuevo sistema para la generación de biogás y biol, debido al aumento de su producción agrícola y pecuaria, situación que justifica el diseño y construcción de un nuevo biodigestor, que permita elevar los niveles de producción de la hacienda San Antonio y ahorrar gastos en los diferentes campos de operación y trabajo que desempeña. Es aquí donde se ve la importancia de implementar un biodigestor cuyo desempeño demuestre las ventajas del uso, y eficiencia de las Energías no Convencionales en relación a las tradicionales.

Al no ser aprovechado este biodigestor de la mejor manera surge la necesidad de diseñar y construir otro biodigestor de mejores características que permita el uso mas adecuado del biogás y del biol para que optimice los procesos de obtención de los mismos y satisfacer las necesidades internas de la Hacienda.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 BIOMASA

“La biomasa es la energía solar convertida por la vegetación en materia orgánica; esa energía la podemos recuperar por combustión directa o transformando la materia orgánica en otros combustibles”¹. Este concepto se lo utiliza en referencia directa a la

¹ <http://es.geocities.com/vianiorte/index.htm>

energía de la biomasa, en otras palabras, diremos al combustible energético que de manera directa o indirectamente se obtiene de recursos biológicos.

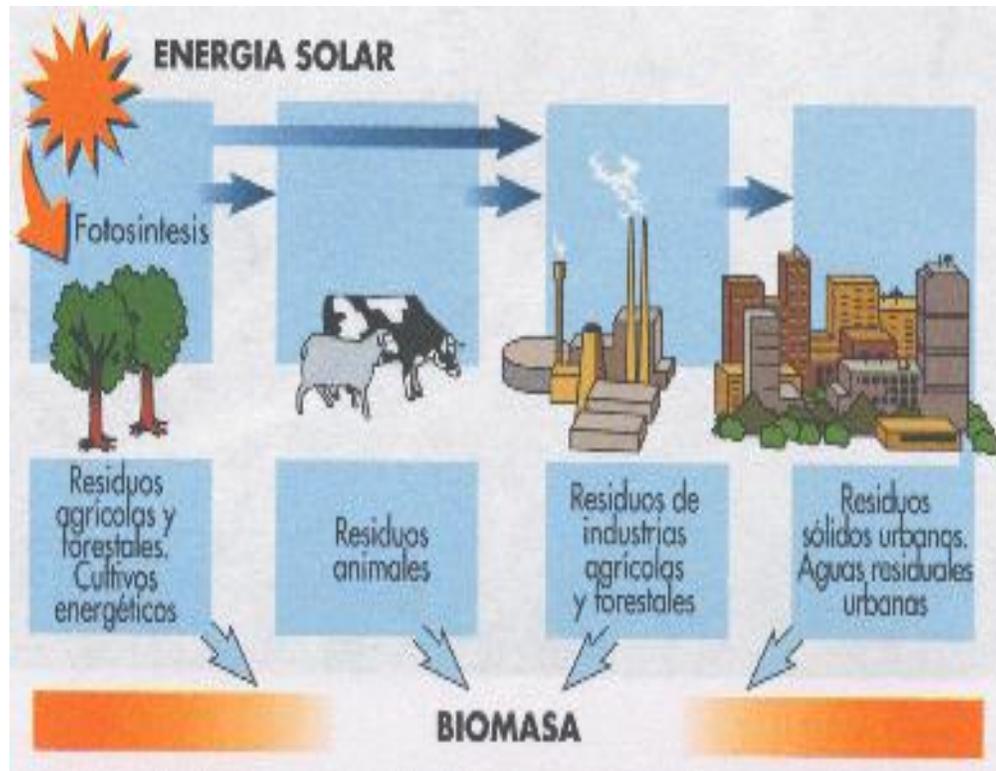


Figura 2.1 Generación de Biomasa
<http://www.aven.es/energia/biomasa.html>

La Biomasa es una fuente de energía renovable que en términos [energéticos](#), es utilizada como es el caso de la [leña](#), [biodiesel](#), [bioalcohol](#), [biogás](#), [bloque sólido combustible](#), etc.

Este tipo de energía puede obtenerse o producirse a partir de [subproductos](#) o residuos. Muchos han argumentado que para producir esta energía se necesitaría de plantaciones con grandes extensiones quitando cultivos para alimentos, o deforestando zonas protegidas.

“La energía de biomasa que procede de la madera, residuos agrícolas y estiércol, continúa siendo la fuente principal de energía de las zonas en desarrollo. En algunos casos también es el recurso económico más importante, como en Brasil, donde la caña de azúcar se transforma en etanol, y en la provincia de Sichuán, en China, donde se obtiene gas a partir de estiércol”.²

Existen varios proyectos de investigación que pretenden conseguir un desarrollo mayor de la energía de biomasa, sin embargo, la rivalidad económica que plantea con el petróleo es responsable de que dichos esfuerzos se hallen aún en una fase temprana de desarrollo.

“Los combustibles derivados de la biomasa abarcan varias formas diferentes, entre ellas los combustibles de alcohol, el estiércol y la leña. La leña y el estiércol siguen siendo combustibles importantes en algunos países en vías de desarrollo, y los elevados precios del petróleo han hecho que los países industrializados vuelvan a interesarse por la leña. Los científicos están dedicando cada vez más atención a la explotación de plantas energéticas, aunque existe cierta preocupación de que si se recurre a gran escala a la agricultura para obtener energía podrían subir los precios de los alimentos”³.

² ACUÑA, M. Biomasa y Biocombustibles. Ecuador. Fundación ecuatoriana de tecnología apropiada. Volumen No. 1. 1989. p 3.

³ ACUÑA, M. Biomasa y Biocombustibles. Ecuador. Fundación ecuatoriana de tecnología apropiada. Volumen No. 1. 1989. p 3.

El carbón, el gas natural y el petróleo tienen también su origen en la biomasa, que por estar atrapada en procesos geológicos no pudieron ser liberados y captados en la superficie terrestre.

Dentro de las principales ventajas de la biomasa y una de las más importantes a tomar en cuenta es que la misma es renovable indefinidamente y fácil de almacenar, a diferencia de las energías eólica y solar. Por el contrario su principal desventaja es que funciona con un alto volumen de combustible que hacen su transporte costoso y a la vez una razón en favor de su uso local especialmente en las áreas rurales.

El Hombre, desde sus inicios, se ha beneficiado del valor energético de la biomasa usándola para producir calor, secar sus productos o cocinar sus alimentos. La biomasa, en conjunto con la energía directa del sol y la fuerza muscular, han sido la base fundamental para el desarrollo de la humanidad en cuanto han logrado dominar la naturaleza de cierta manera y ponerla a su servicio para lograr su desarrollo.

Pero este desarrollo permitió un despliegue tecnológico en busca de nuevas fuentes de energías que ofrecían mayores beneficios por su fácil aplicación y que permitía grandes concentraciones como son el carbón, gas, petróleo, energía nuclear, etc., pero los mismos a la vez han ido perdiendo su factibilidad de uso debido al gran daño que han generado por los desechos contaminantes que producen llevando al planeta y sus habitantes a una situación de riesgo al no poder eliminarlos adecuadamente.

2.1.1 LA FORMACIÓN DE LA BIOMASA⁴

El modelo básico de captación y acumulación de la energía solar es el que llevan a cabo las especies vegetales verdes, única fuente energética renovable que conlleva asimismo un almacenamiento en forma de energía de alta calidad: la energía química. Este proceso ha mantenido la vida en la Tierra hasta nuestros días en forma de materia orgánica, que resulta ser energía solar almacenada y se denomina "energía de la biomasa".

"fotosíntesis", = transforman productos minerales sin valor energético, dióxido de carbono y agua, en materiales orgánicos de alta energía.

2.1.2 EL ORIGEN DE LA BIOMASA: LA FOTOSÍNTESIS

La formación de materia viva o biomasa a partir de la luz solar se lleva a cabo por el proceso denominado fotosíntesis gracias al cual se producen grandes moléculas de alto contenido energético (en forma de energía química), cuyo coste de almacenamiento es nulo y, en principio, sin pérdidas.

La originalidad de esta tecnología es el hecho de que toma prestadas del medio ambiente natural la energía (fotones de luz) y las materias primas consumidas (carbono, hidrógeno, nitrógeno, potasio y fósforo). La acción de construir unos edificios ordenados (macromoléculas de glucosa, principalmente) a partir de elementos suministrados en desorden por la naturaleza (carbono, hidrógeno, oxígeno) exige, de acuerdo a las leyes de la Termodinámica, cantidades muy importantes de energía (673 Kcal./mol de glucosa obtenida) de las cuales, la mayor parte es desechada a la atmósfera.

Pero, a pesar de que el rendimiento termodinámico de la fotosíntesis es particularmente bajo, la operación resulta, no obstante, rentable, debido a la gratuidad de la energía solar y de la utilidad de los productos finales (principalmente alimentos).

Como una medida del potencial de la biomasa como fuente energética, se puede indicar que por medio de la fotosíntesis se fijan en las plantas 80,000 millones de toneladas de carbono por año, con un contenido de energía que corresponde a unas diez veces el uso mundial de energía. Se puede señalar también que el contenido energético de la biomasa almacenada en la superficie terrestre es equivalente al de las reservas probadas de combustibles fósiles, incluyendo carbón, y que la energía total de las reservas estimadas de éstos últimos, sólo representa unos 130 años de fotosíntesis neta.

2.1.3 FUENTES DE BIOMASA PARA FINES ENERGÉTICOS

Hay 2 tipos de materiales orgánicos generados a partir de la fotosíntesis:

Biomasa vegetal = generado a partir de la fotosíntesis.

Biomasa animal = producidos a través de la cadena biológica.

Esta última la biomasa animal se genera a través de la biomasa residual.

Mientras que lo que hoy día se conoce como combustibles fósiles (carbón, gas natural y petróleo) no es otra cosa que "biomasa fósil".

2.1.4 LA BIOMASA Y SUS FORMAS

Como consecuencia de la actividad fotosintética de los vegetales, se forma una masa viviente que hemos denominado biomasa. Sin embargo, ésta es transformada posteriormente en los distintos niveles de seres vivos que conocemos. Por tanto, se puede hablar de biomasa vegetal cuando ésta se produce directamente como consecuencia de la fotosíntesis, mientras que aquélla biomasa que producen los seres que no son capaces de elaborar los productos químicos sólo con la ayuda de la energía solar, es decir, que utilizan en su alimentación la biomasa vegetal, la podríamos denominar biomasa animal.

Así pues, en un sentido amplio del término, se puede definir como biomasa al conjunto de materiales orgánicos generados a partir de la fotosíntesis o bien evolucionados en la cadena biológica.

Los seres humanos y los animales utilizan sólo una parte de la biomasa a su disposición, constituyendo el resto un residuo en gran medida no utilizado. Incluso en gran porcentaje de la parte utilizada es devuelta a la naturaleza como residuo. Tanto el primer caso, residuos de producción, como en el segundo, residuos de consumo o transformación, son fundamentalmente orgánicos, lo que permite definir el término biomasa residual como la originada de la forma expuesta.

Finalmente, a nadie se le oculta que lo que hoy se conoce como combustibles fósiles, carbón, gas natural y petróleo, no es otra cosa que biomasa (biomasa fósil), que se produjo en determinados períodos geológicos y, una vez enterrada, bien a través de mecanismos bioquímicos o bien por condiciones físico-químicas o por la conjunción de ambos tipos de acciones, generaron aquéllos.

Digamos como resumen que se puede definir el concepto de biomasa como el conjunto de plantas terrestres y acuáticas; sus residuos o subproductos; los residuos o subproductos derivados de la transformación de dichas plantas, bien por los animales que se alimentan de ellas o por los procesos tecnológicos de las industrias alimentarias.

2.1.5 OBTENCIÓN DE ENERGÍA ÚTIL A PARTIR DE LA BIOMASA

La podemos conseguir de dos maneras:

1. Indirectamente, mediante su transformación en productos industriales que sustituyen a otros costosos en energía fósil.
2. Directamente, utilizándola como combustible. En este último caso, se presentan dos posibilidades:
 - a. Utilizar como fuente de biomasa los llamados "cultivos energéticos".

Es decir, plantaciones destinadas exclusivamente a producir energía como son la caña de azúcar, maíz, sorgo, soya, etc.

b. Utilizar como fuente de biomasa los residuos

Los residuos son el resultado del desarrollo de la civilización actual, y están creando un problema por su magnitud y sus consecuencias. Como la mayor parte de ellos son de carácter orgánico (biomasa residual), se puede suponer que presentan un enorme potencial para la producción de energía.⁴

“La energía neta disponible en la biomasa por combustión es de alrededor de 8MJ/kg para la madera verde, 20MJ/kg para la materia vegetal seca en horno, 55MJ/kg para el metano; en comparación con cerca de 23 a 30MJ/kg para el carbón. La eficiencia del proceso de la conversión se determina cuánto la energía real puede ser utilizada en forma práctica”⁵.

2.2 BIODIGESTIÓN ANAERÓBICA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS.

“Es un proceso de fermentación natural, conocido por el hombre desde tiempo atrás, pero poco utilizado, especialmente en América Latina. Ocurre en ausencia de oxígeno (sin aire) al interior de un biodigestor, aparato que facilita el crecimiento y la proliferación de un grupo de bacterias anaerobias metanogénicas, que descomponen y tratan los residuos dejando como resultado final, un gas combustible conocido como biogás o gas Metano (CH₄) y Dióxido de Carbono (CO₂), además de un efluente líquido alcalino rico en nutrientes y materia orgánica estabilizada”⁶.

⁴ <http://es.geocities.com/vianiorte/index.htm>

⁵ <http://www.textoscientificos.com/energia/biomasa>

⁶ http://www.eco-gel.com/vivienda_tecnologia.htm

Los residuos ganaderos y los lodos de aguas residuales urbanas son la materia prima utilizada para este tratamiento, por su alto contenido en humedad y su fácil descomposición.

Una vez realizada la biodigestión anaeróbica se obtiene biogás, que es una mezcla de gas de metano entre un 55% a un 70% y dióxido de carbono entre un 27% a un 44%, y con un mínimo porcentaje de otros componentes como: nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno, etc. La cantidad producida de gas es variable, con un contenido en metano del 70%, su valor calorífica oscila entre los 5140 Kcal./m³, y puede sustituir al gas de uso doméstico de forma adecuada. Sus características se encuentran resumidas en el siguiente cuadro.

Tabla 2.1: Características de la mezcla de biogás

CARACTERISTICAS	CH₄	CO₂	H₂-H₂S	OTROS	BIOGAS 60/40
Proporciones % Volumen	55-70	27-44	1	3	100
Valor Calórico MJ/m³	35,8	-	10,8	22	21,5
Valor Calórico Kcal./m³	8600	-	2581	5258	5140
Ignición % en aire	5-15	-	-	-	6-12
Temp. ignición en °C	650-750	-	-	-	650-750
Presión crítica en Mpa	4,7	7,5	1,2	8,9	7,5-8,9
g/l	0,7	1,9	0,08	-	1,2
Densidad relativa	0,55	2,5	0,07	1,2	0,83
Inflamabilidad Vol. en % aire	5-15	-	-	-	6-12

<http://www.textoscientificos.com/energia/biogas>

Gracias a los grandes avances tecnológicos de los últimos años y ha una investigación aplicada se ha logrado descubrir el funcionamiento de los procesos microbiológicos y bioquímicos de los microorganismos que intervienen en el proceso de biodigestión.

Todo este proceso ha permitido la aplicación en diferentes campos con objetivos muy útiles, los cuales los hemos resumido en forma más explicativa en el siguiente cuadro donde se detalla cada una de las aplicaciones que se pueden obtener por medio de la digestión anaeróbica:

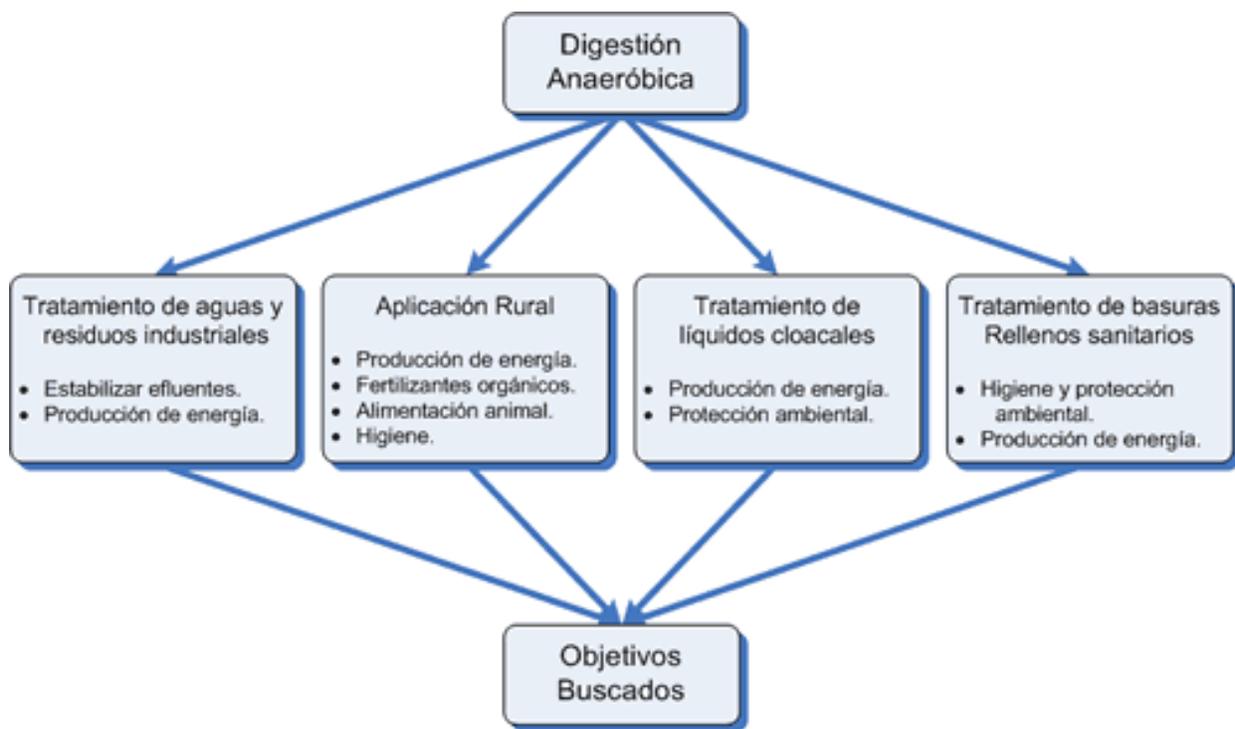


Figura 2.2 Campos de Aplicación de la Digestión Anaeróbica

<http://www.textoscientificos.com/energia/biogas>

El uso del biogás en las zonas rurales ha sido de gran utilidad ya que de ella se derivan dos campos de aplicación muy importantes:

- Proporcionar energía, sanidad y fertilizantes orgánicos a los agricultores de zonas marginales, de bajos recursos y difícil acceso a las fuentes de energía, desarrollando biodigestores de mínimo costo y fácil mantenimiento.
- Proporcionar al sector agrícola y agroindustrial energía y solucionar graves problemas de contaminación. Los biodigestores para este sector son de alta eficiencia y mayor costo inicial con sistemas complejos para su manejo y mantenimiento.

Gracias a los avances en los equipos y en las técnicas de fermentación se ha logrado un desarrollo prometedor en este campo.

Motivados por mantener el equilibrio entre dos aspectos críticos del futuro como son la producción de energía y la reducción de la contaminación buscamos acceder cada vez mas a las energías limpias y en nuestro caso al uso de la biomasa.

2.2.1 PRINCIPALES PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS.

Entre los factores más importantes a tenerse en cuenta para el proceso metanogénico en el que cada grupo de bacterias intervinientes responde a diferentes cambios en las etapas del proceso de producción de gas se consideraran los siguientes:

Tipo de materia prima

Dentro de las materias primas fermentables tenemos: excrementos animales y humanos, aguas residuales orgánicas, desecho de frutas, verduras, lácteos, carnes, restos de cosechas y basura.

“El proceso microbiológico no solo requiere de fuentes de carbono y nitrógeno sino que también deben estar presentes en un cierto equilibrio sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores). Normalmente las sustancias orgánicas como los estiércoles presentan estos elementos en proporciones adecuadas”⁷.

Los valores tanto de producción como de rendimiento en gas de los estiércoles presentan grandes diferencias debido a muchos factores como el tipo de animal y la alimentación que hayan recibido los mismos, así como el clima y factores ambientales en los que se desarrolla su actividad.

El volumen de estiércol producido por las distintas especies animales son variables fundamentalmente en función del peso y al tipo de alimentación y manejo de los mismos.

A continuación se muestra un cuadro indicativo sobre cantidades de estiércol producido por distintos tipos de animales y dentro de los mismos trabajaremos

⁷ <http://www.textoscientificos.com/energia/biogas/factores>

con el que concierne a estiércol vacuno su peso vivo, Kg estiércol día y el porcentaje de CH₄

Tabla 2.2: Cantidades de estiércol y biogás producido a partir de los desechos orgánicos de distintos animales

<http://www.textoscientificos.com/energia/biogas/factores>

ESPECIE	PESO VIVO	kg ESTIERCOL/día	%CH ₄
Cerdos	50	4,5 - 6	65 - 70
Vacunos	400	25 -40	65
Equinos	450	12 - 16	65
Ovinos	45	2,5	63
Aves	1.5	0,06	60
Caprinos	40	1,5	-

Temperatura

“La velocidad de las reacciones químicas y bioquímicas se incrementa normalmente cuando se eleva la temperatura. Para los digestores de biogás, esto es cierto dentro del rango de temperatura tolerado por los diferentes microorganismos, tales como las bacterias acetogénicas”⁸.

Para que las bacterias formadoras de biogás trabajen en forma óptima, es necesario que se mantengan en temperaturas que oscilan entre los 30 y 65°C.

Se distinguen dos rangos de temperatura:

- Mesofílico, de 30 a 40 °C

⁸ Schmid, L.A. y Lipper, R.Z. 1969. Swine wastes, characterization and anaerobic digestion Cornell, p 50-57

- Termofílico, de 55 a 65 °C

A su vez, la producción de biogás depende de la temperatura; en el rango termofílico se produce una mayor cantidad de gas que en el rango mesofílico, a igual tiempo de digestión.

“La variación de temperatura puede ser más importante que un valor fijo de temperatura como factor que influye en la estabilidad del proceso”⁹.

“Las bacterias metanogénicas son más sensibles a los cambios de temperatura que los otros microorganismos del digestor. Esto es debido a que la velocidad de crecimiento de los otros grupos bacterianos es mayor que la de las metanobacterias. Todos los microorganismos presentes en el biodigestor pueden resistir cambios variables de temperatura hasta un lapso de dos horas aproximadamente, y pueden retornar rápidamente a los ritmos normales de producción de gas cuando la temperatura se restablece. Sin embargo, cuando la temperatura cae numerosas veces o por un tiempo prolongado, esto puede conducir a un desbalance en la proporción de los microorganismos y en última instancia a problemas de bajos pH”¹⁰.

⁹ Dague, R.R. 1968. Application of digester theory to digester control. Journal of Water Pollution Control Federation, 40:2021

¹⁰ Gunnerson, C.G. y Stuckey, D.C. 1986. Anaerobic digestion. Principles and practices for biogas systems. The World Bank Technical Paper No. 49. Washington D.C., p 93-100

Para condiciones rurales, en zonas de clima cálido y digestores pequeños, es posible encontrarse con operaciones de digestores a temperatura ambiente (psicrofílica: 15 a 25°C).

El equilibrio ecológico en el digestor es muy delicado, tanto así que una variación en 2°C le afecta adversamente, haciendo disminuir la producción de biogás.

Tabla 2.3: Clasificación de bacterias en función de la temperatura
Cfr FUNDACIÓN PESENCA. (1992) El Biogás y sus Aplicaciones. Colombia pp.3

TIPO DE BACTERIA	Mínimo	Optimo	Máximo	TIEMPO DE RETENCIÓN
Psicrofílica	4 – 10 C	15 -18 C	25 – 30 C	Mas de 100 días
Mesofílica	15 – 20 C	28 – 33 C	35 – 45 C	30 – 60 días
Termofílica	25 – 45 C	50 – 60 C	75 – 80 C	10 – 16 días

Velocidad de carga volumétrica

Con este término se designa al volumen de sustrato orgánico cargado diariamente al digestor. Este valor tiene una relación de tipo inversa con el tiempo de retención, dado que a medida que se incrementa la carga volumétrica disminuye el tiempo de retención.

Existen diferentes formas de expresar este parámetro siendo los más usuales los siguientes: kg. de material/día; kg. de materia seca/día; kg. de sólidos volátiles/día todos expresados por metro cúbico de digestor.

Las cantidades de sólidos y sólidos volátiles se extraen afectando a las cantidades en Kg. de material cargado con los porcentajes de sólidos o sólidos volátiles que se obtiene por análisis. (Porcentaje de sólidos sometiendo al sustrato a desecación, 105°C hasta peso constante y extrayendo el siguiente coeficiente: (peso húmedo - peso seco)/peso húmedo.

El porcentaje de sólidos volátiles se obtiene sometiendo la muestra seca a la mufla, 560°C durante tres horas y extrayendo el siguiente coeficiente:

$$1 - \frac{\text{peso seco} - \text{peso ceniza}}{\text{peso seco}}$$

Un factor importante a tener en cuenta en este parámetro es la dilución utilizada, debido a que una misma cantidad de material biodegradable podrá ser cargado con diferentes volúmenes de agua.¹¹

Tiempo de Retención

En los digestores continuos y semicontinuos el tiempo de retención se define como el valor en días del cociente entre el volumen del digestor y el volumen de carga diaria.

La velocidad de degradación depende en gran parte de la temperatura, pues a mayor temperatura el tiempo de retención requerido es menor. Para un digestor batch el tiempo de retención es el tiempo que transcurre entre la carga y

¹¹ <http://www.textoscientificos.com/energia/biogas/factores>

descarga del sistema; para un digestor continuo, el tiempo de retención determina el volumen diario de carga, según la relación:

$$\text{TR} = \frac{\text{Volumen del digestor (m}^3\text{)} * \text{Contenido de sólidos en la carga (Kg/m}^3\text{)}}{\text{Sólidos Cargados (Kg/día)}}$$

Por lo general, se trabaja con tiempos de retención entre 20 y 55 días, variando la alimentación diaria entre 1 y 5 Kg de sólidos totales por metro cúbico de digestor.

Se indican a continuación valores indicativos de tiempos de retención usualmente más utilizados en la digestión de estiércoles a temperatura mesofílica.

MATERIA PRIMA	T.R.
Estiércol vacuno líquido	20 - 30 días
Estiércol porcino líquido	15 - 25 días
Estiércol aviar líquido	20 - 40 días

Relación Carbono/Nitrógeno

La cantidad y la calidad del biogás producido por la materia orgánica al ser sometida a un proceso anaerobio depende de la composición del desecho utilizado.

El carbono y el nitrógeno son las principales fuentes de nutrientes para las bacterias formadoras de metano (metanogénicas). El carbono es la fuente de energía y el nitrógeno contribuye a la formación de nuevas células en el proceso.

La relación ideal de éstos es de 30:1 hasta 20:1. Si el nitrógeno presente es menor al necesario, se ve limitada la velocidad de producción de biogás; por otra parte, si está en exceso, se produce más amoníaco del requerido, el cual es tóxico e inhibidor del proceso.

Los desechos animales presentan una relación C:N menor a la óptima, debido a su alto contenido de nitrógeno; los residuos agrícolas, en cambio, contienen poco nitrógeno por lo que suele mezclarse con las excretas para obtener de este modo una óptima relación.

TABLA 2.4: RELACIÓN C/N DE DIVERSAS MATERIAS

MARCHAIN, U. (1992). *Biogás Processes for Sustainable Development*. Rome, pp. 165

Materia	Nitrógeno (% peso seco)	C/N
Orina	15-18	0.8
Sangre	6.3	3.0
huesos machacados	-	3.5
excrementos nocturnos	5.5-6.5	6-10
Pollo	10-14	15
Carnero	3.8	
Cerdo	3.8	
Caballo	2.3	25
Vaca	1.7	25-18
Residuos activados	5	6
Residuos frescos	-	11
Hierba cortada	4	12
Hierbas mezcladas	2.4	19
Heno, hierba fresca	4	12
Heno, alfalfa	2.8	17

Heno, hierba azul	2.5	19
Vegetales no leguminosos	2.5-4	11-19
Alga marina	1.9	19
Clavo	1.8	27
Mostaza	1.5	26
Patatas	1.5	25
Espigas de trigo	0.5	150
Aserrín	0.1	200-500

Porcentaje de sólidos

Experimentalmente, se ha demostrado que una carga en el digestor que contenga entre un 7 y 9% de sólidos es la óptima para la digestión.

Del total de sólidos, normalmente entre un 70 y 90% son materia orgánica biodegradable, denominándose «*sólidos volátiles*».

Valor de Acidez (pH)

“En operación normal de un digestor, el pH fluctúa entre 6.6 y 7.6”¹². siendo un buen índice del equilibrio ecológico requerido.

Debido a los efectos buffer (sistema constituido por un ácido débil y su base conjugada o por una base y su ácido conjugado que tiene capacidad "tamponante", es decir, que puede oponerse a grandes cambios de pH, en una disolución acuosa), que producen los compuestos bicarbonato-dióxido de

¹² Youngfu, Y., Yibo, Q., Yunxuan, G., Hui, Z., Yuansheng, X., Chenyong, X., Guoyuan, F., Jienquan, X., Taiming, Z. y Gan, L. 1989. The biogas technology in China. Agricultural Publishing. Beijing, p 20-54.

carbono (CO_2 - HCO_3^-) y Amonio -Amoníaco (NH_4^+ - NH_3) el proceso en sí mismo tiene capacidad de regular diferencias en el pH del material de entrada.

El aumento de pH nos indica exceso de amoníaco; mientras que al disminuir el pH nos indica un aumento de contenido de ácidos grasos volátiles, generando una menor producción de biogás.

Hay dos modos operacionales principales para corregir una condición desbalanceada de bajos pH en el biodigestor. La primera forma es detener la carga del biodigestor y permitir durante cierto tiempo que la población metanogénica reduzca la concentración acídica y que entonces el pH se eleve a un valor razonable. Detener la carga del digestor también hace más lenta la actividad bacteriana y por lo tanto, también se reduce la formación de AGCC. Una vez que el pH retorna a valores normales, la carga o alimentación del digestor puede continuarse a niveles bajos e ir la incrementando lentamente para evitar más caídas abruptas de pH.

Un segundo método involucra la adición de sustancias tampones o buffer para elevar el pH sin cambiar el ritmo de carga del digestor. Una ventaja de la adición de tampones es que el pH puede rectificarse más rápidamente. Se suele usar para ello la cal. El carbonato de sodio, aunque es más caro, puede prevenir la precipitación de carbonato de calcio. Debido a que los requerimientos de sustancias tamponadoras varían con la naturaleza de los desperdicios a

procesar, el sistema de operaciones y el tipo de proceso, se han desarrollado guías para calcular los requerimientos de sustancias buffer¹³.

Tabla 2.5: Efectos del pH en la producción de biogás
Cfr FUNDACIÓN PESENCA. (1992) El Biogás y sus Aplicaciones. Colombia pp.3

VALOR pH	EFEECTO
7 – 7.2	Óptimo
≤ 6.2	Retarda la acidificación
≥ 7.6	Retarda la amonización

Agitación - Mezclado

Para obtener un buen rendimiento y que se produzca una buena digestión, debe existir un estrecho contacto entre los microorganismos y la materia prima, siendo necesario agitar a la masa interna del biodigestor.

Los objetivos buscados con la agitación son: remoción de los metabolitos producidos por las bacterias metanógenas, mezclado del sustrato fresco con la población bacteriana, evitar la formación de costra que se forma dentro del

¹³ Pohland, F.G. y Suidon, T. 1978. Prediction of pH stability in biological treatment systems. In: Chemistry of Wastewater Technology (A.J. Rubin, editor). Ann Arbor Science Limited, p 441

digestor, uniformar la densidad bacteriana y evitar la formación de espacios “muertos” sin actividad biológica.

En la selección del sistema, frecuencia e intensidad de la agitación se deberán realizar las siguientes consideraciones: El proceso fermentativo involucra un equilibrio simbiótico entre varios tipos de bacterias. La ruptura de ese equilibrio en el cuál el metabolito de un grupo específico servirá de alimento para el siguiente implicará una merma en la actividad biológica y por ende una reducción en la producción de gas.

Existen varios mecanismos de agitación utilizados desde los más simples que consisten en un batido manual o el provocado por la entrada y salida de los líquidos hasta sofisticados equipos que involucran agitadores a hélice, recirculadores de sustrato e inyectores de gas¹⁴.

Humedad

La humedad es muy importante para el crecimiento celular (tejido celular compuesto en un 80% de agua) y como medio para el movimiento de los microorganismos a la materia prima o viceversa. Singleton y Sainsbury afirman que si el contenido de agua del medio es inferior al 92% de humedad relativa la mayor parte de las bacterias no crecen.

¹⁴ <http://www.textoscientificos.com/energia/biogas/factores>

2.3 APLICACIONES

Existen varias aplicaciones de la biomasa pero dentro de las mas importantes y usadas tenemos:

2.3.1 GAS COMBUSTIBLE

El biogás obtenido de la digestión anaeróbica puede aplicarse en: motores de combustión interna para accionar turbinas para la producción eléctrica, producir calor para necesidades comerciales y domésticas, y en vehículos especialmente modificados como un combustible.

2.3.2 PRODUCCIÓN ELÉCTRICA

Al existir un buen número de fuentes de biomasa se podría generar electricidad considerándola a esta como energía renovable la clasificaríamos como una "energía verde". La producción de electricidad a partir de este proceso de biomasa no contribuye al efecto invernadero.

2.3.3 BIOCOMBUSTIBLES

El etanol y el biodiesel con el tiempo van a convertirse en sustitutos ideales para los combustibles fósiles especialmente en varias aplicaciones de transporte. Su uso extenso ha demostrado que los biocombustibles son técnicamente factibles en gran escala razón por la cual su producción va en aumento. La producción de etanol y biodiesel en los EE.UU. y Europa ha crecido significativamente ya que los productos utilizados tienen porcentajes altos de este tipo de biocombustibles.

El incentivo de los gobiernos a futuro para los cultivos destinados a la bioenergía y la reducción de costos de operación podrán hacer competitivos a los biocombustibles con respecto a los combustibles tradicionales.

2.3.4 CALOR Y VAPOR

Uno de los principales usos de la biomasa al combustionarse es generar calor y vapor.

El calor puede ser utilizado para:

- Calefacción de hogares y cocinar.
- Subproducto de la producción eléctrica en centrales combinadas de calor y energía.

El vapor generado puede ser utilizado para:

- Accionar turbinas de vapor para la producción eléctrica.
- Proporcionar calor en los procesos de una fábrica o planta industrial.
- Mantener un flujo de agua caliente.

2.4 TIPOS DE MEZCLA DE BIOMASA¹⁵

Teniendo en cuenta la definición de biomasa, ésta se puede clasificar, atendiendo a su origen, en:

- Biomasa natural.
- Biomasa residual.

- Cultivos energéticos.
- Excedentes agrícolas.

2.4.1 BIOMASA NATURAL:

Se produce en ecosistemas naturales. La explotación intensiva de este recurso no es compatible con la protección del medio ambiente, aunque sea una de las principales fuentes energéticas de los países subdesarrollados.

2.4.2 BIOMASA RESIDUAL:

En la llamada biomasa residual se incluye:

- Residuos forestales y agrícolas.
- Residuos de industrias forestales y agrícolas.
- Residuos sólidos urbanos.
- Residuos biodegradables (efluentes ganaderos, lodos de depuradoras, aguas residuales urbanas, etc.).

2.4.3 CULTIVOS ENERGÉTICOS:

Son los realizados con el único objeto de su aprovechamiento energético y se caracterizan por una gran producción de materia viva por unidad de tiempo y con el condicionante de minimizar los cuidados al cultivo.

2.4.4 EXCEDENTES AGRÍCOLAS:

Los excedentes agrícolas que no sean empleados en la alimentación humana pueden ser considerados como biomasa y pueden aprovecharse, por ejemplo, para la elaboración de biocombustibles líquidos.¹⁵

2.5 ETAPAS DE DIGESTIÓN

La generación de biogás, mezcla constituida fundamentalmente por metano (CH_4) dióxido de carbono (CO_2) , y pequeñas cantidades de hidrógeno (H), sulfuro de hidrógeno (SH_2) y nitrógeno (N) constituye un proceso vital dentro del ciclo de la materia orgánica en la naturaleza.

Las bacterias metanogénicas en efecto constituyen el último eslabón de la cadena de microorganismos encargados de digerir la materia orgánica y devolver al medio los elementos básicos para reiniciar el ciclo. Se estima que anualmente la actividad microbiológica libera a la atmósfera entre 590 y 880 millones de toneladas de metano.

2.5.1 HIDRÓLISIS

Las bacterias de esta primera etapa toman la materia orgánica virgen con sus largas cadenas de estructuras carbonadas y las van rompiendo y transformando en cadenas más cortas y simples (ácidos orgánicos) liberando hidrógeno y dióxido de carbono.

¹⁵ <http://www.renovables-rural.cl/tecnologias/biomasa.php>

Este trabajo es llevado a cabo por un complejo de microorganismos de distinto tipo que son en su gran mayoría anaerobios facultativos.

2.5.2 ACIDIFICACIÓN

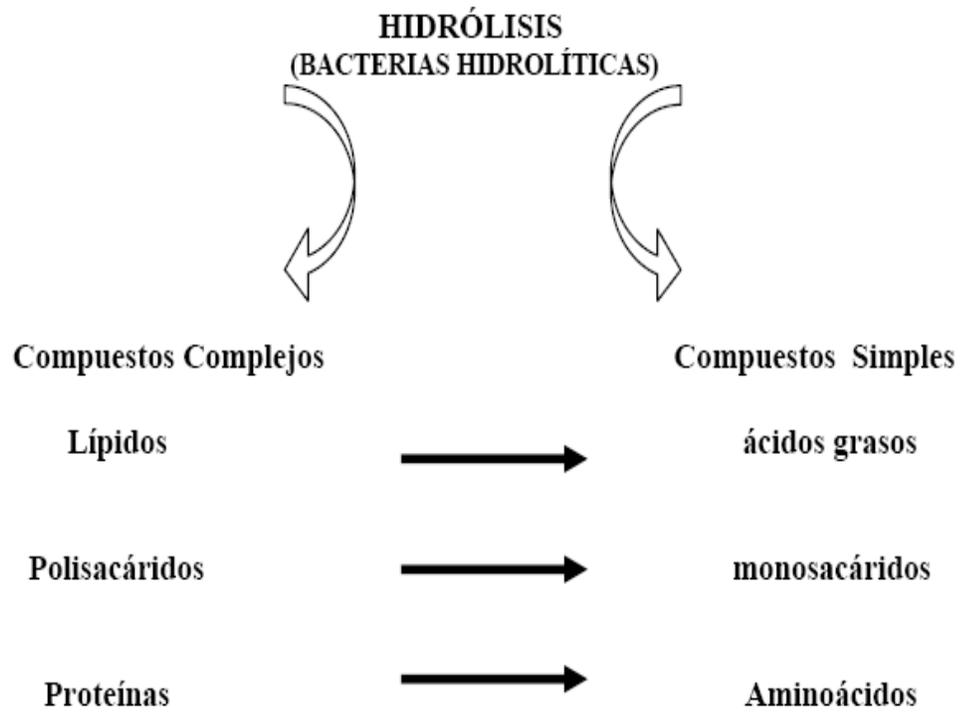
Esta etapa la llevan a cabo las bacterias acetogénicas y realizan la degradación de los ácidos orgánicos llevándolos al grupo acético $\text{CH}_3\text{-COOH}$ y liberando como productos Hidrógeno y Dióxido de carbono.

Esta reacción es endoenergética pues demanda energía para ser realizada y es posible gracias a la estrecha relación simbiótica con las bacterias metanogénicas que substraen los productos finales del medio minimizando la concentración de los mismos en la cercanía de las bacterias acetogénicas. Esta baja concentración de productos finales es la que activa la reacción y actividad de estas bacterias, haciendo posible la degradación manteniendo el equilibrio energético.

2.5.3 METANOGENESIS

Las bacterias intervinientes en esta etapa pertenecen al grupo de las achibacterias y poseen características únicas que las diferencian de todo el resto de las bacterias por lo cuál, se cree que pertenecen a uno de los géneros más primitivos de vida colonizadoras de la superficie terrestre.

La transformación final cumplida en esta etapa tiene como principal substrato el acético junto a otros ácidos orgánicos de cadena corta y los productos finales liberados están constituidos por el metano y el dióxido de carbono.



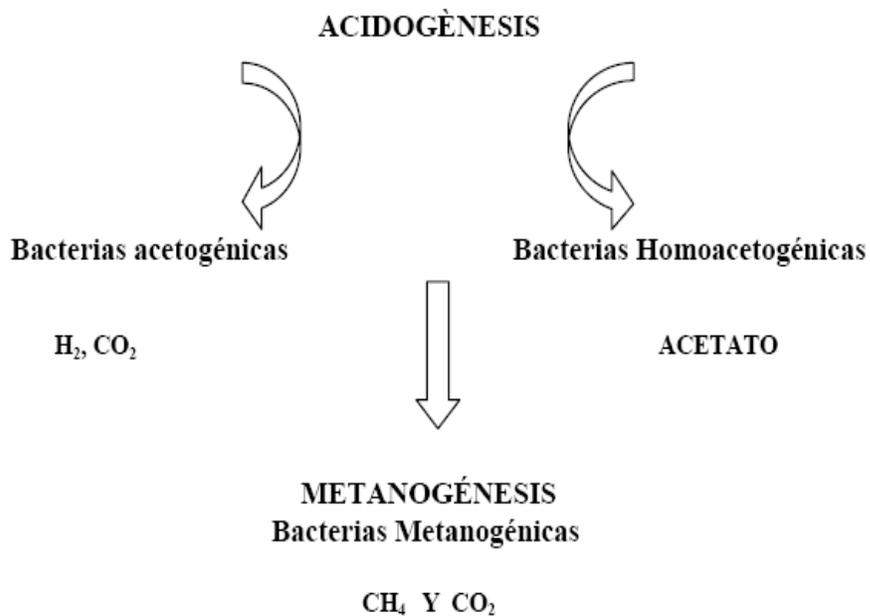


Figura 2.3 Etapas de la Digestión Anaeróbica

Ingeniería Ambiental, Universidad Católica de Temuco

Los microorganismos intervinientes en cada fase tienen propiedades distintas que son muy importantes y se las debe conocer para lograr comprender el equilibrio y funcionamiento óptimo de un digestor. ¹⁶

2.6 ANÁLISIS ESTEQUIOMÉTRICO¹⁷

La estequiometría define “las proporciones de los diferentes elementos que intervienen en una reacción” Los principios estequiométricos que se emplean en la digestión anaeróbica son los mismos empleados para la digestión aeróbica, y son confiables una vez que se establezcan las constantes para el proceso anaeróbico.

¹⁶<http://www.renovables-rural.cl/tecnologias/biomasa.php>

La degradación anaeróbica se lleva cabo en grandes tanques cerrados o birreactores, requiere la cooperación de muchos tipos de diferentes de microorganismos, por la acción de organismos anoxicos residentes, los componentes macromoleculares son primeramente digeridos por polisacararas,, proteasas y lipasas rindiendo componentes solubles, los mismos que son fermentados produciendo una mezcla de ácidos grasos, H2 y CO2, estos son posteriormente fermentados a acetatos, CO2 y H2, estos productos son usados como sustrato por bacterias metanogenicas que son capaces de llevar a cabo la reacción y producir especialmente gas metano y CO2.

El metano se puede producir únicamente a partir del ácido acético, del metanol y del ácido fórmico. Estos dos últimos rara vez aparecen en un proceso de biodigestión y, en caso de darse, deben primero transformarse en ácido acético para llegar a formar metano. De esto se concluye que el ácido acético se convierte en “la vía” para la formación del metano. Una vez que los polímeros han sido hidrolizados se produce como producto principal glucosa y en base a ésta pueden darse las etapas de acidogénesis y metanogénesis:

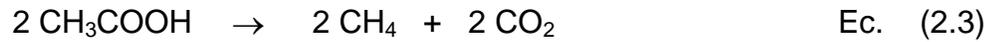


Glucosa

Acido Acético



Metano



Acido Acético Metano



La ecuación global demuestra que por cada mol de glucosa se producen tres moles de metano, de las cuales dos moles proceden del ácido acético y una mol de la reacción del dióxido de carbono con el agua. En 1982 McCarty demostró que el 67% del metano procede del ácido acético. Esto demuestra que con el análisis estequiométrico de las relaciones se puede llegar a predecir, con una alta confiabilidad, el comportamiento real del proceso de biodigestión

La estequiometría también nos permite predecir los coeficientes de producción de biomasa:

$$Y = \frac{dX / dt}{dS / dt} \quad \text{Ec. (2.5)}$$

donde:

Y: coeficiente de producción de biomasa [celular/masa de sustrato]

dX/dt : tasa máxima de producción de masa celular [de volumen tiempo]

dS/dt : tasa de remoción del sustrato [de sustrato/ unidad de volumen tiempo]

Para la fase de crecimiento exponencial, que se explicará posteriormente, se puede establecer la tasa de producción de masa celular:

$$\frac{dX}{dt} = Y \frac{dS}{dt} \quad \text{Ec. (2.6)}$$

Y ya que no siempre los microorganismos crecen, sino que algunos mueren para suplir el consumo energético, entonces:

$$\frac{dX}{dt} = Y \frac{dS}{dt} - bX \quad \text{Ec. (2.7)}$$

donde:

b: coef. endógeno o de putrefacción de los microorg. [tiempo⁻¹]

X: concentración de biomasa [masa/unidad de volumen]

2.7 PRINCIPIOS CINÉTICOS

La cinética trata de encontrar los parámetros que gobiernan o definen las tasas de cambio. A continuación se analizan estos factores para el caso de la biodigestión anaeróbica.

Las bacterias, que son las encargadas de transformar el sustrato orgánico en metano, se reproducen por fisión binaria y el tiempo que toman para ello se denomina tiempo de generación o de duplicado (puede ser tan pequeño como 15 o 20 minutos).

El crecimiento bacterial se da en cinco fases las mismas que se especifican de acuerdo al cuadro en donde el crecimiento comienza en la fase de retardo luego se eleva y pasa

a la fase de crecimiento exponencial, manteniéndose estacionaria durante un tiempo para luego pasar a la fase de muerte y por último pasa a la fase endógena:

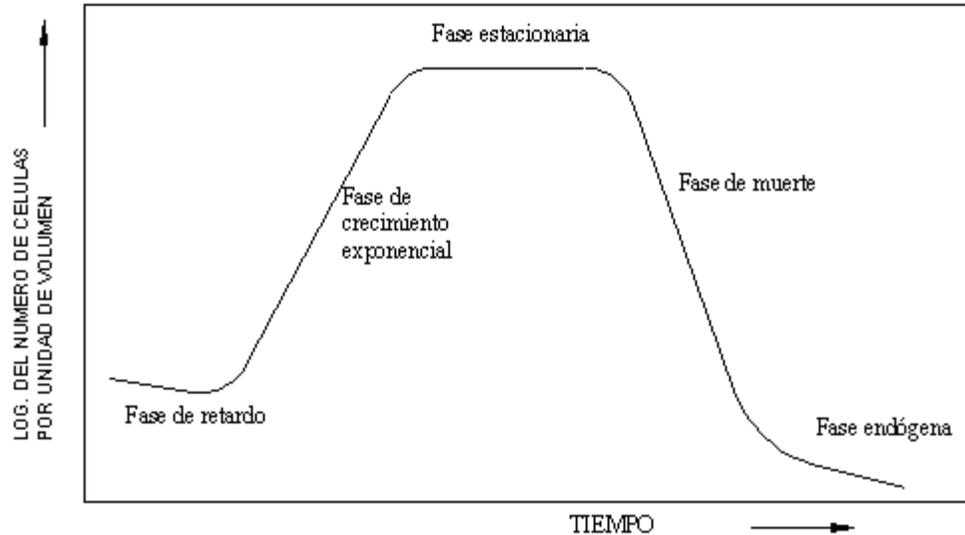


Figura 2.4 Crecimiento Bacterial

1. La fase de retardo es el tiempo que las células toman para adaptarse al nuevo medio antes de empezar su crecimiento.
2. En la fase de crecimiento exponencial la biomasa crece exponencialmente a una tasa constante. Esta tasa corresponde a la tasa máxima de crecimiento para condiciones de laboratorio.
3. La fase estacionaria se caracteriza porque el número de células muertas se equilibra con el número de células vivas.
4. Si no se agrega nueva materia prima, en la fase de muerte, la tasa de muerte de células muertas supera a la de las vivas. La tasa de muerte puede ser tan grande como la inversa tasa de crecimiento.

5. La última fase corresponde a la endógena. Ésta se da en ciertos casos en los que las células muertas aportan con el sustrato necesario para el crecimiento de nuevas células.

La rata a la cual se dividen las células se denomina tasa neta de crecimiento bacterial. Ésta viene dada en número de generaciones por unidad de tiempo y se representa por la siguiente fórmula:

$$\mu = \frac{dX}{Xdt} \quad \text{Ec. (2.8)}$$

donde:

μ : tasa neta de crecimiento bacterial [tiempo⁻¹]

La tasa neta de crecimiento bacterial tiene un valor máximo que depende de la naturaleza del sustrato y se representa mediante la ecuación de MONOD:

$$\mu = \mu_{\max} \frac{S}{K_s + S} \quad \text{Ec. (2.9)}$$

donde:

S: concentración del sustrato [masa/unidad de volumen]

K_s : constante de forma, corresponde a la concentración del sustrato S cuando

$$\mu = \mu_{\max} / 2$$

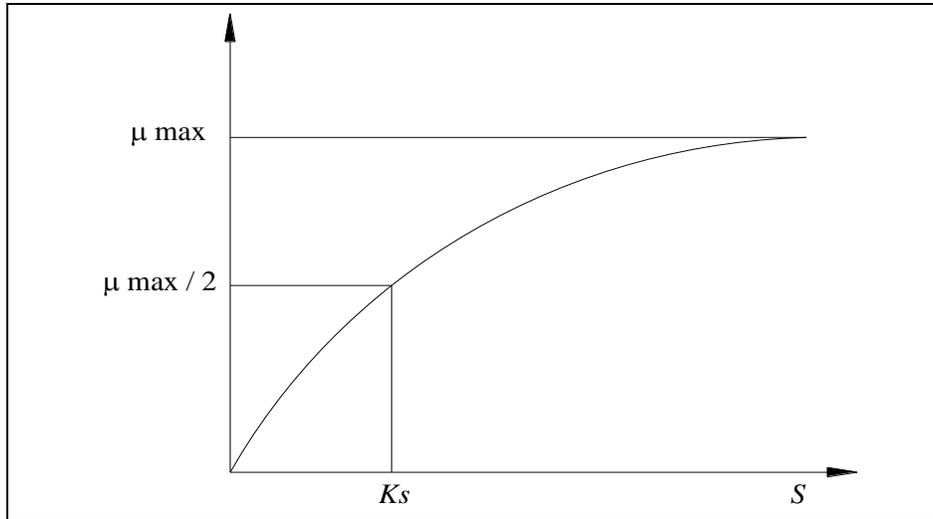


Figura 2.5 Constante de Velocidad Media de Crecimiento Bacterial

Aunque la ecuación de MONOD no es confiable para concentraciones bajas de biomasa es una buena referencia para empezar este análisis. Esto se demuestra si tomamos en cuenta que desde 1942, año en que fue desarrollada, hasta la actualidad se ha empleado para el desarrollo del análisis cinético de la biodigestión anaeróbica.

Reemplazando la ecuación (2.7) en (2.8) se obtiene:

$$\frac{dX}{dt} = \mu_{\max} \frac{SX}{K_s + S} \quad \text{Ec.(2.10)}$$

La ecuación que define el coeficiente de producción de biomasa (2.6) y que fue descrita en el apartado anterior se puede relacionar con la ecuación (2.10) dando como resultado:

$$\frac{dX}{dt} = \mu_{\max} \frac{SX}{(K_s + S)Y} \quad \text{Ec. (2.11)}$$

El valor $\mu = \mu_{\max} / Y$ puede ser reemplazado por K , que se le conoce como rata de degradación del sustrato.

$$\frac{dS}{dt} = \mu_{\max} \frac{KSX}{K_s + S} \quad \text{Ec. (2.12)}$$

Si pasamos el término X al otro lado de la ecuación se llega a lo que se conoce como ecuación de LAWRENCE y MCCARTY.

$$\frac{dX}{Xdt} = \frac{KS}{K_s + S} \quad \text{Ec. (2.13)}$$

Si $S \ll K_s$ se dice que hay condiciones de inanición, con lo que la ecuación (2.13) se transforma en:

$$\frac{dS}{dt} = K_m XS \quad \text{Ec.(2.14)}$$

donde:

$$K_m \cong \frac{K}{K_s}$$

Si por el contrario $S \gg K_s$ se habla de condiciones de abundancia y la ecuación (2.13) queda así:

$$\frac{dS}{dt} = K \quad \text{Ec. (2.15)}$$

En el numeral anterior también se analizó el coeficiente de producción de biomasa cuando es afectado por el coeficiente endógeno (2.7). Si se reemplaza esta ecuación en el ecuación (2.13), se obtiene como resultado:

$$\frac{dX}{Xdt} = \frac{YK_S X}{(K_s + S)} - bX \quad \text{Ec. (2.16)}^{17}$$

2.8 TIEMPO MÍNIMO DE RETENCIÓN¹⁸

Un proceso de biodigestión es el producto de la acción de diversos tipos de poblaciones bacterianas que actúan por etapas (tres etapas). Antes de que empiece la degradación del sustrato se requiere de un tiempo mínimo para que las bacterias crezcan que se conoce como tiempo mínimo de retención, θ_c^m (Fig. 2.6).

Este tiempo está determinado por las características cinéticas de la etapa más lenta o etapa limitante, es decir; por el tiempo de generación de las bacterias que actúan en dicha fase.

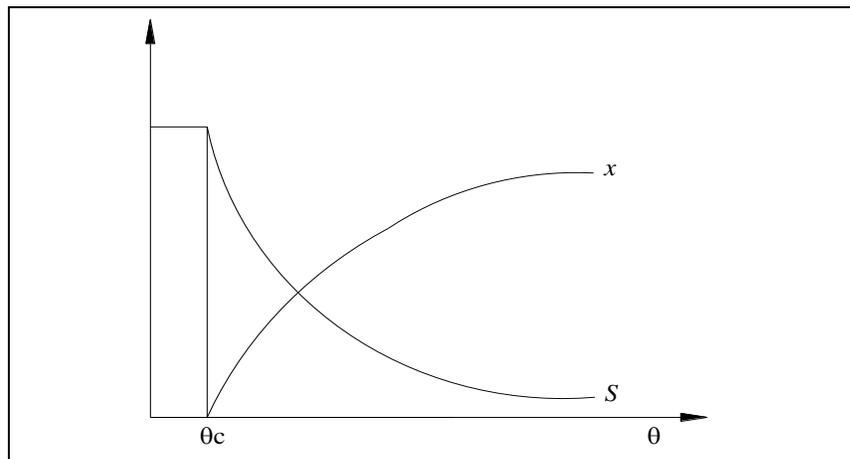


Figura 2.6 Comportamiento del Sustrato (s) vs. Población Celular (x)

¹⁷ GIRALDO, E., OROZCO, A. (1993) "Alternativas tecnológicas para el tratamiento de efluentes domésticos", Quito, pp. 57 - 63

Si la materia prima está compuesta principalmente por material refractario insoluble, la etapa limitante es la hidrólisis. La acetogénesis y la metanogénesis se convierten en las etapas limitantes en el caso de que el sustrato tenga un alto porcentaje de material orgánico.

El tiempo de retención de la biomasa debe ser superior o se determina directamente el volumen de biodigestor y la cantidad de biogás que se produce.¹⁸

CAPÍTULO 3

DISEÑO DEL BIODIGESTOR Y ESTRUCTURA DE PROTECCIÓN

3.1 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PROTECCIÓN

Para este proyecto se va a considerar un diseño de estructura metálico simple que protegerá al biodigestor en su totalidad, el mismo que va a ser diseñado en Autocad, Sap 10 y Mathcad donde se calcula directamente todas las cargas y el tipo de material que se va a utilizar para la construcción de la misma.

Diseño de la Cubierta

¹⁸ GIJZEN, H. (1993) Microbiological aspects of anaerobic digestion. pp 8 - 11

**CALCULO DE CARGAS EN LA ESTRUCTURA DE PROTECCION
PARA EL BIODIGESTOR.**

CARGA MUERTA.

PESO DE LAS CORREAS IPAC 60*30*10

$$pC := 2.83 \frac{\text{Kg}}{\text{m}}$$

$$\underline{Pa} := pC \cdot 6 \cdot 9.8$$

$$Pa = 166.404 \text{ N}$$

$$Pb := Pa$$

$$Pc := Pa$$

$$Pd := Pa$$

$$Pe := Pa$$

Peso de la planchas de steel panel Novacero DRT

$$Ps := 4.01 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

$$Wa := Ps \cdot 4.59.8$$

$$Wa = 176.841 \text{ N}$$

$$Wc := Wa$$

$$We := Wa$$

$$\underline{Wb} := Ps \cdot 9 \cdot 9.8$$

$$Wb = 353.682 \text{ N}$$

$$Wd := Wb$$

CARGA DE VIENTO.

$$c := 1.2 \sin\left(24 \cdot \frac{\pi}{180}\right)$$

$$c = 0.488$$

$$q_w := 50$$

$$w := c \cdot q_w$$

$$w = 24.404$$

$$h_1 := 1.21$$

$$h_2 := \frac{h_1}{2} \quad h_2 = 0.605$$

$$F_1 := w \cdot 6 \cdot h_2$$

$$F_1 = 88.587 \text{ Kgf}$$

$$F_a := F_1 \cdot 9.8$$

$$F_a = 868.155 \text{ N}$$

$$F_c := F_a$$

$$F_e := F_a$$

$$F_b := w \cdot 6 \cdot \frac{h_2}{2} \cdot 9.8$$

$$F_b = 434.077 \text{ N}$$

$$F_d := F_b$$

CARGA VIVA

$$q_l := 50 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

$$Q_a := q_l \cdot 1.56 \cdot 9.8$$

$$Q_a = 4.41 \times 10^3 \text{ N}$$

$$Q_c := Q_a$$

$$Q_e := Q_a$$

$$Q_b := 500.756 \cdot 9.8$$

$$Q_b = 2.205 \times 10^3 \text{ N}$$

$$Q_d := Q_b$$

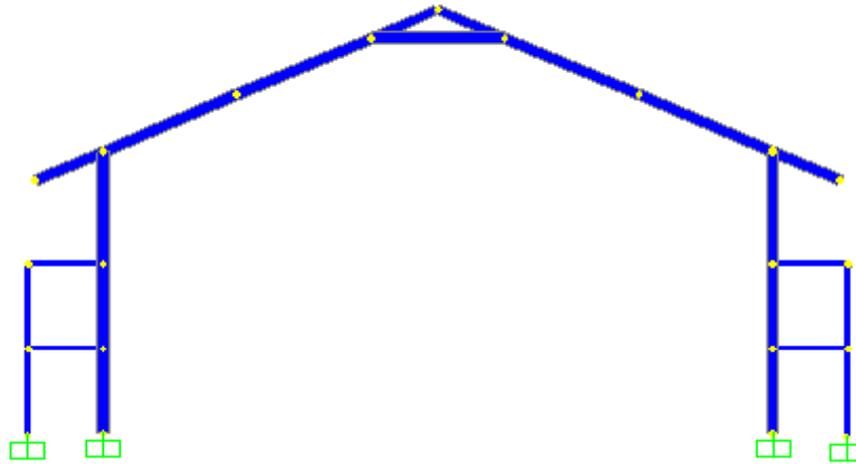


Figura 3.1 Análisis de la estructura en SAP 2000
Estructura Frontal (Pórtico)

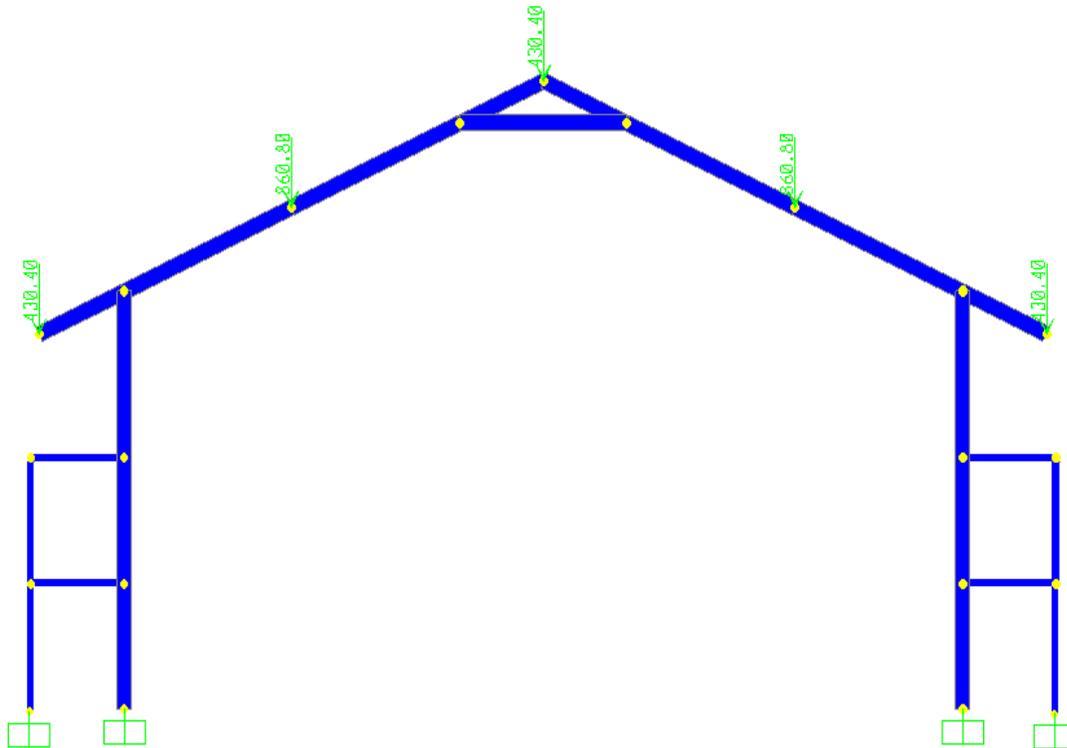


Figura 3.2 Análisis de la estructura en SAP 2000
Carga Muerta

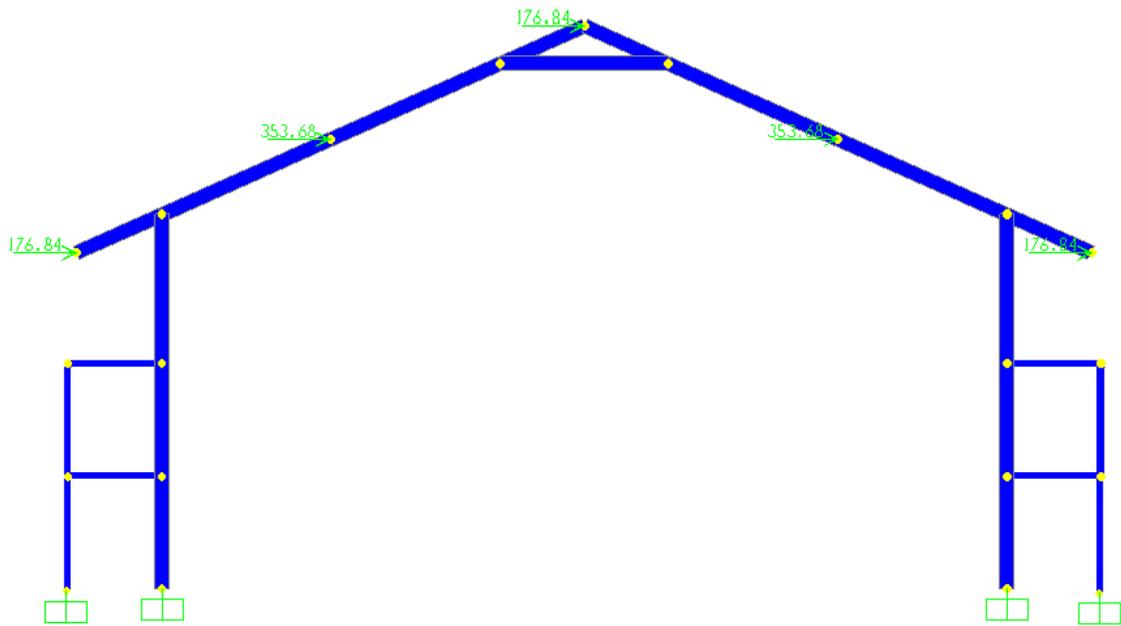


Figura 3.3 Análisis de la estructura en SAP 2000
Carga de Viento

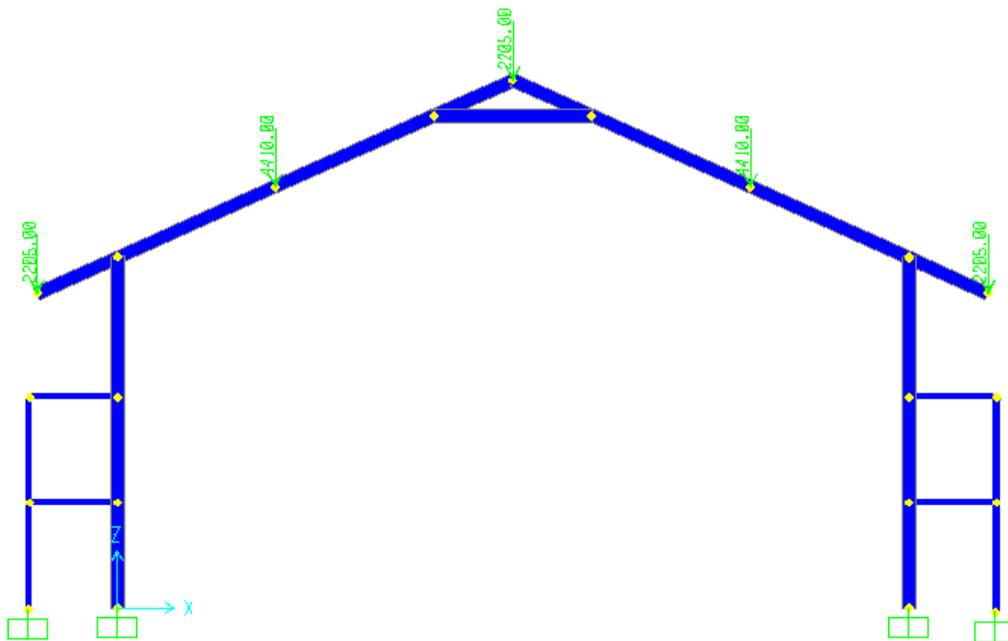


Figura 3.4 Análisis de la estructura en SAP 2000
Carga Viva

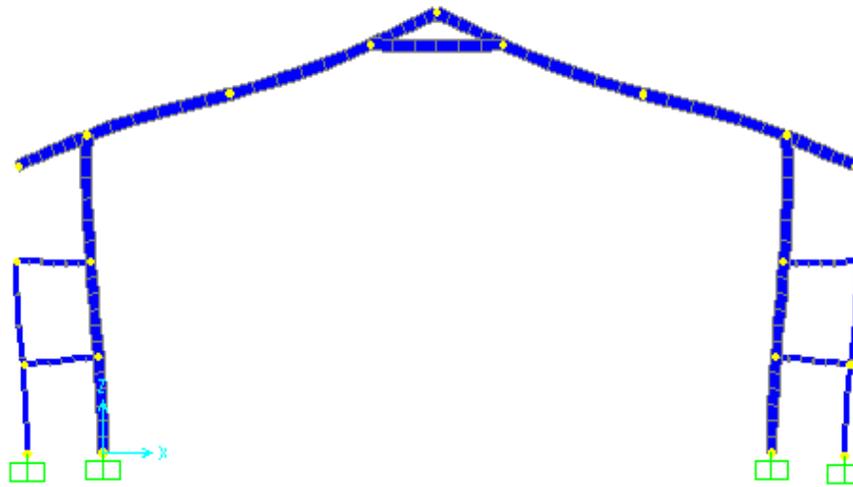


Figura 3.5 Análisis de la estructura en SAP 2000
Simulación de las reacciones en la estructura cargada.

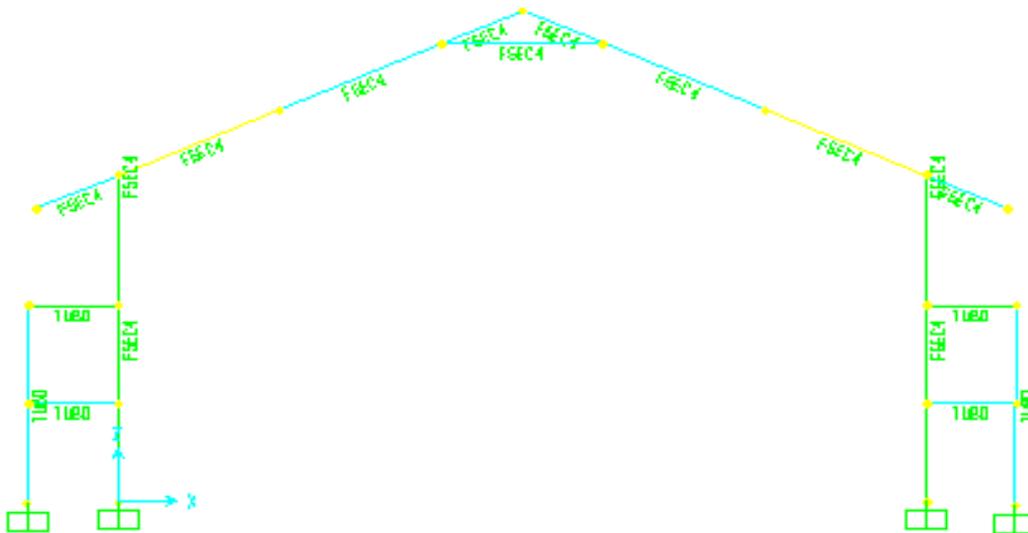


Figura 3.6 Análisis de la estructura en SAP 2000
Análisis LRFD.

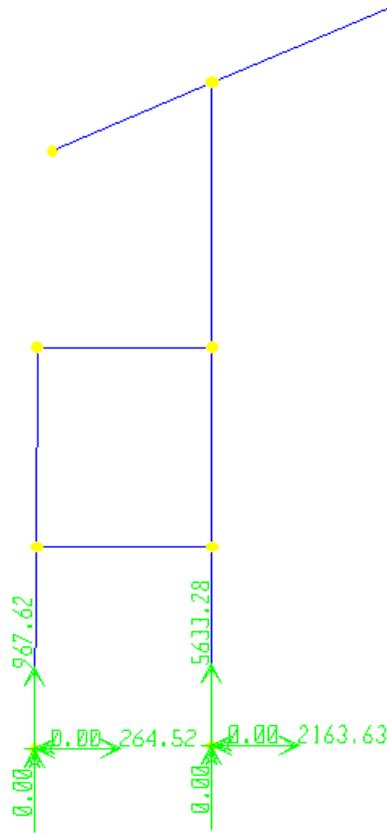


Figura 3.7 Análisis de la estructura en SAP 2000
Reacciones en los apoyos.

3.2 TIPOS DE BIODIGESTORES

3.2.1

CONCEPTO

Los biodigestores son depósitos herméticos. En estos depósitos se depositan las excretas de animales: vacuno, porcino, ovino, etc., las cuales mediante el proceso de digestión anaeróbica es decir sin la presencia de oxígeno, se obtiene

como resultado gas metano y un líquido con excelentes características fertilizantes llamado biol.

3.2.2 TIPOS¹

Hay muchos tipos de biodigestores, pero los más comunes son el dosel flotante (indio) y el domo fijo (chino) . La aceptabilidad pobre de muchos de estos biodigestores ha sido principalmente debida a los costos altos, la dificultad de instalación y problemas en la consecución de las partes y repuestos.

A continuación se presentan los biodigestores mas usados en la actualidad y que a futuro serán los mas utilizados en todo el mundo.

3.2.2.1 Biodigestor del domo flotante (Indio):

Este biodigestor consiste en un tambor, originalmente hecho de acero pero después reemplazado por fibra de vidrio reforzado en plástico (FRP) para superar el problema de corrosión. Normalmente se construye la pared del reactor y fondo de ladrillo, aunque a veces se usa refuerzo en hormigón. Se entrapa el gas producido bajo una tapa flotante que sube y se cae en una guía central. La presión del gas disponible depende del peso del poseedor de gas por el área de la unidad y normalmente varía entre 4 a 8 cm. de presión de agua. El reactor se alimenta semi-continuamente a través de una tubería de entrada.

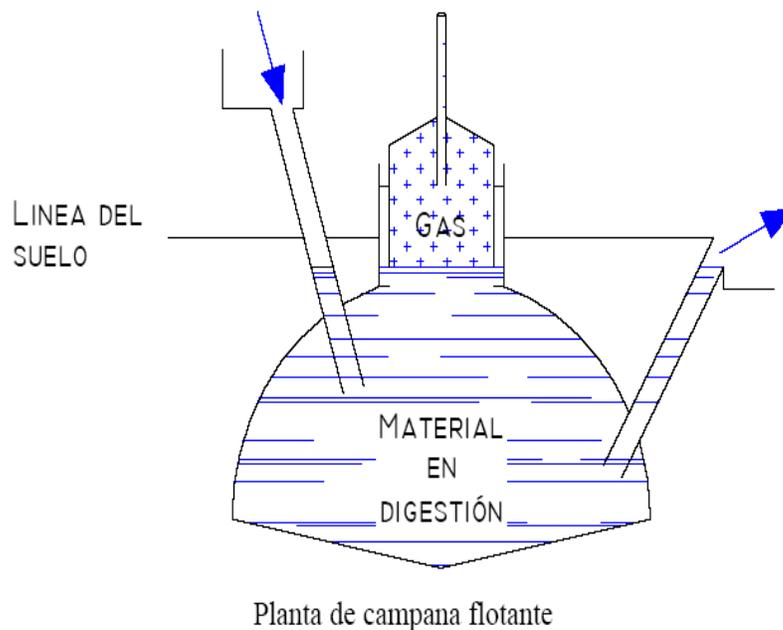
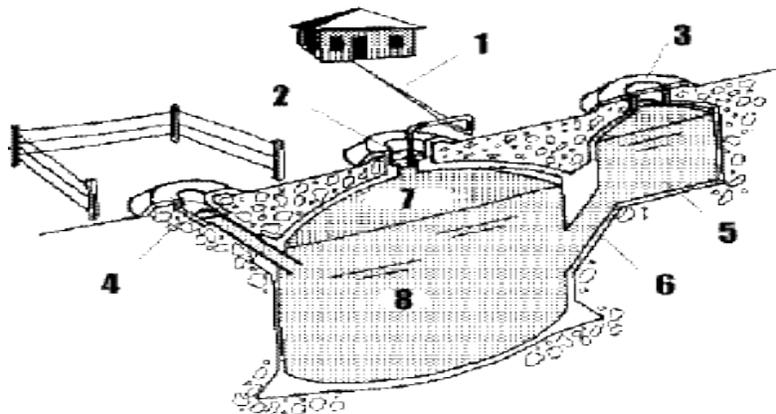


Figura 3.8 Biodigestor de Campana Flotante

3.2.2.2 Biodigestor de domo fijo (Chino)

Este reactor consiste en una cámara de gas-firme construida de ladrillos, piedra u hormigón. La cima y " fondos son hemisféricos y son unidos por lados rectos. La superficie interior es sellada por muchas capas delgadas de mortero para hacerlo firme. La tubería de la entrada es recta y extremos nivelados. Hay un tapón de la inspección a la cima del digestor que facilita el limpiado. Se guarda el gas producido durante la digestión bajo el domo y cambia de sitio algunos de los volúmenes del digestor en la cámara del efluente, con presiones en el domo entre 1 y 1.5 m de agua. Esto crea fuerzas estructurales bastante altas y es la razón para la cima hemisférica y el

fondo. Se necesitan materiales de alta calidad y recursos humanos costosos para construir este tipo de biodigestor. Más de cinco millones de biodigestores se ha construido en China y ha estado funcionando correctamente (FAO, 1992) pero, desgraciadamente, la tecnología no ha sido tan popular fuera de China.



Esquema del digestor chino: 1. tubería de salida del gas; 2. Sello removible; 3. Tapa móvil; 4. Entrada; 5. Tanque de desplazamiento; 6. Tubería de salida; 7. Almacenamiento de gas; 8. Materia orgánica.

Figura 3.9 Biodigestor de Domo Fijo (Chino)

3.2.2.3 Biodigestor de estructura flexible

La inversión alta que exigía construir el biodigestor de estructura fija resultaba una limitante para el bajo ingreso de los pequeños granjeros. Esto motivó a ingenieros en la Provincia de Taiwán en los años sesenta (FAO, 1992) a hacer biodigestores de materiales flexibles más baratos. Inicialmente se usaron nylon y neopreno pero estos demostraron ser relativamente costosos.

Un desarrollo mayor en los años setenta era combinar PVC con el residuo de las refinerías de aluminio producto llamado "el barro rojo PVC."

Esto fue reemplazado después por polietileno menos costoso que es ahora el material más comúnmente usado en América Latina, Asia y África. Desde 1986, el Centro para la Investigación en Sistemas Sustentables de Producción Agrícola (CIPAV), ha estado recomendando biodigestores de plástico económico como la tecnología apropiada por hacer mejor uso de excrementos del ganado, reduciendo la presión así en otros recursos naturales.

En este digestor el gas se acumula en la parte superior de la bolsa, parcialmente llena con Biomasa en fermentación; la bolsa se va inflando lentamente con una presión de operación baja, pues no se puede exceder la presión de trabajo de la misma.



Figura 3.10 Biodigestor de polietileno tubular

3.2.2.4 Digestor con tanque de almacenamiento tradicional y cúpula de polietileno.

Otro tipo de planta de producción de biogás que ha logrado disminuir los costos hasta 30 % con respecto a los prototipos tradicionales, es la que se caracteriza por tener una estructura semiesférica de polietileno de película delgada en sustitución de la campana móvil y la cúpula fija, y un tanque de almacenamiento de piedra y ladrillo como los empleados en los prototipos tradicionales. Este tipo de instalación posee a su favor que resulta más económica que los sistemas tradicionales; por ejemplo, una instalación de 4 m³ puede costar, aproximadamente, \$550 USD, y la estructura de polietileno flexible puede llegar a alcanzar hasta diez años de vida útil.



Figura 3.11 Digestor con tanque de almacenamiento tradicional y cúpula de polietileno.

3.2.2.5 Digestores de alta velocidad o flujo inducido

Estos son los utilizados comúnmente en instalaciones industriales o semiindustriales. Generalmente trabajan a presión constante, por lo que se podrían catalogar como Digestores Tipo Hindú Modificado.

Se les conoce de ordinario como CSTD (Conventional Stirred Digestor). Se diferencian de los digestores convencionales en que se les ha agregado algún tipo de agitación mecánica, continua o intermitente, que permite al material aún no digerido, entrar en contacto con las bacterias activas y así obtener buena digestión de la materia orgánica, con tiempos de retención hidráulica relativamente cortos, de hasta 15 días.

Este es un concepto nuevo dentro de la tecnología de fermentación anaeróbica, combina las ventajas de varios tipos de digestores en una sola unidad, facilitando el manejo y procesamiento de material biodegradable de diverso origen y calidad.

Generalmente los desechos de origen animal, excrementos de cualquier clase, son procesados en digestores convencionales de tipo continuo, que periódicamente reciben carga y entregan por desalojo efluente ya digerido. El tiempo de operación continua de estos equipos es bastante largo y requiere un mínimo de atención al momento de cargarlos, como es el evitar introducir elementos extraños tales como arena, piedra, metal, plásticos o cualquier otro tipo de material lento o imposible de digerir. Luego de unos cuatro o cinco años se debe detener su funcionamiento para hacer una limpieza general y retirar sedimentos indigeridos.

Buscando un tipo de digestor ideal, se llegó al concepto de digestor de Segunda y Tercera generación, siendo los clásicos modelos Hindú o Chino, los de la primera.

Este nuevo modelo de digestor retiene la materia de origen vegetal, que normalmente tiende a flotar, dentro de las zonas de máxima actividad bacteriana como son la inferior y la de sobrenadante intermedia, para que las bacterias tengan tiempo de atacar, hidrolizar y procesar efectivamente el material en descomposición; al mismo tiempo permite que los gases y el material parcialmente degradado sigan el recorrido del proceso normal dentro del digestor.

El Digestor de Segunda Generación divide al convencional en dos cámaras, una de ellas a un nivel inferior del resto del digestor. Utiliza compartimentos en ferrocemento o mampostería, espaciados adecuadamente para retener los materiales y las partículas sólidas grandes, pero permite el paso del gas y los líquidos. A este modelo se puede adicionar hasta un 25% de carga de origen vegetal sin que se atasque o paralice la operación.

El Digestor de Tercera Generación modifica radicalmente al de tipo Hindú tradicional, aunque sigue los lineamientos de esta escuela. Ha logrado una eficiencia de trabajo en forma continua que permite cargarlo con toda clase de materiales, hasta un 50 o 60% de materia de origen vegetal mezclada con excrementos, empleando una sola unidad que trabaja en forma de digestor continuo.

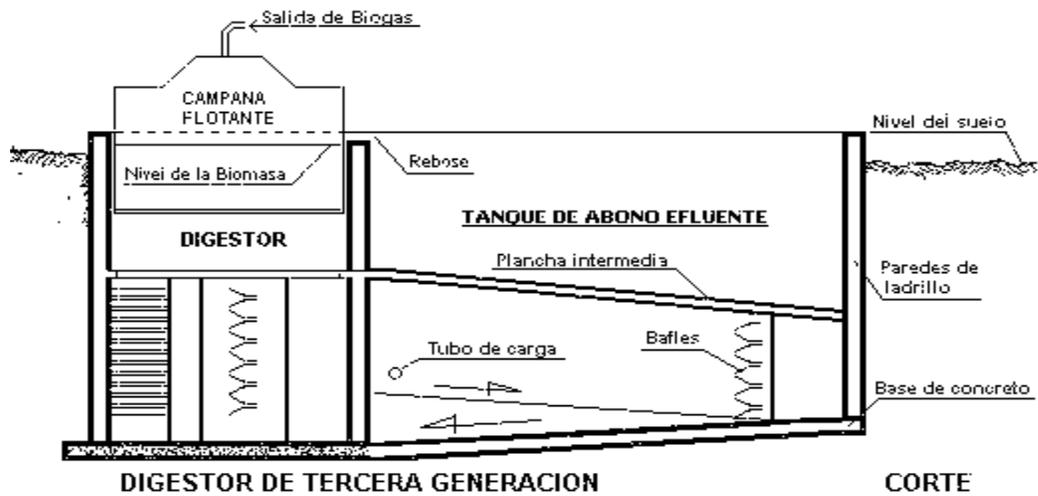


Figura 3.12 Biodigestor de Tercera Generación

3.2.2.6 Instalaciones Industriales

Las instalaciones industriales de producción de biogás emplean tanques de metal que sirven para almacenar la materia orgánica y el biogás por separado.

Este tipo de planta, debido al gran volumen de materia orgánica que necesita para garantizar la producción de biogás y la cantidad de biofertilizante que se obtiene, se diseña con grandes estanques de recolección y almacenamiento contruidos de ladrillo u hormigón.

Con el objetivo de lograr su mejor funcionamiento se usan sistemas de bombeo para mover el material orgánico de los estanques de recolección hacia los biodigestores, y el biofertilizante de los digestores hacia los tanques

de almacenamiento. También se utilizan sistemas de compresión en los tanques de almacenamiento de biogás con vistas a lograr que éste llegue hasta el último consumidor.

Para evitar los malos olores se usan filtros que separan el gas sulfhídrico del biogás, además de utilizarse válvulas de corte y seguridad y tuberías para unir todo el sistema y hacerlo funcionar según las normas para este tipo de instalación.

La tendencia mundial en el desarrollo de los biodigestores es lograr disminuir los costos y aumentar la vida útil de estas instalaciones, con el objetivo de llegar a la mayor cantidad de usuarios de esta tecnología.

119

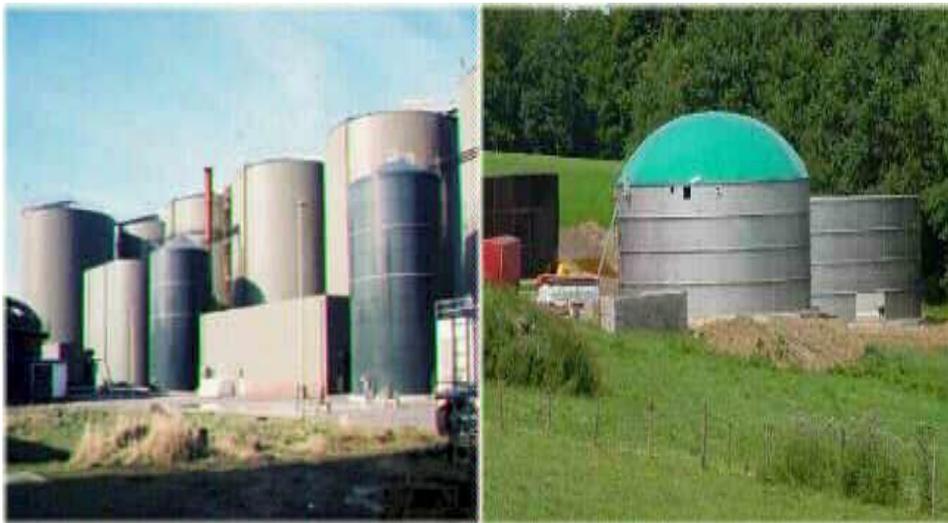


Figura 3.13 Biodigestores Industriales

¹⁹ Biodigestores. Una alternativa a la autosuficiencia energética y de biofertilizantes. Fundación Hábitat 2 de Abril de 2005 Quimbaya, Quindío Págs. 6-31.

3.3 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS Y SELECCIÓN²

Para el presente análisis y selección se ha tomado en cuenta los siguientes factores que nos permiten evaluar y seleccionar el tipo de biodigestor más adecuado para el diseño y construcción del mismo:

3.3.1 FACTORES HUMANOS

- Idiosincrasia
- Necesidad, la cual puede ser sanitaria, de energía y de fertilizantes.
- Recursos disponibles de tipo económicos, materiales de construcción, mano de obra, utilización del producto, área disponible.
- Disponibilidad de materia prima, si se cuentan con desechos agrícolas, desechos pecuarios, desechos domésticos, desechos urbanos, desechos industriales.

3.3.2 FACTORES BIOLÓGICOS

- Enfermedades y plagas tanto humanas como pecuarias y agrícolas

3.3.3 FACTORES FÍSICOS

- Localización, la ubicación si es en zona urbana, rural o semi-urbana y la geografía aspectos como la latitud, longitud y altitud.
- Climáticos dentro de estos aspectos están las temperaturas máximas y mínimas, la precipitación pluvial, la humedad ambiental , la intensidad solar, los vientos su intensidad y dirección.

- Vías de acceso.
- Topografía, teniendo en cuenta el declive del suelo: si es plano, ondulado, o quebrado.
- Suelos con sus características como la textura, estructura, nivel freático y capacidad agrológica.

3.3.4 FACTORES DE CONSTRUCCIÓN

- Técnicas de construcción si es de tierra compactada, cal y canto o ladrillo (barro cocido, suelo-cemento, silico-calcáreo), planchas prefabricadas, ferrocemento, concreto, módulos prefabricados.

3.3.5 FACTORES UTILITARIOS

- Función principal, si se construye de manera experimental, demostrativa o productiva.
- Usos, si el uso es de tipo sanitario, energético, fertilizante, integral.
- Organizativo si el biodigestor se va a construir a escala doméstica, para grupo familiar, comunitario o empresas.
- Capacidad, si es pequeño de 3 a 12 m³ / digestor; si es mediano de 12 a 45 m³ digestor y si es grande de 45 a 100 m³ / digestor.
- Operación de la instalación contemplando aspectos como el funcionamiento de el pretratamiento, la mezcla, la carga, y controles de PH, obstrucciones de líquidos, sólidos y gases: las descargas de efluentes tanto liquidas como gaseosas y de lodos; el almacenamiento de los líquidos, sólidos y gases; la

aplicación de líquidos por bombeo, por tanques regadores o arrastre por riego; los sólidos que están disueltos en el agua y los sólidos en masa y por ultimo los gases utilizados para la cocción, iluminación e indirectamente en los motores.²⁰

Tabla 3. 1 Tabla de la Matriz de decisión sin ponderación Matemática

Num.	Factores a evaluar	Domo Flotante	Domo Fijo	Estr. Flexible	Cúpula P.E.	Alta Veloc.	Inst.Industr.
1	Idiosincrasia	7	7	8	8	7	6
2	Necesidad	6	7	8	7	7	6
3	Recursos	7	6	9	7	7	6
4	Mat. Prima	7	7	10	8	6	6
5	Plagas	7	7	8	8	6	6
6	Localización	8	6	8	8	7	7
7	Clima	8	7	7	7	7	7
8	Topografía	7	8	7	7	7	7
9	Suelo	7	8	8	8	8	8
10	Fac. Construcción	7	7	7	7	6	6
11	Organización	7	6	7	7	6	6
12	Capacidad	7	7	8	8	8	8
13	Operación	8	8	8	8	7	7
	Sumatoria	93	91	103	98	89	86
	Orden de Prelación	3	4	1	2	5	6

²⁰ Biodigestores. Una alternativa a la autosuficiencia energética y de biofertilizantes. Fundación Hábitat 2 de Abril de 2005 Quimbaya, Quindío Págs. 6-31.

Tabla 3.2 Matriz de decisión con ponderación Matemática

Num.	Factores a evaluar	WF	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Puntaje	%	Pon.
1	Recursos	0.12	-	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	14.5	12.4	13
2	Necesidad	0.12	0.5	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	14.5	12.4	13
3	Mat. Prima	0.10			-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	13	10.3	11
4	Localización	0.10				-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	12	10.2	11
5	Clima	0.09					-	1	1	1	1	1	1	1	1	3	11	9.4	9
6	Topografía	0.08						-	1	1	1	1	1	1	1	3	10	8.6	8
7	Suelo	0.07							-	1	1	1	1	1	1	3	9	7.7	8
8	Fac.Constr.	0.06								-	1	1	1	1	1	3	8	6.8	7
9	Idiosincrasia	0.05									-	1	1	1	1	3	7	5.9	6
10	Plagas	0.05										-	1	1	1	3	6	5.2	5
11	Organización	0.04											-	1	1	3	5	4.3	4
12	Capacidad	0.04												-	1	3	4	3.4	3
																	117	100	100

Tabla 3.3 Matriz de decisión Resultados Finales

Num.	Factores a evaluar	WF	Domo Flotante		Domo Fijo		Estr. Flexible		Cúpula P.E.		Alta Veloc.		Inst. Indus.	
			R.F.	Punt.	R.F.	Punt.	R.F.	Punt.	R.F.	Punt.	R.F.	Punt.	R.F.	Punt.
1	Recursos	0.12	7	0.84	6	0.72	8	0.96	7	0.84	7	0.84	6	0.72
2	Necesidad	0.12	6	0.72	7	0.84	8	0.96	7	0.84	7	0.84	6	0.72
3	Mat..Prima	0.1	7	0.7	7	0.7	10	1	8	0.8	7	0.7	6	0.6
4	Localización	0.1	8	0.8	6	0.6	8	0.8	8	0.8	6	0.6	6	0.6
5	Clima	0.09	8	0.72	7	0.63	7	0.63	7	0.63	6	0.54	7	0.63
6	Topografía	0.08	7	0.56	8	0.64	7	0.56	7	0.56	7	0.56	7	0.56
7	Suelo	0.07	7	0.49	8	0.56	8	0.56	8	0.56	7	0.49	8	0.56
8	Fac.Construccion	0.06	7	0.42	7	0.42	7	0.42	7	0.42	7	0.42	6	0.36
9	Idiosincrasia	0.05	7	0.35	7	0.35	8	0.4	8	0.4	8	0.4	6	0.3
10	Plagas	0.05	7	0.35	7	0.35	8	0.4	8	0.4	7	0.35	7	0.35
11	Organización	0.04	7	0.28	6	0.24	8	0.32	8	0.32	7	0.28	7	0.28
12	Capacidad	0.03	7	0.21	7	0.21	8	0.24	8	0.24	8	0.24	7	0.21
Sumatoria			6.44		6.26		7.25		6.81		6.26		5.89	
			3		5		1		2		4		6	

Una vez realizada la evaluación de los diferentes tipos de biodigestores existentes, en relación a los factores propios de la Hacienda San Antonio del IASA II se ha determinado la alternativa mas viable para la construcción de un biodigestor de estructura flexible (biodigestor plástico de flujo continuo), ya que representa en la mayoría de los factores evaluados la solución mas óptima para este proyecto.

3.4 DISEÑO DEL BIODIGESTOR

El principal objetivo del diseño de este biodigestor es alcanzar un alto contenido de biomasa dentro del mismo que permita una alta producción de biogás y una alta reducción de la materia orgánica por unidad de volumen del digestor para lo que se requiere como datos el número de animales con el que se cuenta, el porcentaje de consumo, la energía necesaria distribuida según el uso y la cantidad de gas que se requiere para cubrir la demanda de la Hacienda San Antonio.

3.4.1 DIMENSIONAMIENTO

Para el dimensionamiento de los biodigestores se deben tomar en cuenta dos factores prioritarios:

- Conocer las cantidades exactas de las materias orgánicas que deseamos procesar y a partir de ellas calcular todo el biogás, así como el tamaño adecuado del biodigestor, para el tratamiento del material seleccionado.

- Conocer la cantidad de energía de biogás que se requiere suministrar y con éstos valores, calcular la materia orgánica que se requiera y su correspondiente dimensionamiento del digestor.

Para el primer caso, se realiza una estimación de las capacidades energéticas del lugar en donde se va a construir el biodigestor, para de esta manera dimensionar el mismo, y en base a los resultados, determinar si la cantidad de biogás producida, cumple los requerimientos energéticos total o parcialmente. Este tipo de análisis, se realiza cuando la cantidad de desechos orgánicos que se produce es limitada.

Para el segundo caso, cuando la cantidad de desechos orgánicos que se produce es demasiado grande o no existe limitaciones, y puede ir aumentando según la necesidad, se procede a calcular, la cantidad de biogás requerida en base a cada una de las necesidades energéticas del lugar donde va a ser construido el biodigestor, tomando en cuenta los distintos consumos como: cocción, iluminación, motor de combustión interna, refrigeración, etc. (en $\text{m}^3/\text{día}$) para luego calcular la cantidad de materia orgánica que se utilizará y de esta calcular las dimensiones del biodigestor.

Para el dimensionamiento del biodigestor de este proyecto se aplicará el segundo caso debido a que la cantidad de cabezas de ganado es suficiente para

los requerimientos planteados, como son: cocción de leche sustituta para los terneros, iluminación y funcionamiento de un motor de combustión interna de 4 Hp. De esta manera procedemos a realizar el siguiente análisis.

Para realizar los respectivos cálculos se presentan las siguientes tablas:

Tabla 3.4 NECESIDADES ENERGÉTICAS
ING. CARRASCO FRANKLIN. (2005). NOTA DE AULA DE ENERGÍAS NO CONVENCIONALES.

Cocción	0.23 m³ gas / persona * día
Iluminación (camisa 100)	0.12 / hora *lámpara
Motor de Combustión Interna	0.40 / hp * hora
Refrigeración	2.50 / día
Refrigeración por absorción	0.3 – 0.8 m³ gas /m³ nevera* día

Tabla 3.5 MATERIA PRIMA
ING. CARRASCO FRANKLIN. (2005). NOTA DE AULA DE ENERGÍAS NO CONVENCIONALES.

Bovino adulto estabulado	30, 00 kg / día cabeza
Bovino adulto semiestabulado	15, 00
Porcino (más de 50 kg)	2,20
Aves (2 kg de peso)	0,12
Equino	12,00

Tabla 3.6 PRODUCCIÓN DE BIOGÁS
ING. CARRASCO FRANKLIN. (2005). NOTA DE AULA DE ENERGÍAS NO CONVENCIONALES.

1 kg de estiércol bovino	0,038 m³ de biogás
1 kg de estiércol de ave	0,043
1 kg de estiércol porcino	0,035
1 kg de estiércol vegetales	0,040

TABLA 3.7: PRODUCCIÓN ESTIMADA DE BIOGÁS A PARTIR DE ESTIÉRCOL
ACUÑA MIGUEL, (1993), Seminario “Energía de la Biomasa”

Animal	Producción diaria de estiércol [kg/día]	Relación (estiércol : agua)	Producción estimada de biogás [m³/kg]

Bovino estabulado	30	(1 : 1)	0.038
Bovino semiestabulado	15	(1 : 1)	0.038
Porcinos (peso > 50 kg)	2.2	(1 : 1 – 2)	0.035
Aves (peso \approx 2 Kg.)	0.12	(1 : 1)	0.043
Equino	12	(1 : 1 – 3)	0.038

Energía Requerida

Para cocción (5) * 0.23 [m³/ternero.día] =1.15 m³biogás/día.

Para motor de bomba (4 hp) * 1 h/día * 0.40 [m³/hp *h]= 1.6m³biogás/día.

TOTAL = 2.75 m³biogás/día.

Por seguridad se añade un 8 % al total por lo que el requerimiento de diseño será de: 2.97 m³/día.

Como materia prima a utilizar se tiene el estiércol de ganado bovino, producido en la hacienda San Antonio del IASA II (1 Kg \rightarrow 0.038 m³ de biogás), por lo tanto se requiere:

Materia prima: 2.97 / 0.038 = 78.16 Kg de estiércol.

Para obtener el numero de vacas para el proyecto, se toma en cuenta que el ganado se encuentra semiestabulado:

cabezas semiestabuladas = 78.26 Kg. de estiércol / 15 = **6 cabezas.**

3.4.2 VOLÚMEN DEL BIODIGESTOR

La materia prima debe mezclarse con una cantidad igual de agua siempre y cuando el estiércol este húmedo (relación 1 : 1), o se deberá considerar una

mezcla del doble de agua en caso que el estiércol este seco (relación 1 : 2). Para este proyecto tomaremos la relación 1:1 mezcla igual de estiércol con agua.

La mezcla para carga diaria (Vcd) será:

Vcd = 78.26 Kg de estiércol + 78.26 Kg de agua = 156.32 Kg de mezcla.

156.32 Kg de mezcla \equiv 157 Kg de mezcla

Para efectos de cálculo, se toma la consideración de que la densidad del estiércol bovino es aproximadamente 1 Kg / dm³.

Igualmente de acuerdo a la temperatura media del lugar se establece el tiempo de retención (Tr) en 35 días lo que permite determinar el volumen del biodigestor (Vd).

$$Vd = Vcd * Tr$$

$$Vd = 157 * 35 = 5495 \text{ dm}^3 \text{ se aproxima a } 6 \text{ m}^3.$$

Como se ha podido observar en los cálculos realizados, se debe tomar en cuenta que el volumen del biodigestor Vd = 6 m³ corresponde únicamente al volumen que dispondrá el biodigestor para almacenar los desechos que ingresarán al mismo en cargas periódicas, durante el tiempo de retención determinado.

El biodigestor para este proyecto debe ser dimensionado con una fase para los desechos y una fase para el gas que se seguirá produciendo. En la siguiente figura se puede observar la distribución del volumen dejando un porcentaje del volumen total equivalente al 75% para la fase líquida o de desechos orgánicos, y un restante 25% para la fase de biogás.



Figura 3.14 Distribución de volumen en el digestor (vista lateral)

Desplegable Técnico 04 Biodigestor Instalación MAG – Pacayas.

De esta manera se procede a calcular los volúmenes parciales y totales, que se necesitarán para determinar, la cantidad de plástico de polietileno tubular que utilizará el cuerpo del biodigestor.

$V_d = 6 \text{ m}^3$ equivalente al 75 %

$$V_c = \frac{V_d * 0.25}{0.75}$$

donde:

V_c : Volumen de campana o gasómetro

$$V_c = 2 \text{ m}^3$$

Calculamos, el volumen total del digestor:

$$V_t = V_d + V_c$$

V_t : Volumen total del digestor

$$V_t = 6 + 2$$

$$V_t = 8 \text{ m}^3.$$

3.4.3 CÁLCULO DE LA LONGITUD DEL BIODIGESTOR

En vista que la hacienda San Antonio dispone del material necesario para la construcción del biodigestor el calculo a realizar es la longitud del mismo con un plástico de polietileno natural tubular de 80" * 0.008.

$$\text{Plástico de } C = 80'' = 400 \text{ cm.} = 4 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro} = \text{Circunferencia} / \pi = 4 / \pi = 1.27 \text{ m}$$

$$\text{Longitud} = 2Vt / \pi * r^2 = 2*8 \text{ m}^3 / \pi * (0.636)^2 = 12.59 \text{ m.} = 13 \text{ m.}$$

El biodigestor elegido tiene 1.27 metros de diámetro y 13 metros de largo y una profundidad de 1. metro; el mismo que será utilizado en la Hacienda San Antonio la misma que dispone de una cantidad suficiente de ganado para cubrir los requerimientos de energía planteados y tiene una durabilidad de 4 años promedio.

Una vez obtenido todos los resultados del dimensionamiento del biodigestor se debe añadir una longitud adicional de 1 m. en cada extremo para acoplar los tubos de entrada de materia prima y salida del efluente, lo que dará una longitud total de 15 m. Para dar mayor resistencia al biodigestor se utilizará doble funda de polietileno dando un total de 30 m.

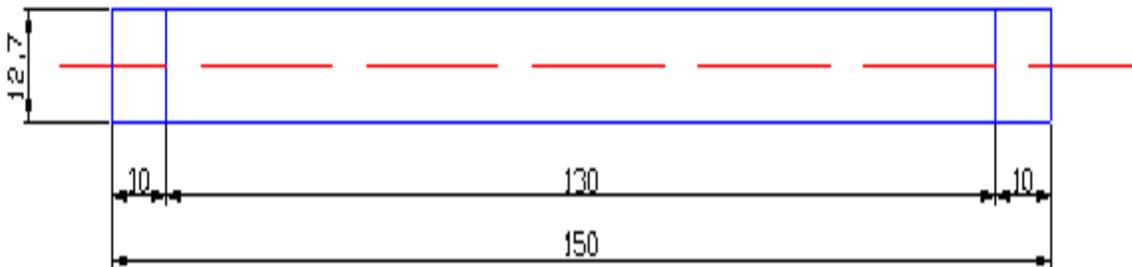


Figura 3.15 LONGITUD TOTAL DEL PLÁSTICO DE POLIETILENO NATURAL TUBULAR (CUERPO DEL DIGESTOR Y EXCEDENTES LATERALES)

Grafico elaborado por Capt. Sánchez Milton y Capt. Pazmiño Alexander

3.4.4 DISEÑO DEL DIQUE DE ASENTAMIENTO

Con los datos obtenidos procedemos a diseñar el dique de asentamiento el mismo que será construido en el suelo tomando en consideración que las paredes laterales tendrán una inclinación de 15° para evitar posibles desmoronamientos de tierra hacia el biodigestor, además se debe tener en cuenta que no existan raíces ni piedras que puedan romper la funda de polietileno.

Este dique ayudará a mantener protegido al biodigestor bajo correctas condiciones de temperatura, para una buena producción de biogás y evitando que pierda su forma cilíndrica, permitiendo de esta manera su funcionamiento óptimo.

En cada uno de los extremos de la fosa esta previsto el espacio necesario para ubicar los tanques de alimentación y de recolección del efluente, se ha tomado en cuenta la inclinación de 2° que debe tener el dique de asentamiento para que la gravedad ayude a la salida del bioabono por el tanque respectivo.

Este dique de asentamiento va a permitir que el 75% de la fase líquida en el interior de la funda de polietileno se distribuya uniformemente, y por lo tanto que las condiciones de fermentación se mantengan iguales a lo largo del biodigestor.

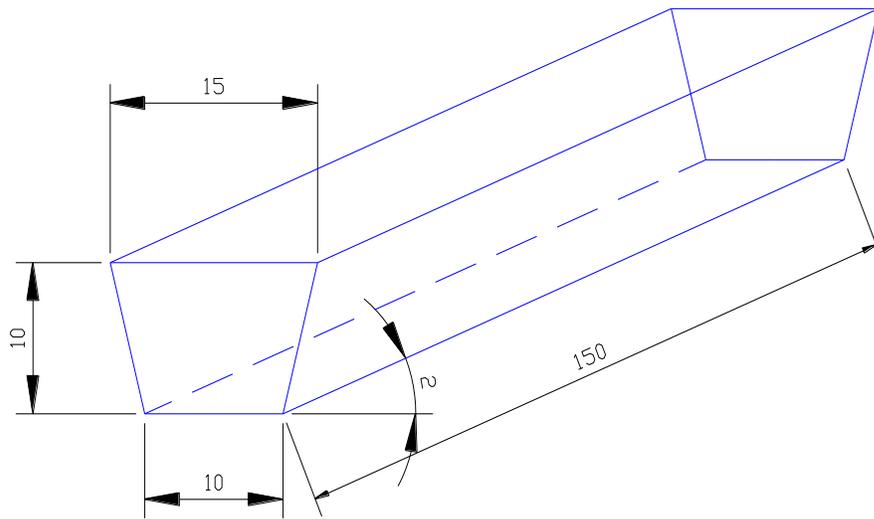


Figura 3.16 FORMA Y DIMENSIONAMIENTO DEL DIQUE DE ASENTAMIENTO PARA EL BIODIGESTOR

Grafico elaborado por Capt. Sánchez Milton y Capt. Pazmiño Alexander

3.4.5 DISEÑO DE LOS TANQUES DE CARGA Y DESCARGA

El tanque de carga no es mas que el tanque de alimentación de la materia prima y su característica principal es la de mezclar el estiércol con el agua y a la vez permitir que exista una prefermentación en la misma, en donde la cantidad diaria de mezcla de estiércol y agua que se debe ingresar en el biodigestor es de 157 Kg. pero debemos considerar que para el diseño del tanque de carga este deberá contener la materia prima de 6 días lo que significa que las dimensiones del tanque de carga serán:

Volumen de tanque de carga = 3 * volumen de mezcla diaria

$$V_{tc} = 6 * 157 \text{ lt.}$$

$$V_{tc} = 942 \text{ lt.}$$

$$V_{tc} = 942 \text{ dm}^3$$

Una vez realizado los cálculos vamos a tener un tanque de carga de 1 m^3 para lo cual se ha tomado las medidas del largo y ancho de un vehículo pequeño que transporta la materia orgánica, lo que significa que las dimensiones para este tanque serán como se indica a continuación:

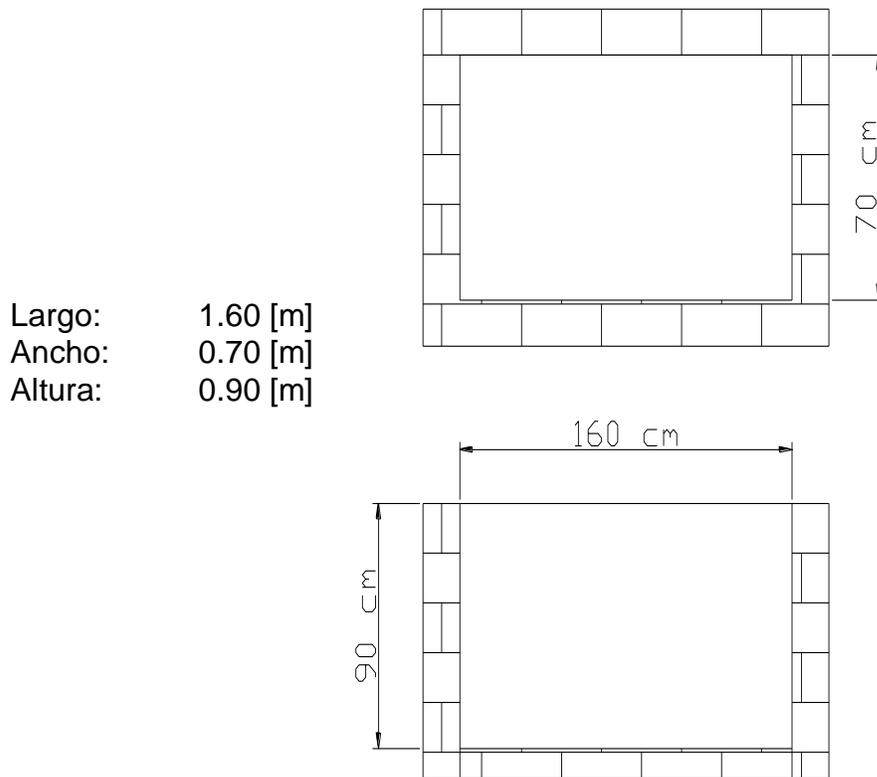


Figura 3.17 Forma y Dimensionamiento del Tanque de Carga

Grafico elaborado por Capt. Sánchez Milton y Capt. Pazmiño Alexander

Para construir el tanque de carga se deberá tener en cuenta una pequeña inclinación en la base del 1% aproximadamente y en el punto más profundo se colocará un tapón permitiendo retener la materia prima por un tiempo antes de ser evacuada hacia el biodigestor por la tubería de conducción.

Una vez que se proceda a la construcción se debe tomar en cuenta que estas medidas pueden variar teniendo en cuenta el volumen mínimo que fue calculado anteriormente.

Al ser analizadas las condiciones del terreno, el tanque de carga va a ser construido sobre la tierra por lo que se seleccionó bloque vibrado en una cantidad aproximada de 12 bloques por metro cuadrado para su construcción.

El tanque de descarga va a tener las mismas características que el tanque de carga. Pero no se van a mantener las mismas dimensiones y dependiendo de las condiciones del terreno va a estar situado bajo tierra. Este tanque va a requerir de una inclinación mas grande de aproximadamente el 15% que permitirá al bioabono caer por gravedad hacia la pared lateral de malla de acero la misma que permitirá cernir el bioabono para de esta manera recolectar el biol en otro tanque.

Largo: 1.00 [m]
Ancho: 1.00 [m]
Altura: 1.00 [m]

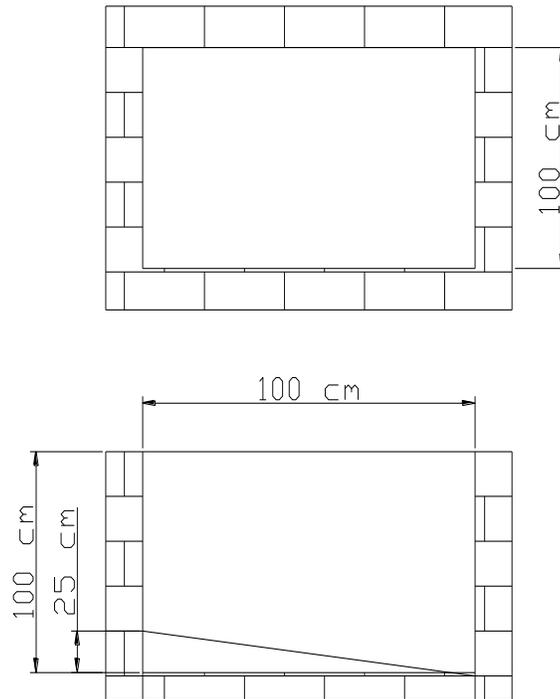
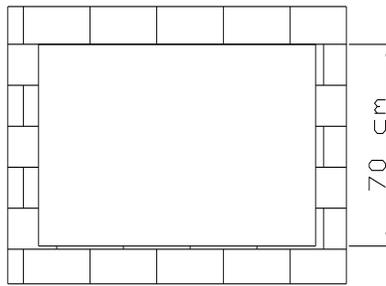


Figura 3.18 Forma y Dimensionamiento del Tanque de Descarga

Grafico elaborado por Capt. Sánchez Milton y Capt. Pazmiño Alexander

El tanque de carga y de descarga deberán estar situados a 180° el uno del otro y en un lugar accesible que permita el ingreso de la materia prima y seguidamente se pueda realizar la mezcla para el primer tanque y recoger el bioabono para el segundo tanque.

Se ha tomado en consideración la construcción de un tanque de recolección del biol el mismo que tendrá las siguientes dimensiones:



Largo: 0.70 [m]
 Ancho: 0.70 [m]
 Altura: 0.65 [m]

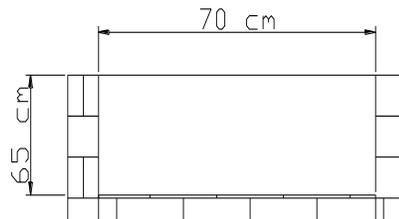


Figura 3.19 Forma y Dimensionamiento del tanque de Recolección de Biol.

Grafico elaborado por Capt. Sánchez Milton y Capt. Pazmiño Alexander

3.4.6 DISEÑO DE LA SALIDA DE GAS

Para la salida de gas se ocupará material óptimo para la conducción del mismo y se ha determinado al PVC por sus propiedades como son: impermeabilidad, resistencia química y al desgaste, bajo peso, baja toxicidad y economía.

Para la construcción de la tubería de gas se va a ocupar material PVC de 1" en lo que se refiere a tees, codos, reducciones, tubos niples etc., de acuerdo a su disponibilidad en el mercado y facilidad que ofrezca para el flujo de biogás, así como evitar cargas estáticas que pueden ser peligrosas.

Para un acople adecuado de este diseño se instalará a 7 metros del ingreso de la materia orgánica en la parte superior del biodigestor la válvula de salida de gas, y toda la instalación hasta la funda de recolección de biogás la misma que constará de las siguientes partes y dimensiones:

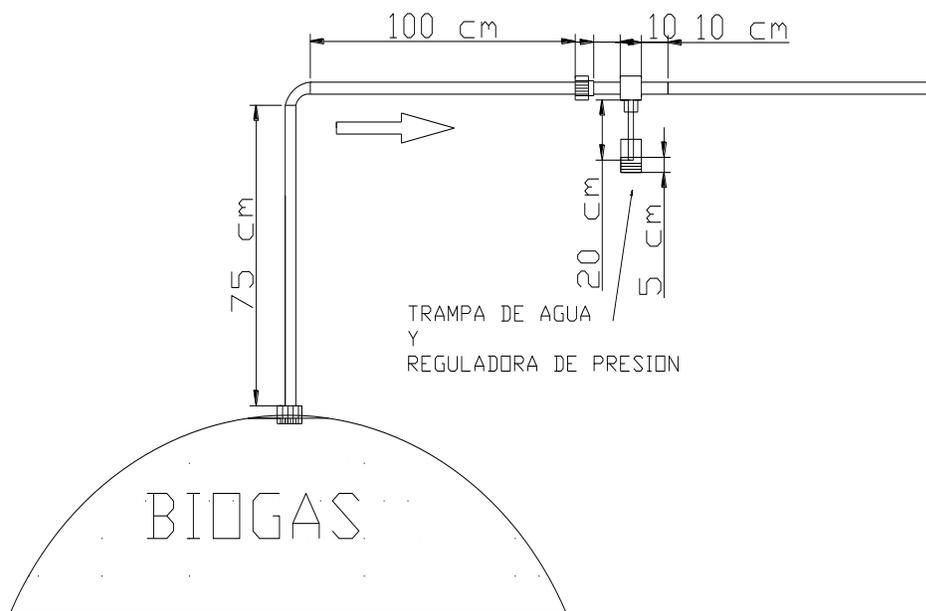


Figura 3.20 Dimensionamiento de la Línea de Salida de Biogás

Gráfico elaborado por Capt. Sánchez Milton y Capt. Pazmiño Alexander

Al existir bajas presiones de gas en el sistema, permitirá diseñar estas líneas con mayor facilidad utilizando el PVC, teniendo en cuenta que a la salida de la válvula se tendrá un manómetro para calcular las presiones que se ejerce dentro del biodigestor, tendremos un termómetro que ayudará a controlar la temperatura y colocaremos un pHmetro para controlar el ph que es la principal parámetro que influye en la producción de biogás.

CAPÍTULO 4

CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

4.1 CONSTRUCCIÓN DE COMPONENTES DEL BIODIGESTOR

4.1.1 UBICACIÓN

Como se ha visto anteriormente la construcción de biodigestores son las formas mas baratas y fáciles de obtención de energía que tiene gran potencial para ser desarrollada y utilizada ampliamente en haciendas, fincas, etc., mejorando el tratamiento de los desechos orgánicos de una manera significativa y a la vez extrayendo toda la energía disponible que servirá de apoyo al crecimiento de las mismas.

Para la construcción del biodigestor es necesario que este se encuentre lo más cerca posible de la fuente de materia orgánica en lo posible no deberán tener mas de 200 metros de distancia de acuerdo a las recomendaciones.

Para el presente proyecto en cuanto se refiere a la Hacienda San Antonio ubicada en el Km. 38 ½ de la vía a Quevedo se ha escogido un lugar cercano a los establos donde se pueda recolectar los desechos orgánicos e inmediatamente estos sean depositados en el tanque de carga del biodigestor por medio del carro recolector que sirve para este fin.



Fotografía 4.1 Carro recolector de la materia prima (estiércol)

El establo es empedrado y el ganado permanece semiestabulado, desde las 5 de la tarde hasta las 6 de la mañana del día siguiente, por lo que se hace necesario recoger la materia orgánica a partir de las 7 de la mañana y colocarla en el carro recolector el mismo que se encargará de depositarla en el tanque de carga.



Fotografía 4.2 Establo empedrado

Otra consideración a tomar en cuenta, se refiere a una toma de agua que debe estar cerca al biodigestor la misma que se utilizará para hacer la mezcla con la materia orgánica y para efectos de limpieza, la Hacienda cuenta con una tubería que tiene una toma directa del río y que para nuestro proyecto se la extendió hasta el biodigestor.



Fotografía 4.3 Instalación de la toma de agua

En cuanto al nivel freático existente en el lugar, este se mantiene en condiciones optimas y normales para la construcción, por lo que no se hace necesario utilizar ninguno tipo de membranas geotextiles para proteger al biodigestor debido a que a unos 40 metros aproximadamente bajo tierra se encuentran los primeros cursos de agua subterráneos.

4.1.2 SECUENCIA A SEGUIR PARA LA CONSTRUCCIÓN Y EL MONTAJE DEL BIODIGESTOR.

Una vez ubicado el lugar donde se construirá el biodigestor que para este proyecto fue determinado en uno de los galpones existentes, el mismo que dispone de una estructura de protección de hormigón, se procede primeramente a hacer la limpieza correspondiente del sector.



Fotografía 4.4 Limpieza del sector de construcción del biodigestor

Posteriormente se procede a realizar las respectivas mediciones del dique de asentamiento por medio de una cinta métrica, estacas y piola dejando claramente señalado el sector que va a ser excavado.



Fotografía 4.5 Medición del dique de asentamiento.

Por último se procede a excavar el dique teniendo en cuenta las medidas especificadas, para esto se realizó el trabajo manualmente dando la configuración que el dique necesita, quitando piedras y raíces que podrían dañar la película tubular de polietileno una vez que esta sea colocada.



Fotografía 4.6 Excavación del dique de asentamiento.

Una vez terminado el dique de asentamiento con sus respectivas medidas se procede a construir los tanques de carga, descarga y recolección del biol, los mismos que tiene las mismas características pero variando sus dimensiones de acuerdo a las necesidades de la Hacienda, así el tanque de carga tiene las medidas del recolector a fin de optimizar el trabajo de descarga de los desechos orgánicos.



Fotografía 4.7 Construcción del tanque de carga.



Fotografía 4.8 Comprobación de medidas para el tanque de carga.

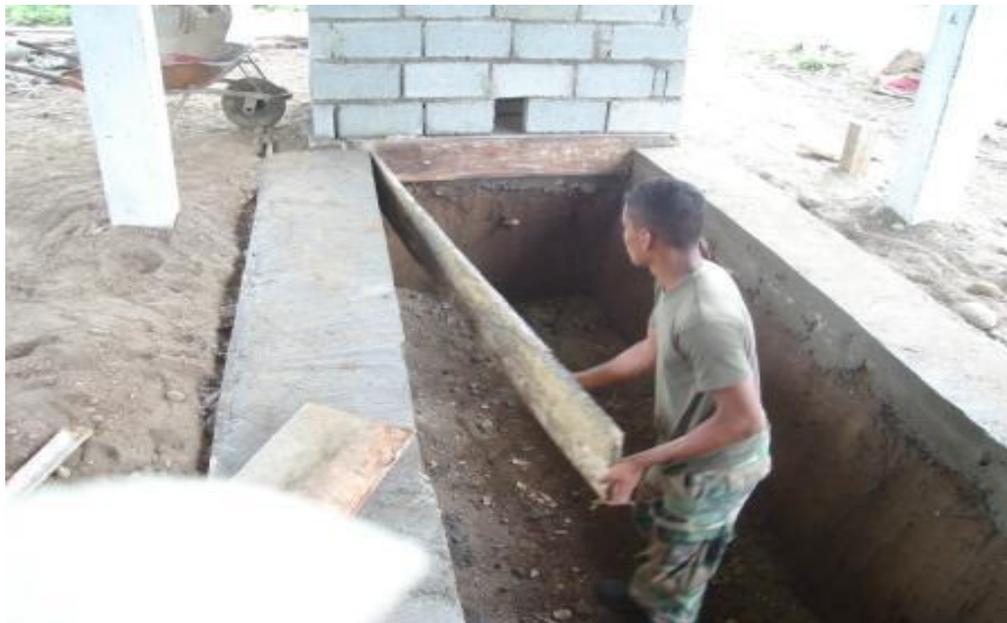


Fotografía 4.9 Construcción del tanque de descarga y recolección del biol.

Para que no exista desmoronamiento de las paredes laterales al momento de pasar por los lados se hizo necesario construir un piso pequeño en los laterales para protección evitando que se derrumbe y caiga la tierra hacia el biodigestor.



Fotografía 4.10 Construcción de los pisos laterales del dique de asentamiento.



Fotografía 4.11 Desencofrado de los pisos laterales del dique de asentamiento.

Terminado de construir el dique y los tanques se hizo necesario cercar el área mediante estacas de cemento y alambre de púas, para evitar que el ganado cause daños en el sector de construcción del proyecto.



Fotografía 4.12 Colocación de estacas y alambre de púas.



Fotografía 4.13 Pintado de la cerca y columnas de la estructura de protección.

Para facilitar el proceso de carga del biodigestor se ha encementado el acceso de manera que el carro recolector pueda ingresar hasta el tanque de carga y depositar la materia orgánica. Debido a las características del sector se hizo necesario colocar una tubería de desfogue del agua lluvia que se acumula en este sitio especialmente en la estación invernal y de esta manera garantizar el normal funcionamiento del mismo.



Fotografía 4.14 Colocación de tubería de desagüe.



Fotografía 4.15 Empedrado del acceso.



Fotografía 4.16 Empedrado terminado del acceso.

4.1.3 PREPARACIÓN DE LA FUNDA PLÁSTICA

Para la preparación de la funda plástica se utilizó un rollo de polietileno UV térmico tubular calibre 8 el mismo que se lo confeccionó de acuerdo a las medidas y necesidades de este proyecto, pesa alrededor de los 82 kg, con un ancho de 4 metros y una longitud de 100 metros. El rollo se lo manipulo en posición horizontal, poniendo una varilla a través del centro del rollo facilitando de esta manera desenvolver la funda y obtener la longitud requerida para construir la funda con las medidas exactas.



Fotografía 4.17 Colocación de una varilla a través del centro del rollo

La longitud del biodigestor es de 14 metros para lo que se adicionó 1 metro a cada extremo para permitir amarrar mediante las correas de caucho a los tubos de carga y descarga. La longitud que se cortó fue de 16 metros, siendo cortadas

dos longitudes iguales, las mismas que fueron utilizadas como doble funda para permitir aumentar la resistencia del biodigestor.



Fotografía 4.18 Medición de la longitud a cortar del rollo de polietileno.



Fotografía 4.19 Corte de dos longitudes iguales del rollo de polietileno.



Fotografía 4.20 Inicio de la colocación de doble funda



Fotografía 4.21 Doble funda que incrementa la resistencia

4.1.4 COLOCACIÓN DE LA LÍNEA DE SALIDA DE GAS

Los componentes que forman parte de la línea de salida de gas son colocados como se indica a continuación:

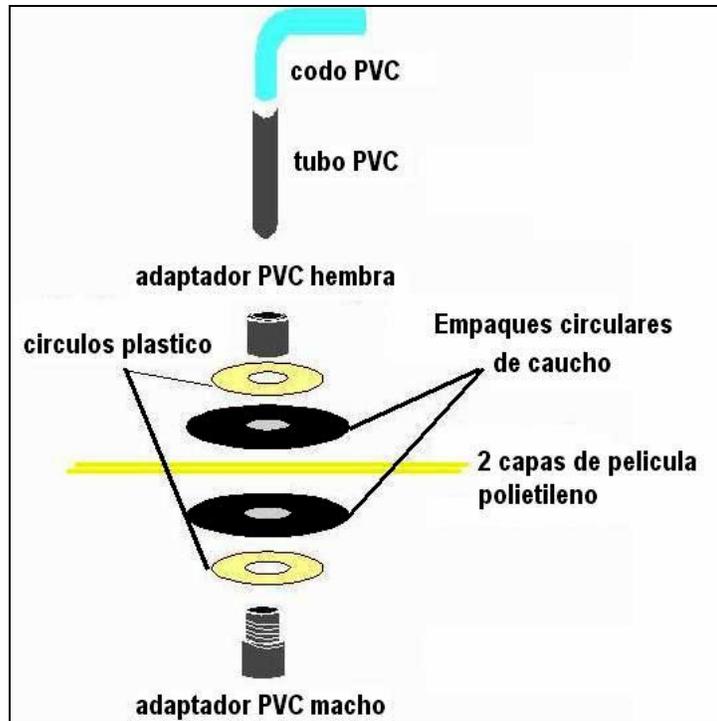


Figura 4.1 Accesorios para la línea de salida de gas

El primer paso que se hizo fue marcar el lugar donde va a ir la salida de gas, la misma que se encuentra a 5 metros desde el tanque de carga, el tamaño del agujero se lo determinó por el diámetro externo del adaptador de PVC macho.

La instalación para la salida del gas se complementó al enroscar los adaptadores macho y hembra de manera que quede seguro y no exista la posibilidad de que escape el gas.



Fotografía 4.22 Medición del punto donde será ubicada la salida de gas



Fotografía 4.23 Marcación del sitio de corte de la salida de gas



Fotografía 4.24 Colocación de accesorios para la salida de gas.



Fotografía 4.25 Ajuste de la salida de gas

Los empaques circulares de caucho se cortaron de los tubos de llantas que utilizan los vehículos asegurándose que los adaptadores macho y hembra que están siendo ensamblados se sujeten suavemente.



Fotografía 4.26 Corte de los empaques circulares de caucho para la salida de gas.

4.1.5 COLOCACIÓN DE LA LÍNEA DE CARGA

Para la colocación de la línea de carga se procedió a cortar los tubos de PVC de 8 pulgadas con sus respectivas medidas tanto para la carga y descarga de la materia prima.

Para asegurar los tubos de PVC con la doble funda de polietileno se cortó bandas de caucho de 5 cm. de ancho y 10 metros de largo de los tubos de llanta de vehículos para de esta manera proceder a asegurar los tubos de carga y

descarga de PVC respectivamente, estos tubos fueron cortados de acuerdo a la distancia medida y con un diámetro de 8 pulgadas, fueron colocados en el medio de los extremos de la funda plástica usando el 1 metro que se dejó a cada lado para el respectivo amarre. Esta junta es asegurada usando las bandas de caucho recortadas.



Fotografía 4.27 Corte de los tubos de PVC de carga y descarga



Fotografía 4.28 Acople de la funda de polietileno al tubo y amarre de las cintas de caucho



Fotografía 4.29 Acople de la funda de polietileno al tubo y fijación completa del tubo con el plástico de polietileno

4.2 MONTAJE

4.2.1 LLENADO DE LA FUNDA DE POLIETILENO CON AIRE

Para este proyecto se ha utilizado un compresor de aire para realizar el llenado de la funda de polietileno y revisar que la misma se encuentre sin ninguno tipo de fugas, por lo que se hizo necesario que el tubo de la línea de carga y descarga sean sellados con pedazos de plásticos y sujetándolos usando las bandas de caucho.

Para inflar la funda de polietileno se utilizó la línea de salida de gas para ingresar el aire y una vez llenada la funda de aire se colocó un tapón de rosca que no permitió el escape de aire, de esta manera se pudo verificar si existía alguna fuga.



Fotografía 4.30 Entrada del aire por la línea de la salida del gas e inflado de la funda de polietileno



Fotografía 4.31 Inflado parcial y total de la funda de polietileno para comprobar que no existan fugas

Existe otro método convencional para inflar la funda de polietileno. Se revisan los extremos que estén completamente cubiertos por las bandas de caucho, cada una de ellas superpuesta sobre la anterior, y terminando sobre las tuberías de PVC, de manera que los extremos de la manga estén completamente cubiertos. La banda de caucho, colocada previamente para evitar que escapara el aire al instalar la tubería de PVC de salida, debe ahora retirarse. La bolsa se desinflará un poquito al entrar el aire a la tubería de PVC. El paso final consiste en llenar completamente de aire la bolsa, colocando un tubo de plástico de cuatro metros de largo (hecho con el mismo material utilizado para el biodigestor: manga de polietileno) a la tubería de PVC de salida, llenarlo de aire utilizando el procedimiento de agitar el tubo, y luego retirar la manga de polietileno para permitir que este aire entre a la bolsa principal. El proceso puede repetirse hasta que la bolsa del biodigestor esté completamente llena de aire.

4.2.2 COLOCAR EL BIODIGESTOR EN LA ZANJA

La funda de polietileno ya inflada es trasladada hasta el dique de asentamiento con mucho cuidado para que no entre en contacto con objetos que puedan romper la funda. Se le coloca dentro de la zanja de tal manera que la línea de salida del gas esté en la parte superior de la funda, la entrada al extremo más alto de la zanja y la salida al extremo más bajo.

Una vez colocada la funda en el dique se procede a sellar la caja de carga con el tubo de entrada, luego de esto se procede a desinflar la funda y dejar listo al biodigestor para inmediatamente empezar a mezclar y colocar la carga, esperando los 35 días necesarios para que empiece a producir los primeros resultados.

Se prepara un soporte que sujete a la manguera que funcionará como tubería de gas. Este soporte es fabricado con una tubería de PVC de 12,5 mm de diámetro.



Fotografía 4.32 Traslado de la funda de polietileno inflada al dique de asentamiento y colocación de la misma en la forma correcta.



Fotografía 4.33 Empotramiento del tubo de entrada y salida a las cajas respectivas.



Fotografía 4.34 Funda de polietileno desinflada una vez colocada en la posición exacta.

4.2.3 COLOCACIÓN DE LA TUBERÍA DE GAS

Una vez posicionado de forma correcta el biodigestor en el dique de asentamiento se procede a colocar la tubería de gas enroscando los tubos, de acuerdo a la disposición planificada y poniendo un pegamento especial para la tubería PVC evitando de esta manera que se produzcan fugas.

Para una mejor fijación de la tubería se construyó un soporte de madera para acoplar la línea de salida de gas.



Fotografía 4.35 Tubería acoplada de la línea de salida de gas.



Fotografía 4.36 Instalación de la tubería completa en el biodigestor



Fotografía 4.37 Soporte de madera para sujetar la línea de salida del biogás.

4.2.4 LA TRAMPA DE AGUA (VÁLVULA DE SEGURIDAD DE BIOGÁS)

Se debe procurar que la presión de gas existente dentro del biodigestor no aumente demasiado, contando para esto con un mecanismo de escape simple el mismo que se lo fabricó a partir de una botella de plástico parcialmente llena de agua. Esta fue suspendida convenientemente permitiendo observar con facilidad el nivel del agua y volverla a llenar cuando sea necesario.

Con tubería de PVC de 1" (pulgada) se instaló una "T", en los extremos se acopló la tubería que viene del biodigestor y en el otro lado la tubería que va al reservorio de biogás, en la parte de abajo se acopló una reducción de 1/2" y se instaló un niple de 30 cm., el mismo que se introduce en el envase plástico, a este envase se le realizó un corte de 3X4 cm. en la parte superior de la botella que servirá para poder recargar agua .

El nivel de agua dentro del envase debe estar de 5 a 6 cm., por encima del extremo de este tubo, esta válvula casera esta cerca al biodigestor en la conducción de gas que sale de este, su función es formar un sello de agua que permita la salida del biogás en condiciones normales, pero que a su vez deje escapar el exceso de presión evitando la ruptura del plástico.



Fotografía 4.38 Materiales para la válvula de seguridad.



Fotografía 4.39 Colocación de válvula de seguridad en la línea de salida de biogás



Fotografía 4.40 Acople de la botella en la tubería de la línea de salida del biogás.

4.2.5 RESERVORIO DE BIOGÁS

El reservorio de biogás se lo realizó con la misma funda plástica de polietileno utilizada para el biodigestor de 4 metros de longitud.

Se procede a colocar dos tubos de 1 metro de longitud y una 1" de diámetro en los extremos de la funda de polietileno procediendo a amarrarlos con las bandas de caucho obtenidas de los tubos de neumático. Los amarres se hacen de idéntica forma que se hizo para los tubos de carga y descarga.

En un extremo se acopla mediante una reducción la línea de gas proveniente del biodigestor y en el otro extremo una "T" de PVC que servirá para distribuir el gas hacia la cocina y la bomba de succión respectivamente.

El reservorio de biogás fue colocado en el centro del galpón sujeto a las columnas centrales lo que nos permitirá distribuir de forma adecuada el biogás para los objetivos planteados en este proyecto.



Fotografía 4.41 Colocación de los tubos en la funda de polietileno



Fotografía 4.42 Amarre de los extremos del reservorio de almacenamiento.



Fotografía 4.43 Suspensión de la bolsa de almacenamiento de biogás.

4.2.6 TANQUES DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE BIOGÁS

Para completar el ciclo de trabajo del biodigestor se ha considerado el almacenamiento de biol en 3 tanques de plástico a los cuales se enviará el líquido mediante la bomba de succión desde el tanque de recolección del biol, los cuales han sido interconectados mediante tubería de PVC y colocados junto al biodigestor en la parte de salida del efluente, estos tanques permitirán distribuir de manera adecuada y rápida el producto a los campos de cultivo que lo necesiten.



Fotografía 4. 44 Dispositivo de los tanques de almacenamiento de biol.

4.2.7 BIODIGESTOR COMPLETO

Una vez realizada la fase de construcción del biodigestor y al tener todos sus componentes acoplados y listos para su fase de funcionamiento procedemos a la carga del mismo con la mezcla de la materia orgánica y agua de acuerdo a lo establecido para luego del tiempo de retención se proceda a obtener y manejar

los diferentes resultados y productos que saldrán de la construcción de este proyecto.



Fotografía

4.45 Biodigestor completo



Fotografía 4.46 Proceso de carga



Fotografía 4.47 Mezcla de estiércol-agua

4.2.8 DIAGRAMAS DE FLUJO

DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL BIODIGESTOR

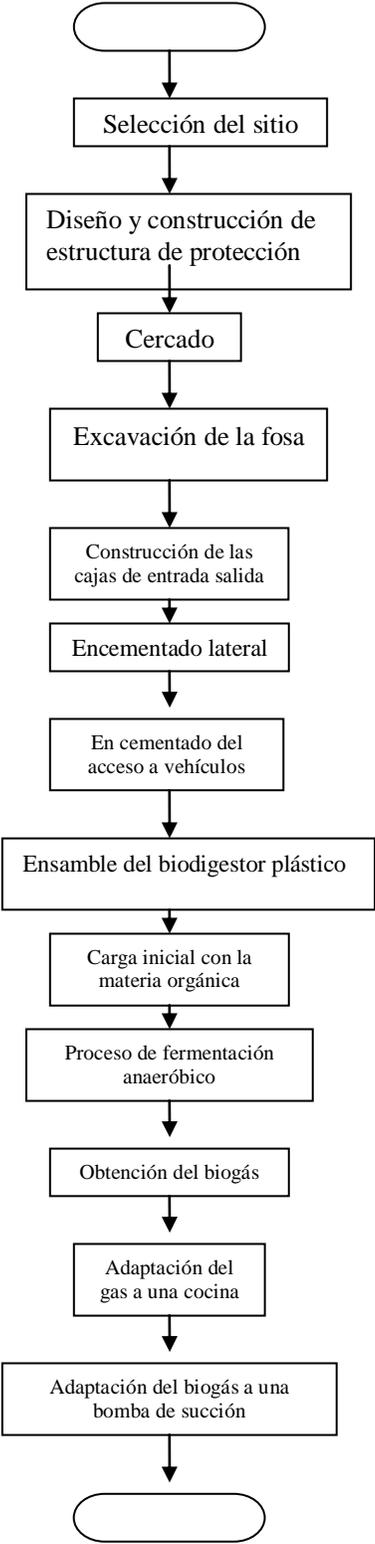
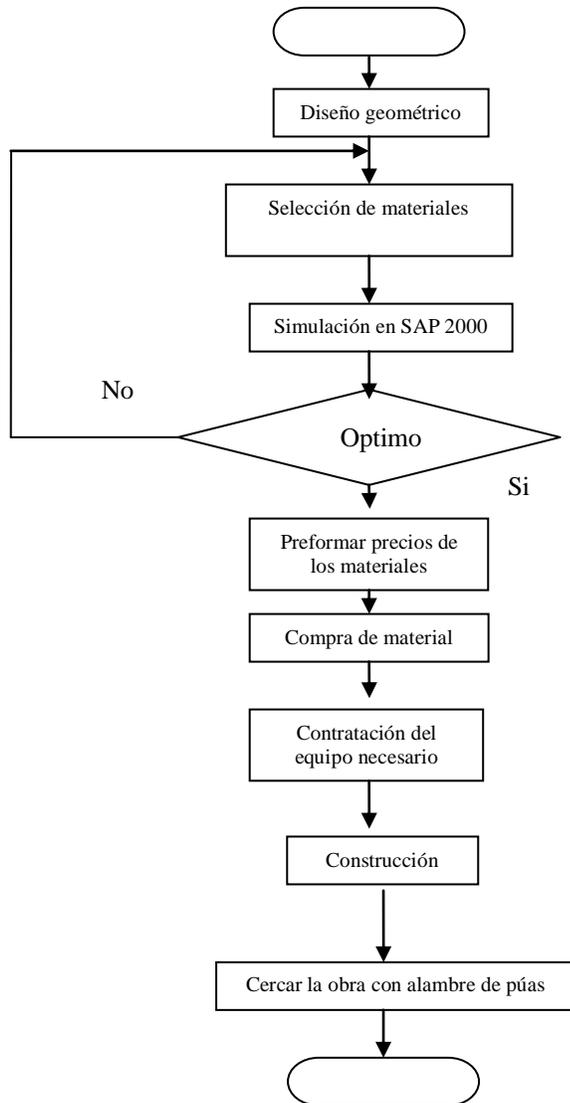


DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE PROTECCIÓN.



**DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA CONSTRUCCION DEL DIQUE DE
ASENTAMIENTO**

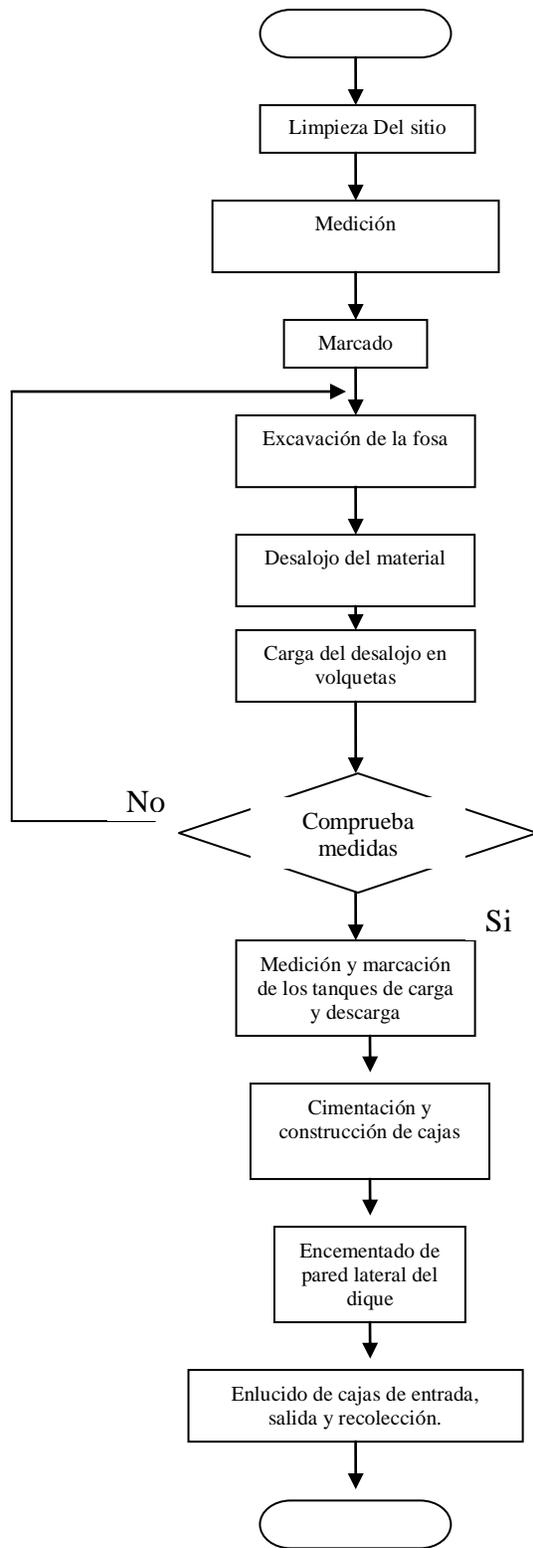


DIAGRAMA DE FLUJO PARA ADECUACION DE LA ENTRADA HACIA EL BIODIGESTOR

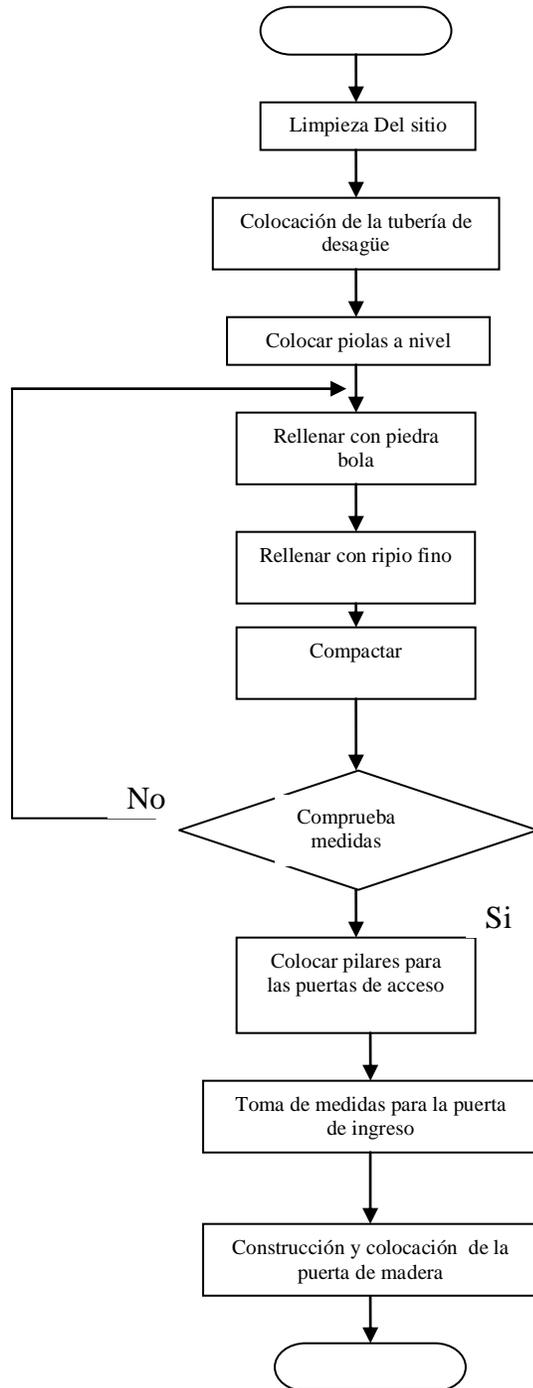


DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL ENSAMBLE DEL BIODIGESTOR PLASTICO

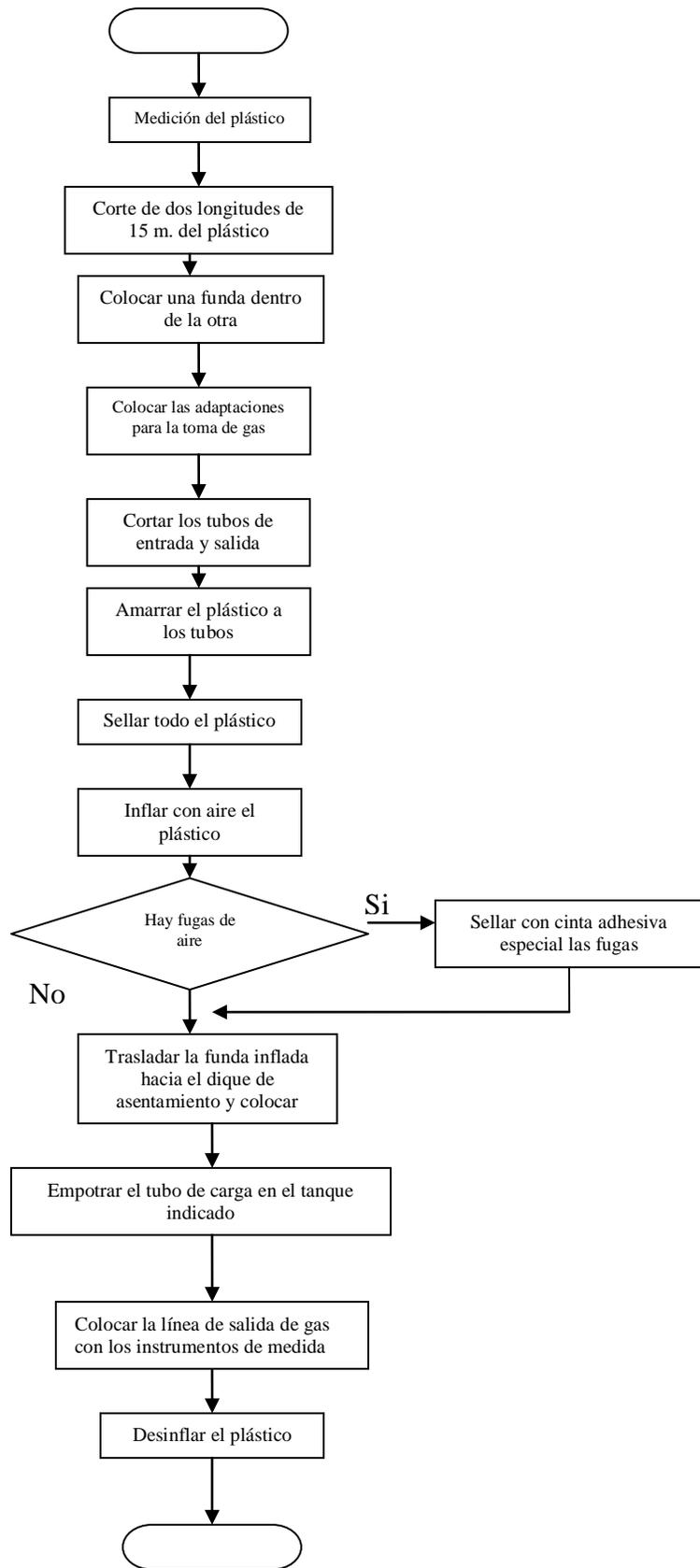


DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL PROCESO DE CARGA Y OBTENCION DE BIOGAS

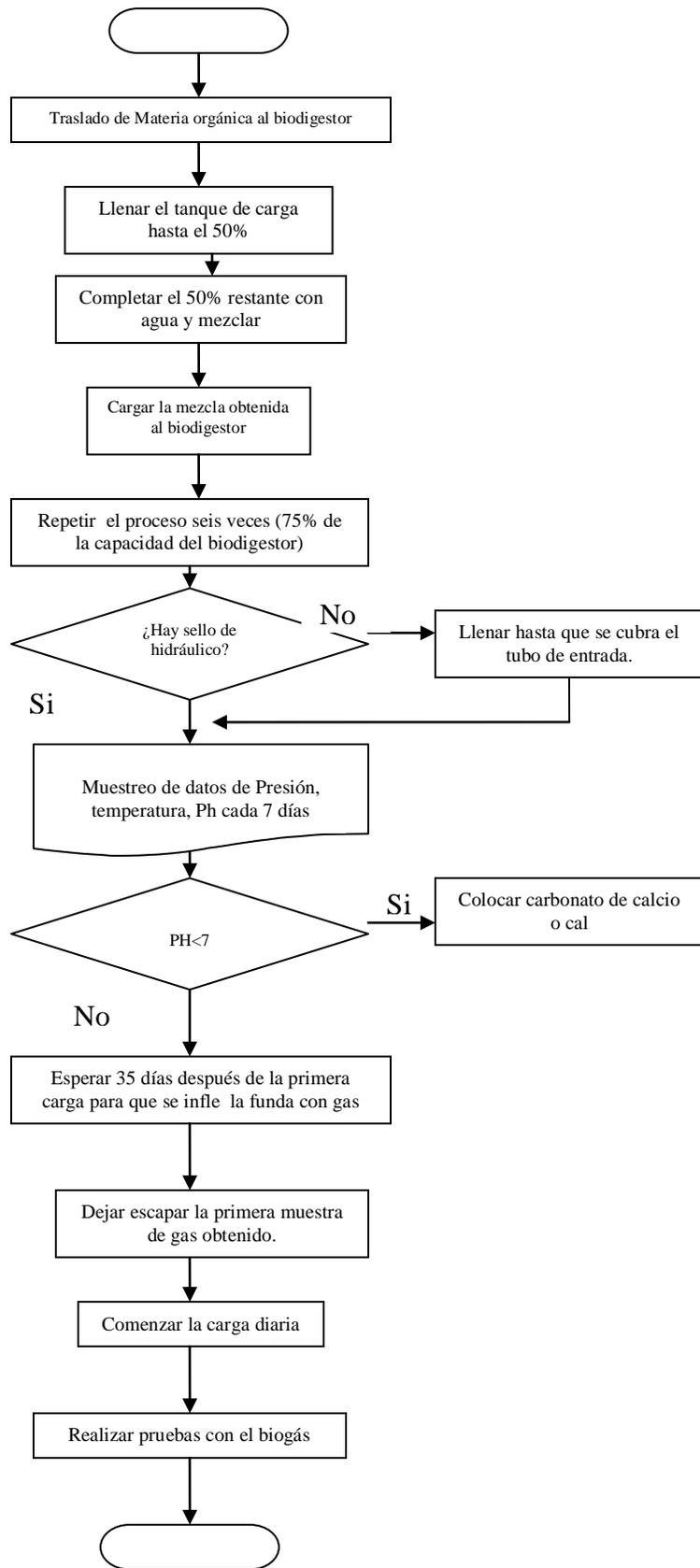
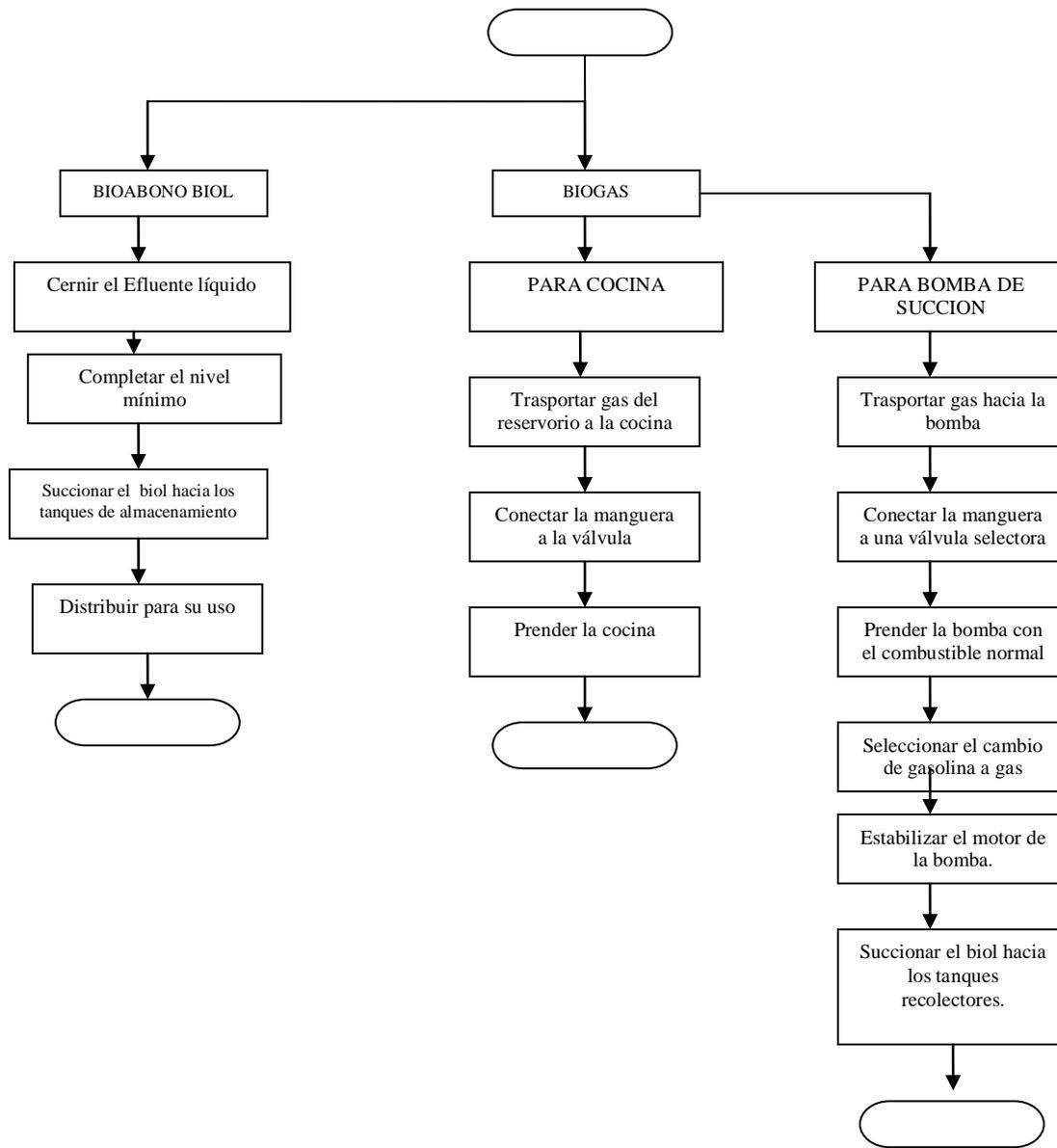


DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL MANEJO DE PRODUCTOS OBTENIDOS



4.2.9 DIAGRAMA DE PROCESOS

Se presenta a continuación los principales procesos que se realizaron para la construcción e instalación del biodigestor:

<p style="text-align: center;">PROCESO U OPERACIÓN</p>	<p style="text-align: center;">FOTOGRAFÍA</p>
<p>Excavación:</p> <p>El dique deberá ser construido de acuerdo a las medidas indicadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Largo = 15 m. • Altura = 1 m. • Ancho = 1.50 m. • Base = 1 m. 	
<p>Construcción del tanque de carga:</p> <p>Para el tanque de carga, se lo hizo de acuerdo a las necesidades de la hacienda:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Largo = 1.60m. • Ancho = 0.70 m. • Altura = 0.90 m. 	
<p>Construcción del tanque de descarga:</p> <p>Para el tanque de descarga, se lo hizo de acuerdo a las siguientes medidas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Largo = 1 m. • Ancho = 1 m. • Altura = 1 m. 	

<p>Construcción del tanque de recolección de biol:</p> <p>Para el tanque de recolección de biol, se lo hizo de acuerdo a las siguientes medidas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Largo = 0.70m. • Ancho = 0.70 m. • Altura = 0.65 m. 	
<p>Recorte y Pegado:</p> <p>El cuerpo del biodigestor de la película de polietileno y las líneas de carga y descarga de PVC.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • $L_{\text{biodigestor}} = 13 \text{ m.}$ • $L_{\text{tubo de carga}} = 1.80 \text{ m.}$ • $L_{\text{tubo de descarga}} = 1.20 \text{ m.}$ 	
<p>Instalación de la salida de gas:</p> <p>La línea de salida de gas se la realizó en tubería de 1" de PVC.</p>	
<p>Recorte e Instalación:</p> <p>La línea de seguridad de seguridad fue construida en tubería de PVC utilizando un recipiente plástico transparente.</p>	

<p>4</p> <p>.2.10 Montaje e Instalación de todos los dispositivos:</p> <p>MAT</p> <p>ERIA Instalar todos los dispositivos</p> <p>LES ensamblados y unir las cajas de carga y</p> <p>NEC descarga</p>	

ESARIOS PARA CONSTRUIR EL BIODIGESTOR

A continuación se enuncian los materiales utilizados para la construcción del biodigestor:

1. Película tubular de polietileno transparente UV calibre 8 de 40 metros de largo aproximadamente, 32 metros para el uso de las dos mangas y 8 metros para el reservorio de biogás para este proyecto.
2. Tubo PVC de 8 pulgadas de diámetro y 3 metros de largo, 1.80 metros para la tubería de entrada y 1.20 para la tubería de salida.
3. Tubo PVC de 1 pulgada de diámetro y 6 metros de largo, los mismos que serán cortados de acuerdo a la medida y mediante la tarraja se realizan los neplós necesarios de acuerdo a planos.
4. Adaptadores de PVC de 1 pulgada de diámetro en donde vienen empaques protectores (1 kit macho y hembra).
5. Empaques redondos de 20 cm. de diámetro hechos de cámara de llanta usada de automóvil o bicicleta.

6. 4 cámaras de llantas usadas de automóvil o bicicleta, cortadas en cintas de 5 cm. de ancho.
7. Dos Tees de PVC de 1" pulgada de diámetro para colocar la válvula de seguridad y el manómetro en conjunto con el termómetro.
8. Lana de acero calibre 14 para filtrar el gas que debe estar colocado al interior de la tubería antes de la válvula de seguridad y después de la misma.
9. Un manómetro de 0 a 15 PSI.
10. Un termómetro de -20 a 100 °C.
11. Una botella de plástico transparente para la válvula de escape del biogás.
12. Cinco abrazaderas regulables para ajustar los acoples de las mangueras.
13. Cinco Reducciones de PVC de 1" – ½" para adaptar el manómetro, válvula de seguridad, salida a la manguera que va al reservorio de gas, entrada al reservorio de gas, salida a la cocina.
14. Manguera de gas de ¼ " de 20 metros de largo para transportar el gas hasta el reservorio de gas y para transportar directamente hasta la bomba de succión (el largo de la manguera depende de la distancia de transporte).
15. Manguera de ½ " de 10 metros de largo para transportar el gas desde el reservorio hasta la cocina semiindustrial.
16. Una Tee de PVC de ½ pulgada de diámetro que conecta directamente hacia la bomba de succión y la otra permite el traslado de gas hacia la funda de recolección de biogás.

17. Dos neptos de 1" pulgada de diámetro y de 80 cm. de largo que se acoplan a la entrada y salida del reservorio de biogás.
18. Cuatro Reducciones de ½ " a ¼" para acoplar a la manguera de ¼ " y a la válvula de seguridad.
19. Dos neptos galvanizados de ¼" que sirven para conectar la manguera.
20. Tres adaptadores de ¼ " para unir directamente la manguera.
21. Dos adaptadores con llave de paso para permitir abrir y cerrar el paso de gas hacia el reservorio y hacia la bomba de succión.
22. Para el paso de gas hacia la bomba de succión se construyó una instalación pequeña tipo tubo Venturi el mismo que mejora la alimentación de gas al motor.
23. Pegamento para PVC.
24. 120 bloques vibrados de 10 X 20 para construir las cajas de carga, descarga y recolección de biol.
25. 17 sacos de cemento para toda la construcción.

4.2.11 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

4.2.11.1 Manual de Operación

Posterior a la construcción y pruebas de funcionamiento del biodigestor se presenta el siguiente manual del usuario que servirá de guía para una correcta operación del mismo:

- Realizar la carga inicial, cubriendo el volumen total de la fase líquida equivalente a 6 m^3 . El tanque de carga tiene un volumen de 1 m^3 por lo que se deberá cargar hasta la línea de referencia con estiércol y agregar la misma cantidad de agua (relación 1:1), hasta el tope del tanque. Este procedimiento lo repetiremos 6 veces hasta completar la carga inicial calculada para este biodigestor.
- Luego de esto se espera los 35 días de retención establecidos en tablas y aplicados para los cálculos de este proyecto.
- Tomar los datos de temperatura (termómetro del laboratorio de la Hacienda), presión (manómetro) y Ph (papel reactivo) los días martes y viernes a las 10:00 horas, el manómetro y papel Ph estará a cargo del operador del biodigestor y registrará los datos obtenidos para compararlos y tomar medidas correctivas.
- El operador será instruido en el uso adecuado del termómetro, manómetro y papel Ph.

- Se revisará diariamente la película tubular de polietileno y la tubería de gas para detectar posibles fugas.
- El operador deberá establecer un horario con el operador del zambrón para que lleve el estiércol hacia el biodigestor.
- Para la recolección del estiércol el operador deberá primeramente separar la materia orgánica de los desechos vegetales, tierra, piedras, hierba y otros desechos que pueden alterar el normal proceso de biodigestión anaeróbica.
- Una vez recolectado el estiércol se procederá a trasladarlo del establo al biodigestor utilizando el zambrón ya que las dimensiones del tanque de carga han sido diseñadas para optimizar el uso de este vehículo.
- Para la carga diaria luego de los 35 días de retención se debe colocar la materia orgánica hasta la primera línea de referencia (78.26 cm^3) y a continuación añadir agua hasta la segunda línea de referencia (157 cm^3).
- Batir hasta obtener una mezcla homogénea e inmediatamente retirar la compuerta de carga hasta que ingrese completamente al interior del biodigestor.

- Lavar el tanque de carga diariamente después de ingresada la mezcla al biodigestor.
- De acuerdo con los experimentos realizados anteriormente el tiempo necesario para que el biodigestor empiece a producir biogás esta entre los 22 y 35 días para climas cálidos, pero es importante que se revise diariamente a partir del décimo día.
- Se colocará una funda de polietileno que servirá de tanque de reserva y acumulación de biogás cerca al biodigestor o de acuerdo a las necesidades donde se requiera el mismo.
- Como parte del proceso de operación se debe mantener constante la presión en el interior del biodigestor, para el efecto se dispone de una válvula de seguridad construida con una “T” y una botella de plástico en donde se debe mantener 5 cm. de agua descargándose el exceso de presión de biogás en caso de producirse.
- Una vez que empiece a salir el abono orgánico fermentado al tanque de descarga se procederá a cernir el mismo a través de la rejilla de malla colocada entre este tanque y el tanque de recolección de biol.

- Una vez recolectado el biol hasta por lo menos la mitad del tanque de recolección se procederá a encender la bomba de succión haciendo que el biol sea trasladado hasta los tanques de plástico recolectores de biol.
- Para colocar la bomba de succión se ha utilizado el cuero de vaca como protector evitando que se produzca vibraciones que puedan dañar el motor.
- Para prender la bomba de succión se encenderá el motor primeramente con gasolina y una vez estable se empezará a cortar el ingreso de la misma y se abrirá la llave de paso del biogás poco a poco hasta que el motor se estabilice y pueda trabajar sin problemas.
- Para prender la cocina se abrirá la llave de seguridad y se encenderá la misma procurando que la presión del biogás sea suficiente para mantener una buena llama.

4.2.11.2 Mantenimiento

Una vez que el biodigestor a sido construido en su totalidad necesita de un mantenimiento periódico, para solucionar los distintos problemas que se presenten.

Esta guía para el mantenimiento del biodigestor ha sido realizada en base a la experimentación propia y de personal especializado en la rama de diferentes países.

- El Ph debe ser controlado rigurosamente, si su valor es menor a 7 significa que existe mucha acidez, para solucionar este problema se aumenta cal en pequeñas proporciones en las cargas subsiguientes (1 Kg) diario hasta que el Ph vuelva a permanecer dentro del rango establecido (de 7 a 7.5), pero si su valor es mayor a 7.5 significa que hay mayor alcalinidad, lo que se soluciona aplicando menos agua a la mezcla.
- Es necesario cambiar el agua de la válvula de alivio (botella plástica) una vez al mes, cuidando de mantener siempre su nivel de 5 cm. desde el extremo final del neplo hacia arriba.
- La malla metálica usada para tamizar el biol hacia el tanque de almacenamiento debe ser cambiada cada mes o cuando la misma empiece a romperse y no permita cernir adecuadamente el biol.
- Debido a que el biogás es un agente altamente corrosivo para las partes metálicas especialmente para el hierro fundido y acero galvanizado es necesario que la tubería de este material sea cambiada cada seis meses

(se uso este tipo de tubería debido a que no existía material de PVC en esas dimensiones).

- El reemplazo del plástico tubular de polietileno se lo realizará a los cuatro años de vida útil, de la misma manera será cambiada la tubería de PVC.
- Al detectarse fugas en el biodigestor se procederá a limpiar el área afectada y a sellar con la cinta adhesiva especial cuidando de que no queden burbujas de aire entre la cinta y el plástico tubular.
- El operador realizará una limpieza diaria de los instrumentos de medición a fin de garantizar su buen funcionamiento.
- El área externa e interna del biodigestor debe mantenerse libre de maleza y de basura, realizando la limpieza de la misma cada semana.
- Se verificará cada mes que la manguera de gas no tenga ningún tipo de corte o fisura que permita el escape del biogás realizando el arreglo o cambio inmediato de ocurrir esto.

- Cambiar los neoplos de los quemadores de la cocina semi- industrial cada año.
- Realizar la limpieza y mantenimiento del motor de la bomba de agua así como el cambio de aceite cada tres meses, igualmente se verificará el estado de la bujía cada mes.
- Prohibir encender fósforos o fumar cigarrillos cerca del biodigestor y de la funda de recolección de biogás para evitar posibles accidentes.

CAPÍTULO 5

IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS

5.1 PROTOCOLO DE PRUEBAS.

5.1.1 DATOS INICIALES DE CARGA DEL BIODIGESTOR

Fecha de carga 03/01/2007

Carga Inicial = 6 m³

Capacidad total del biodigestor = 8 m³

Cantidad estiércol diaria luego del tiempo de retención = 78.26 (kg)

Cantidad agua diaria luego del tiempo de retención = 78.26 (kg)

Proporción = 1:1

Producción estimada de biogás = 2.97 (m³)

Tiempo de retención = 35 días

Temperatura ambiente = 29 °C



FOTOGRAFÍA 5.1 Biodigestor completo

5.1.2 CONTROL DE PARÁMETROS PARA LA GENERACIÓN DE BIOGÁS

- Los datos referentes a los parámetros de desempeño diario del biodigestor serán tomados a las 16:00 horas, todos los días, durante el periodo de retención y 2 veces por semana después de este periodo.

HOJA DE CONTROL DE PARAMETROS PARA EL BIODIGESTOR

ORD.	FECHA	HORA	RESPONSABLE	TEMPERATURA	PRESION	PH
				° C	PSI	
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						

8						
9						
10						
11						
12						

- Para medir el Ph se utilizará cintas de papel Ph – Fix 4.5 – 10.0 fabricados por Macherey – Nagel código D-52348DUREN.
- Una vez introducido el papel Ph en el efluente se debe esperar durante un periodo de 1 a 15 minutos hasta que el color de la cinta no tenga cambios significativos y se analiza en la tabla a que valor pertenece.
- Para medir la temperatura a la salida del efluente del biodigestor se utilizará un termómetro de mercurio sumergiéndolo en la solución hasta que se establezca la medida por 5 minutos.

Para medir la presión del biogás se utilizará un manómetro tipo Bourdon de 0 a 15 psi el mismo que será colocado en la tee destinada para el efecto a la salida de la línea de gas.

5.1.3 DETERMINACIÓN DEL FLUJO DIARIO DE BIOGÁS

- Para determinar la producción diaria de biogás se utilizará un reservorio plástico de prueba con dimensiones conocidas que permitan calcular el flujo volumétrico de gas así como el flujo másico en un periodo de tiempo óptimo hasta su llenado.

Diámetro = 0.635 mtrs.

Longitud = 1.80 mtrs.

Volumen parte cilíndrica = 0.285 m^3 .

Volumen parte esférica = 0.125 m^3 .

Volumen total = 0.4 m^3 .

Se pesa el recipiente antes que sea llenado con biogás y una vez que el mismo este lleno, mediante una báscula romana.

Se conecta el recipiente de prueba a la línea de salida de biogás y se espera el tiempo necesario hasta que se llene totalmente.

Con los datos obtenidos se puede calcular el flujo diario de biogás tanto másico como volumétrico así como la densidad del biogás obtenido.

5.1.4 COMPARACIÓN DEL CONSUMO DE BIOGÁS CON RELACIÓN AL GAS DE USO DOMÉSTICO.

- Para determinar el consumo másico de gas de uso doméstico y poder compararlo con el consumo másico de biogás haremos hervir 25 litros de agua y se determinará el tiempo utilizado para el efecto con los dos tipos de combustible, así como las masas consumidas.
- Se procede a pesar el tanque de gas de uso domestico y el tanque de biogás de prueba (se utilizará los mismos pasos que para medir la producción diaria de biogás), se enciende la cocina y se toma los respectivos tiempos que se demora para hervir el agua para los dos tipos de combustible.

5.1.5 COMPARACIÓN DEL CONSUMO DE BIOGÁS CON RELACIÓN A LA GASOLINA EN UN MOTOR DE 4 HP.

- Para determinar el consumo másico de gasolina y poder comparar con el consumo másico del biogás se determina primero el peso del reservorio de biogás y se toma el tiempo utilizado por el motor para consumir 100 gramos de este combustible.
- Se pesa igualmente 100 gramos de gasolina y se toma el tiempo necesario para que el motor consuma esta cantidad de combustible.
- Con estos datos podemos calcular la relación de masas en el consumo de cada uno de estos combustibles.

5.1.6 DETERMINACIÓN DEL CONSUMO MÁSIKO DE AIRE DEL MOTOR DE 4 HP AL FUNCIONAR CON BIOGÁS

- Tomar el tiempo necesario para que se consuman totalmente 100 gramos de biogás.
- Colocar las mangueras de manera que la entrada de aire de prueba quede totalmente sellada con la entrada del depurador de aire del motor.

- Nivelar el tanque de prueba, encerrar la columna de líquido atmosférico y prender el motor.
- Estabilizar el motor de la bomba de succión a $1/3$ de su capacidad de aceleración máxima.
- Tomar la lectura h_0 correspondiente a la presión en milímetros de agua que marca el aparato de medición del tanque de prueba.

- Con el dato obtenido se procede a calcular el flujo másico de aire m_a que posteriormente servirá determinar la relación aire – combustible en este motor.

5.1.7 DETERMINACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DIARIA DE BIOL

- Se va a obtener la producción diaria de biol mediante la recolección del mismo por 7 días consecutivos.
- Se promedia la producción total para los respectivos días de recolección.

5.2 NORMATIVAS.

La única normativa expedida para el control de la emisión de gases contaminantes o de opacidad se realizará conforme a la estipulado por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) y que para este proyecto se acoge al Art. 4 Norma Técnica de Calidad del Aire Ambiente y al Art. 7. Norma Técnica para Emisiones a la Atmósfera de Fuentes Fijas de Combustión, las mismas que se refieren a las cantidades máximas de gases contaminantes que pueden ser eliminados al medio ambiente y que en este proyecto están muy por debajo de los valores establecidos.

5.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS.

5.3.1 RESULTADOS OBTENIDOS DEL BIODIGESTOR

Los datos que se obtuvieron de temperatura, presión y Ph en las fechas indicadas durante el periodo de retención se pueden apreciar en la Tabla 5.1

Tabla 5.1 Datos obtenidos del Biodigestor

HOJA DE CONTROL DE PARAMETROS PARA EL BIODIGESTOR

ORD.	FECHA	HORA	RESPONSABLE	TEMPERATURA	PRESION	PH
				° C	PSI	
1	03/01/2007	16:00	Capt. Milton Sánchez	32	0	7
2	05/01/2007	16:00	Capt. Pazmiño Alexander	30	0	7
3	09/01/2007	16:00	Capt. Milton Sánchez	32	0	7.1
4	12/01/2007	16:00	Capt. Pazmiño Alexander	31	0	7
5	16/01/2007	16:00	Capt. Milton Sánchez	31	0	7.2
6	19/01/2007	16:00	Capt. Pazmiño Alexander	30	1	7
7	23/01/2007	16:00	Capt. Milton Sánchez	31	1	7
8	26/01/2007	16:00	Capt. Pazmiño Alexander	29	2	7.1
9	30/01/2007	16:00	Capt. Milton Sánchez	29	2	7
10	02/02/2007	16:00	Capt. Pazmiño Alexander	28	3	7
11	06/02/2007	16:00	Capt. Milton Sánchez	28	4	7.1
12	09/02/2007	16:00	Capt. Pazmiño Alexander	26	4	7.1

En la tabla debemos tomar en cuenta que la presión del biogás llega a un máximo de 4 psi., generando a partir del día 35 la misma presión asumiendo que este valor no se incrementa debido a pequeñas fugas que por el tipo de material empleado son en cierta manera difíciles de controlar y a la vez indica

con el tipo de presión diaria que trabajará el biodigestor y servirá de referencia para detectar fugas mayores en el sistema.

Se obtuvo biogás con un contenido de metano aceptable en el rango de 65 a 70 % en estado inerte, mientras que el metano en combustión tuvo un 60%, de acuerdo con el resultado del análisis realizado por la empresa WARTSILA ECUADOR, por medio de un analizador de gases de acuerdo al siguiente detalle:

Tabla 5.2 Resultados del análisis de gases contenidos en el Biogás

<u>Biogás inerte:</u>	<u>Biogás en Combustión</u>
<u>Oxígeno = 10 .39%</u>	<u>Oxígeno = 13. 09%</u>
<u>CO2 = 5.89%</u>	<u>CO2 = 6.26%</u>
<u>CO = 6 ppm</u>	<u>CO = 3389 ppm</u>
<u>NOx = 5 ppm</u>	<u>NOx = 6 ppm</u>
<u>SO2 = 4 ppm</u>	<u>SO2 = 167 ppm</u>
<u>Perdidas = 10%</u>	<u>Perdidas = 20.6%</u>



FOTOGRAFÍA 5.2 Analizador de gas de la empresa WARTSILA ECUADOR.



FOTOGRAFÍA 5.3 Datos del analizador de gas de la empresa WARTSILA ECUADOR

De estos resultados se puede decir que la calidad del biogás producida por el biodigestor, tiene un contenido excelente de metano, y además en la prueba que se realizó quemando el biogás se observa que tiene una llama azul,

demostrando que la producción de biogás, utilizando una proporción de 1:1 de estiércol vacuno y agua, tiene buenas características.



FOTOGRAFIA 5.4 Llama azul producida por el Biogás

Existió un control del PH dentro del sistema, por medio de papel Ph el mismo que permitió controlar la acidez del estiércol una vez fermentado.



FOTOGRAFIA 5.5 Análisis de PH por medio del Papel reactivo

5.3.2 DETERMINACIÓN DEL FLUJO DIARIO DE BIOGÁS

Para encontrar la producción diaria de biogás se construyó un recipiente de prueba con las siguientes dimensiones.

Diámetro = 0.635 mtrs.

Longitud = 1.80 mtrs.

Volumen parte cilíndrica = 0.285 m^3 .

Volumen parte esférica = 0.125 m^3 .

Volumen total = 0.4 m^3 .

Peso del recipiente vacío = 1 Kg.

Peso del recipiente lleno = 1.8 Kg.

Tiempo de llenado = 4 horas.

Producción diaria de biogás = **2.4 m^3** .

Los valores que se presentan son referenciales debido a la imprecisión de los instrumentos de medida disponibles en la Hacienda y a circunstancias climáticas y meteorológicas ajenas a nuestro control.

5.3.3 COMPARACIÓN DEL CONSUMO DE BIOGÁS CON RELACIÓN AL GAS DE USO DOMÉSTICO.

Peso inicial del Tanque de gas= 28 Kg.

Tiempo en calentar 25 litros de agua a 70 grados= 10 min 45 s.

Peso final del Tanque de gas= 27.6 Kg.

Consumo = $0.4 \text{ Kg.} / 10.75 \text{ min}$

Consumo = $2.23 \text{ kg} / \text{h}$ (gas de uso doméstico)

Peso inicial del recipiente de prueba = 1.8 Kg.

Tiempo en calentar 25 litros de agua a 70 grados= 30 min.

Peso final del recipiente de prueba = 1.2 Kg.

Consumo = 0.6 Kg. / 0,5 h

Consumo = 1.2 Kg / hora (Biogás)

Relación de consumo= 2.23/ 1.2 = 1.8 / 1.

5.3.4 COMPARACIÓN DEL CONSUMO DE BIOGÁS CON RELACIÓN A LA GASOLINA EN UN MOTOR DE 4 HP.

Peso del biogás = 100 g.

t = 14 min.

Peso de la gasolina = 100 g.

t = 4 min.

\dot{m} biogás = 0.42 Kg/h.

\dot{m} gasolina = 1.5 Kg/h

Relación de consumo:

Gasolina / Biogás = 3.5 /1

5.3.5 DETERMINACIÓN DEL CONSUMO MÁSIKO DE AIRE DEL MOTOR DE 4 HP AL FUNCIONAR CON BIOGÁS

Consumo másico de aire en el motor:

Calculo del consumo másico de biogás en el motor

$m_g = 100$ g

t = 14 min

$\dot{m}_g = 0.42$ kg/h

Datos iniciales para el calcular el consumo másico de aire:

D = 14.04 mm.

C = 0.62

C1 = 9.81 (N/ m) / (mm H2O)

Ra = 287 (Nm)/ (Kg. K)

Ta = 300 K.

ho = 5 mm de H2O.

Pat= 580 mm Hg = 76519 Pa.

$$\dot{m} a = \frac{\pi D^2}{4} * C * \sqrt{\frac{2 * C1 * ho * Pat}{Ra * Ta}} * 3600$$

$\dot{m} a = 3.20 \text{ Kg / h}$

A/ C = 3.20 / 0.42 = 7.5 / 1

5.3.6 DETERMINACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DIARIA DE BIOL

- Luego de 8 días desde el día jueves 28 de febrero del 2007 hasta el 07 de marzo del 2007, se recolectó:

1060 litros de biol

- Se promedia la producción total para los respectivos días de recolección.

$$\frac{1060}{8} = 132 \text{ litros diarios de biol.}$$

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS DE IMPACTO AMBIENTAL

Las condiciones ambientales pueden verse ampliamente mejoradas por la implantación del biogás. En primer lugar tendremos que en zonas donde se consume leña por encima de la capacidad de regeneración del bosque. El biogás reducirá la tala de árboles, por lo que se evitará la deforestación y se mejorará el entorno.

Un beneficio a nivel más global es el de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Estos gases provienen de la fermentación descontrolada de la materia orgánica en forma de metano o óxidos nitrosos (gases de alto efecto invernadero, 24,5 y 320 veces mayores que el dióxido de carbono respectivamente) o de la quema de recursos fósiles (aumentando la concentración de CO₂ en la atmósfera). El biogás evita la fermentación de la materia orgánica por un lado, ahorra en combustible fósiles y preserva los sumideros de captación de carbono.

6.1 TIPOS

En cuanto a los tipos de modelos y procedimientos para evaluar el impacto ambiental, se pueden citar numerosos y muy variados, algunos que citan en forma general el impacto y otros que son específicos de acuerdo a la complejidad del proyecto a ser estudiado, unos pueden ser cualitativos y otros cuantitativos, unos estáticos y otros dinámicos.

Según Esteban Bolea, 1984, la clasificación se ajusta al siguiente esquema:

Sistemas de red y gráficos.

- Matrices de causa-efecto (Leopold y Listas de chequeo)
- Boreano
- Sonrensen
- Guías Metodológicas del Ministerio de Obras Publicas.
- Banco Mundial.

Sistemas Cartográficos.

- Superposición de transparencias.
- Mc. Harg.
- Tricart.
- Falque.

Análisis de Sistemas.

Métodos basados en indicadores, índices e integración de la evaluación.

- Colmes.
- Universidad de Georgia.
- Hill-Schechter.
- Fisher-Davies.

Métodos Cuantitativos.

- Batelle-Columbus.²¹

De estos tipos de métodos se explicaran los más importantes a saber:

Matrices de causa-efecto, (Matriz de Leopold), Es un método cualitativo preliminar, muy importante en cuanto valora las diferentes alternativas que tiene el proyecto, consiste en un cuadro de entrada doble, en el que se encuentran en las las filas los factores ambientales mientras que en las columnas se ubican las acciones que pueden provocar los impactos.

En este método pueden considerarse para armar la matriz hasta 100 acciones posibles y 88 factores ambientales, pudiendo darse hasta 8800 interacciones posibles, pero se toman en cuenta únicamente las más importantes.

Cada cuadrícula se divide mediante una diagonal, en la misma que su parte superior registra el valor de la magnitud de impacto, tipificándose con un signo + o - , de acuerdo a su repercusión en el ambiente. La escala de valor va desde 1 a 10 variando desde un impacto mínimo hasta el máximo.

En la parte inferior del triángulo, se coloca el valor correspondiente a la importancia I, o grado de incidencia igualmente en una escala cualitativa del 1 al 10.

²¹ Esteban Bolea 1984.

Usualmente la calificación de las magnitudes e intensidad, debe ser impuesta por un equipo multidisciplinario que evalúe con autonomía el proyecto.

“ El sumatorio por filas nos indicará las incidencias del conjunto sobre cada factor ambiental y por tanto su fragilidad ante el proyecto, la suma entre columnas nos da la valoración relativa del efecto que cada acción produciría en el medio y por tanto su agresividad.”²².

Por lo tanto esta matriz constituye el resumen y la base del estudio de impacto ambiental, así como la herramienta para medir la magnitud e importancia del mismo en todos los aspectos relacionados con el proyecto en estudio.

Listas de Chequeo.

Se utiliza para realizar los estudios preliminares, identifica los impactos mas importantes causados por la realización de un proyecto.

En una lista de efectos y acciones específicas del proyecto, se identifican las interacciones mas importantes en una escala de -2 a +2.

Además se debe incluir un informe detallado de los factores ambientales en consideración, cuyo valor es mucho más relevante que la misma lista de chequeo.

Método de Sorensen.

²² Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental.

Es un método en el cual se detallan los usos alternativos que tendría un territorio y acciones relacionadas con las condiciones iniciales del área, para luego establecer las condiciones finales del área, una vez estudiados los efectos mediante tablas y gráficos como son:

- Tabla cruzada: Usos y acciones.
- Tabla cruzada: Acciones y condiciones iniciales.
- Grafico de Condiciones iniciales vs. Condiciones finales.
- Grafico de efectos múltiples vs. Acciones correctivas.

Método del Banco Mundial.

Para la gestión de financiamiento y ayuda por parte del Banco Mundial, en los diferentes proyectos que los gobiernos locales y seccionales, así como las diferentes fundaciones, se ha incluido es el estudio de la variable ambiental.

Se fijan los objetivos basados en la identificación y medición de los efectos del proyecto a ser financiado, sobre el medio ambiente, adjuntando información precisa y la experiencia necesaria para la ejecución y mantenimiento del mismo.

Para el efecto se nombra una comisión de evaluación, por parte del Banco Mundial la cual identifica los factores y posibles efectos ambientales para facilitar la toma de decisiones y selección de la mejor alternativa.

Superposición de transparencias.

Se elaboran en forma matricial mapas de impacto, de la superposición de los mismos, se van graduando con diferentes colores los impactos ambientales indeseables, es un método gráfico que resulta ampliamente comprensible, y que puede ayudar a la exposición de proyectos en los sectores de la población susceptibles a ser afectados por la implementación de un proyecto.

Método de Mc. Harg.

Se establecen mapas de aptitud del territorio para los diversos usos, partiendo de una descripción ecológica y evaluando las posibilidades de ordenamiento y planificación así como las consecuencias de la acción humana sobre el medio ambiente circundante.

Los factores a ser considerados son:

Clima, geología histórica, fisiografía, hidrología, suelos, flora, fauna y uso actual del suelo.

En este proyecto se va a realizar un análisis de las acciones propias de la construcción del biodigestor de flujo continuo vs. los parámetros ambientales, con lo cual se estará utilizando los métodos de identificación y valoración que pueden ser ajustados a las diferentes fases del proyecto como son la construcción, la operación y mantenimiento, arrojando resultados cualitativos y cuantitativos, para de esta manera realizar un análisis de las relaciones entre una acción dada y sus posibles efectos en el medio ambiente.

La evaluación de impactos ambientales parte del conocimiento de la situación actual, las condiciones biofísicas, socioeconómicas del área de estudio y los resultados obtenidos descritos y evaluados en la línea base ambiental así como en la identificación y evaluación de pasivos ambientales.

De igual modo se considera como criterios para la identificación y evaluación de impactos ambientales el grado de intervención en las áreas de influencia directa e indirecta, así como las características propias de los biodigestores de flujo continuo.

6.1.1 DESCRIPCIÓN DE LOS PARÁMETROS AMBIENTALES

Como se indicó anteriormente se va a utilizar la matriz de Leopold para evaluar el impacto ambiental del biodigestor de flujo continuo, a continuación se detalla una guía de los parámetros a ser tomados en cuenta y luego un análisis de todos los puntos que afectan en el desarrollo del proyecto.

Esta parte del trabajo la dividimos en dos fases que son la de la Construcción y la de Operación y Mantenimiento.

6.1.1.1 Fase de Construcción

A. Características físico químicas.

A1.- Tierra

a) Materiales de construcción

Las obras de hormigón y mampostería generan a su vez residuos sólidos como arcilla, materiales carbonosos e impurezas y efluentes líquidos (aguas estancadas, lodos, aguas de lavado y lechada); y, los materiales sobrantes de obras como maderas, varillas, etc., que al ser arrojadas sobre suelos productivos, producen posteriormente restricciones para su uso.

Otro tipo de contaminación se produce por el cubrimiento que puede tener el suelo cuando se depositan sobre él materiales sueltos y excedentes de materiales de excavación y estériles producto de la remoción de hormigones y mampostería, etc.

b) Suelos

Los desechos sólidos (basuras y residuos), producidos en el trabajo diario podrían ser arrojados o desalojados sobre los campos adyacentes, ocasionando de esta manera su inhabilitación temporal para usos productivos o puede ser el inicio de la degradación física y química del suelo.

c) Topografía

El presente proyecto va a cambiar la topografía debido al movimiento de tierra que representa la excavación del dique de asentamiento del biodigestor.



Fotografía 6.1 Modificación de la topografía.

A2.- Agua

a) Calidad

Tal vez el punto más importante del recurso agua es el río Baba existente en el sector de la Hacienda San Antonio, un río que en verano tiene un bajo caudal y en invierno aumenta considerablemente.

El río que se encuentra dentro del área de influencia directa se beneficiará de este proyecto debido a que el biodigestor procesa

materia orgánica y desechos que anteriormente eran arrojados a su cauce.

Estos efluentes al ser tratados, no producen efectos dañinos al medio acuático, evitando reacciones químicas perjudiciales para la fauna que se constituyen en un foco continuo de bacterias capaces de transmitir enfermedades al hombre.



Fotografía 6.2 Río Baba en el sector de la Hacienda San Antonio.

A3.- Atmósfera (Aire)

a) Calidad (gases, partículas de polvo)

El objetivo principal del proyecto es la obtención de gas metano el mismo que será almacenado por un determinado tiempo impidiendo la expulsión de gases al ambiente.

Debido a las tareas de construcción del dique de asentamiento que se efectuaron durante la época seca, las actividades de movimiento de tierras, excavación, preparación de mezclas para las obras de mampostería y hormigón, etc., así como por la manipulación de materiales (agregados, cemento, etc.), pueden ser arrastradas por acción del viento y generar un incremento temporal de polvo y ocasionar efectos no deseables en la calidad del aire y en consecuencia afectar a la salud del personal de la hacienda.

B. Características biológicas.

En este proyecto la afectación a la flora y fauna no se verá afectada.

C. Factores Culturales.

C1.- Usos del territorio

Dentro de este factor podemos anotar que durante la construcción del biodigestor se va a utilizar un galpón que anteriormente estaba destinado para la crianza de aves, pero

debido a una reorganización física de los establos fue facilitado este terreno para el desarrollo del presente proyecto.

C2.- Nivel cultural y socioeconómico

El nivel cultural y socioeconómico van a experimentar una mejora durante la construcción del biodigestor, debido a que va a permitir la fase de extensión universitaria al facilitar los conocimientos a las personas que se hallan directa e indirectamente involucradas ya que van tomando conocimiento de la manera de cómo construir un biodigestor.

6.1.1.2 Fase de Operación y Mantenimiento

A. Características físico químicas.

A2.- Agua

a) Calidad

Durante la operación se espera reducir la contaminación del río Baba debido a que todos los desechos que eran eliminados al río pasarán a ser utilizados por el biodigestor.

A3.- Atmósfera (Aire)

a) Calidad (gases, partículas de polvo)

Ya en el proceso de ejecución de este proyecto se combustionará gas metano ya sea en un motor o en una estufa lo que producirá la expulsión de gases al ambiente produciendo un aire impuro

B. Características biológicas.

En este proyecto la afectación a la flora y fauna no se verá afectada.

C. Factores Culturales.

C1.- Usos del territorio

De acuerdo a la planificación de la Hacienda se prevé la construcción de otro biodigestor paralelo al de este proyecto en el ala derecha del mismo galpón.

C2.- Nivel cultural y socioeconómico

El nivel cultural y socioeconómico van a experimentar una mejora luego de la construcción del biodigestor, debido a que va a permitir el ahorro de energía y un mejor manejo de los desechos orgánicos.

C3.- Servicios de Infraestructura

a) Eliminación de residuos sólidos

La eliminación de excretas y desechos mediante la digestión anaeróbica beneficia al ambiente circundante ya que se eliminan malos olores, presencia de parásitos y bacterias mejorando la calidad de vida de las personas que laboran en el sector.

D. Relaciones ecológicas.

a) Vectores de enfermedades – insectos

Se ha comprobado que la materia orgánica luego del proceso de metanogénesis experimenta un cambio ya que elimina los vectores de enfermedades propios del proceso de descomposición aeróbico mejorando el ambiente evitando la presencia de insectos en el sector y sus alrededores.

6.1.2 DESCRIPCIÓN DE LAS ACCIONES DEL PROYECTO QUE AFECTAN AL MEDIO AMBIENTE.

6.1.2.1 Fase de Construcción

A continuación se va a mencionar algunas de las actividades o rubros que se realizarán durante este proyecto y que afectan a los parámetros ambientales.

- **Movimiento de tierras y reconfiguración de la obra básica**

Actividad que consiste en la excavación y remoción del material necesario para la conformación de la obra básica así como en el transporte, desecho, colocación, manipuleo y humedecimiento del material necesario.

Se incluye el movimiento de tierra para la excavación y acarreo de material designado y desecho de todo material excedente.

➤ Transporte de equipo y materiales

La construcción del proyecto requiere de la utilización de equipo y maquinaria adecuada, entre ellos se encuentran una volqueta y una pala mecánica y transporte de herramientas pequeñas y demás implementos de obra.

6.1.2.2 Fase de Operación y Mantenimiento

➤ Mantenimiento de la obra

Durante la vida útil del biodigestor el proyecto prevé efectuar actividades como: mantenimiento predictivo, cambio de la funda de polietileno antes que cumpla su tiempo de servicio; mantenimiento preventivo: control de los instrumentos de medida, verificación de fugas en la línea de gas, limpieza interna y externa del sector; mantenimiento correctivo: sellados de fugas de la funda de polietileno y de la línea de gas, reparación de la entrada, cerca de seguridad, bordes y estructura de protección.

6.1.3 REGLAMENTACIONES Y LEYES EXISTENTES

Este proyecto debe cumplir las ordenanzas del municipio de Sto. Domingo. y observar todas las leyes y reglamentos ambientales entre los que podemos mencionar:

- ORDENANZAS MUNICIPALES DE STO. DOMINGO.
- LEY FORESTAL Y DE CONSERVACIÓN DE ÁREAS NATURALES Y VIDA SILVESTRE.
Ley No. 74. RO/ 64 de 24 de Agosto de 1981
- LEY DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL.
Decreto Supremo No. 374. RO/ 97 de 31 de Mayo de 1976.
- LEY DE GESTIÓN AMBIENTAL.
Ley No. 37. RO/ 245 de 30 de Julio de 1999.
- REGLAMENTO PARA EL MANEJO DE LOS DESECHOS SÓLIDOS.
Acuerdo Ministerial No. 14630. RO/ 991 de 3 de Agosto de 1992.

6.2 MATRICES

6.2.1 PROCESO DE CONSTRUCCIÓN

Tabla 6.1 Matriz de Leopold (Proceso de Construcción)

MATRIZ DE LEOPOLD PARA EL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN

ACCIONES	MODIFICACIÓN DE RÉGIMEN	Modif. Hábitats	Regadío	TRANSFORMACIÓN DE LA TIERRA Y CONSTRUCCIÓN	Cercas	FUENTES DE EXTRACCIÓN	Excavación	Limpieza y desbroce	ALTERACIÓN DE LA TIERRA	Escomb.	ELIMINACIÓN Y TRATAMIENTO DE DESPERDICIOS	Manejo de Basura	Sum (+)	Sum (-)	SUM X
PARAMETROS AMBIENTALES															
1. Características Físico Químicas.															
1.1. Tierra.															
1.1.1. Suelos		3/-3	1/-1		3/-1		4/-2	1/-1		2/-2		3/-3	0	35	-35
1.1.2. Materiales de construcción.		2/-2	1/-1		3/-1					2/-2		3/-3	0	21	-21
1.1.3. Topografía.							1/-1	1/-1		1/-1			0	3	-3
1.2. Agua.															
1.2.1. Calidad.		2/-1	1/-1										0	3	-3
1.3. Atmósfera.															
1.3.1. Calidad (Gases partículas)		1/-1	1/-1									1/-2	0	4	-4
3. Factores Culturales.															
3.1. Usos del territorio.		1/-1			1/-1		2/-1	2/-2		2/-2		1/-1		13	-13
3.3. Nivel cultura y socioeconómico.		3/-2												6	-6
sum (+)		0	0		0		0	0		0		0	0		
sum (-)		23	4		7		11	6		13		21		85	
SUM Y		-23	-4		-7		-11	-6		-13		-21			-85

6.2.2 PROCESO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Tabla 6.2 Matriz de Leopold (Proceso de Operación y Mantenimiento)
MATRIZ DE LEOPOLD PARA EL PROCESO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

ACCIONES	MODIFICACIÓN DE RÉGIMEN	Alt. Hidrología	Limpieza y desbroce	PROCESAMIENTO	Generación energía	RENOVACIÓN DE LAS FUENTES	Reciclaje de desperdicios	Aplicación de fertilizantes	ELIMINACIÓN Y TRATAMIENTO DE DESPERDICIOS	Manejo de desechos	TRATAMIENTO QUÍMICO	Control insectos	Sum (+)	Sum (-)	SUM X
PARAMETROS AMBIENTALES															
1. Características Físico Químicas.															
1.2. Agua.															
1.2.1. Calidad.		2/+4					4/+5		5/+5	5/+5		3/+3	62	0	62
1.3. Atmósfera.															
1.3.1. Calidad (Gases partículas)		2/+4			3/+5		4/+5	5/+5	5/+5	5/+5		3/+3	92	0	92
3. Factores Culturales.															
3.1. Usos del suelo.		2/+4	2/+2				1/+1	5/+5	5/+5	5/+5			63	0	63
3.2. Nivel cultural y socioeconómico.		4/+5	1/+1		4/+5		4/+5	5/+5	5/+5	5/+5		3/+3	120	0	120
3.3. Servicios e Infraestructura.															
3.3.1. Eliminación de residuos sólidos		4/+5					5/+5		5/+5	5/+5		3/+3	79	0	79
4. Relaciones ecológicas.															
4.1. Vectores de enfermedades -insectos.		3/+5	2/+2				5/+5		5/+5	5/+5		5/+5	94	0	94
sum (+)		79	9		35		111	75	150	150		51	510		
sum (-)		0	0		0			0	0	0		0		0	
SUM Y		79	9		35		111	75	150	150		51			510

6.3 REPERCUSIONES

6.3.1 JERARQUIZACIÓN DE PARÁMETROS AMBIENTALES Y ACCIONES DEL PROYECTO.

Tabla 6.3 Parámetros Ambientales y Acciones (Proceso de Construcción)

PROCESO DE CONSTRUCCIÓN

PARÁMETROS AMBIENTALES	
Suelos	-35
Materiales de construcción.	-21
Usos del territorio.	-13
Nivel cultura y socioeconómico.	-6
Calidad Atmósfera(Gases partículas)	-4
Calidad del agua.	-3
Topografía.	-3

Acciones	
Modificación del hábitat	-23
Manejo de basura	-21
Escombros	-13
Excavación	-11
Cercas	-7
Limpieza y desbroce	-6
Regadío	-4

**Tabla 6.4 Parámetros Ambientales y Acciones (Operación y Mantenimiento)
PROCESO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

PARAMETROS AMBIENTALES	
Nivel cultural y socioeconómico.	120
Vectores de enfermedades -insectos.	94
Calidad de la atmósfera (Gases partículas)	92
Eliminación de residuos sólidos	79
Usos del suelo.	63
Calidad del agua.	62

ACCIONES	
Manejo de desechos	150
Reciclaje de desperdicios	111
Alteraciones Hidrología	79
Aplicación de fertilizantes	75
Control de insectos	51
Generación de energía	35
Limpieza y desbroce	9

Luego de realizar el análisis de la matriz de Leopold para el proceso de construcción se puede determinar que es precisamente en este proceso en el que existen mayores repercusiones para el ambiente pero cuya intensidad es

relativamente baja así tenemos que el hábitat se verá ligeramente afectado especialmente durante los trabajos de excavación del dique de asentamiento por lo que se procurará ubicar el material de desalojo en otras áreas de la hacienda que requieran rellenos y nivelación especialmente en los caminos de segundo orden.

De igual manera en cuanto al manejo de basura que es el resultado de la construcción del biodigestor se eliminará en primer lugar en basureros ecológicos y posteriormente serán llevados en los carros recolectores de basura.

Los escombros podrán también ser utilizados como parte de rellenos y nivelación de los caminos de segundo orden.

La cerca utilizada para proteger al biodigestor de la invasión de animales afecta en forma mínima ya que existen otras cercas alrededor del biodigestor que protegen la reserva de proteína de la Hacienda.

La limpieza y desbroce van a afectar de una manera poco significativa al igual que el regadío ya que el biodigestor esta construido en un galpón.

Durante el proceso de operación y mantenimiento tanto los parámetros ambientales como las acciones resultan positivas para el medio ambiente ya que van a reducir la emisión de gases contaminantes, la proliferación de moscas y

enfermedades, favoreciendo al suelo mediante la utilización de biofertilizantes y la generación de humus, el uso de la energía limpia será un modelo a seguir para el aprovechamiento de los desechos orgánicos y aplicable para todo el sector agricultor que lo necesite.

Al combustionarse el biogás tanto para la cocción de la leche sustituta de los terneros como para la aplicación de una bomba de succión va a producir una mínima cantidad de gases que no será nociva para el medio ambiente ni para las especies endémicas del sector ni para el hombre.

6.3.2 DISEÑO DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN, MITIGACIÓN Y COMPENSACIÓN

- Mejorar el sistema de recolección de materia orgánica.
- Utilizar los escombros para rellenar las vías de segundo orden existentes en la Hacienda.
- Supervisar las actividades de excavación y construcción para reducir daños.
- Restringir el acceso de ganado al área.

CAPÍTULO 7 ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO

7.1 ANÁLISIS ECONÓMICO

Considerando al presente proyecto como un modelo académico y que a su vez cumple con la producción de combustible suficiente para el funcionamiento de una cocina semi-industrial y un motor de combustión interna de 4HP, los cálculos realizados satisfacen los objetivos del proyecto.

El tratamiento tributario no es materia de este análisis debido a que los productos finales de este proyecto (biogás y bioabono) tienen tarifas distintas de IVA de acuerdo a la normativa vigente y su liquidación obedecerá conforme el volumen de ventas de cada uno respecto de las ventas totales.

Adicionalmente, el ejecutor del proyecto es el sujeto pasivo del tributo en calidad de agente de percepción y por lo tanto los tributos que se generen no implican modificación en los costos del proyecto, por lo antes expuesto para efecto de este capítulo se consideran los costos de los bienes y los servicios excluidos los tributos.

7.1.1 MATERIALES DIRECTOS

Comprende materias primas, materiales, equipos o accesorios que intervienen directamente en la ejecución del proyecto.

En la siguiente tabla se detallan los costos totales de materiales:

Tabla 7.1. Costos totales de materiales directos utilizados en el Biodigestor de flujo continuo.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	COSTO	REF.
1	MATERIALES BIODIGESTOR	\$480,78	Anexo 5
2	MATERIALES TANQUE CARGA Y DESCARGA	\$94,50	Anexo 6
3	MATERIALES INSTALACIÓN	\$219,36	Anexo 7
4	MATERIALES PARA LA BOMBA DE SUCCION	\$17,34	Anexo 8
COSTO TOTAL		\$811,98	

7.1.2 MANO DE OBRA DIRECTA

Comprende los salarios de los trabajadores o aquellos pagos por trabajos realizados en el desarrollo del proyecto y que son identificados como directos.

En el proyecto se identifica la participación del personal técnico (especializado) en el área, por consiguiente su responsabilidad es total e implica el 100% de su tiempo.

En la siguiente tabla se detalla los costos de la participación del personal técnico.

Tabla 7.2. Costo de mano de obra directa del personal técnico.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO MENSUAL	MESES	COSTO TOTAL
1	TECNICO	2	1000	7	14000
COSTO TOTAL					14000

Considerando que el requerimiento de trabajador no es del 100% se ha procedido a prorratear de acuerdo a su necesidad diaria, es decir 4 horas por trabajador. Para el efecto se establece el costo de hora con base en su remuneración mensual por el número de horas diarias, semanas y meses trabajados. En este caso los valores considerados por concepto de remuneración mensual para albañil y ayudante de albañil son \$ 380 y \$ 300 respectivamente.

Tabla 7.3. Costo de mano de obra directa del personal técnico.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO / HORA (*)	NUMERO DE HORAS	COSTO TOTAL
1	ALBAÑIL	1	2,375	400	\$950,00
2	AYUDANTE DE ALBAÑIL	1	1,875	400	\$750,00
COSTO TOTAL					\$1.700,00

7.1.3 MATERIALES INDIRECTOS

Comprende materias primas, materiales, equipos o accesorios utilizados dentro de la investigación pero que no se consideran integrados al sistema. En la tabla 7.4. se detallan los costos de materiales indirectos, que fueron utilizados en la construcción total del biodigestor.

Tabla 7.4. Costo de materiales Indirectos.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	TAPONES DE 1"	2	\$ 0,75	\$ 1,50
2	TAPONES MACHO 1/2"	2	\$ 0,25	\$ 0,50
3	PAPEL PH 4.5 A 10PH EXACT. 0.5 PH10	1	\$ 9,90	\$ 9,90
4	COMBUSTIBLE Y LUBRICANTES	2	\$ 1,98	\$ 3,96
5	TEFLON	7	\$ 0,40	\$ 2,80
6	TERMOMETRO	1	\$ 22,00	\$ 22,00
7	SIERRA SANFLEX	1	\$ 1,15	\$ 1,15
COSTO TOTAL				\$ 41,81

7.1.4 MANO DE OBRA INDIRECTA

Son costos de mano de obra utilizada para la preparación del biodigestor, y los análisis de laboratorio.

Tabla 7.5. Costos totales de mano de obra indirecta.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	ANÁLISIS DE BIOGÁS	4	\$ 25,00	\$ 100,00
COSTO TOTAL				\$ 100,00

7.1.5 LOGÍSTICA

Comprende gastos de transporte para la adquisición de materiales y accesorios.

Tabla 7.6. Gastos de transporte.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	TRANSPORTE MATERIALES EN STO. DOMINGO	7	\$ 15,00	\$ 105,00
2	TRANSPORTE DE MATERIALES QUITO - STO. DOMINGO	1	\$ 30,00	\$ 30,00
COSTO TOTAL				\$ 135,00

7.1.6 COSTO TOTAL DEL PROYECTO

Tabla 7.7 Costo total del proyecto.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	COSTO TOTAL
1	MATERIALES DIRECTOS	\$811,98
2	MANO DE OBRA DIRECTA	\$15.700,00
3	MATERIALES INDIRECTOS	\$41,81
4	MANO DE OBRA INDIRECTA	\$100,00
5	LOGISTICA	\$135,00
COSTO TOTAL		\$16.788,79

7.2 ANÁLISIS FINANCIERO

Al realizar el análisis financiero del biodigestor se debe considerar que éste, se desarrolla en tres ámbitos diferentes:

En el ámbito energético, el biodigestor, como productor de gas metano, se lo compara en el presente proyecto con el gas de uso doméstico utilizado usualmente en la cocción; y con la gasolina, como combustible para la bomba de succión.

En el ámbito agrícola, el biodigestor produce biol que es empleado como fertilizante orgánico compitiendo con los fertilizantes químicos como la urea

La tecnología empleada para el funcionamiento del biodigestor se convierte en una alternativa viable que puede sustituir a los combustibles y fertilizantes tradicionales tanto técnica como económicamente.

7.2.1 ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

La rentabilidad de la presente inversión proviene del registro y análisis de todos los gastos efectuados e ingresos recibidos, para realizar los cálculos del presente proyecto, se ha considerado una tasa de actualización $i = 8.90\%$ anual, y una tasa de interés pasiva de 4.79% anual.²³

²³ La tasa de interés activa y la tasa de interés pasiva son valores suministrados por el Banco Central del Ecuador actualización 28 ENE-2007.

Para la cocción de la leche sustituta de terneros se emplea gas de uso doméstico el mismo que se lo reemplazará con biogás y de acuerdo con la evaluación energética, con base en la tabla de equivalencia de biogás con otros combustibles²⁴ se necesitan 2.54 m³ de biogás para reemplazar 1 Kg. de gas doméstico. Razón por la cual se necesitarán de 37,592 m³ de biogás para reemplazar un cilindro de 14.8 Kg. de gas doméstico.

Para cuantificar el ahorro de energía, realizamos el siguiente razonamiento:

- Producción diaria de biogás: 0.97 [m³]
- Producción anual de biogás: 356 [m³], considerando que se producirá los 365 del año.
- Energía substituída anual =
$$\frac{356[m^3 \text{ biogás}]}{37,592[m^3 / \text{cil } 14.8kg \text{ GLP}]} = 10 \text{ [cilindros de gás doméstico]}$$
- Precio / Cilindro de gás doméstico (28 Ene 2007): \$ 1.60
- Ahorro de energía = 10[cil GLP] * 1.60USD = **\$ 16 anuales**

Para el funcionamiento de la bomba de succión se emplea gasolina la misma que se la reemplazará con biogás y de acuerdo al cálculo de requerimientos realizado en el capítulo 3 se necesitan 1.4 m³ de biogás para hacer funcionar un motor de 4 Hp durante una hora. Razón por la cual se necesitarán de 511 m³ de biogás

²⁴ SASSE LUDWIG (1984). La planta de biogás. Eschborn: GTZ.

para hacer funcionar la bomba una hora diaria durante un año. De acuerdo a la tabla de equivalencia $1 \text{ m}^3 = 0.61 \text{ lt. de gasolina}$.²⁵

Para cuantificar el ahorro de energía, realizamos el siguiente razonamiento:

- Producción diaria de biogás: $1.4 \text{ [m}^3\text{]}$
- Producción anual de biogás: $511 \text{ [m}^3\text{]}$
- Energía substituída anual = $\frac{511[\text{m}^3 \text{ biogás}]}{4 * 0.61[\text{m}^3 \text{ biogás} / \text{gal. gasolina}]} = 209.42 \text{ [galones de gasolina]}$.
- Precio / Galón de Gasolina (28 Ene 2007): \$ 1.45
- Ahorro de energía = $209.42[\text{cil GLP}] * 1.45 \text{USD} = \mathbf{\$ 303.6 \text{ anuales}}$

Para cuantificar el valor del biol, realizamos el siguiente razonamiento:

- Producción diaria de Biol.: 132 [lt]
- Producción anual de Biol.: 48.180 [lt/año] .
- El precio por litro de Biol de acuerdo a varias empresas que ya se dedican a la venta de este producto es de \$0.25 como por ejemplo Agrecol, empresa de agricultores: venden al público 20 litros de biol a un precio equivalente a cinco dólares²⁶, (la hacienda contabiliza el precio/lt del biol a: \$0.10 para los diferentes proyectos internos).
- Producción anual del fertilizante = $48180[\text{lt} / \text{año}] * 0.25 \text{USD} = \mathbf{\$12045 \text{ anuales.}}$

²⁵ <http://www.porcicultura.com/>

²⁶ <http://www.leisa-al.org.pe/antiores/211/25.htm>

Se resumen ciertos valores que se necesitan para el cálculo de la rentabilidad del biodigestor:

TABLA 7.8. Cuantificación de costos y beneficios del biodigestor.

Volumen del biodigestor	8 [m ³]
Producción diaria de biogás	2.40 [m ³]
Perdidas por fugas	12%
Producción anual de biogás	867 [m ³]
Vida útil tubular de polietileno	4 [años]
Costo de inversión inicial	\$16788,4
Costo de inversión por m ³ de digestor ²⁷	\$2098
Energía sustituida anual	10 [cilindros Gas domestico]
Ahorro costo de energía anual	\$319.6
Precio de fertilizante anual	\$12 045

A continuación se presenta el cálculo de los parámetros financieros que afectan al presente proyecto, empezamos por la depreciación anual que sufre su infraestructura considerando una tasa de depreciación anual del 5 % y un tiempo de 20 años, de acuerdo con el artículo 20 del Reglamento para la aplicación de la Ley de Régimen Tributario Interno y sus Reformas.

Se considera para el efecto un valor inicial a depreciar de \$16.788,79

Tabla 7.9. Depreciación anual de la infraestructura.

Año	Depreciación Anual	Depreciación Acumulada
1	839,44	839,44
2	839,44	1.678,88
3	839,44	2.518,32
4	839,44	3.357,76
5	839,44	4.197,20
6	839,44	5.036,64

²⁷ Costo de la inversión por m³ del digestor para un solo biodigestor, sin costos de la estructura de protección y la correspondiente mitad de la película tubular de polietileno adquirido para reemplazarla luego de su vida útil de 4 años.

7	839,44	5.876,08
8	839,44	6.715,52
9	839,44	7.554,96
10	839,44	8.394,40
11	839,44	9.233,83
12	839,44	10.073,27
13	839,44	10.912,71
14	839,44	11.752,15
15	839,44	12.591,59
16	839,44	13.431,03
17	839,44	14.270,47
18	839,44	15.109,91
19	839,44	15.949,35
20	839,44	16.788,79

El cálculo del Valor Actual Neto que se ha realizado ha sido determinado tomando como ingreso anual base, \$ 12.364,60 que corresponde al ahorro por uso de biogás en reemplazo del gas de uso doméstico y gasolina, sumado al ingreso por la venta del biol. Aplicamos tanto a los ingresos como a los egresos una tasa de ajuste anual de 1.51 % que corresponde al promedio de la tasa de inflación de los 5 últimos meses del actual período.

La tasa de interés pasiva es asumida bajo el criterio de costo de oportunidad.

TABLA 7.10. Cálculo del Valor Actual neto de la Inversión

Ingreso año base		12364,6
Biogás	319,6	
Bio fertilizante	12045	
N	5 años	
Tasa de ajuste anual	1,50%	
Tasa interés pasiva	4,70%	

Año	Ingreso	Egreso	Flujo	VAN ANUAL
1	12.364,60	3.600,00	8.764,60	14.717,81
2	12.550,07	3.654,00	8.896,07	27.988,61

3	12.738,32	3.708,81	9.029,51	39.937,73
4	12.929,39	3.764,44	9.164,95	50.680,37
5	13.123,34	3.820,91	9.302,43	60.322,34

En el cálculo de la Tasa Interna de retorno TIR, se contempla una tasa de ajuste anual igual a la del Valor Actual Neto, y se presenta en periodos anuales para verificar como aumenta su valor conforme pasa el tiempo desde una cifra negativa en el primer año antes de recuperar el valor de la inversión hasta llegar a un 45% luego de cinco años.

TABLA 7.11. Cálculo de la Tasa Interna de Retorno de la Inversión

Año	Ingreso	Egreso	Flujo	TIR Anual
0	0	16788,79	-16788,79	
1	12.364,60	3.600,00	8.764,60	-48%
2	12.550,07	3.654,00	8.896,07	3%
3	12.738,32	3.708,81	9.029,51	27%
4	12.929,39	3.764,44	9.164,95	39%
5	13.123,34	3.820,91	9.302,43	45%

Esto significa que el presente proyecto es altamente rentable, toda vez que en un periodo de un año y medio ya se recupera el valor de la inversión y los años subsiguientes se obtienen altas tasas de ganancia.

CAPÍTULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

8.1 CONCLUSIONES.

- Para la exportación de los diferentes productos agrícolas que produce nuestro país tanto a la Comunidad Europea como a los EE.UU. se requiere una certificación de que la fertilización de los mismos haya sido realizada con insumos orgánicos.
- El biogás se comenzó a generar a los 16 días luego de instalado y cargado el biodigestor, logrando su pleno funcionamiento a los 35 días con una presión manométrica de 4 Psi.
- Por la facilidad en la construcción y mantenimiento, este tipo de biodigestores es adecuado para pequeñas fincas que requieren autoabastecerse de energía tanto para la cocción de sus alimentos como para la generación de electricidad mediante generadores pequeños que pueden adaptarse al funcionamiento con biogás.
- El motor de 4 Hp, que hemos utilizado para hacer funcionar la bomba de succión se abastece en forma adecuada con el suministro de gas proveniente del biodigestor, siendo su potencia suficiente e inclusive superior a la necesaria para la succión del biol hacia los tanques de distribución.
- En cuanto a la cocina instalada para la preparación de la leche sustituta de los terneros, contempla la salida del biogás de manera directa prescindiendo del uso de shiglores que limiten la provisión de este combustible, únicamente se

utiliza una llave de paso para regular su salida, esto se debe a la baja presión con la que trabaja el biodigestor.

- Como consecuencia del uso del biodigestor se ha logrado la disminución en la acumulación de estiércol en el entorno, lo que repercute directamente en la mejora de las condiciones ambientales y en la calidad de vida de las personas beneficiarias del proyecto, se disminuyeron los malos olores así como los insectos en el sector.
- De la evaluación de la sustitución de gas o gasolina como combustibles, por el biogás, existe un resultado económico positivo en cuanto al ahorro de dinero destinado a la compra de los mismos.
- Reducción de las necesidades por utilizar otros recursos naturales para producir energía, tales como: leña y carbón, lo que a la larga reduce la deforestación y destrucción del hábitat de especies endémicas de la zona de Sto. Domingo.
- Al reciclar el estiércol por medio de biodigestores para producir biogás, se obtiene el efluente llamado biol que es un excelente fertilizante apto para todo tipo de cultivo, previo un análisis de sus componentes, este estudio determinará las concentraciones necesarias para aplicar en la fertilización de la especie vegetal requerida.

- El tratamiento tributario no es materia del análisis económico en el presente proyecto debido a que los productos finales: biogás y bioabono tienen tarifas distintas de IVA de acuerdo a la normativa vigente y su liquidación obedecerá conforme el volumen de ventas de cada uno respecto de las ventas totales.
- El ejecutor del proyecto es el sujeto pasivo del tributo en calidad de agente de percepción y por lo tanto los tributos que se generen no implican modificación en los costos del proyecto, por lo tanto para efecto de este capítulo se consideran los costos de los bienes y los servicios excluidos los tributos.
- Del análisis financiero se concluye que el proyecto es económicamente sustentable, obteniendo un Valor Actual Neto para un periodo de 5 años igual a \$60.322,34 con una Tasa Interna de Retorno del 45 % en el quinto año, considerando un periodo de recuperación de la inversión inicial de un año y medio.
- Para depreciación anual de la infraestructura se considera una tasa de depreciación anual del 5 % y un tiempo de 20 años, de acuerdo con el artículo 20 del Reglamento para la aplicación de la Ley de Régimen Tributario Interno y sus Reformas, considera para el efecto un valor inicial a depreciar de \$16.788,79,

8.2 Recomendaciones.

- Se recomienda aplicar el actual proyecto en fincas y haciendas agropecuarias por su bajo costo y su alto rendimiento en bioabono así como por el ahorro de energía que supone la utilización del biogás, lo que le convierte en una fuente de energía viable, útil, renovable y sobretodo no contaminante.
- El biogás obtenido es un agente corrosivo para los metales, en el proyecto se utiliza piezas de hierro fundido y acero galvanizado, especialmente por la dificultad de obtenerlas en el tamaño requerido en el mercado local, por lo que se recomienda realizar un mantenimiento periódico de las mismas y su cambio cada seis meses, mientras que en las partes de bronce y cobre se tiene una expectativa de vida útil de dos años.
- La vida útil del plástico tubular utilizado para el cuerpo del biodigestor es de cuatro años por lo que se recomienda su cambio puntual el dos de enero del 2011.
- Es importante continuar con el estudio de los productos obtenidos en este proyecto, especialmente para lograr almacenar el biogás en recipientes bajo presión, con lo que se lograría extender su uso a otros sectores y no limitarlo a un uso local, para ello se debe reducir la corrosividad de éste producto y filtrar gases parásitos que se incluyen en el proceso de fermentación anaeróbica.

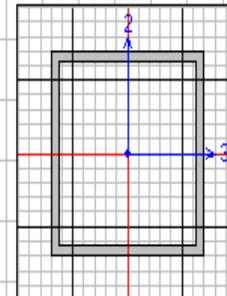
- Para instalaciones del tamaño de la Hacienda San Antonio, se recomienda la construcción de un biodigestor tipo industrial, por la gran cantidad de desechos orgánicos que se producen debido al gran número de cabezas de ganado vacuno y porcino así como por su producción avícola.

ANEXO 1

Análisis en SAP 2000 del Tubo cuadrado correspondiente a la estructura de protección

AISC-LRFD93 STEEL SECTION CHECK

Combo : DSTL2
Units : N, mm, C



Frame : 18 Design Sect: FSEC4
X Mid : 3148.140 Design Type: Brace
Y Mid : 0.000 Frame Type : Moment Resisting Frame
Z Mid : 2597.500 Sect Class : Compact
Length : 990.320 Major Axis : 0.000 degrees counterclockwise from local 3
Loc : 0.000 RLLF : 1.000

Area : 1136.000 SMajor : 25532.231 rMajor : 29.032 AVMajor: 600.000
IMajor : 957458.667 SMinor : 25532.231 rMinor : 29.032 AVMinor: 600.000
IMinor : 957458.667 ZMajor : 30278.000 E : 199947.979
Ixy : 0.000 ZMinor : 30278.000 Fy : 248.211

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Pu	Mu33	Mu22	Uu2	Uu3	Tu
0.000	-4395.192	2443504.987	0.000	337.980	0.000	0.000

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO

Governing Equation	Total Ratio	P Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check
(H1-1b)	0.376	= 0.012	+ 0.365	+ 0.000	0.950	OK

AXIAL FORCE DESIGN

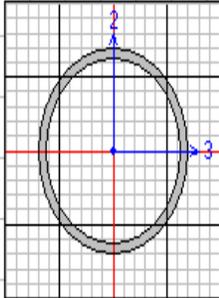
	Pu Force	phi*Pnc Capacity	phi*Pnt Capacity
Axial	-4395.192	187776.185	253771.217

MOMENT DESIGN

	Mu Moment	phi*Mn Capacity	Cm Factor	B1 Factor	B2 Factor	K Factor	L Factor	Cb Factor
Major Moment	2465914.936	6763807.132	1.000	1.009	1.000	1.000	1.996	1.064
Minor Moment	0.000	6763807.132	1.000	1.002	1.000	1.000	1.000	

Anexo2

Análisis en SAP 2000 del Tubo redondo correspondiente a la estructura de protección

AISC-LRFD93 STEEL SECTION CHECK								
Combo : DSTL2								
Units : N, mm, C								
								
Frame : 43	Design Sect: TUBO							
X Mid : -504.004	Design Type: Column							
Y Mid : 0.000	Frame Type : Moment Resisting Frame							
Z Mid : 595.049	Sect Class : Compact							
Length : 1209.928	Major Axis : 0.000 degrees counterclockwise from local 3							
Loc : 19.048	RLLF : 1.000							
Area : 226.823	SMajor : 1945.573	rMajor : 12.783	AUMajor: 113.643					
IMajor : 37063.160	SMinor : 1945.573	rMinor : 12.783	AUMinor: 113.643					
IMinor : 37063.160	ZMajor : 2609.087	E : 199947.979						
Ixy : 0.000	ZMinor : 2609.087	Fy : 248.211						
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS								
Location	Pu	Mu33	Mu22	Uu2	Uu3	Tu		
19.048	-1153.141	-198523.863	0.000	-332.724	0.000	0.000		
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO								
Governing Equation	Total Ratio	P Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check		
(H1-1b)	0.360	= 0.019	+ 0.341	+ 0.000	0.950	OK		
AXIAL FORCE DESIGN								
	Pu Force	phi*Pnc Capacity	phi*Pnt Capacity					
Axial	-1153.141	30303.521	50670.023					
MOMENT DESIGN								
	Mu Moment	phi*Mn Capacity	Cm Factor	B1 Factor	B2 Factor	K Factor	L Factor	Cb Factor
Major Moment	-198523.863	582844.276	0.202	1.000	1.000	1.000	0.984	2.272
Minor Moment	0.000	582844.276	1.000	1.023	1.000	1.000	0.984	

Anexo 3

Parámetros Ambientales que se consideran para la elaboración de la matriz de Leopold

A. Características físico químicas.

A1.- Tierra

- a) Recursos minerales.
- b) Materiales de construcción.
- c) Suelos.
- d) Geomorfología.
- e) Campos magnéticos y radioactividad de fondo.
- f) Factores físicos singulares.

A2.- Agua

- a) Continentales.
- b) Marinas.
- c) Subterráneas.
- d) Calidad.
- e) Temperatura.
- f) Recarga.
- g) Nieve, hielo, heladas.

A3.- Atmósfera.

- a) Calidad (gases, partículas).
- b) Clima (micro, macro).
- c) Temperatura.

A4.- Procesos.

- a) Inundaciones.

- b) Erosión.
- c) Sedimentación y precipitación.
- d) Solución.
- e) Sorción (intercambio de iones complejos).
- f) Compactación y asentamientos complejos.
- g) Estabilidad.
- h) Sismología (terremotos).
- i) Movimientos de aire.

B. Condiciones biológicas.

B1.-Flora.

- a) Árboles.
- b) Arbustos.
- c) Hierbas.
- d) Cosechas.
- e) Microflora.
- f) Plantas acuáticas.
- g) Especies en peligro.

B2.-Fauna.

- a) Pájaros (aves).
- b) Animales terrestres.
- c) Peces mariscos.
- d) Organismos bentónicos.
- e) Insectos.

- f) Microfauna.
- g) Especies en peligro.
- h) Barreras.

C. Factores culturales.

C1.-Usos del territorio.

- a) Espacios abiertos y salvajes.
- b) Zonas húmedas.
- c) Silvicultura
- d) Pastos.
- e) Agricultura.
- f) Zona residencial.
- g) Zona comercial.
- h) Zona industrial.
- i) Minas y canteras.

C2.-Recreativos.

- a) Caza.
- b) Pesca.
- c) Navegación.
- d) Baño.
- e) Camping.
- f) Excursión.
- g) Zona de recreo.

C3.-Estéticos y de interés humano.

- a) Vistas panorámicas y paisajes.
- b) Naturaleza.
- c) Espacios abiertos.
- d) Paisajes.
- e) Agentes físicos singulares.
- f) Parques nacionales y áreas de reserva.
- g) Monumentos.
- h) Especies o ecosistemas especiales.
- i) Lugares u objetos históricos especiales.
- j) Desarmonías.

C4.-Nivel cultural.

- a) Estilos de vida.
- b) Salud y seguridad.
- c) Empleo.
- d) Densidad de población.

C5.-Servicios e infraestructura.

- a) Estructuras.
- b) Red de transporte.
- c) Red de servicios.
- d) Eliminación de residuos sólidos.
- e) Barreras.

D. Relaciones ecológicas.

- a) Salinización de recursos de agua.
- b) Eutroticación.
- c) Vectores de enfermedades - insectos.
- d) Cadenas alimenticias.
- e) Salinización de materiales superficiales.
- f) Invasión de maleza.
- g) Otros.

Descripción de las acciones del proyecto que afectan al medio ambiente y que se consideran para la elaboración de la matriz de Leopold

A. Modificación de régimen.

- a) Introducción de fauna exótica.
- b) Controles biológicos.
- c) Modificación de hábitats.
- d) Alteración de la cobertura vegetal.
- e) Alteración de la hidrología superficial.
- f) Alteración de las condiciones de drenaje.
- g) Modificación y control de las cuencas hidrográficas.
- h) Canalización.
- i) Regadío.
- j) Modificación del clima.
- k) Incendios.
- l) Pavimentación.
- m) Ruido e introducción de vibraciones extrañas.

B. Transformación de la tierra y construcción.

- a) Urbanización.
- b) Parques industriales y edificios.
- c) Aeropuertos.

- d) Carreteras y puentes.
- e) Caminos vecinales.
- f) Líneas férreas.
- g) Tendido de cables no conductores.
- h) Líneas de transmisión, tuberías de conducción (acueductos, oleoductos, etc.)
- i) Barreras inclusive cercas.
- j) Modificación y dragado de canales.
- k) Revestimiento de canales.
- l) Construcción de canales.
- m) Presas.
- n) Muelles y rompeolas.
- o) Estructuras rompeolas.
- p) Estructuras recreacionales.
- q) Voladuras, horadaciones.
- r) Corte y relleno.
- s) Túneles y estructuras subterráneas.

C. Fuentes de extracción.

- a) Voladuras y horadaciones.
- b) Excavación superficial.
- c) Superficies de excavación y retorno.
- d) Construcción de pozos y explotación de aguas subterráneas.
- e) Perforaciones.

- f) Limpieza y desbroce.
- g) Caza y pesca comercial.

D. Procesamiento.

- a) Haciendas.
- b) Parcelación, formación de ranchos.
- c) Tierras de producción agrícola.
- d) Tierras de producción y autoconsumo.
- e) Generación de energía.
- f) Procesamiento de minerales.
- g) Industria metalúrgica.
- h) Industria química.
- i) Industria textil.
- j) Automóviles y aviones.
- k) Refinerías.
- l) Alimentos.
- m) Pulpa y papel.
- n) Almacenamiento de productos.
- o) Cosecha.

E. Alteración de la tierra.

- a) Control de la erosión y terraceo.
- b) Clausura de minas y control de desperdicios.
- c) Rehabilitación de minas.

- d) Paisajes.
- e) Dragado de muelles.
- f) Relleno y drenaje de pantanos.

F. Renovación de fuentes.

- a) Reforestación.
- b) Manejo y preservación de la fauna salvaje.
- c) Recarga de aguas subterráneas.
- d) Aplicación de fertilizantes.
- e) Reciclaje de desperdicios.

G. Modificación en el tránsito.

- a) Ferroviario.
- b) Automotriz.
- c) Caminero.
- d) Marítimo.
- e) Aéreo.
- f) Fluvial.
- g) Náutico recreacional.
- h) Tendido de cables.
- i) Comunicación.
- j) Tendido de tuberías (acueductos, oleoductos, etc.)

H. Eliminación y tratamiento de desperdicios.

- a) Descargas oceánicas.

- b) Rellenos.
- c) Eliminación de materiales dañados.
- d) Almacenamiento subterráneo.
- e) Manejo de basuras.
- f) Desechos de petróleo.
- g) Infiltraciones mediante pozos
- h) Descargas mediante aguas calientes.
- i) Basuras municipales.
- j) Descargas líquidas.
- k) Lagunas de oxidación y estabilización
- l) Fosas sépticas, comerciales y domésticas.
- m) Lubricantes.

I. Tratamiento químico.

- a) Fertilización.
- b) Tratamiento químico de desechos acumulados en carreteras.
- c) Estabilización química del suelo.
- d) Control de la maleza.
- e) Control de insectos.

J. Accidentes.

- a) Explosiones.
- b) Derramamiento y fugas.
- c) Fallas operacionales.

K. Otros.

a) Según características propias del proyecto analizado.

Anexo 5

Costo de materiales usados en la construcción del biodigestor.

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	PLASTICO TERMICO TUBULAR	1	\$268,95	\$268,95
2	TEE PVC DE ½"	1	\$0,65	\$0,65
3	TEE DE PVC DE 1" ROSCABLE	2	\$2,10	\$4,20
4	UNIONES DE 1"	2	\$0,80	\$1,60
5	REDUCCION 1X1/2"	5	\$2,00	\$10,00
6	NEPLO PVC DE ½"	2	\$0,60	\$1,20
7	TUBO PVC DE 8" (6 METROS)	1	\$100,44	\$100,44
8	CODO PVC DE 1"	1	\$2,00	\$2,00
9	REDUCCION DE PVC DE ½" A ¼"	4	\$1,50	\$6,00
10	NEPLO HG GALVANIZADO DE ¼" *2	3	\$0,65	\$1,95
11	MANGUERA DE NYLON DE ¼"	30	\$0,70	\$21,00
12	TUBO PVC DE 1" (6 METROS)	1	\$6,50	\$6,50
13	CONECTOR DE PVC DE 1" (UN KIT MACHO Y HEMBRA)	1	\$6,00	\$6,00
14	MANOMETRO	1	\$34,94	\$34,94
15	ABRAZADERAS REGULABLES	5	\$0,25	\$1,25
16	LANA DE ACERO N° 4	1	\$0,80	\$0,80
17	PEGAMENTO PVC PERMATEX	1	\$2,50	\$2,50
18	TEFLON	5	\$0,40	\$2,00
19	ADAPTADORES	3	\$0,80	\$2,40
20	BUSHING HG DE ½" A ¼"	4	\$0,25	\$1,00
21	BUSHING POLIMEX 1 A 1/2"	1	\$0,85	\$0,85

22	BUSHING 1" A ½"	2	\$0,40	\$0,80
23	LLAVE P/COMPESOR 1/4" PRESION CHINA	2	\$1,15	\$2,30
24	CODO GALVANIZADO DE ¼" 90°	2	\$0,22	\$0,45
25	TUBO DE LLANTA	5	\$0,20	\$1,00
COSTO TOTAL				\$480,78

Anexo 6
Costos de materiales usados en los tanques de carga, descarga y recolección

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	BLOQUE VIBRADO	120	\$0,22	\$26,40
2	CEMENTO GRIS	10	\$6,26	\$62,60
3	MALLA ANTIMOS METALICA CHINA 1.20M	2	\$1,30	\$2,60
5	MALLA BLANCA 1MT ANTIMOS	1	\$2,10	\$2,10
6	PERNOS DE 1/4 *1	16	\$0,05	\$0,80
COSTO TOTAL				\$94,50

Anexo 7
Costos de materiales usados en la instalación de los componentes del biodigestor

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	TUBO PVC 160 MM X 6	1	\$63,10	\$63,10
2	ALAMBRE DE PUAS	1	\$28,28	\$28,28
3	BISAGRA GALVANIZADA	2	\$0,45	\$0,90
4	LLAVE DE PASO ¾ "	2	\$4,00	\$8,00
5	PICAPORTE HG PLANO 7"	1	\$2,25	\$2,25
6	BOMBA DE SUCCION (USADA)	1	\$120,00	\$120,00
7	VALVULA CHEC 1 1/2"	1	\$4,00	\$4,00
8	CEMENTO GRIS	6	\$6,26	\$37,56
9	PLATINA LAMINADA 1*3/16 -(2.5*4)	2	\$3,78	\$7,55

10	TANQUES DE PLASTICO	3	\$4,00	\$12,00
11	3 CONECTORES HEMBRA-MACHO 1 1/2"	3	\$5,00	\$15,00
12	ROSCAS PVC 1 1/2"	11	\$0,71	\$7,81
13	NEPLOS PVC 1 1/2"	2	\$2,93	\$5,86
14	NEPLO PVC 2"	1	\$2,75	\$2,75
15	MANGUERA DE PLASTICO DE 1".	5	\$4,00	\$20,00
COSTO TOTAL				\$219,36

Anexo 8

Costos de materiales usados en la adaptación de la bomba de succión

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	NEPLO 1 * 10 HG	1	\$2,14	\$2,14
2	REDUCCION 1 * 1/2 HG	2	\$0,36	\$0,72
3	BUSHING 1/2 * 1/4 HG	2	\$0,22	\$0,44
4	ADAPTADOR 3/8	1	\$1,43	\$1,43
5	ADAPTADOR ¼	1	\$1,79	\$1,79
6	LLAVE DE PASO ¼	1	\$7,14	\$7,14
7	MANGUERA DE 1/4 (1/2 METRO)	1	\$0,54	\$0,54
8	CAÑERIA DE BRONCE (1/2 METRO)	1	\$1,61	\$1,61
9	ABRAZADERAS DE COBRE	2	\$0,45	\$0,90
10	NEPLO 1/4 * 2 ½	1	\$0,63	\$0,63
COSTO TOTAL				\$17,34

Anexo 9

Resultados obtenidos en el análisis del biogás utilizando el Analizador de gases de la Empresa Watsila

Biogás en estado inerte

Biogás en plena combustión

BIBLIOGRAFIA

ACUÑA, M. Biomasa y Biocombustibles. Ecuador. Fundación ecuatoriana de tecnología. se.1989. apropiada. V.13p.

SCHMID, L.A. Y LIPPER, R.Z., Swine wastes, characterization and anaerobic digestion Cornell. se. 1969, pp. 50-57

DAGUE, R.R., Application of digester theory to digester control. Journal of Water Pollution Control Federation. se. 1968. 40:2021

GUNNERSON, C.G. Y STUCKEY, D.C. 1986. Anaerobic digestion. Principles and practices for biogas systems. The World Bank Technical Paper No. 49. Washington D.C. 1986. se. pp. 93-100

YOUNGFU Y. et al. The biogas technology in China. Agricultural Publishing. Beijing, 1989. se, pp 20-54.

BOTERO, B.M. Y R.P. THOMAS. Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. Manual para su instalación, operación y utilización. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. 1987. s.f. se.

GONZÁLEZ, Z. H. 1986. Proyecto Tecnológico del Uso de un Biodigestor como Planta para la Explotación de una Granja Porcina. Tesis Profesional. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México. Mejía, M. G. 1996. Digestión anaeróbica. Folleto Técnico No. 1. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yuc., México.

SALAZAR, G. G. 1993. Los Digestores: Una alternativa energética en la porcicultura y un medio para evitar la contaminación. SARH-INIFAPCIPAC. Campo Experimental Centro de Jalisco. Guadalajara, Jalisco. p. 15.

VERÁSTEGUI, L. J. 1980. El Biogás como Alternativa Energética para Zonas Rurales. OLADE (Organización Latinoamericana de Alternativas de Energía). Boletín Energético del Ecuador

MANDUJANO, M. I. 1981. Biogás: energía y fertilizantes a partir de desechos orgánicos. Manual para el promotor de la tecnología. Organización Latinoamericana de Energía. Cuernavaca, Morelos, México.

POHLAND, F.G. Y SUIDON, T. Prediction of pH stability in biological treatment systems. In: Chemistry of Wastewater Technology (A.J. Rubin, editor). Ann Arbor Science Limited. 1978. pp 441

GIRALDO, E., OROZCO, A. "Alternativas tecnológicas para el tratamiento de efluentes domésticos", 1993. Quito, pp. 57 - 63

GIJZEN, H. Microbiological aspects of anaerobic digestion. 1993. se. pp 8 - 11

ZVI BODIE, ROBERT C. MERTON. Finanzas. Prentice Hall, México, 1999. pp. 93-96

FUNDACIÓN HÁBITAT. Biodigestores. Una alternativa a la autosuficiencia energética y de biofertilizantes. 2 de Abril de 2005 QUIMBAYA, QUINDÍO pp 6-31.

ACUÑA MIGUEL, (1993), Seminario "Energía de la Biomasa".

DESPLEGABLE TÉCNICO 04 Biodigestor Instalación MAG – Pacayas.

FAO. 1995. Biodigestor de Plástico de Flujo Continuo, Generador de Gas y Bioabono a partir de Aguas Servidas. CIPAV Fundación Centro para Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria. Guatemala, C.A. 17 p.

ECUADOR, ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO. ING. CARRASCO FRANKLIN. (2005). nota de aula de energías no convencionales. MÉXICO, D.F. UNIVERSIDAD CATÓLICA DE TEMUCO, Ingeniería Ambiental.

MÉXICO, D.F. UNIVERSIDAD CATÓLICA DE TEMUCO, Ingeniería Ambiental.

CHRISTIAN TOAZA M., MIGUEL SALAZAR V., Diseño y construcción de un biodigestor prototipo para un destacamento militar de oriente Tesis Ing. Mec. Quito. Escuela Politécnica del Ejército Sangolquí. Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica. 2003. 247p.

Autoridad Nacional del Ambiente, Alianza en Energía y Ambiente con Centroamérica
MANUAL DE USO Y MANTENIMIENTO DE UNIDAD BIODIGESTORA
“IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE BIOGÁS Y ABONO
BIOLÓGICO MEDIANTE EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS
PRODUCIDOS EN UNA GRANJA AGROINDUSTRIAL (PORCINA) LOCALIZADA EN
LA PROVINCIA DE VERAGUAS, REPÚBLICA DE PANAMÁ” ENERO 2006. pp.24

ECUADOR INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN (INEN) y que para este
proyecto se acoge al Art. 4 Norma Técnica de Calidad del Aire Ambiente y al Art. 7.
Norma Técnica para Emisiones a la Atmósfera de Fuentes Fijas de Combustión.
LEY FORESTAL Y DE CONSERVACIÓN DE ÁREAS NATURALES Y VIDA
SILVESTRE. Ley No. 74. RO/ 64 de 24 de Agosto de 1981

LEY DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL. Decreto
Supremo No. 374. RO/ 97 de 31 de Mayo de 1976.

LEY DE GESTIÓN AMBIENTAL. Ley No. 37. RO/ 245 de 30 de Julio de
1999.

REGLAMENTO PARA EL MANEJO DE LOS DESECHOS SÓLIDOS. Acuerdo
Ministerial No. 14630. RO/ 991 de 3 de Agosto de 1992.

MÉXICO, D.F. UNIVERSIDAD CATÓLICA DE TEMUCO, Ingeniería Ambiental.

<http://es.geocities.com/vianiorte/index.htm>. Biomasa, español, 2006

<http://www.textoscientificos.com/energia/biomasa>, español, 2006

<http://es.geocities.com/vianiorte/index.htm>, Biomasa, español 2006

<http://www.textoscientificos.com/energia/biogas/factores>, Fases de la digestion
anaeróbica, 2006

http://www.eco-gel.com/vivienda_tecnologia.htm,

<http://www.textoscientificos.com/energia/biogas/factores>, biomasa, 2006

<http://www.renovables-rural.cl/tecnologias/biomasa.php>, biomasa, 2006

<http://personal.telefónica.terre.es/web/mms>, 19 marzo 2007, VAN y TIR.

